



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y desarrollo de un inyector/aplicador de purín.

Design and development of a slurry injector/applicator.

Autor

Alberto Panillo Ballesteros

Director

Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2021

*A mi padre, por inculcarme los valores e inquietudes
que me han llevado hasta este proyecto.*

*A mi madre, por el apoyo incondicional que me ha
brindado durante este largo camino.*

*A mi Ce, por no soltarme de la mano y sobre todo por
levantarme en los momentos más difíciles.*

*A mi tutor, Javier Abad, por ayudarme y aconsejarme
para llevar a cabo este proyecto tan personal.*

*A la empresa JOSKIN, y en especial a Alfredo Altemir
Febas, por colaborar de manera activa en este proyecto.*

ÍNDICE GENERAL

Índice ilustraciones:	6
Índice de tablas.	11
1. Objeto y alcance.....	12
2. Antecedentes y justificación	15
3. Introducción	17
3.1. Funcionamiento del inyector y despiece general.	17
3.2. Funcionamiento del aplicador y despiece general.....	25
4. Presentación del problema.	27
4.1. Descripción del inyector.....	27
4.2. Despiece.	28
5. Simulaciones de cálculo	33
5.1. Carga de trabajo.....	33
5.2. Simulación inicial.....	35
6. Cálculos.	37
6.1. Dimensionado del cilindro hidráulico para el plegado de la estructura.	37
6.2. Dimensionado orejetas de sujeción para el cilindro.....	38
6.2.1. Determinación del espesor.	38
6.2.2. Cálculo a flexión para determinar sus dimensiones.	40
6.3. Orejetas para el giro del bastidor.....	42
6.3.1. Cálculo del bulón para las orejetas de giro	42
6.2.3. Diseño y cálculo de las orejetas para el giro	45
7. Bastidor plegable.....	47
7.1. Ensamblaje del brazo de la reja.	47
7.2. Ensamblaje final.	48
7.3. Simulación.	49
7.3.1. Factor de seguridad.....	49
7.3.2. Tensión de von Mises.....	55
7.3.3. Desplazamientos.	56
8. Distribuidor de purín.	56
8.1. Descripción.....	56

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

8.2.	Resultados.	59
8.2.1.	Tensión de Von Mises.	59
8.2.2.	Desplazamientos.	60
8.2.3.	Factor de seguridad.	61
9.	Sistema de seguridad para el transporte.	62
9.1.	Incorporado en bastidor fijo.	62
9.2.	Incorporado en bastidores plegables.	64
10.	Bastidor fijo.	66
10.1.	Simulación.	69
10.1.1.	Tensión de von Mises.	72
10.1.2.	Desplazamientos.	73
10.1.3.	Factor de seguridad.	73
11.	Cálculo de los bulones para el enganche del aplicador.	74
12.	Rueda de control.	75
13.	Cambio de modo de trabajo.	76
14.	Resultados y conclusiones.	79
14.1.	Ensamblaje final del sistema de seguridad.	79
14.2.	Ensamblaje final del distribuidor de purín.	80
14.3.	Ensamblaje final de la rueda de control.	81
14.4.	Vistas principales del inyector en modo de trabajo.	82
14.5.	Vistas principales del aplicador en modo de transporte.	83
15.	Webgrafía.	84
	ANEXOS.	85
	Anexo 1. Introducción a los cálculos.	86
	Anexo 2. Reglamento General de Vehículos (RGV).	87
	Anexo 3. Simulaciones y cálculos.	90
A3.1.	Cálculo del brazo.	90
A3.2.	Simulación inicial.	93
A3.3.	Dimensionado del cilindro para el plegado hidráulico de la estructura.	97
A3.4.	Dimensionado de las orejetas para la sujeción del cilindro hidráulico.	101
A3.4.1.	Determinación del espesor.	101
A3.4.2.	Determinación del resto de dimensiones.	104
A3.5.	Diseño de las orejetas para el giro de los bastidores plegables.	110

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A3.5.1. Cálculo del bulón.....	110
A3.5.2. Diseño y cálculo de las orejetas de giro.....	113
A4. Simulación del bastidor plegable.....	117
A4.1. Condiciones para la simulación.....	117
A4.1.1. Materiales.....	117
A4.1.2. Sujeciones.....	117
A4.1.3. Cargas.....	118
A4.1.4. Mallado.....	119
A4.1.5. Refuerzos en las zonas más solicitadas.....	120
5. Distribuidor de purín.....	123
5.1. Cálculos.....	123
A5.2. Simulación.....	125
A6. Sistema de seguridad.....	126
A6.1. Simulación del diseño.....	126
A6.2. Cálculo del bulón pasador.....	135
A7. Bastidor fijo.....	136
A7.1. Simulación.....	136
A7.1.1. Refuerzos en los elementos.....	142
8. Cálculo del bulón para el enganche del aplicador.....	143
A9. Rueda de control.....	145
A9.1. Diseño.....	145
A9.2. Simulación y resultados del bastidor plegable.....	146
A9.3. Simulación y resultados del bastidor fijo.....	150
A9.4. Elección del neumático.....	151
A9.5. Cálculo del bulón de control para la rueda.....	153
A10. Conexionado rápido de mangueras.....	154
A11. Propiedades finales.....	155
A11.1. Modo inyector.....	157
A11.2. Modo aplicador.....	158
A12. Señalización.....	159
A13. Planos del distribuidor de purín.....	161
A14. Fichas técnicas de los tractores portadores de la cisterna junto al aplicador.....	163

Índice ilustraciones:

Ilustración 1. Cultivador de referencia.....	14
Ilustración 2. Vista posterior del aplicador propio tomado como referencia.....	14
Ilustración 3. Vista lateral del aplicador propio tomado como referencia.....	15
Ilustración 4. Reparto de estiércol mediante plato o abanico.....	16
Ilustración 5. Abanico o plato difusor.....	16
Ilustración 6. Inyector de purín.....	17
Ilustración 7. Elementos principales que forman un cultivador.....	19
Ilustración 8. Sistema de brazo rígido, para labores en terrenos con una gran compactación..	20
Ilustración 9. Brazo flexible, ideal para preparar el lecho de siembra.....	20
Ilustración 10. Brazo en espiral, es uno de los sistemas empleados desde la antigüedad.....	21
Ilustración 11. Brazo de muelle, con regulación variable de fuerza.....	21
Ilustración 12. Brazo con ballesta, con un funcionamiento similar al del brazo con muelle.....	22
Ilustración 13. Brazo hidroneumático, la regulación de la fuerza es más sencilla que en los casos anteriores.....	22
Ilustración 14. Brazo con elastómeros, es el sistema más ligero de todos.....	23
Ilustración 15. Geometría de las rejas cavadoras.....	23
Ilustración 16. Reja de golondrina, con una anchura mayor para erradicar las malas hierbas..	24
Ilustración 17. Corte de sección del distribuidor de purín.....	24
Ilustración 18. Ensamblaje final del distribuidor.....	24
Ilustración 19. Elemento de sujeción de la manguera transportadora de purín.....	25
Ilustración 20. Sistema de filtraje en la entrada de purín al aplicador.....	26
Ilustración 21. Sistema de filtraje sobre cada una de las salidas de purín.....	26
Ilustración 22. Aplicador de tubos, también conocido como rampa de tubos.....	27
Ilustración 23. Sistema de enganche cuba-aplicador/inyector.....	28
Ilustración 24. Medición cara horizontal del bastidor.....	28
Ilustración 25. Medición cara vertical del bastidor.....	29
Ilustración 26. Sistema comercial de sujeción del brazo.....	29
Ilustración 27. Medición sobre la cara horizontal del brazo.....	31
Ilustración 28. Medición sobre la cara vertical del brazo.....	31
Ilustración 29. Características de la cuchilla 1501.[5].....	32
Ilustración 30. Geometría de referencia de la cuchilla.....	32
Ilustración 31. Medición del ángulo de incidencia sobre la vertical.....	34
Ilustración 32. Resultado de la medición.....	34
Ilustración 33. Estructura inicial para la simulación.....	36
Ilustración 34. Estructura con condiciones de apoyo para determinar la fuerza del cilindro....	37
Ilustración 35. Fuerza axial desarrollada por el cilindro hidráulico.....	37
Ilustración 36. Ensamblaje del cilindro en las orejetas correspondientes.....	39
Ilustración 37. Diseño propuesto para la orejeta de sujeción del cilindro en el bastidor fijo....	40
Ilustración 38. Rediseño de la orejeta para el cilindro hidráulico.....	41
Ilustración 39. Orejeta para sujeción del cilindro hidráulico alojada en el bastidor fijo.....	42
Ilustración 40. Orejeta para sujeción del cilindro hidráulico alojada en el bastidor plegable....	42
Ilustración 41. Resultados fuerza cortante en el apoyo derecho.....	43
Ilustración 42. Resultados fuerza cortante en apoyo izquierdo.....	44

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Ilustración 43. Planos de cortadura para el bulón de giro.	44
Ilustración 44. Diseño propuesto para la orejeta del giro de los bastidores.	45
Ilustración 45. Reacciones en eje X y Z de la orejeta.	45
Ilustración 46. Reacción en eje Y de la orejeta.	46
Ilustración 47. Detalle de los elastómeros.	47
Ilustración 48. Ensamblaje de los brazos en la estructura.	48
Ilustración 49. Ensamblaje del brazo para la simulación.	48
Ilustración 50. Ensamblaje final del bastidor plegable.	49
Ilustración 51. Factor de seguridad de la estructura previo a las modificaciones.	49
Ilustración 52. Factor de seguridad de los elastómeros.	50
Ilustración 53. Zonas comprometidas en cuanto al factor de seguridad.	50
Ilustración 54. Factor de seguridad de la orejeta del cilindro previo a la modificación.	51
Ilustración 55. Factor de seguridad de la orejeta del cilindro posterior a la modificación.	51
Ilustración 56. Factor de seguridad de las barras transversales previo a la modificación.	52
Ilustración 57. Detalle barra transversal.	52
Ilustración 58. Factor de seguridad en la parte inferior de las barras transversales.	52
Ilustración 59. Factor de seguridad de las barras transversales posterior a la modificación.	53
Ilustración 60. Factor de seguridad en las pletinas horizontales previo a la modificación.	53
Ilustración 61. Factor de seguridad en las pletinas horizontales posterior a la modificación.	54
Ilustración 62. Factor de seguridad del perfil en C previo a la modificación.	54
Ilustración 63. Factor de seguridad del perfil en C posterior a la modificación.	55
Ilustración 64. Tensión de von Mises para el bastidor plegable.	55
Ilustración 65. Desplazamientos del bastidor plegable.	56
Ilustración 66. Soporte del aplicador de referencia a perfeccionar.	57
Ilustración 67. Detalle del soporte.	58
Ilustración 68. Distribuidor de purín a sujetar.	58
Ilustración 69. Diseño propuesto para el soporte del distribuidor.	59
Ilustración 70. Tensión de von Mises en la parte inferior de la estructura de apoyo.	60
Ilustración 71. Tensión de von Mises en la parte superior de la estructura de apoyo.	60
Ilustración 72. Desplazamientos en la base de apoyo del distribuidor.	61
Ilustración 73. Factor de seguridad de la base de soporte propuesta.	61
Ilustración 74. Factor de seguridad en la base del soporte.	61
Ilustración 75. Diseño propuesto para el sistema de seguridad.	62
Ilustración 76. Tensión de von Mises para el sistema de seguridad.	63
Ilustración 77. Zona de máxima tensión en el sistema de seguridad.	63
Ilustración 78. Desplazamientos para el sistema de seguridad.	64
Ilustración 79. Factor de seguridad de la estructura de bloqueo.	64
Ilustración 80. Tensión de von Mises en los elementos del amarre para el gatillo.	65
Ilustración 81. Desplazamientos del amarre para el gatillo.	65
Ilustración 82. Factor de seguridad del amarre para el gatillo.	66
Ilustración 83. Alzado del ensamblaje final del bastidor fijo.	67
Ilustración 84. Detalle del enganche a los 4 puntos.	67
Ilustración 85. Perfil del ensamblaje final del bastidor fijo.	68
Ilustración 86. Diseño propuesto para la barra de luces.	69

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Ilustración 87. Factor de seguridad inicial en el bastidor fijo, tras los refuerzos determinados en el bastidor plegable.....	70
Ilustración 88. Factor de seguridad inicial en las orejetas de giro alojadas en el bastidor fijo... 70	70
Ilustración 89. Factor de seguridad en las orejetas tras el refuerzo aplicado.	71
Ilustración 90. Factor de seguridad en las barras transversales del bastidor fijo.....	71
Ilustración 91. Factor de seguridad en la orejeta del enganche del bastidor fijo.....	72
Ilustración 92. Tensión de von Mises global del bastidor fijo.	72
Ilustración 93. Tensión máxima del bastidor fijo.	73
Ilustración 94. Desplazamientos en el bastidor fijo.	73
Ilustración 95. Factor de seguridad global del bastidor fijo.....	74
Ilustración 96. Ensamblaje final de la rueda de control.....	75
Ilustración 97. Funcionamiento de los platos para la aplicación en cobertera.	76
Ilustración 98, Desmontaje del brazo de la reja mediante dos tornillos.	77
Ilustración 99. Diseño propio de los platos para la aplicación en cobertera.	77
Ilustración 100. Ensamblaje final del brazo para la inyección de purín.....	78
Ilustración 101. Ensamblaje final del brazo para la aplicación en cobertera.....	78
Ilustración 102. Sistema de seguridad enclavado.....	79
Ilustración 103. Sistema de seguridad desenclavado.	79
Ilustración 104. Ensamblaje final del distribuidor de purín.	80
Ilustración 105. Alzado del ensamblaje final de la rueda de control.	81
Ilustración 106. Perfil del ensamblaje final de la rueda de control.	81
Ilustración 107. Vista trasera del inyector desplegado.....	82
Ilustración 108. Vista delantera del inyector desplegado.....	82
Ilustración 109. Vista trasera del aplicador plegado.....	83
Ilustración 110. Vista delantera del aplicador plegado.....	83
Ilustración 111. Piloto trasero para el dispositivo desarrollado.	89
Ilustración 112. Opciones de montaje para señal V-6.	89
Ilustración 113. Descomposición de fuerzas en el brazo de la reja.	90
Ilustración 114. Simulación inicial del bastidor plegable.....	93
Ilustración 115. Manguera de impulsión seleccionada.....	95
Ilustración 116. Determinación de los metros de manguera para cada una de las salidas.....	96
Ilustración 117. Peso de purín sobre cada salida del bastidor plegable.	96
Ilustración 118. Condiciones de apoyo sobre la barra circular de la estructura.....	97
Ilustración 119. Condiciones de apoyo sobre los puntos de giro de la estructura.	97
Ilustración 120. Mallado de la estructura para determinar la fuerza axial de la barra circular..	98
Ilustración 121. Fuerza axial de la barra circular.....	98
Ilustración 122. Geometría del cilindro escogido.	101
Ilustración 123. Ensamblaje del cilindro sobre las orejetas.	102
Ilustración 124. Altura del perfil en C que refuerza la estructura.....	104
Ilustración 125. Diseño inicial de la orejeta situada en el bastidor fijo para alojar el cilindro hidráulico.....	105
Ilustración 126. Ayuda para el cálculo del módulo resistente.	106
Ilustración 127. Rediseño de la orejeta.....	107
Ilustración 128. Orejeta para alojar el cilindro hidráulico en el bastidor plegable.....	109
Ilustración 129. Liberación del apoyo en el eje Y para la orejeta derecha.	110

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Ilustración 130. Liberación del apoyo en el eje Y para la orejeta izquierda.	111
Ilustración 131. Mayado por defecto de la estructura para la simulación.	111
Ilustración 132. Fuerza cortante resultante en el apoyo izquierdo.	112
Ilustración 133. Fuerza cortante resultante en el apoyo derecho.	112
Ilustración 134. Planos de cortadura para el bulón de giro.	113
Ilustración 135. Fuerzas en el plano X y Z sobre la orejeta.	114
Ilustración 136. Fuerza en dirección Y sobre la orejeta.	114
Ilustración 137. Propiedades de los elastómeros.[11][12]	117
Ilustración 138. Definición de un plano a 11 grados respecto de la horizontal.	118
Ilustración 139. Desplazamiento radial nulo en los orificios de las orejetas de giro.	118
Ilustración 140. Direcciones principales de las cargas aplicadas sobre los brazos.	119
Ilustración 141. Magnitud de las cargas aplicadas sobre los brazos.	119
Ilustración 142. Propiedades del mallado.	120
Ilustración 143. Croquis del refuerzo a aplicar en la orejeta.	120
Ilustración 144. Alzado y perfil del refuerzo aplicado en la orejeta.	121
Ilustración 145. Croquis de la solución aportada para el refuerzo de las vigas transversales. ..	121
Ilustración 146. Croquis de la solución aportada para reforzar las pletinas sobre las que trabajan las orejetas de giro.	122
Ilustración 147. Croquis del refuerzo aportado para el perfil en C.	122
Ilustración 148. Propiedades técnicas de la manguera de alimentación del distribuidor.	124
Ilustración 149. Geometría fija para la base del soporte del distribuidor.	125
Ilustración 150. Carga de trabajo vertical junto a la fuerza de la gravedad.	125
Ilustración 151. Carga de trabajo horizontal.	126
Ilustración 152. Resultado del mallado estándar sobre el soporte propuesto.	126
Ilustración 153. Croquis del diseño propuesto para los enclavamientos de seguridad.	129
Ilustración 154. Ensamblaje del sistema de seguridad alojado en el bastidor fijo.	129
Ilustración 155. Determinación de la posición de las orejetas de amarre del cilindro.	130
Ilustración 156. Conexiones con pasador para los elementos móviles.	131
Ilustración 157. Definición de conexiones con pasador.	131
Ilustración 158. Contacto rígido para trasladar la acción del cilindro al gatillo.	132
Ilustración 159. Geometría fija para el apoyo del sistema de seguridad sobre el cabezal del bastidor fijo.	132
Ilustración 160. Peso de la estructura del bastidor plegable.	133
Ilustración 161. Carga de trabajo del sistema de seguridad.	133
Ilustración 162. Características del mallado basado en curvatura.	134
Ilustración 163. Resultado final del mallado.	134
Ilustración 164. Tensión cortante para cada uno de los conectores.	135
Ilustración 165. Fijación del bastidor plegable en la posición de transporte.	136
Ilustración 166. Carga de trabajo sobre el bulón diseñado.	136
Ilustración 167. Reacciones en las orejetas de giro del bastidor plegable.	137
Ilustración 168. Reacciones en la orejeta de sujeción del cilindro principal del bastidor plegable.	138
Ilustración 169. Llevamos las reacciones del bastidor plegable al bastidor fijo.	138
Ilustración 170. Simulación de la barra para las luces.	139
Ilustración 171. Condiciones geométricas en los puntos de enganche del aplicador.	140

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Ilustración 172. Cargas que actúan sobre el bastidor fijo.	140
Ilustración 173. Incorporamos los refuerzos en las pletinas de apoyo para las orejetas de giro determinados en el bastidor plegable.	141
Ilustración 174. Refuerzo del perfil en C a la vista de los resultados de simulación del bastidor plegable.	141
Ilustración 175. Mallado basado en curvatura del bastidor fijo dada su complejidad.	142
Ilustración 176. Mallado de la estructura.	142
Ilustración 177. Croquis de la solución aportada para aligerar una de las orejetas de giro.	143
Ilustración 178. Conexión de tipo pasador para determinar el bulón de enganche.	143
Ilustración 179. Fuerza cortante resultante para cada uno de los pasadores de enganche. ...	144
Ilustración 180. Conexión entre enganche del aplicador y la cisterna.	144
Ilustración 181. Diseño para sujeción y posicionamiento de la rueda de control.	145
Ilustración 182. Diseño para el soporte del eje de la rueda.	146
Ilustración 183. Imponemos un desplazamiento nulo en la dirección radial del eje.	146
Ilustración 184. Conexión de tipo pasador para regular la profundidad de la rueda de control.	147
Ilustración 185. Nuevas reacciones en las orejetas de giro del bastidor plegable tras incorporar la rueda de control.	147
Ilustración 186. Nuevas reacciones en las orejetas del cilindro del bastidor plegable tras incorporar la rueda de control.	148
Ilustración 187. Tensión de von Mises en el bastidor plegable con la rueda de control.	148
Ilustración 188. Desplazamientos en el bastidor plegable con la rueda de control.	149
Ilustración 189. Factor de seguridad en el bastidor plegable con la rueda de control.	149
Ilustración 190. Tensión de von Mises en el bastidor fijo con la rueda de control en el bastidor plegable.	150
Ilustración 191. Desplazamientos en el bastidor fijo con la rueda de control en el bastidor plegable.	151
Ilustración 192. Factor de seguridad en el bastidor fijo con la rueda de control en el bastidor plegable.	151
Ilustración 193. Reacciones en el eje de la rueda de control.	152
Ilustración 194. Neumático del aplicador de referencia.	152
Ilustración 195. Fuerza cortante resultante para cada uno de los dos conectores.	154
Ilustración 196. Macho de conexión rápida para manguera de diámetro interior 60mm.	155
Ilustración 197. Hembra de conexión rápida para manguera de diámetro interior 60mm.	155
Ilustración 198. Anchura total de trabajo.	156
Ilustración 199. Profundidad del diseño final.	156
Ilustración 200. Propiedades físicas en el modo de inyector.	157
Ilustración 201. Anchura de transporte en el modo de inyector.	157
Ilustración 202. Altura del inyector.	158
Ilustración 203. Propiedades físicas en el modo de aplicador.	158
Ilustración 204. Anchura de transporte en el modo de aplicador.	159
Ilustración 205. Comprobaciones finales de la señalización.	159

Índice de tablas.

Tabla 1. Dimensiones máximas autorizadas.	87
Tabla 2. Señalización necesaria.....	88
Tabla 3. Geometría del brazo escogido.[8]	92
Tabla 4. Propiedades del acero S460N.....	94
Tabla 5. Características técnicas de la manguera de impulsión.[9]	95
Tabla 6. Dimensiones normalizadas de los cilindros hidráulicos del proveedor cicromur. [10].	99
Tabla 7. Dimensiones de los cilindros secundarios.	127
Tabla 8. Ficha técnica de los neumáticos con llanta 14,5".[13]	152
Tabla 9. Ficha técnica de los neumáticos con llanta de 15".[13]	153
Tabla 10. Ficha técnica Fendt serie 800. [15].....	163
Tabla 11. Ficha técnica de los tractores de la serie 800 de Claas. [16]	164

1. Objeto y alcance

El objetivo de este Trabajo Final de Grado (TFG) es aportar una solución al sistema actual de aplicación de purín de acuerdo con la normativa que lo rige. Para ello, partiremos de los aplicadores que encontramos en el mercado, haciéndose evidente la necesidad de un sistema novedoso que nos permita, mediante unas modificaciones leves, transformar el aplicador para poder trabajar en las dos condiciones de cultivos que recoge la normativa.

En primer lugar, diremos que se entiende por aplicador de purín cualquier sistema que sea capaz de llevar dicho purín desde la misma cuba hasta el suelo, ya sea depositándolo sobre la superficie o bien enterrándolo bajo tierra; pero, en ningún momento será considerado como aplicador cualquier sistema que esparza el purín desde la misma cuba, aireándolo en el ambiente antes de que caiga por gravedad a la superficie.

En el mercado actual, donde existe una gran voluntad por diseñar métodos de aplicación de purín, debido sobre todo al constante crecimiento del sector porcino; encontramos numerosos diseños de aplicadores. Estos, como hemos comentado, se distinguen en dos grupos. Uno de ellos recoge los aplicadores cuyo objetivo es depositar el purín sobre la superficie y el otro, recoge aquellos capaces de enterrarlo bajo la superficie.

La normativa en este sentido es clara, según el ANEXO III del Real Decreto 53/2019 [1], todo purín que se aplique sobre una superficie deberá ser enterrado (labrado) en el transcurso de las 24 horas siguientes a la aplicación. Así, cobran importancia los aplicadores de purín que son capaces de enterrarlo durante su aplicación, ya que conseguimos ahorrar una pasada de laboreo para enterrarlo. Este sistema es ideal para una aplicación en un campo que está de barbecho, es decir, que no ha sido sembrado; o bien, para un campo que está en rastrojo, es decir, que ya ha sido cosechado. Cuando aplicamos el purín en estas condiciones, es decir, cuándo no hay ningún cultivo sobre el terreno que lo estamos aplicando y que, por lo tanto, el objetivo es abonar el terreno para cultivos próximos, se le conoce como **aplicación de purín en fondo**. Por lo tanto, para esta aplicación en fondo, el mejor sistema que podemos tener es el de un aplicador con rejas capaces de romper el terreno e inyectar el purín bajo tierra, ahorrándose así el ganadero/agricultor, una pasada de laboreo para enterrarlo.

El problema viene cuando el terreno sobre el que vamos a realizar el abonado tiene un cultivo implantado. En los campos donde se cultiva cereal o forraje, es muy común que la planta una vez ha nacido, ha desarrollado 3 o 4 hojas y está enraizando, necesite un buen abonado para acabar de consolidarse.

Así, tal como recoge la ORDEN DRS/406/2018 [2], se permite aplicar purín sobre estos campos sin necesidad de enterrarlo, ya que obviamente lo estamos aplicando sobre un cultivo ya implantado. En esta situación, el aplicador convencional de rejas ya no nos sirve; por lo que entra en juego el aplicador de tubos o bandas. Este aplicador, es mucho más sencillo que el anterior ya que no tiene rejas para romper el terreno, si no que consta de unos tubos que van a ras de suelo, para depositar el purín sobre la superficie de este. A esta forma de aplicación se le conoce como **aplicación de purín en cobertera**.

Este trabajo surge a partir de esta introducción, vivida a nivel personal; ya que somos una familia con más de 50 años en el sector tanto porcino como agrícola que necesitamos aplicar

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

purín en nuestros campos de una forma eficaz, cómoda y cumpliendo la normativa. Adquirimos un inyector de rejas, junto a una cuba nueva hace ya 11 años, siendo los primeros de nuestra comarca en hacerlo. El inyector funcionaba a la perfección y éramos capaces de enterrar todo el purín que producíamos. El problema reside en que la capacidad de almacenamiento de nuestra instalación ganadera es reducida por lo que no somos capaces de almacenar todo el purín desde que sembramos el cereal hasta que lo cosechamos, es decir, no tenemos suficiente capacidad de almacenaje para aplicar solamente purín en fondo. De ahí, surgió la voluntad de aplicar el purín en cobertera, sobre el cereal. De este modo, podemos vaciar las balsas a mitad campaña del cereal, librándonos así de dicho problema.

Para ello, desmontamos las rejas de nuestro inyector y le instalamos unos tubos, para poder aplicar el purín sobre el cereal. Con este aplicador de tubos ya podemos aplicar purín tanto en fondo como en cobertera, pero tras esta modificación perdimos la principal ventaja del inyector, es decir, estamos obligados a, cuando aplicamos purín en fondo, acudir a las 24 horas posteriores de la aplicación a enterrarlo puesto que el desmontaje de las rejas se hizo de forma que no es posible su montaje para la aplicación en fondo.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es proponer un diseño de un aplicador de purín que permita al ganadero/agricultor, poder aplicar el purín en ambas condiciones, pero con una única herramienta, mediante unas modificaciones leves. Así mismo, la experiencia en el sector me pide marcar otro objetivo de este trabajo. Este es el de unificar el despiece de este, de esta forma, intentaremos, en la medida de lo posible, que todos los bulones sean de igual diámetro, siendo así más fácil su hipotética sustitución.

El diseño consiste en un aplicador, que al fin y al cabo será un cultivador que irá enganchado a la cuba y que nos permita, mediante unas modificaciones muy sencillas, poderlo usar tanto en aplicación de purín en cobertera como en fondo. Con la compra de un cultivador de la marca española Ovlac, surge la idea definitiva de cómo hacer el montaje y desmontaje de los brazos de las rejas, para poder transformar el inyector a un aplicador de tubos.

Por lo tanto, el trabajo se basa por un lado en nuestro propio aplicador, del que escogeremos la forma del cabezal, así como todo lo referente al aspecto técnico del purín y, por otro lado, del cultivador Ovlac, del que cogeremos la idea de los brazos, desde su sistema de seguridad hasta el soporte para el bastidor, así como las dimensiones de las vigas principales del bastidor. Por tanto, del cultivador escogeremos lo referente al aspecto técnico del laboreo del terreno.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN



Ilustración 1. Cultivador de referencia.



Ilustración 2. Vista posterior del aplicador propio tomado como referencia.



Ilustración 3. Vista lateral del aplicador propio tomado como referencia.

Analizaremos el diseño propuesto para la situación más desfavorable, es decir, cuando estamos aplicando purín en fondo, momento en el que necesitamos la máxima robustez para romper un suelo que ha ido compactándose durante el ciclo del cultivo.

2. Antecedentes y justificación

Ante el gran aumento registrado en la cabaña ganadera del porcino, son varias las legislaciones surgidas con el objetivo claro de regular la gestión de estos estiércoles producidos en las instalaciones ganaderas.

Tal como recoge el Real Decreto 53/2019 [1], *“La composición de estiércoles, aunque variable, los convierte en una fuente de materia orgánica y de elementos fertilizantes que, en general, son aptos para su aplicación como abono en suelos agrícolas”*. Así, será en este trabajo dónde abordaremos el apartado de la aplicación de este estiércol en suelos agrícolas.

Esta aplicación, hasta la elaboración del Real Decreto 980/2017 [3], cuya regulación entraba en vigor el 01/01/2020; la aplicación de estos estiércoles estaba permitida tal y como podemos observar en la siguiente imagen.



Ilustración 4. Reparto de estiércol mediante plato o abanico.

Como podemos observar, la complejidad de la instalación es nula, ya que solo se incorporaba un difusor en la salida de la cuba, conocido como plato o abanico, para alcanzar mayor superficie y, por lo tanto, repartir el purín. El principal problema de este método es que el purín se airea, con los consiguientes problemas de olores y gases que van directamente a la atmosfera que esto conlleva.



Ilustración 5. Abanico o plato difusor.

Otro punto para tener en cuenta es la dosificación del purín, ya que en dicho caso no es una aplicación controlable. Únicamente aumentando la velocidad del tractor, se deposita una determinada cantidad de purín en una superficie mayor, pero no es una regulación precisa.

Tal como recoge el Real Decreto 26 1/1996 [1], sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias, “*se han establecido inicialmente en 210kgN/Ha/año como criterio general, salvo en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos y por extensión en espacios de la Red Natura 200 donde se ha establecido en 170kgN/Ha/año.*”

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Ante esta situación, se han ido desarrollando numerosos aplicadores de purín con el fin de evitar estas situaciones conflictivas, permitiéndonos controlar la dosificación en cada aplicación.

Actualmente la venta de aplicadores de purín está en auge, ya que son muchas las granjas porcinas que deben o bien modificar sus cubas para adaptarse a la normativa o bien adquirir un equipo nuevo.

3. Introducción

Para poder definir el comportamiento del aplicador que se va a analizar, el desarrollo de la introducción de basará en los siguientes puntos:

- Funcionamiento del inyector y despiece general
- Funcionamiento del aplicador y despiece general
- Análisis del sistema a desarrollar

3.1. Funcionamiento del inyector y despiece general.

La herramienta analizada, en su función de inyector, es básicamente un cultivador, con la única diferencia de unos tubos que, son capaces de llevar el purín desde la cisterna hasta la parte posterior del brazo de la reja, inyectándose así el purín bajo tierra; así como de un elemento común a ambos modos de aplicación, llamado distribuidor, que nos permitirá dosificar la cantidad de este en cada aplicación.



Ilustración 6. Inyector de purín.

Por lo tanto, en este apartado, vamos a analizar el funcionamiento de un cultivador agrícola, teniendo en cuenta que, en lugar de ir enganchado directamente al tractor; se enganchará en la parte trasera de la cuba.

Un cultivador, es una herramienta agrícola usada para la preparación del terreno. Consta de una estructura principal, donde se ubica el enganche para anclarlo al tractor,

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

y unos brazos, donde un extremo se articula al bastidor y por el otro extremo lleva rejas, elementos que trabajan directamente con el terreno.

Dependiendo de la geometría de las rejas, el resultado de la labranza será distinto. En la mayoría de los casos, las rejas son intercambiables. De modo que una misma máquina, puede realizar las tareas de los distintos tipos de cultivadores con sólo cambiar de reja. Para permitir que el brazo pueda rotar y volver a la posición inicial, normalmente se instala un sistema de basculación. Formado entre otras piezas por un muelle, donde un extremo contacta con el soporte del bastidor y por el otro contacta al brazo. De esta manera, cuando se encuentra un obstáculo, el muelle se comprime permitiendo elevar la punta de la reja y poder superarlo.

Para el laboreo superficial del suelo, es importante el ángulo de incidencia de la reja, ya que de ello depende el desplazamiento de los terrones. Durante el labrado, se producen roturas de los terrones por el choque y desplazamientos del suelo, dejando en la superficie unos surcos esponjados, siempre que los brazos incidan sobre el suelo con un ángulo agudo [4]. Cuando el ángulo es mayor de 90º, tiende a asentar el suelo. Aunque por debajo de la reja, siempre se produce un ligero asentado, ayudando en la formación de una zona ligeramente compactada bajo el lecho de la siembra.

De manera general, las partes importantes de la herramienta agrícola son:

Bastidor: Es una estructura metálica robusta, en la cual se amarran el resto de los elementos del conjunto. Es la parte que transmite todos los esfuerzos del tractor a los brazos. Otra de sus funciones es la de aportar peso a la estructura para que sea capaz de incidir sobre los terrenos más duros.

Ruedas: Las ruedas son utilizadas para el control de profundidad. Estas, llevan una corredera que nos permite diferentes configuraciones dependiendo de las condiciones del terreno y de lo sobrado o no que vaya el tractor que lo arrastra.

Brazos: Van sujetos directamente al bastidor y en el otro extremo llevan sujeto el órgano de trabajo (la reja).

Rejas: Esta es la parte que trabaja directamente el suelo. Es la que sufre el mayor desgaste y es imprescindible cambiarla cuando se deteriora.

Sistema de enganche o torreta: Conecta el tractor directamente con la herramienta agrícola, la mayoría de los casos engancha por tres puntos.

Sistema de seguridad: Este sistema es el encargado de salvar los enganchones que pueda tener cada uno de los brazos del cultivador, ya sea por piedras, ramas, etc.

El más utilizado hasta ahora era el sistema de muelle, pero más adelante veremos el sistema que utilizaremos en nuestro trabajo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Así, vamos a señalar estas partes en un cultivador real:

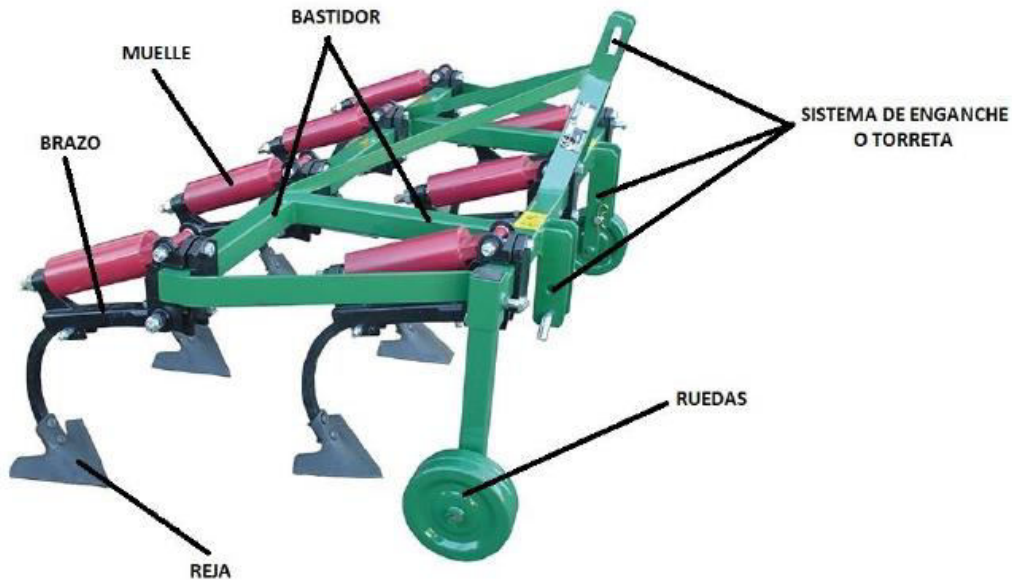


Ilustración 7. Elementos principales que forman un cultivador.

Según el tipo de brazo podemos clasificar los cultivadores en:

-De brazo rígido: Son los recomendados para tareas de desfonde, es decir, para realizar labores de entre 40 y 60 cm de profundidad. Al tener el brazo rígido, no se achantan con la dureza del terreno y son capaces de penetrar en terrenos muy compactos. Al no llevar ningún sistema de seguridad, son muy peligrosos en cuanto a enganchones se refiere, ya que todo repercute sobre su estructura.



Ilustración 8. Sistema de brazo rígido, para labores en terrenos con una gran compactación.

-Flexibles de acero plano: Son excelentes para preparar el terreno antes de una siembra ya que realizan un mullido sobre el terreno. Su inconveniente es que la rigidez de la reja es baja y no pueden realizar una gran profundidad de trabajo.



Ilustración 9. Brazo flexible, ideal para preparar el lecho de siembra.

-Flexibles o elásticas en espiral: Su forma en bucle permite un movimiento tanto en vertical como en horizontal, permitiendo librar los impedimentos y realizando una labor más o menos profunda y mullida. Ha sido el brazo más utilizado hasta la aparición de estos nuevos tipos.



Ilustración 10. Brazo en espiral, es uno de los sistemas empleados desde la antigüedad.

-Rígidos vibrantes con sistema de seguridad: Llevan un eje transversal al sentido de la marcha mediante el cual pueden girar. Este sistema de seguridad permite desplazar el brazo para librar cualquier impedimento del terreno, siendo así menos agresivo en cuanto a nivel estructural y funcional. Este movimiento que permite dicho sistema de seguridad, le aporta una vibración constante durante su trabajo. Este hecho permite desmenuzar el terreno.

Encontramos varios tipos de sistemas de seguridad:

Muelle: Ha sido el más utilizado comúnmente, ya que nos permite ajustar la rigidez del brazo tensando o destensando el resorte. Su principal inconveniente es el mantenimiento que lleva este tipo de montaje y su dificultad para ajustar la rigidez.



Ilustración 11. Brazo de muelle, con regulación variable de fuerza.

Ballesta: Mediante la unión de varias hojas de ballesta conseguimos que el brazo sea capaz de librar cualquier impedimento del terreno y, además, nos permite una gran penetración. El principal inconveniente es que, si el obstáculo es demasiado grande, se doblarán tanto las ballestas que pueden llegar a romper. Así mismo, es un elemento pesado.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

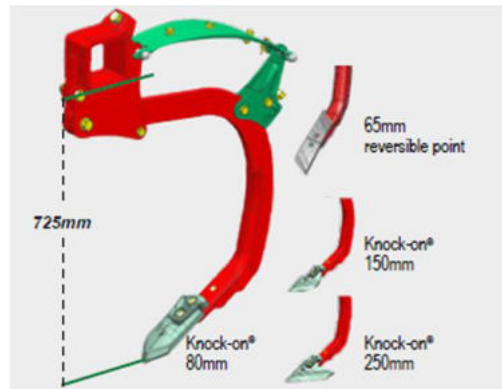


Ilustración 12. Brazo con ballesta, con un funcionamiento similar al del brazo con muelle.

Hidroneumático: Se sustituyen los muelles por actuadores hidráulicos conectados a un pulmón hidráulico que permite el fuelle de los brazos. Así, conseguimos que el brazo se pueda comprimir, mandando o cogiendo aceite de dicho pulmón. Su principal ventaja es que podemos aportar más o menos presión de aceite al circuito, desde el tractor; pudiéndose trabajar así desde brazos completamente rígidos hasta un brazo flexible como los nombrados anteriormente. Su inconveniente radica en que dicho pulmón tendrá que ser sustituido cuando pierda su eficacia.

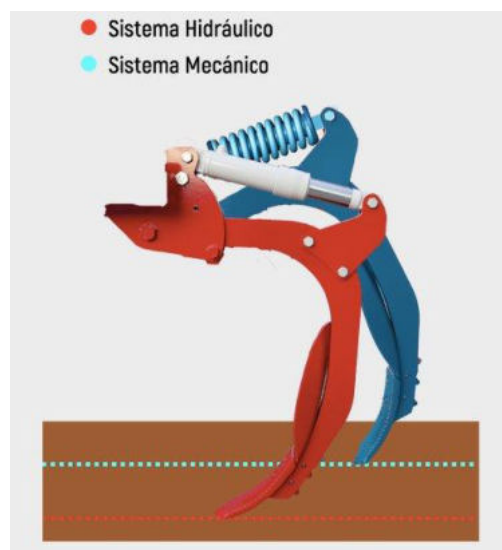


Ilustración 13. Brazo hidroneumático, la regulación de la fuerza es más sencilla que en los casos anteriores.

Elastómeros: Es un sistema novedoso mediante el cual se consigue un sistema de seguridad mediante cuatro cilindros de poliuretano, alojados entre en chasis del cultivador y el soporte del brazo. Son muy ligeros y difíciles de romper, aunque no nos permiten ajustar la fuerza aplicada sobre el terreno.



Ilustración 14. Brazo con elastómeros, es el sistema más ligero de todos.

Con respecto a las cuchillas, existen una gran variedad en el mercado según la labor que se pretenda realizar. Normalmente, se sujetan al brazo mediante dos tornillos y dos tuercas que se colocan por la parte posterior del mismo.

- Rejas cavadoras: De forma rectangular acabada en punta por ambos extremos, siendo intercambiable. Esto significa que una vez desgastemos uno de los extremos, la giraremos 180° y tendremos otro extremo por gastar.



Ilustración 15. Geometría de las rejas cavadoras.

- Rejas de cola de golondrina: Se utilizan como medio de lucha contra las malas hierbas ya que su forma más ancha, permite abarcar todo el terreno de separación entre brazos consecutivos.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN



Ilustración 16. Reja de golondrina, con una anchura mayor para erradicar las malas hierbas.

Una vez comentadas las partes principales del cultivador, vamos a incorporarle los elementos necesarios para que pueda usarse como inyector de purín.

Uno de los elementos imprescindibles es el distribuidor de purín.



Ilustración 17. Corte de sección del distribuidor de purín.

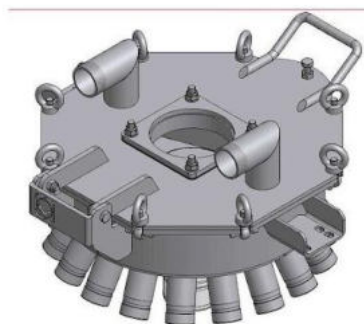


Ilustración 18. Ensamblaje final del distribuidor.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Consta de un plato con discos (elemento rojo), que gira mediante un motor hidráulico (elemento azul).

Este dispositivo es el encargado de, por un lado, mediante los discos giratorios, romper cualquier elemento que acompañe el purín y que pueda obstruir las mangueras que van hasta las rejillas. De esta forma, conseguimos que estas brozas, acaben con una dimensión inferior al diámetro de los tubos que van desde el distribuidor hasta cada uno de los brazos y, que, por lo tanto, abandonen el sistema sin causar taponamientos.

Por otro lado, estos discos, al girar, tapan las entradas de algunas mangueras y dejan libre el paso por otras entradas. Como el giro es muy rápido, conseguimos de esta forma que tengamos la misma cantidad de purín por cada una de las mangueras y, por lo tanto, conseguimos una inyección homogénea.

Así, este distribuidor lo alojaremos en la parte central de nuestro cultivador, sobre el bastidor y elevado sobre el mismo, para permitir la incorporación de las mangueras.

Por último, otro elemento para incorporar es un anclaje que se unirá a cada brazo, junto a cada rejilla y que su función es la de sujetar la manguera y mantenerla bajo tierra.



Ilustración 19. Elemento de sujeción de la manguera transportadora de purín.

3.2. Funcionamiento del aplicador y despiece general

El aplicador de purín, es decir, la deposición de purín sobre la superficie requiere una herramienta mucho más sencilla ya que no tenemos que penetrar el terreno y, por lo tanto, no necesitamos los brazos para inyectar el purín. Esto nos lleva a que los esfuerzos sobre dicho bastidor son mucho menores.

De esta forma, tenemos una herramienta que también consta de un bastidor, de una torreta con los enganches a los 4 puntos y de un distribuidor con mangueras.

Como las sollicitaciones sobre este son menores, en el mercado encontramos aplicadores de grandes anchuras, con distribuidores de muchas salidas ya que incorporan un gran número de mangueras.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Cabe destacar que existen alternativas más económicas al uso del distribuidor, aunque no podemos garantizar una homogeneidad en la aplicación como en el caso del distribuidor, pero que sí realizan un filtrado de este purín.

Algunos de los ejemplos son los siguientes:



Ilustración 20. Sistema de filtraje en la entrada de purín al aplicador.



Ilustración 21. Sistema de filtraje sobre cada una de las salidas de purín.

Como podemos observar, el resto de las soluciones más económicas únicamente se centran en el filtraje del purín, atrapando los elementos más gruesos. Pero no podemos asegurar una dosificación homogénea de este. Normalmente encontramos casos en los que no sale el purín por todas las salidas, ya que las más cercanas a la salida de purín de la cuba son las que más purín desahogan.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

El ensamblaje final del sistema aplicador queda de la siguiente forma:

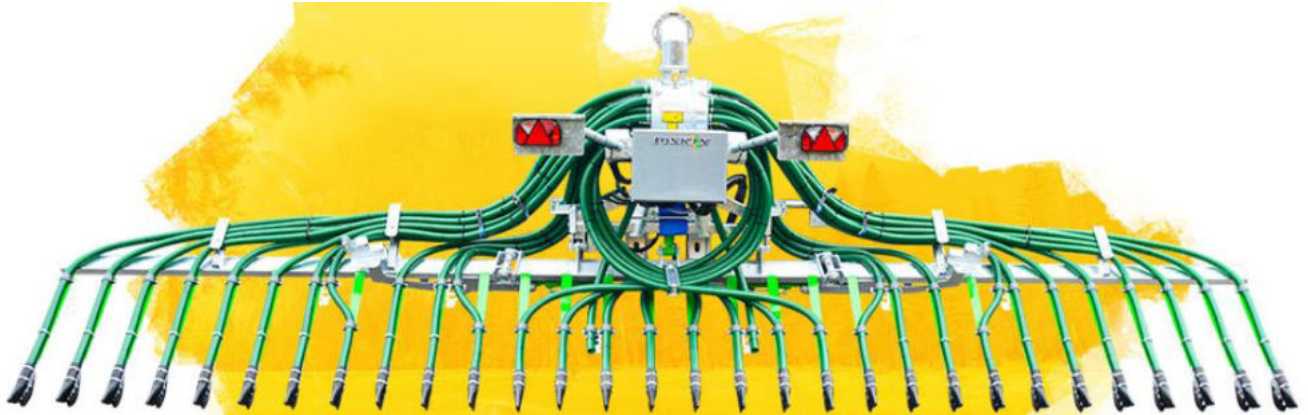


Ilustración 22. Aplicador de tubos, también conocido como rampa de tubos.

4. Presentación del problema.

Como bien hemos comentado, el objetivo es abordar un diseño que aúne los dos tipos de inyector/aplicadores anteriormente comentados.

Como una de sus funciones será la de trabajar como inyector, necesitaremos un bastidor robusto capaz de soportar los esfuerzos de los brazos de las rejillas rompiendo el terreno. De esta forma, el estudio estructural se realizará sobre la función de inyector puesto que es el que está sometido a más carga de trabajo. Además, necesitamos encontrar la forma para que el montaje y desmontaje de estos brazos de rejilla, así como de las mangueras que transporta el purín sea rápido y sencillo.

4.1. Descripción del inyector

El diseño propuesto consiste en un cultivador de 4600mm de anchura total con 15 brazos inyectores de purín y consta de tres cuerpos, dos de ellos plegables hidráulicamente. Esto se debe a que, al ir enganchado a la parte posterior de la cuba, y no al tractor, su anchura máxima permitida para su circulación es de 2,55 metros, tal como podemos comprobar en el ANEXO 2.

La disposición de estos tres cuerpos será, con 3 rejillas en la parte fija y 6 en cada uno de los lados plegables. Estos 15 brazos se distribuirán en 2 hileras, 7 en la primera fila y 8 en la segunda. De esta forma, la separación entre dos rejillas de la misma hilera será de 600 mm, siendo la mitad entre brazos de ambas hileras.

Estamos ante un implemento que será enganchado por tractores de categoría 3, es decir, de más de 120 hp. El enganche será útil para cualquier cuba que pueda ser arrastrada por dichos tractores. Eso sí, la cuba deberá llevar el siguiente sistema de enganche, que nos permite bajar y subir el inyector para penetrar en el campo y, además, levantarlo para el transporte:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN



Ilustración 23. Sistema de enganche cuba-aplicador/injector.

Como podemos observar, el cultivador irá enganchado a la cuba mediante 4 puntos de amarre, que, al fin y al cabo, son cuatro barras paralelas dos a dos que permiten que el aplicador siempre suba y baje recto, pudiendo modificar el ángulo de incidencia de estas rejas sobre el suelo, modificando la longitud de las dos barras superiores.

Cabe destacar que dicho enganche no es competencia de este trabajo, puesto que ya es algo que los fabricantes realizan y, por lo tanto, es un elemento comercial.

4.2. Despiece.

-Bastidor fijo.

La estructura del bastidor estará realizada por tubos estructurales de 80x80x5 que le aportará la robustez que se busca en este tipo de herramientas. Tal como podemos observar, la sección de este bastidor corresponde a la del cultivador de referencia.

Ilustración 24. Medición cara horizontal del bastidor.





Ilustración 25. Medición cara vertical del bastidor.

En este bastidor se ensamblan las sujeciones de los brazos, que son las piezas que se amarran en el bastidor mediante tornillos y donde se montan los brazos de cada una de las rejas. Estos enganches son elementos comerciales, por lo que únicamente se incorporarán en el ensamblaje final, sin analizar su comportamiento individual.



Ilustración 26. Sistema comercial de sujeción del brazo.

Como hemos comentado, para este primer cuerpo, que es el fijo, la disposición es de 1 brazo en la hilera delantera y 2 en la trasera. Cabe destacar que, tanto en este cuerpo, como en los otros dos, la disposición de estos es a tresbolillo. Esto se debe a que los brazos delanteros son los que penetran primeramente en el terreno y, por lo tanto, lo encuentran más duro. Aunque

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

para este trabajo, y estando siempre del lado de la seguridad, se aplicarán los esfuerzos delanteros, a ambas hileras.

Tal como veremos a lo largo del trabajo, el bastidor fijo será el encargado de soportar tanto la torreta de enganche, para la sujeción del bastidor a la cisterna como el soporte para el distribuidor de purín y unos anclajes para evitar la apertura de los bastidores plegables durante el transporte.

-Bastidor plegable.

Como hemos comentado, en esta parte plegable, incluimos 6 brazos en cada uno. Para facilitar su uso, el sistema será plgado hidráulicamente, mediante un actuador para cada lado. Esto nos lleva al diseño y cálculo de unas orejetas, tanto para el giro de esto respecto del plegable; como para el amarre del cilindro.

El giro se realizará mediante dos bulones, que atravesarán 4 orejetas cada uno, dos amarradas en la parte plegable y dos en la parte fija.

La sección de dicho chasis será la misma, siendo una sección rectangular de 100x20, en la zona dónde irán alojadas las orejetas de giro.

Mediante los cálculos que realizaremos, tendremos que determinar el cilindro hidráulico ideal para realizar la función de plgado y desplegado de estos bastidores móviles. Contaremos con un cilindro para cada una de las partes. Debemos tener en cuenta que, cuando se extiende todo el recorrido del pistón, el bastidor y la parte plegable queden lo más alineadas posibles. En caso de que falte recorrido para alinear las dos partes, el funcionamiento de la parte plegable no sería correcto, debido a que las puntas de las rejillas no estarán alineadas con las de las del bastidor. Por el contrario, si aún hay recorrido del pistón y el sistema está ya alineado, el pistón presiona el bastidor provocando deformaciones indeseadas.

Brazo y basculación

Para la sección de nuestro brazo, encontramos numerosas configuraciones en el mercado. Necesitamos un brazo suficiente fuerte para poder romper el terreno, pero que no sea muy pesado ya que recordamos que estamos fabricando un implemento que irá alojado en la parte trasera de la cuba y, que, por tanto, no puede ser excesivamente pesado. Debemos tener en cuenta que el objetivo es hacer una labor suficiente como para enterrar el purín, sin buscar grandes penetraciones. El objetivo es hacer entre 8 y 11 centímetros de labor para que el purín quede completamente enterrado.

Siguiendo la sección de brazo del cultivador de referencia, escogemos la sección cuadrada de 35x35.



Ilustración 27. Medición sobre la cara horizontal del brazo.



Ilustración 28. Medición sobre la cara vertical del brazo.

Con esta sección, acudimos a la marca comercial Bellota y encontramos que, la referencia del brazo seleccionado es 2467-35 TL y cuya geometría la podemos ver en el ANEXO 3.





Una vez tengamos determinada la carga de trabajo sobre cada brazo, comprobaremos si esta sección es capaz de cumplir dicho trabajo.

A partir de la selección del brazo, vamos a seleccionar una cuchilla compatible con dicha elección y, que, además, sea capaz de penetrar en terrenos compactos.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN


Tal como se ha comentado, necesitamos, por lo tanto, una reja cavadora. Para ello, vamos a seleccionar entre toda la gama que encontramos, la compatible con el brazo de reja 2467. Así, la cuchilla seleccionada es la 1501, con dos filos cortantes, de manera que una vez gastado uno de estos filos, podemos girar la cuchilla 180°, empleando así el segundo filo.

> 1501

Ref.		Grs.	A	B	C				M
1501-D	10	1600	74	325	45-55	12	648	11990	M12
1501-I	10	1600	74	325	45-55	12	648	11990	M12

I Izquierda
D Derecha
F Todos los artículos indicados con este símbolo se fabricarán exclusivamente bajo pedido.

1501



Colocación en Brazo en espiral

Colocación en Brazo Chisel

Ref.	2461-B	2461-C	2461-CL	2461-D	2462-A	2462-B	2464-A	2464-AL	2466	2467
1500 + 1501	M12x60	M12x60	M12x60	M12x60	M12x60	M12x60	M12x70	M12x70	M12x60	M12x60
1501	M12x60	M12x60	M12x60	M12x50	M12x60	M12x60	M12x70	M12x70	M12x50	M12x50

Ilustración 29. Características de la cuchilla 1501.[5]

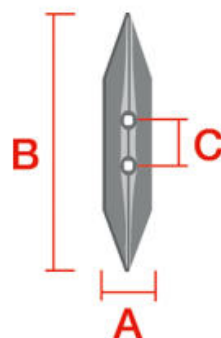


Ilustración 30. Geometría de referencia de la cuchilla.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Por último, para la basculación del brazo, de los sistemas de seguridad nombrados anteriormente, escogeremos el de elastómeros ya que necesitamos un sistema simple y ligero para no aportar demasiado peso a la parte trasera de la cuba.

El funcionamiento de estos elementos es simple ya que cuando la reja encuentra un impedimento, se transmite un momento sobre dichos elastómeros. Estos, son capaces de comprimirse, levantándose el extremo del brazo, librándose así el obstáculo.

Este sistema de elastómeros es muy cómodo de cara al propietario de la máquina ya que está libre de mantenimiento. Aunque no sea muy común la rotura de estos, es muy fácil desmontar la grapa que sujeta dichos elastómeros, pudiéndose subsanar así la rotura de este.

Los **materiales usados** para la construcción de este bastidor son:

- Bastidor, orejetas y sistema de enganche: Acero estructural S460N
- Rejas y brazos: Acero estructural 235 JO

5. Simulaciones de cálculo

Como bien hemos comentado, el aplicador diseñado es versátil en cuanto a sus formas de trabajo. Así, podemos trabajar con los brazos de reja, rompiendo el terreno e inyectando el purín bajo tierra; o bien, mediante unos tubos colgantes esparciendo el purín sobre la superficie. Así mismo, hemos comentado que el trabajo con las rejas puede ser útil para su uso tanto en campos de barbecho como de rastrojo. Estos campos de barbecho son terrenos que se han ido cultivando a lo largo del invierno y que, por lo tanto, consideramos que ya hay labor realizada sobre la tierra y esta, estará ya rota. Por lo tanto, será mucho más fácil penetrarla y opondrá mucha menos resistencia. Por otro lado, en los campos de rastrojo en los que acabamos de cosechar, el terreno estará mucho más fuerte y seco, por lo que será en esta situación dónde obtendremos los esfuerzos máximos sobre nuestro cultivador.

Para la simulación de nuestro diseño, vamos a considerar la situación más desfavorable para lo que al aplicador se refiere. Así, nos centraremos en el estudio de este en su función de inyector, es decir, trabajando con los brazos clavados sobre el terreno y, como es lógico, con los cuerpos abatibles, desplegados. Por lo tanto, tenemos los 15 brazos del aplicador, trabajando para romper el terreno y depositando el purín en su interior.

5.1. Carga de trabajo.

En primer lugar, tenemos que determinar el esfuerzo al que está sometido cada brazo de reja para poder llevar a cabo el resto del estudio. Como nuestro objetivo es poder llegar a trabajar hasta en campos de rastrojo; compactados durante toda la campaña, necesitamos una muy buena penetración de nuestras rejas. Esto lo conseguimos con un ángulo agudo respecto al suelo, de nuestro brazo. Contra más agudo sea el ángulo del brazo, dentro de nuestras limitaciones, más fácil será conseguir una buena penetración en este. Para determinar dicho ángulo de incidencia, vamos a realizar las mediciones pertinentes sobre la cuchilla del cultivador de referencia.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Ante la dificultad de medir in situ el ángulo de incidencia respecto al suelo, se ha optado por medir el ángulo sobre la vertical, deduciendo así el ángulo sobre la horizontal.



Ilustración 31. Medición del ángulo de incidencia sobre la vertical.



Ilustración 32. Resultado de la medición.

Tras la medición realizada, podemos comprobar que, el ángulo de incidencia de la cuchilla respecto a la vertical es de 40° , por lo tanto, el ángulo sobre la horizontal, y, por lo tanto, el valor con el que vamos a trabajar de cara a los cálculos siguientes, es de 50° .

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Partiendo del estudio llevado a cabo por el Ministerio de industria, comercio y turismo [6], extraemos que la potencia necesaria por brazo para un cultivador varía de 3 a 8 CV. Como hemos comentado, nuestro cultivador va a trabajar en condiciones más bien fuertes por lo que consideraremos una potencia aplicada en cada brazo de 8 CV.

Una vez determinados los esfuerzos que actúan sobre nuestro brazo de la reja, podemos comprobar la sección de este. Los brazos no se van a diseñar si no que se optará por comprarlos, junto a las piezas de sujeción de estos. De esta forma, obtendremos un resultado final de ensamblaje idéntico al del cultivador de referencia, manteniéndose, por lo tanto, el ángulo de incidencia de la reja.

Siguiendo los cálculos llevados a cabo en el ANEXO 3, se obtiene una fuerza máxima aplicada sobre el brazo de 4260 N.

Según lo calculado, la fuerza máxima ejercida sobre cada brazo es la siguiente:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{Mr}{h \text{ brazo}} = \frac{12283971}{500} = 24567,94 \text{ N}$$

Como podemos observar, el brazo resiste con creces la fuerza de trabajo a la que le será sometido.

5.2. Simulación inicial.

Una vez obtenida la fuerza aplicada sobre cada brazo, podemos empezar a analizar la estructura del aplicador.

Así, empezaremos analizando uno de los laterales plegables con el objetivo de comprobar, por un lado, que las dimensiones escogidas resistan y por el otro, para obtener las reacciones que tendremos en los apoyos que tenemos que incorporar para que el aplicador pueda girar y plegarse, así como la fuerza que tendrá que realizar nuestro cilindro hidráulico.

Para ello, se desarrolla una estructura simplificada, con las dimensiones del bastidor escogidas, con el objetivo de obtener las reacciones en los apoyos de giro y en nuestro cilindro.

La elección de dichas dimensiones estructurales se basa en nuestro propio inyector, siendo el perfil escogido para el bastidor, un perfil cuadrado de 80x80x50mm. Para el resto de los perfiles que reforzarán dicho bastidor, se escogen libremente, con el objetivo de analizar su comportamiento, aunque seguramente una vez realizado el ensamblaje final, tengamos que realizar pequeños ajustes en dicha estructura.

La fuerza obtenida que actúa sobre cada uno de los brazos será la que nos permitirá despejar nuestras reacciones por lo que también tenemos que plasmar los brazos en nuestra estructura simplificada. Como ya conocemos la ubicación final de estos, ya que hemos impuesto una serie de dimensiones, vamos a representar los brazos como unos perfiles rectos, de un acero más resistente que el del bastidor con el objetivo de llevar a este, el mayor esfuerzo posible.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Para realizar el plegado de este, se nos ha ocurrido que podemos usar dos de los refuerzos del bastidor para alojar las orejetas de giro. Así, vamos a marcar una “junta” en esos puntos donde consideramos que irán las orejetas de giro. De esta forma, podremos obtener las reacciones de giro en dichas juntas.

Para obtener la fuerza del cilindro hidráulico, el procedimiento será similar. En este caso, no necesitamos unas reacciones si no la fuerza axial que tiene que realizar dicho cilindro. Para ello, vamos a incorporar otra barra, cilíndrica en este caso, unida rígidamente en la estructura, en la posición en la que va a trabajar y con un determinado ángulo, que tendrá que ser igual al que tenga el cilindro una vez montado en la estructura final. El ángulo con el que se va a trabajar es de 11 grados, ya que, si imponemos un grado mayor, necesitaremos elevar mucho sobre el bastidor central las orejetas de sujeción del cilindro. De esta forma, podremos obtener la fuerza a la que está sometido el cilindro durante el ritmo de trabajo. Es decir, el cálculo de dicho cilindro no se analizará para el plegado de la estructura, si no para la situación más desfavorable en la que serán los esfuerzos de los brazos serán los que hagan trabajar al cilindro a tracción. Ante esta reacción, el cilindro tendrá que trabajar en la cámara de retroceso, para contrarrestar dicha fuerza y, por lo tanto, el estudio nos determinará el diámetro del vástago de dicho cilindro.

Cuando éste realice la labor de plegar la estructura, trabajará en la cara de expansión y, como su sección es mayor a la cara de retroceso analizada, el cilindro estará sobredimensionado, no teniendo así problemas en el caso de tener que reforzar la estructura simplificada.

Por lo tanto, la estructura simplificada queda de la siguiente manera:

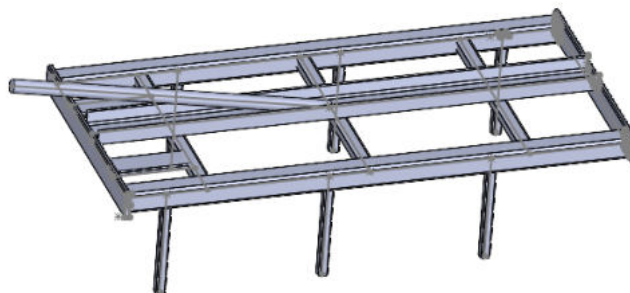


Ilustración 33. Estructura inicial para la simulación.

Sobre esta estructura, aplicaremos las cargas ya calculadas, así como las condiciones de contorno, es decir, sus sujeciones. De esta forma, variando dichas condiciones, podremos determinar las reacciones necesarias para el dimensionado de los elementos.

Para todas las simulaciones del trabajo, aplicaremos **la fuerza de la gravedad**. El acero usado para todos los elementos, salvo aquellos que se especifique lo contrario, será el **S460N**.

6. Cálculos.

6.1. Dimensionado del cilindro hidráulico para el plegado de la estructura.

Para poder escoger el cilindro hidráulico adecuado para el plegado de nuestros bastidores abatibles, necesitamos conocer la fuerza que ejerce este. Para ello, usaremos la simulación inicial, imponiendo condiciones de contorno sobre la barra maciza rígida, que simula al cilindro en su posición final. La estructura con todas las cargas y condiciones aplicadas queda de la siguiente manera.

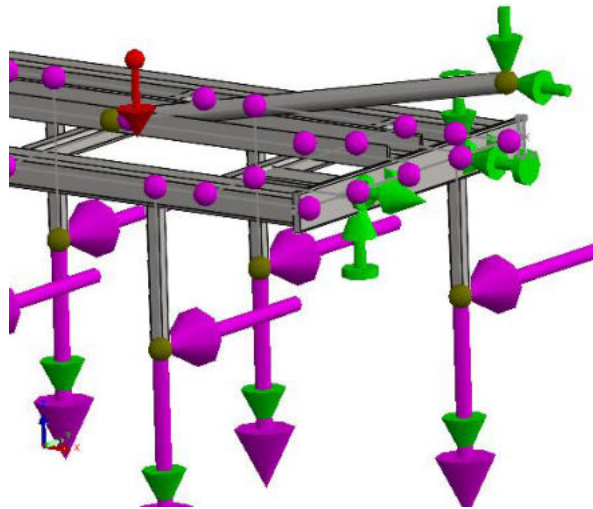


Ilustración 34. Estructura con condiciones de apoyo para determinar la fuerza del cilindro.

Realizada la simulación, obtenemos el trazado de la fuerza axial que actúa sobre dicho elemento. Como era de esperar, es una fuerza constante a lo largo del vástago puesto que es una barra recta. **Su magnitud es de 94630 Newtons.**

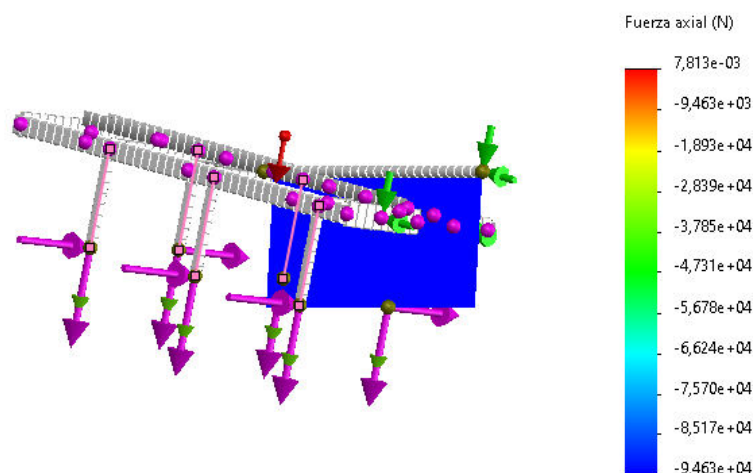


Ilustración 35. Fuerza axial desarrollada por el cilindro hidráulico.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Como el aplicador es simétrico, es indiferente el lado que analicemos ya que el resultado es el mismo.

Una vez conocida la fuerza que tiene que realizar este cilindro, vamos a determinar el diámetro que debe tener. Para ello, debemos tener en cuenta que dicha fuerza se ejerce con el cilindro estirado. Por lo tanto, si el cilindro está estirado y al mismo tiempo está sometido a una fuerza de tracción, dicha fuerza se ejerce en la cámara de retroceso del cilindro, por lo que el área total, será la diferencia entre el área del émbolo y el área del vástago.

Por otro lado, vamos a considerar que las irregularidades del terreno pueden invertir la fuerza de tracción que hace el cilindro. Es decir, podemos tener algún esfuerzo puntual que haga que el cilindro trabaje a compresión y, por lo tanto, la fuerza se aplicaría en la cámara de avance del cilindro, por lo que necesitamos calcular el diámetro que necesitaríamos en ambos casos. Vamos a considerar que dicho esfuerzo puntual, supone la misma fuerza de tracción, pero de sentido contrario, es decir, una fuerza de compresión de 94630 N.

Como la cámara de retroceso tiene una sección mucho menor a la cámara de avance y hemos considerado que el esfuerzo que actuaría en los casos de tracción y compresión sería el mismo, vamos a dimensionar el cilindro para el caso más desfavorable, es decir, para el caso en el que el cilindro trabaja desde la cámara de retroceso.

Teniendo todas estas pautas en consideración, abordamos el cálculo del diámetro del cilindro de una forma iterativa. Partimos de unos diámetros de émbolo y vástago normalizados y obtenemos la fuerza máxima que son capaces de desarrollar. Seguimos este proceso hasta que dicha fuerza máxima es superior a nuestra fuerza de trabajo.

Tras dos iteraciones, llegamos a un cilindro de diámetro de émbolo de 100mm y un diámetro de vástago de 50mm. Para completar su geometría, acudiremos a la tabla de los anexos, teniendo en cuenta que su referencia es 706/5. Como bien hemos calculado, la fuerza máxima capaz de desarrollar el cilindro escogido es de 117809,72 Newtons, bastante superior a los 94630 Newtons de trabajo.

El desarrollo de estos cálculos lo encontramos en el ANEXO 3.3.

6.2. Dimensionado orejetas de sujeción para el cilindro.

6.2.1. Determinación del espesor.

Para el dimensionamiento de las orejetas, vamos a considerar la fuerza máxima que puede realizar el cilindro seleccionado, y no la fuerza que está realizando en las condiciones de trabajo. Esta fuerza máxima, será en la dirección de avance del cilindro, por lo que, para su área, consideraremos únicamente el diámetro del émbolo. Así, su máxima fuerza será:

$$F_{m\acute{a}x} = P * A = \frac{200}{10} * 7853,98 = \mathbf{157079\ N}$$

Para las orejetas usaremos el acero F1250, con una tensión de fluencia, $\sigma_f = 355\ MPa$.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A la vista del siguiente esquema, nos centraremos en el dimensionado del espesor e_2 , ya que el espesor e_1 nos viene dado con el cilindro ya seleccionado. Así, será dimensionado para soportar el aplastamiento.

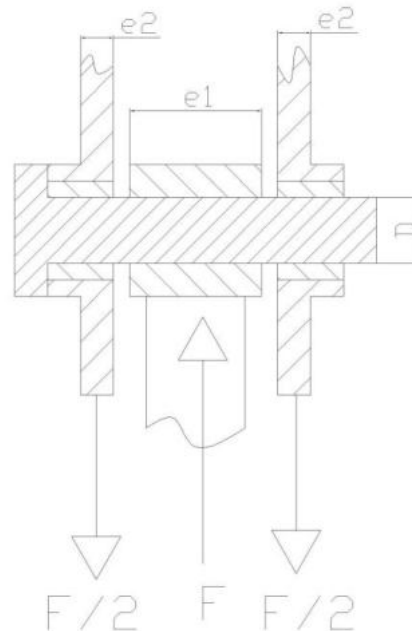


Ilustración 36. Ensamblaje del cilindro en las orejetas correspondientes.

Con la selección del cilindro, aparte de quedar determinado el espesor e_1 , también nos viene marcado el diámetro de dicho casquillo. Así, tenemos también el diámetro necesario para el bulón que sujetará al cilindro con las orejetas. Dicho diámetro del cilindro seleccionado es de 30,5mm.

Como al fin y al cabo estamos diseñando un complemento para añadir a la parte trasera de la cuba, no nos conviene que sea demasiado pesado por lo que marcaremos un **coeficiente de seguridad mínimo para todo el trabajo de 1,5**.

Con estos parámetros establecidos, el objetivo es escoger un material también para el bulón y ver si supera o no este factor de seguridad. Si es así, nos centraremos en el dimensionado de las orejetas. El material escogido para los bulones será el mismo, es decir, el acero F1250.

Así, para comprobar en primer lugar el bulón por aplastamiento, determinamos los planos de cortadura, que como podemos observar en el esquema anterior, son 2. Siguiendo los cálculos desarrollados en el ANEXO 3.4, con el material escogido y el diámetro determinado para el bulón, llegamos a un **coeficiente de seguridad de 1,63**, por lo tanto, al ser superior al 1,5; damos por correcto el dimensionado del bulón.

Por lo tanto, vamos a proceder a la determinación del espesor de la orejeta considerando también la fuerza máxima que desarrolla el cilindro en su cámara de avance, pero en este caso,

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

como el cilindro aplica dicha fuerza en dos orejetas por cada lado, la fuerza máxima aplicada sobre cada una de estas orejetas será la mitad de la fuerza máxima desarrollada por el cilindro.

Este cálculo desarrollado en el anexo consiste en igualar dos ecuaciones, imponer un coeficiente de seguridad y despejar el espesor de esta. Aunque hemos comentado que el coeficiente de seguridad mínimo requerido para el trabajo es de 1,5; en un caso como el de ahora en el que tenemos que imponer nosotros un coeficiente de seguridad, impondremos un valor de 2 para no ir ajustados al límite de este coeficiente. Con este coeficiente de seguridad, la tensión de fluencia del material escogido y la fuerza máxima aplicada en cada orejeta, llegamos a un **espesor mínimo de 14,5mm**. A la vista de este resultado y por cuestiones de diseño que veremos en el ensamblaje final, optamos por un **espesor de 15mm**, con el fin de buscar un mayor reparto de tensiones en la unión de esta a los bastidores.

6.2.2. Cálculo a flexión para determinar sus dimensiones.

Una vez hemos determinado el espesor para las orejetas de sujeción del cilindro hidráulico, queda por determinar el resto de la geometría de estas. Cabe recordar que, las orejetas que irán en el bastidor fijo serán más altas que las del bastidor plegable. Esto se debe a que necesitamos mantener los 11 grados de inclinación del vástago cuando el cilindro está completamente estirado. Así, entre las orejetas del bastidor plegable y fijo, serán estas últimas las que tendrán mayor problema a la hora de soportar las cargas ya que tendrán mayor altura. Por lo tanto, serán estas orejetas situadas en el bastidor fijo las que vamos a analizar.

Para determinar el resto de las dimensiones, propondremos un diseño y lo analizaremos desde el punto de vista de la flexión, siendo el acero F1250 el utilizado.

El diseño propuesto inicialmente es el siguiente:

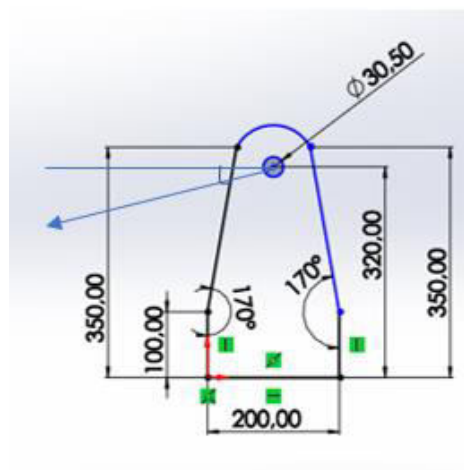


Ilustración 37. Diseño propuesto para la orejeta de sujeción del cilindro en el bastidor fijo.

Podemos observar así que la fuerza del cilindro se aplicará a una altura de 320mm y con un ángulo de 11 grados respecto a la horizontal. Con todos los parámetros establecidos,

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

aplicamos el cálculo a flexión mediante la siguiente fórmula, con el objetivo de determinar la tensión a la que está sometida la orejeta.

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A}$$

Una vez determinada la tensión máxima a la que estaría sometida la orejeta, la compararemos con la tensión de fluencia del material escogido, obteniendo así el coeficiente de seguridad del elemento.

Una vez desarrollados los cálculos en el anexo, llegamos a un coeficiente de seguridad de 1,45 para el diseño inicial. Como este es inferior al límite inferior establecido para este trabajo de 1,5, el diseño no es válido. Para poder aumentarlo, vamos a proponer un nuevo diseño con una base mayor, por lo que pasaremos de los 200mm iniciales a los 300mm. El diseño queda de la siguiente manera:

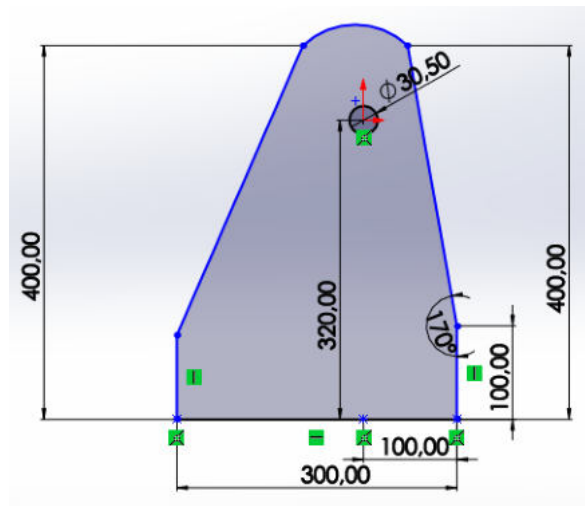


Ilustración 38. Rediseño de la orejeta para el cilindro hidráulico.

Con este rediseño de la base, realizamos las mismas operaciones anteriores, recalculando la tensión de trabajo de la orejeta. Como era de esperar, esta tensión ha disminuido, obteniéndose ahora un coeficiente de seguridad de 3,14.

Para la orejeta opuesta, es decir, para la que va alojada en el bastidor plegable, se sobreentiende que resistirá a flexión puesto que su altura es mucho menor a esta orejeta calculada. Aun así, como su base también es inferior, vamos a comprobar el coeficiente de seguridad al que estaría trabajando. Para ello, partiendo del diseño propuesto, aplicamos las mismas ecuaciones y obtenemos un coeficiente de seguridad de 4,77; como era de esperar, aunque su base es inferior, al tener mucha menos altura conseguimos un coeficiente de seguridad mucho mayor.

Por lo tanto, el diseño final de cada una de las orejetas para la sujeción del cilindro hidráulico es el siguiente, teniendo en cuenta que como tenemos dos bastidores plegables, necesitaremos dos cilindros hidráulicos y, por lo tanto, cuatro orejetas de cada tipo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

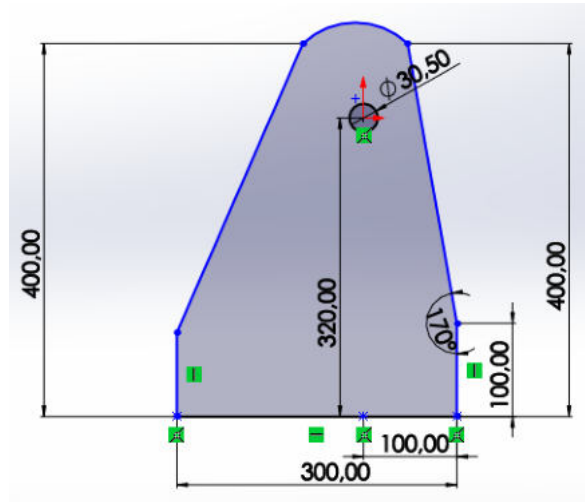


Ilustración 39. Orejeta para sujeción del cilindro hidráulico alojada en el bastidor fijo.

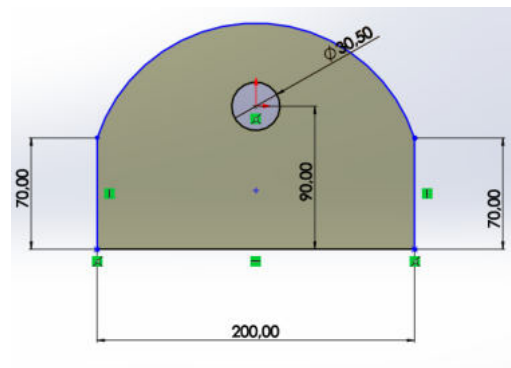


Ilustración 40. Orejeta para sujeción del cilindro hidráulico alojada en el bastidor plegable.

6.3. Orejetas para el giro del bastidor.

6.3.1. Cálculo del bulón para las orejetas de giro

Antes de diseñar y calcular las orejetas para permitir el giro del bastidor, necesitamos dimensionar y calcular el bulón para permitir este giro. Vamos a considerar un bulón de diámetro 30,5mm ya que, como hemos comentado anteriormente, uno de los objetivos de este trabajo es unificar las dimensiones de los elementos que son intercambiables con el fin de simplificar sus posibles sustituciones. Además, este bulón será del mismo material que los anteriores bulones, es decir, del acero F1250 con una $\sigma_f = 355 \text{ MPa}$.

Tal como hemos desarrollado en los anexos, volvemos a utilizar el esquema simplificado inicial para, mediante los cambios comentados en las condiciones de apoyos, determinar la fuerza a la que estaría sometido el bulón en las condiciones de trabajo. Como los bulones están sometidos únicamente a tensión cortante, vamos a analizar su comportamiento mediante la teoría del Cortante Máximo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Así mismo, como vamos a introducir dos apoyos en cada bastidor, es decir, los bastidores plegables estarán unidos al fijo mediante dos apoyos cada uno. De esta manera, aunque los bastidores izquierdo y derecho son simétricos, el esfuerzo en cada apoyo dentro del mismo bastidor es diferente. Así, necesitamos obtener las reacciones en cada uno de esos dos apoyos para determinar en cada uno de estos la máxima fuerza en cada una de las direcciones que producen la tensión cortante.

Con los resultados obtenidos, somos capaces de analizar el comportamiento del bulón con los parámetros establecidos.

Para determinar la fuerza cortante de este, liberamos la dirección Y, en uno de los apoyos y obtenemos en ese, la fuerza resultante, manteniendo el otro fijo en las 3 direcciones principales. Una vez determinada, hacemos lo mismo con el otro apoyo, pudiendo ver así en cuál de los dos obtenemos una fuerza resultante mayor.

Los resultados obtenidos para cada uno de los dos apoyos son los siguientes:

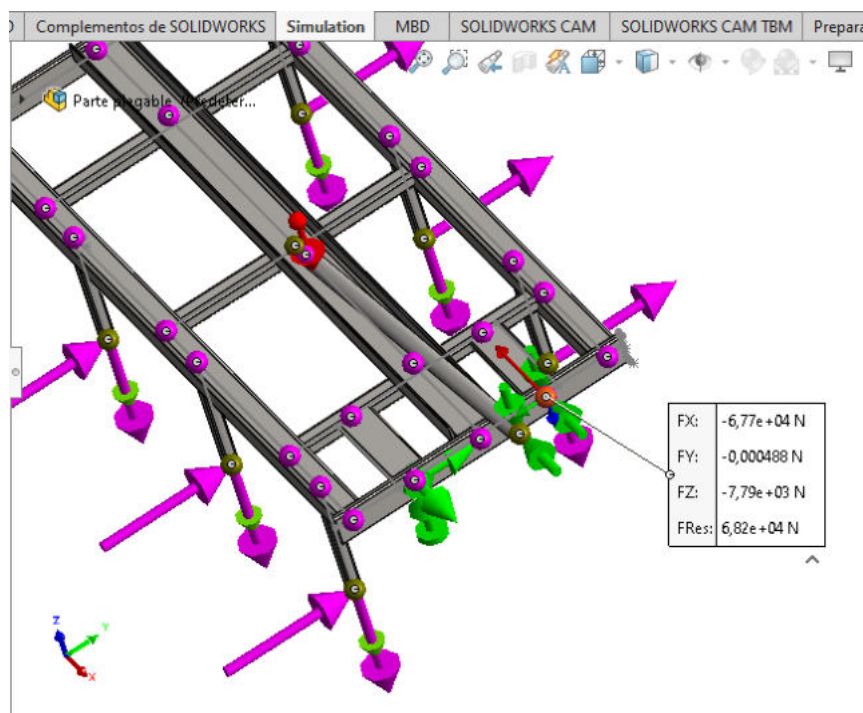


Ilustración 41. Resultados fuerza cortante en el apoyo derecho.

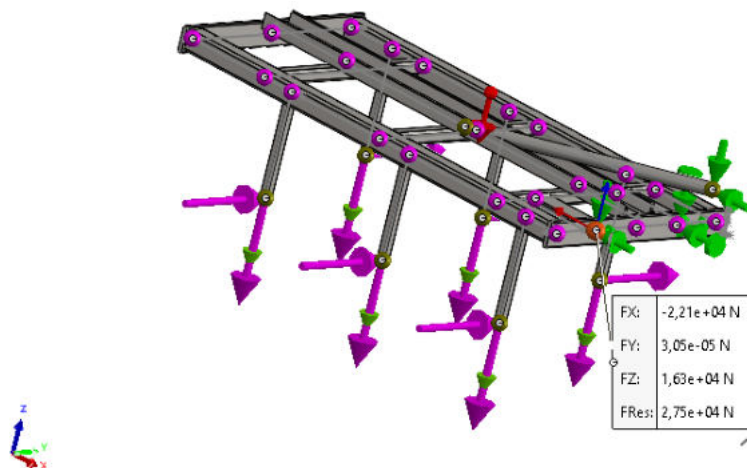


Ilustración 42. Resultados fuerza cortante en apoyo izquierdo.

A la vista de estos resultados, determinamos que la fuerza resultante máxima es de 68200 Newtons, la cual usaremos para obtener la tensión cortante máxima. Antes de determinarla, necesitamos conocer los planos de cortadura del bulón. Como hemos comentado, vamos a incorporar 2 orejetas por bastidor en cada punto de apoyo, de tal forma que, como podemos observar, tendríamos dos planos de cortadura para cada bulón.

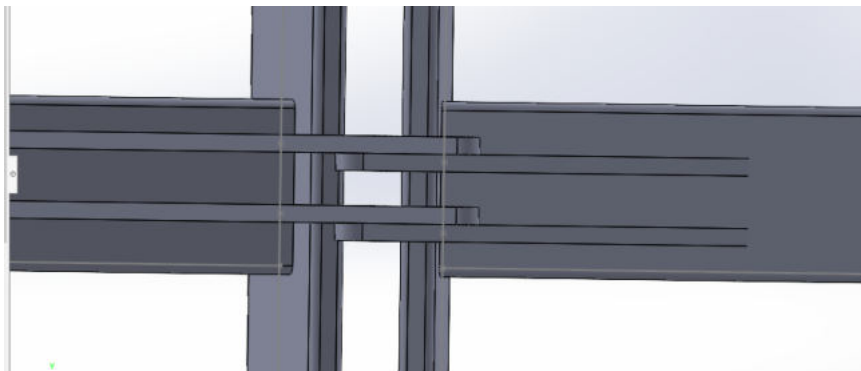


Ilustración 43. Planos de cortadura para el bulón de giro.

Así, con todas las consideraciones llevadas a cabo en el ANEXO 3.5.1, obtenemos la tensión cortante máxima:

$$\tau_{xz} = 46,67 \text{ MPa}$$

Una vez obtenida la tensión compuesta, podemos calcular el **coeficiente de seguridad del bulón analizado, siendo este de 3,8**, superando con creces el valor límite de 1,5.

Por lo tanto, podemos determinar que tanto la elección del material como del diámetro del bulón utilizado para permitir el giro entre los bastidores plegables y el fijo ha sido correcta.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

6.2.3. Diseño y cálculo de las orejetas para el giro

Esta orejeta será la encargada de alojar el bulón anterior, es decir, será la encargada de permitir el giro de los cuerpos plegables. El diseño propuesto es el siguiente, de forma que se adapte al diseño del bastidor.

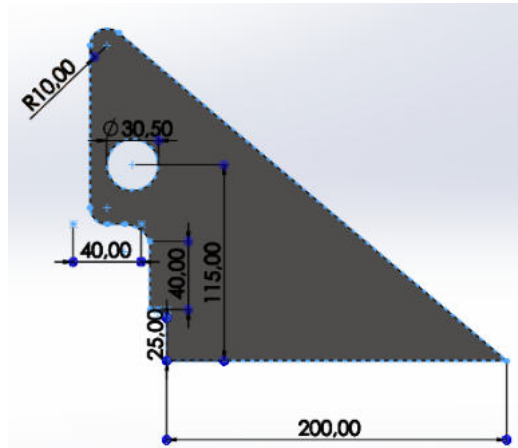


Ilustración 44. Diseño propuesto para la orejeta del giro de los bastidores.

Si trasladamos las reacciones obtenidas en nuestro esquema simplificado a esta orejeta, tenemos los siguientes esfuerzos sobre estas, teniendo en cuenta los ejes de dicho esquema:

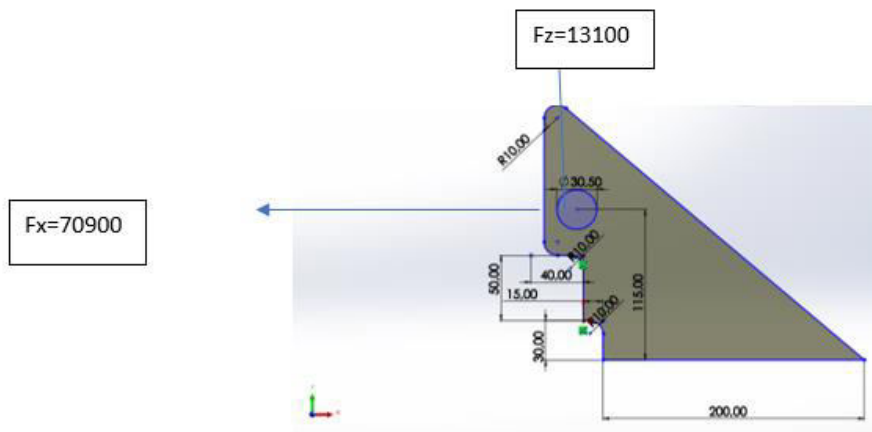


Ilustración 45. Reacciones en eje X y Z de la orejeta.

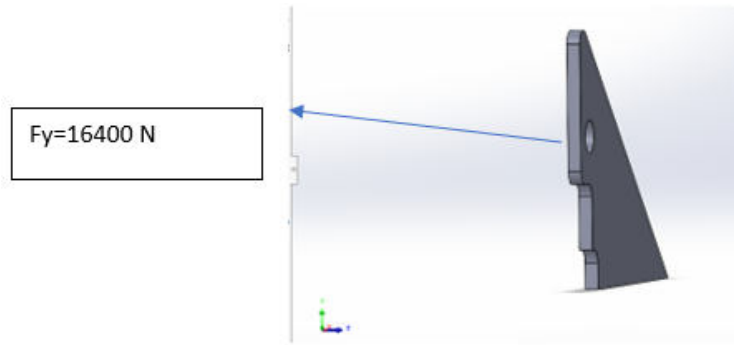


Ilustración 46. Reacción en eje Y de la orejeta.

Como podemos observar, en dicho punto de giro, tenemos una fuerza que nos generará un esfuerzo axial sobre esta, y luego dos fuerzas que nos generarán flexión en dos planos. La fuerza en x, que obtenemos del Solid, nos generará axial, la fuerza en Y, flexión en el plano Z; y la fuerza Z, flexión en el plano Y.

Teniendo en cuenta las siguientes reacciones, vamos a determinar el espesor de la orejeta.

$$F_x = 70900 \text{ N}$$

$$F_y = 16400 \text{ N}$$

$$F_z = 13100 \text{ N}$$

Cabe recordar que estas reacciones obtenidas habrá que dividir las entre las dos orejetas que tendremos en cada apoyo del bastidor.

Para determinar el espesor de estas orejetas vamos a aplicar el cálculo a flexión en las dos direcciones de actuación de las cargas, es decir, en la dirección Y y Z.

De esta forma, y tal como hemos hecho en las orejetas anteriores, vamos a aplicar las ecuaciones para el cálculo a flexión en función del espesor de esta orejeta. Como hemos comentado, esto lo haremos para las dos direcciones principales, obteniendo así un espesor que satisfaga las sollicitaciones de ambos.

Recordamos que el material utilizado es el mismo que para las anteriores orejetas, es decir, acero F1250 y que, a su vez, imponemos a la ecuación un factor de seguridad de 2.

Siguiendo con las operaciones llevadas a cabo en el ANEXO 3.5.2, llegamos a un espesor de 13,46mm, por lo que escogeríamos un **espesor de 14mm**.

7. Bastidor plegable.

Una vez dimensionados y calculados los elementos que forman cada uno de los bastidores plegables, procedemos a su simulación. Cabe destacar que, los cálculos realizados se han desarrollado a partir de un esquema simplificado, en el que se han obtenido las fuerzas para los cálculos en las juntas de dicho esquema. Una vez ensamblado el bastidor, dichas fuerzas no se aplicarán en las juntas si no en cada una de las orejetas dimensionadas, por lo que las reacciones sobre cada una de ellas pueden ser ligeramente diferentes. Es por ello por lo que, una vez ensamblados todos los componentes en el bastidor, optamos por realizar un estudio estático sobre dicho bastidor, con el objetivo de ver si necesitamos reforzar alguno de los componentes de la estructura.

7.1. Ensamblaje del brazo de la reja.

El último paso antes de la simulación del bastidor plegable consiste en ensamblar el brazo de la reja junto a su sistema de seguridad para solventar cualquier impedimento del terreno. Como hemos comentado inicialmente, el sistema de seguridad escogido será el de los elastómeros de poliuretano. Así, tanto estos elastómeros como el resto del amarre del brazo al bastidor no se calcularán ya que se optará por adquirirlo al proveedor OVLAC, fabricante de nuestro cultivador de referencia.

En las siguientes imágenes podemos observar el sistema de brazo que queremos incorporar, por lo que vamos a llevarlo a SolidWorks para implementarlo en los bastidores

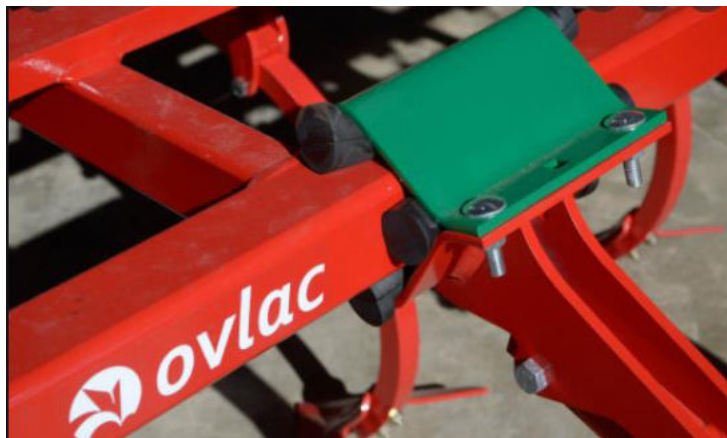


Ilustración 47. Detalle de los elastómeros.



Ilustración 48. Ensamblaje de los brazos en la estructura.

Siguiendo la geometría del brazo comentada en los anexos, y el resto de los soportes para el brazo de nuestro cultivador de referencia, desarrollamos el siguiente ensamblaje del brazo.

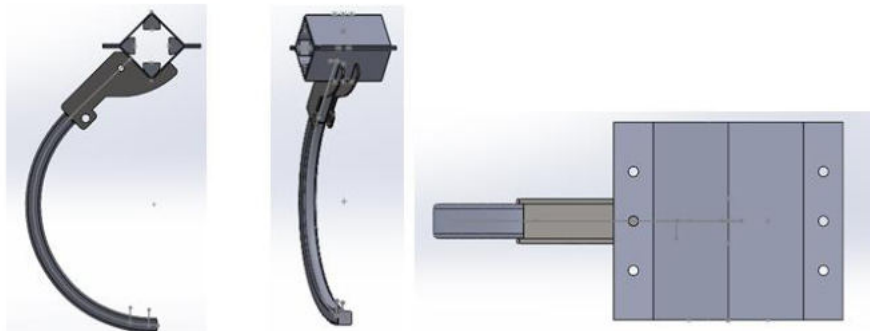


Ilustración 49. Ensamblaje del brazo para la simulación.

7.2. Ensamblaje final.

Una vez dibujados todos los componentes principales que forman la estructura del bastidor, incluyendo también las cuchillas para las rejas seleccionadas, procedemos a su ensamblaje final, obteniendo el siguiente resultado:

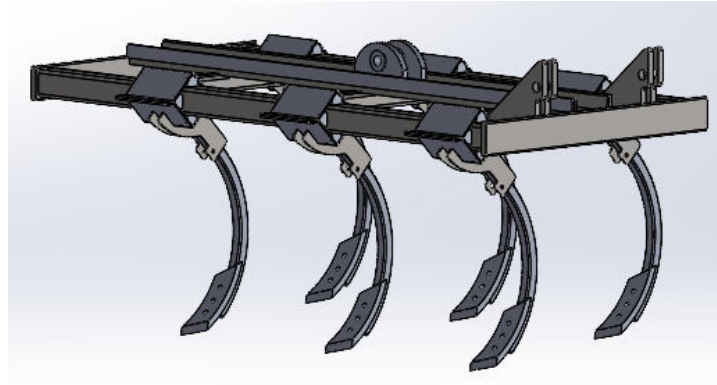


Ilustración 50. Ensamblaje final del bastidor plegable.

7.3. Simulación.

Siguiendo las indicaciones del ANEXO 4, una vez definido el material para cada uno de los elementos y aplicando las cargas y sujeciones, procedemos a la simulación del bastidor, obtenemos los siguientes resultados.

7.3.1. Factor de seguridad.

En esta sección, vamos a comprobar el factor de seguridad de la estructura ensamblada, teniendo en cuenta lo aplicado durante el trabajo, es decir, buscamos un factor de seguridad superior al 1,5.

Así, obtenemos el resultado de este:

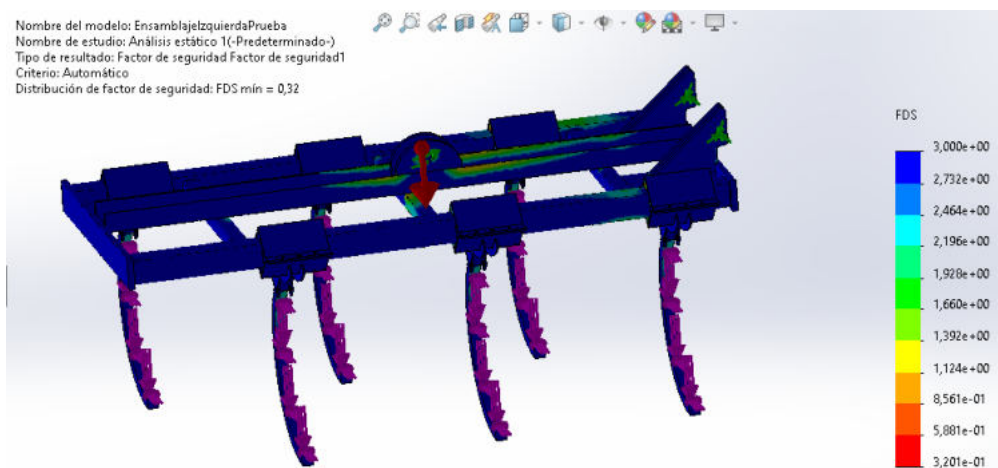


Ilustración 51. Factor de seguridad de la estructura previo a las modificaciones.

Como podemos observar, a partir del color verde hacia el azul, estaríamos por encima de nuestro coeficiente de seguridad mínimo. En cambio, tenemos zonas que están por debajo y, que, por lo tanto, tenemos que analizar y modificar.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Una de esas zonas que está por debajo son los elastómeros de cada brazo, que, como podemos observar, estarían en la zona roja, es decir, con un coeficiente de seguridad mínimo de 0,32.

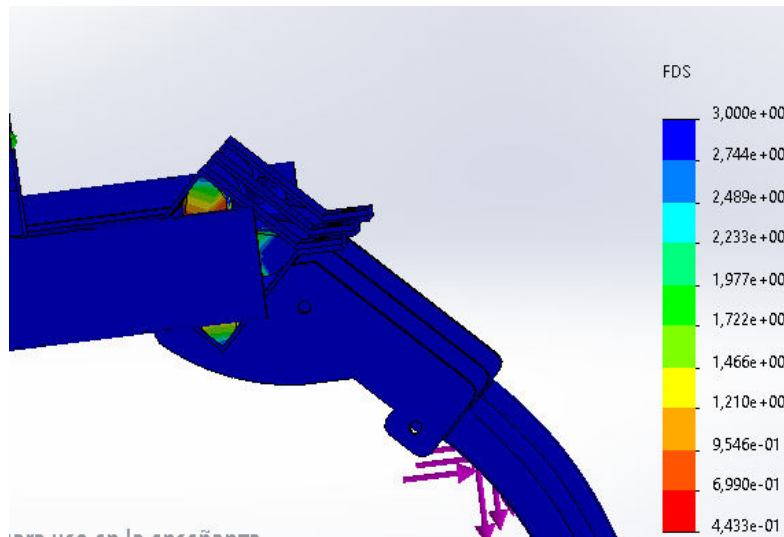


Ilustración 52. Factor de seguridad de los elastómeros.

En cambio, tal como hemos comentado a lo largo del trabajo, los elastómeros, son elementos comerciales que únicamente se han croquizado para introducirlos en la simulación, pero cuyo comportamiento no es competencia de este estudio. Además, hay que tener en cuenta que, el caucho es un elemento elastoplástico y se ha modelizado como un elemento elástico por lo que los resultados no son reales.

En la siguiente imagen podemos observar las otras zonas que estarían por debajo de nuestro factor de seguridad. Como estamos muy lejos de nuestro valor de referencia, entendemos que tenemos que reforzar aquellas zonas que más carga resisten y, por lo tanto, las que más sufren.

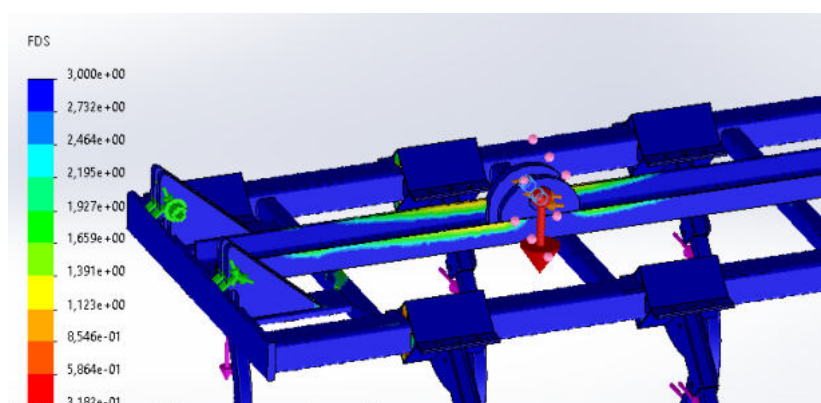


Ilustración 53. Zonas comprometidas en cuanto al factor de seguridad.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

De esta forma, vamos a aplicar soluciones individuales a cada uno de los elementos. Estas serán del tipo de aumentar el grosor, añadir refuerzos; siguiendo los cambios desarrollados en el ANEXO 4.2.5.

-Orejeta para el cilindro hidráulico inicial:

Como podemos observar, la zona cercana a cada uno de los orificios estaría con un coeficiente de seguridad alrededor del 1,3, siguiendo la escala de colores inicial.

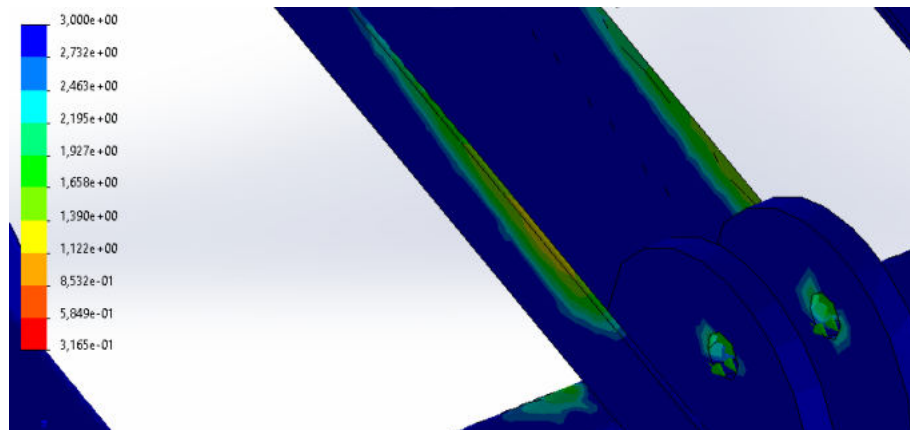


Ilustración 54. Factor de seguridad de la orejeta del cilindro previo a la modificación.

-Orejeta para el cilindro hidráulico modificada:

Tras el refuerzo aplicado, volvemos a calcular el estudio y observamos un incremento en el factor de seguridad en los orificios, siendo el mínimo del 2,47 aproximadamente. Por lo que la solución aportada ha sido correcta.

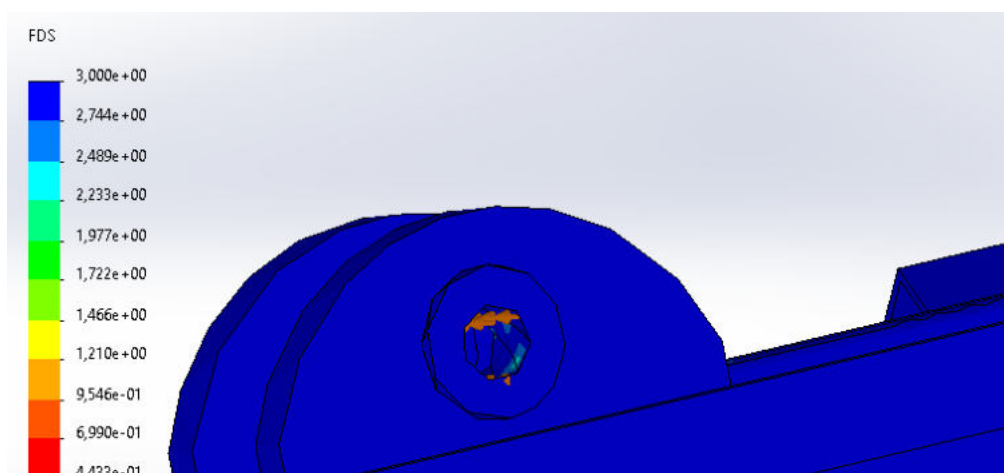


Ilustración 55. Factor de seguridad de la orejeta del cilindro posterior a la modificación.

-Barras transversales a la estructura iniciales:

Tal como hemos comentado a lo largo del trabajo, estas barras transversales que refuerzan los dos bastidores principales estaban compuestas por un tubo cuadrangular de sección 50x50x5.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Como podemos observar, en la parte superior de dichas vigas, tenemos algunas zonas con un factor de seguridad mínimo de 1,14 aproximadamente:

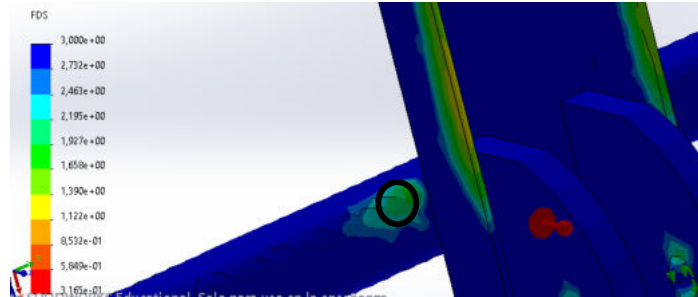


Ilustración 56. Factor de seguridad de las barras transversales previo a la modificación.

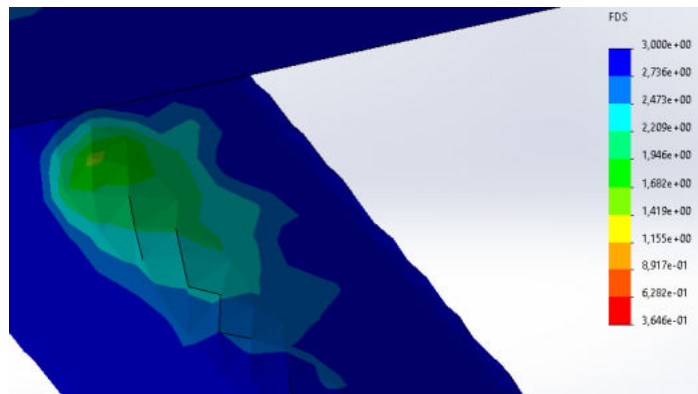


Ilustración 57. Detalle barra transversal.

En la parte inferior de estas vigas, tenemos un coeficiente de seguridad mínimo de 2,47 aproximadamente.

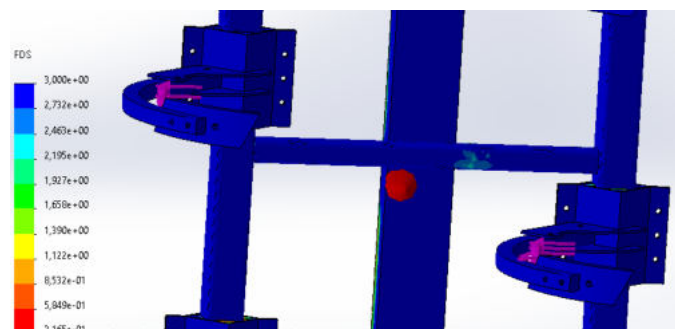


Ilustración 58. Factor de seguridad en la parte inferior de las barras transversales.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

-Barras transversales a la estructura modificadas:

Una vez modificada añadido el refuerzo sobre las 3 barras transversales que refuerzan la estructura, volvemos a calcular el ensamblaje, obteniendo el siguiente resultado:

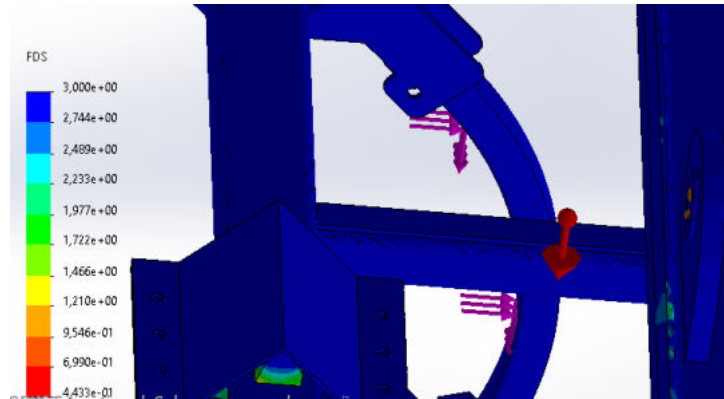


Ilustración 59. Factor de seguridad de las barras transversales posterior a la modificación.

Mediante dichos refuerzos, hemos aumentado el coeficiente de seguridad hasta algo más de 2 en la zona más crítica, por lo que la modificación ha sido correcta.

-Pletinas para apoyo de orejetas del giro del bastidor inicial:

Como podemos observar, en la sujeción de la pletina horizontal con la viga transversal tenemos dos zonas críticas que necesitamos mejorar y analizar. Por otro lado, aunque en la base de las orejetas no lleguemos al máximo facto de seguridad (3), estamos sobradamente por encima del mínimo por lo que no necesitamos mejorar el diseño.

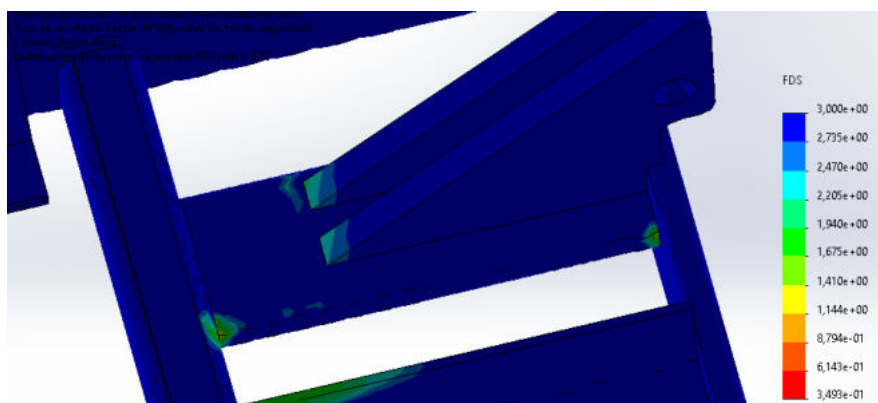


Ilustración 60. Factor de seguridad en las pletinas horizontales previo a la modificación.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

-Pletinas para apoyo de orejetas del giro del bastidor modificadas:

Con la solución aportada hemos reducido la tensión en la zona crítica aumentándose así el coeficiente de seguridad, llegando hasta 2,2 aproximadamente.

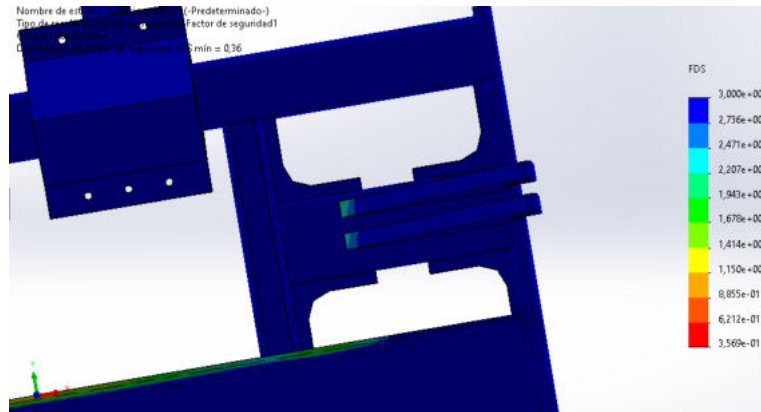


Ilustración 61. Factor de seguridad en las pletinas horizontales posterior a la modificación.

-Perfil en C del bastidor inicial:

A la vista de los resultados, el perfil en C sufre en parte de su perfil a lo largo de este, llegando en aquellas zonas rojas al coeficiente de seguridad mínimo, es decir, al 0,36.

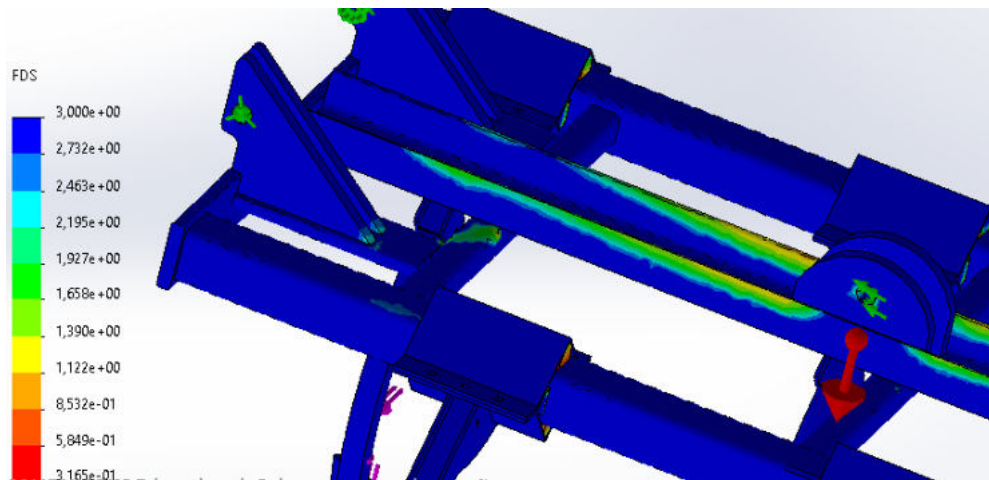


Ilustración 62. Factor de seguridad del perfil en C previo a la modificación.

-Perfil en C del bastidor modificado:

Tras la solución aplicada, hemos conseguido subir el coeficiente de seguridad hasta un mínimo en torno al 1,7, desapareciendo así las zonas más críticas.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

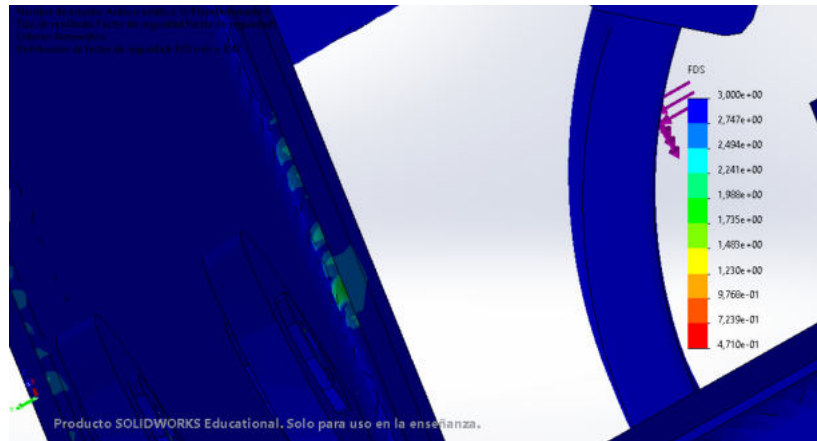


Ilustración 63. Factor de seguridad del perfil en C posterior a la modificación.

Con todas estas modificaciones aplicadas, podemos decir que tenemos una estructura apta para la carga de trabajo determinada y con coeficiente de seguridad superior al 1,5 en cada uno de los elementos que se van a fabricar.

7.3.2. Tensión de von Mises.

El resultado obtenido para las tensiones es el siguiente.

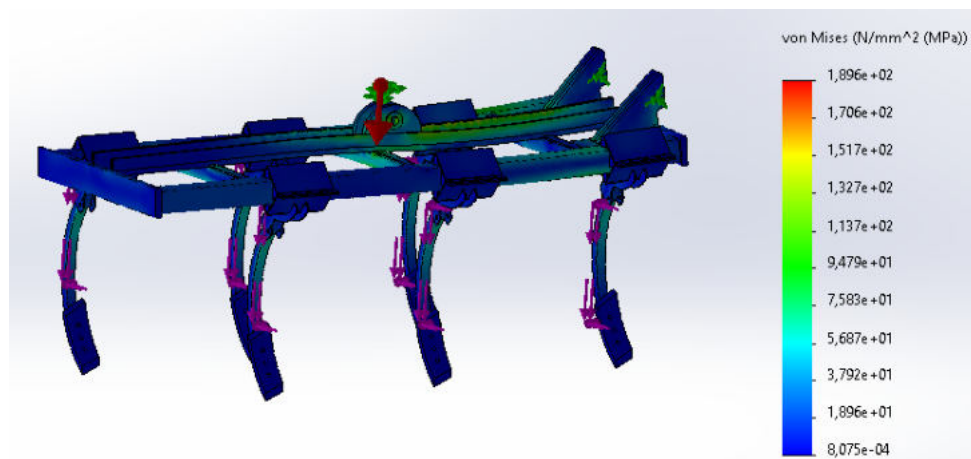


Ilustración 64. Tensión de von Mises para el bastidor plegable.

Como podemos observar, la tensión máxima es de 189,6MPa y se produce en unas pequeñas zonas del perfil en C, que como sabemos, refuerza toda la estructura de punta a punta. Este gráfico de tensiones explica el por qué hemos observado que el perfil en C no cumplía con el factor de seguridad mínimo requerido ya que es el perfil más cargado.

Salvo esa zona, podemos ver que el resto de la estructura está mucho más descargada en cuanto a tensiones se refiere.

7.3.3. Desplazamientos.

En esta sección vamos a observar los desplazamientos que se producen en la estructura durante las condiciones de trabajo.

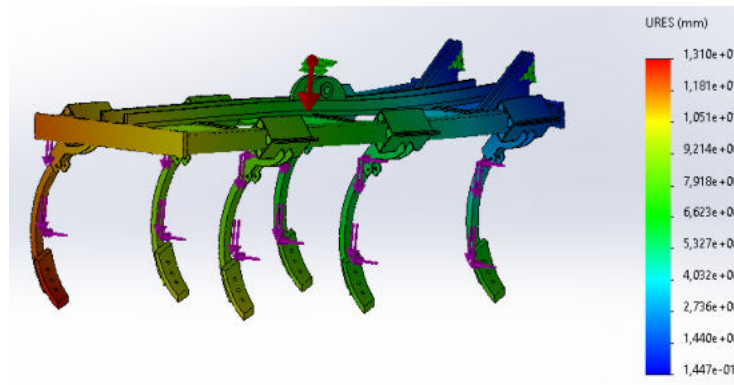


Ilustración 65. Desplazamientos del bastidor plegable.

En cuanto al bastidor se refiere, tenemos un desplazamiento máximo de 12mm aproximadamente. Cabe recordar que estamos analizando la situación de trabajo más desfavorable y es por eso por lo que no se ha considerado la rueda del control de profundidad para estos cálculos. Esta rueda hará que la estructura tenga un punto de apoyo en su parte más extrema, por lo que los desplazamientos del bastidor serán menores en condiciones normales de trabajo.

El desplazamiento máximo se produce en los extremos de los brazos de las rejillas, en la parte más externa del bastidor. Este máximo es de 13mm.

8. Distribuidor de purín.

8.1. Descripción.

Como bien hemos comentado a lo largo del trabajo, para una correcta dosificación del purín, así como para una aplicación uniforme, es necesario incluir un elemento que reparta el purín por cada una de las mangueras que van hasta cada uno de los brazos del aplicador de forma uniforme y constante. La mejor forma para obtener un resultado perfecto es mediante un distribuidor de purín activo, es decir, un dispositivo que va actuado por un motor hidráulico y que, mediante unos platos giratorios, deshace cualquier suciedad que puede haber en el purín, como por ejemplo alguna hierba, rama o algo similar; al mismo tiempo que reparte el purín por cada una de las mangueras.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Tal como hemos explicado al inicio del trabajo, hay muchas maneras de realizar esta distribución del purín, pero la experiencia propia nos dice que esta es la mejor, aunque también en la más cara.

Así, como el aplicador diseñado tiene 15 brazos, necesitamos un distribuidor con un mínimo de 15 agujeros. Estos, suelen tener un número de agujeros estándar, así que una vez montados, únicamente hay que tapar aquellos agujeros que no se van a utilizar.

El distribuidor es otro de los elementos que vamos a comprar, pero sí que vamos a diseñar y estudiar un soporte para este.

En primer lugar, vamos a seleccionar el distribuidor para el purín con un mínimo de 15 agujeros. Así, acudimos al fabricante JOSKIN del aplicador que nosotros poseemos y seleccionamos el distribuidor que más se aproxima a nuestras exigencias. El distribuidor escogido posee 20 salidas de purín, por lo que 5 de ellas habría que cerrarlas con un trozo de tubo ciego por el otro extremo. El hecho de tener más salidas de las necesarias no es preocupante y, además, puede venir bien a la hora de llevar cada manguera a su correspondiente reja, ya que podemos seleccionar la salida que más fácil esté para dicho montaje.

Una vez escogido el distribuidor, vamos a diseñar un soporte para este. Para ello, nos centraremos primero en el soporte del distribuidor de nuestro propio aplicador, ya que éste falló y se tuvo que reparar.



Ilustración 66. Soporte del aplicador de referencia a perfeccionar.



Ilustración 67. Detalle del soporte.

Como podemos observar en el detalle, nuestro distribuidor está sujeto al resto del aplicador únicamente por un lado de éste, por lo que trabaja en voladizo. Hay que recordar que, aunque el peso de purín que le llega a través de la manguera de alimentación desde la cuba es mínimo, este viaja con presión. Cuando la cuba está vacía, salen bocanadas de aire a través de ella, por lo que esta manguera tiende a moverse. Al tener el distribuidor en voladizo, estas sacudidas de la manguera una vez se ha vaciado la cuba, fuerzan al distribuidor, resquebrajando la unión al aplicador.

Para evitar eso, queremos optar por un soporte nuevo, que evite estos problemas.

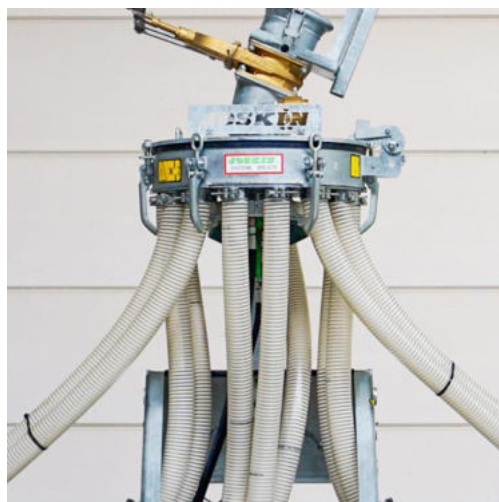


Ilustración 68. Distribuidor de purín a sujetar.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Dada su forma circular, y teniendo en cuenta que en su interior tenemos posicionado de forma vertical el motor hidráulico para el giro de las cuchillas internas, vamos a diseñar una base también circular, con un orificio central para alojar el motor hidráulico y con un diámetro externo menor al del resto de mangueras, de tal forma que éste, descansa sobre una superficie, y no sobre una parte pequeña de su circunferencia.

A su vez, de esta circunferencia partirán 4 patas de apoyo que son las que se sujetarán al cabezal de nuestro aplicador.

El diseño para analizar es el siguiente:

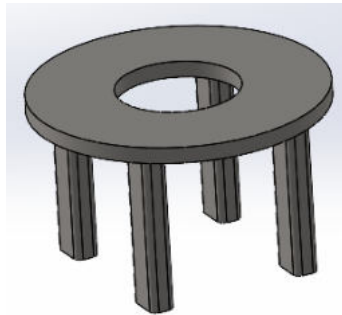


Ilustración 69. Diseño propuesto para el soporte del distribuidor

De esta forma, como las fuerzas que actúan sobre él son verticales y hacia abajo, con el diseño propuesto no tenemos el trabajo en voladizo del distribuidor. Así mismo, vamos a considerar el movimiento de la manguera de alimentación del distribuidor, de manera que consideraremos también una fuerza lateral sobre este soporte.

Siguiendo los cálculos desarrollados en el ANEXO 5, llegamos a un peso total de 2940 Newtons, y una fuerza horizontal de 1063N; que repartiremos por toda la superficie de nuestra base.

8.2. Resultados.

Tras proceder a la simulación, obtenemos los siguientes resultados:

8.2.1. Tensión de Von Mises.

Obtenemos una tensión máxima de 11MPa producida en la unión de la base con los apoyos, por lo que será un punto a tener en cuenta de cara al factor de seguridad del elemento.

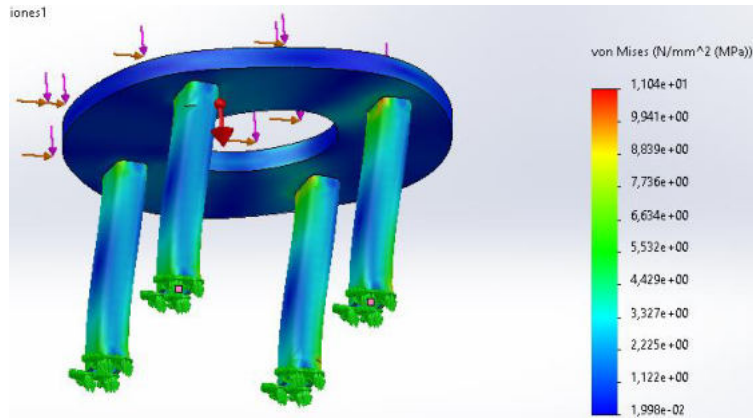


Ilustración 70. Tensión de von Mises en la parte inferior de la estructura de apoyo.

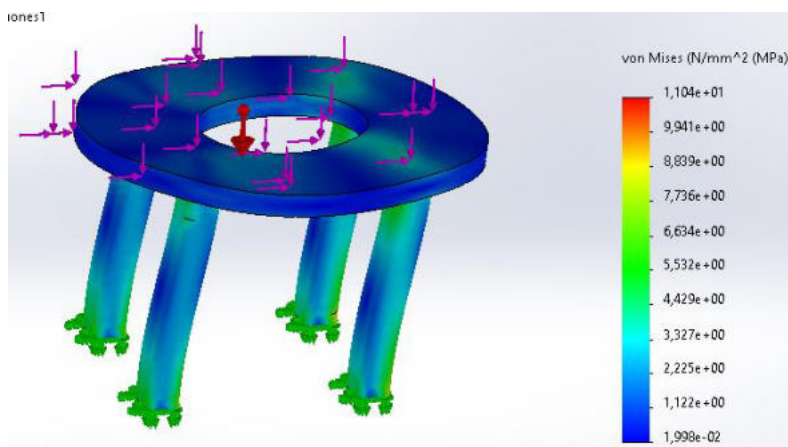


Ilustración 71. Tensión de von Mises en la parte superior de la estructura de apoyo.

8.2.2. Desplazamientos.

En cuanto a los desplazamientos, obtenemos un valor máximo de 0,024mm producido entre los apoyos. En este sentido, el diseño satisface nuestras exigencias ya que el objetivo de este rediseño de la base era evitar grandes desplazamientos que puedan romper a fatiga el soporte, tal como sucedió el en aplicador de referencia.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

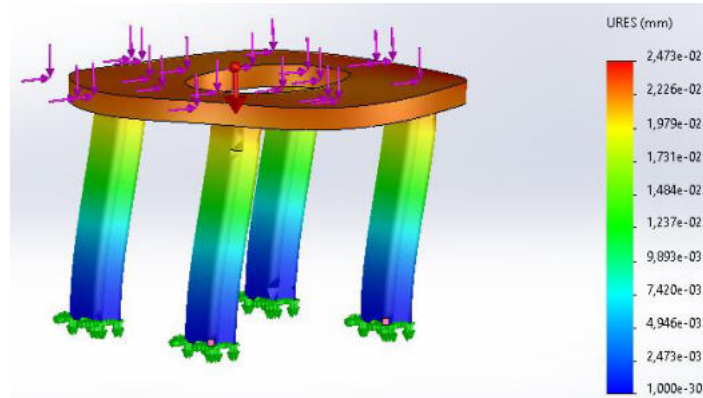


Ilustración 72. Desplazamientos en la base de apoyo del distribuidor.

8.2.3. Factor de seguridad.

En cuanto al factor de seguridad se refiere, tenemos un diseño que supera con creces nuestro valor límite de 1,5; por lo que no será necesario ningún rediseño.

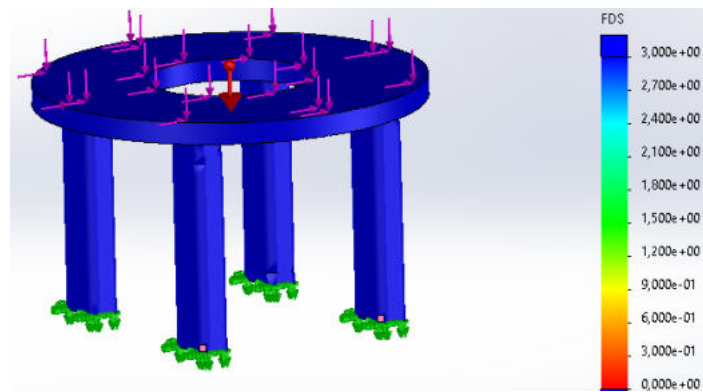


Ilustración 73. Factor de seguridad de la base de soporte propuesta.

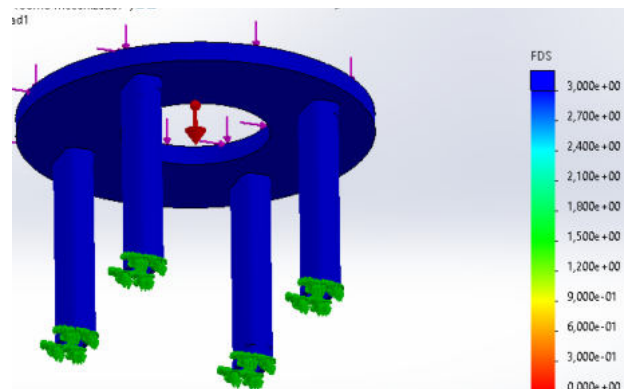


Ilustración 74. Factor de seguridad en la base del soporte.

9. Sistema de seguridad para el transporte.

9.1. Incorporado en bastidor fijo.

Como hemos comentado a lo largo del trabajo, la anchura total de trabajo de 4600mm hace que para su circulación sea necesario un plegado de los bastidores móviles, tal como se ha calculado en apartados anteriores. Así, una vez en carretera, tendríamos los dos bastidores plegados y sujetos por la presión de los cilindros hidráulicos principales. Para prevenir una posible pérdida de presión de estos cilindros o incluso un movimiento de estos debido a las condiciones del pavimento o de la misma circulación por carretera, vamos a proponer el diseño de un sistema de seguridad.

Este sistema al fin y al cabo tiene que contar con unos gatillos, accionados también por cilindros hidráulicos con el objetivo de amarrar los bastidores móviles al bastidor fijo de forma que no tengamos ningún elemento que pueda desplazarse por sí solo.

De esta forma, se opta por el diseño de unas vigas, unidas por un perfil en C, que será el encargado de alojar las orejetas para el sustento de los gatillos y los cilindros hidráulicos. A la vista del siguiente diseño, vamos a seguir los pasos llevados a cabo en el ANEXO 6 para calcular y comprobar si el diseño propuesto es válido. Así, tendremos que instalar otros dos pares de orejetas unidas con un bulón, cada uno de ellos en cada bastidor plegable, con el objetivo de que los gatillos se amarren a dichos bulones.

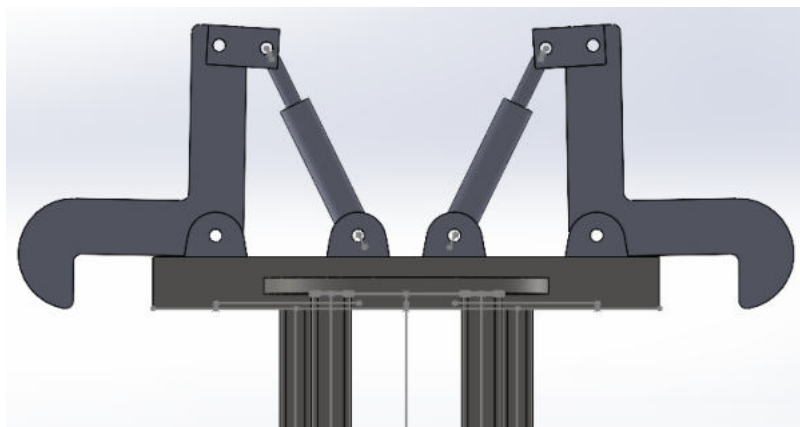


Ilustración 75. Diseño propuesto para el sistema de seguridad.

Una vez aplicadas todas y cada una de las condiciones de cargas, conexiones y apoyos, llevamos a cabo la simulación del diseño, obteniendo los siguientes resultados.

-Tensiones de Von Mises en MPa:

Como podemos observar en los resultados, el valor máximo de la tensión de von Mises es de **31,83 MPa**, encontrándose en la parte inferior del gatillo, como podemos observar en el detalle de este. Esta zona de máxima tensión era la esperada ya que es el punto más

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

desfavorable viendo la aplicación de la carga. Por tanto, será una zona a tener en cuenta para el resto de los resultados obtenidos.

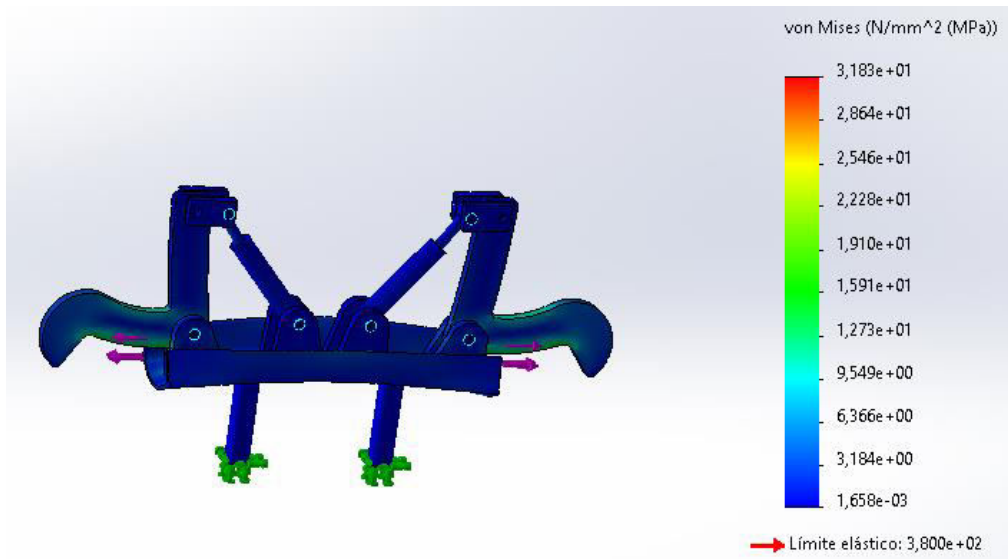


Ilustración 76. Tensión de von Mises para el sistema de seguridad.

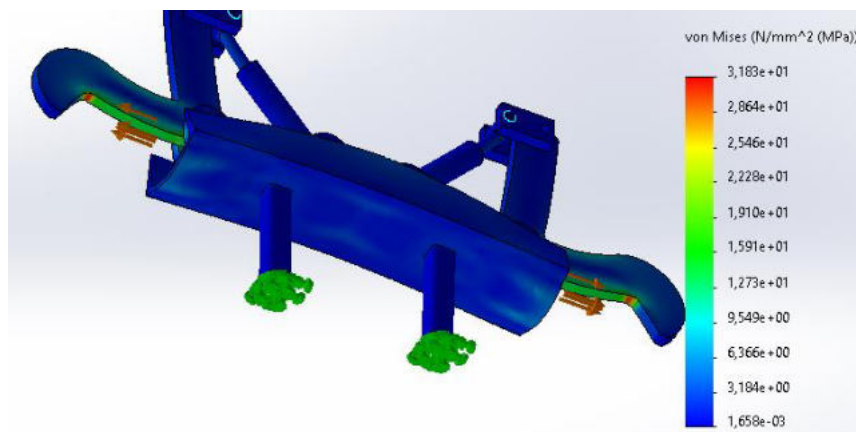


Ilustración 77. Zona de máxima tensión en el sistema de seguridad.

-Desplazamientos en mm:

A la vista de los resultados, obtenemos un desplazamiento máximo de 0,04 mm aproximadamente. Siguiendo el resultado anterior, al tener la zona de máxima deformación en el interior del gatillo, es lógico que ahora sea el extremo de éste el que más se desplaza, puesto que se ve coaccionado por la deformación anterior.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

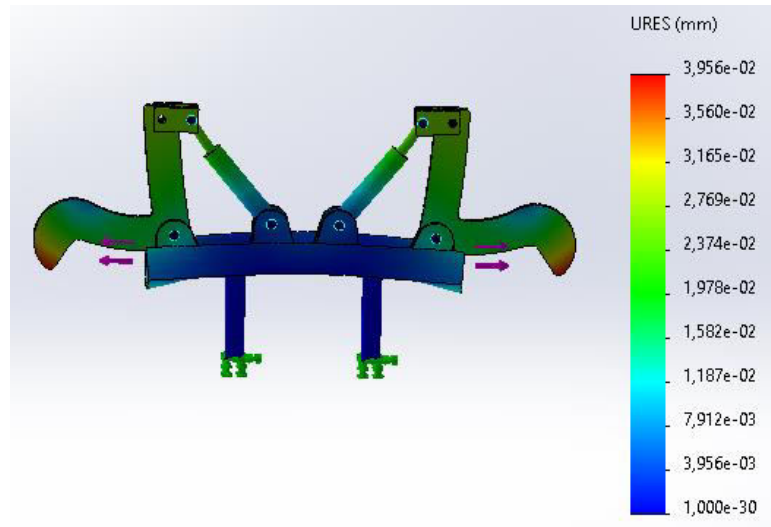


Ilustración 78. Desplazamientos para el sistema de seguridad.

-Factor de seguridad:

A la vista de los resultados, obtenemos un coeficiente de seguridad mínimo de 3, por lo que el diseño propuesto está por encima del límite inferior de 1,5 y, por lo tanto, lo consideraremos como válido.

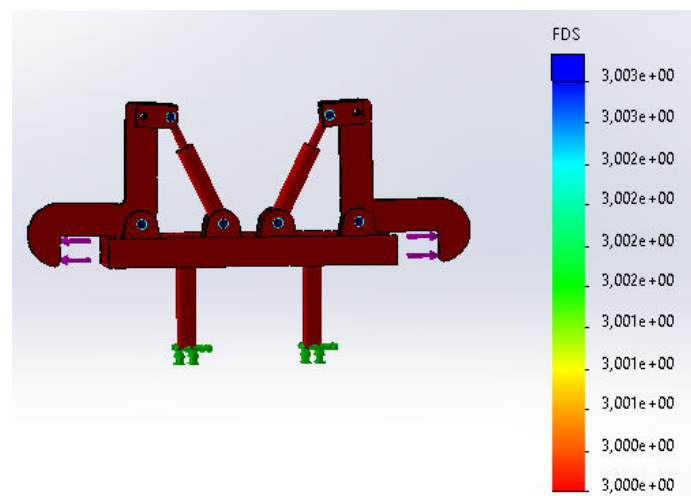


Ilustración 79. Factor de seguridad de la estructura de bloqueo.

9.2. Incorporado en bastidores plegables.

Para que los gatillos anteriormente diseñados sean capaces de amarrar los bastidores plegables, necesitamos incorporar en estos unos elementos de engatillamiento. Para ello, vamos a incorporar en la viga longitudinal trasera del bastidor, dos orejetas con un bulón, sobre el cuál se ejercerá la fuerza de amarre del gatillo. Con el fin de comprobar su dimensionado, se ha procedido a su simulación, llegando a los siguientes resultados.

-Tensión de von Mises en MPa.

Esta tensión máxima es de 35 MPa, y se encuentra en el bulón dónde se aplica la fuerza.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

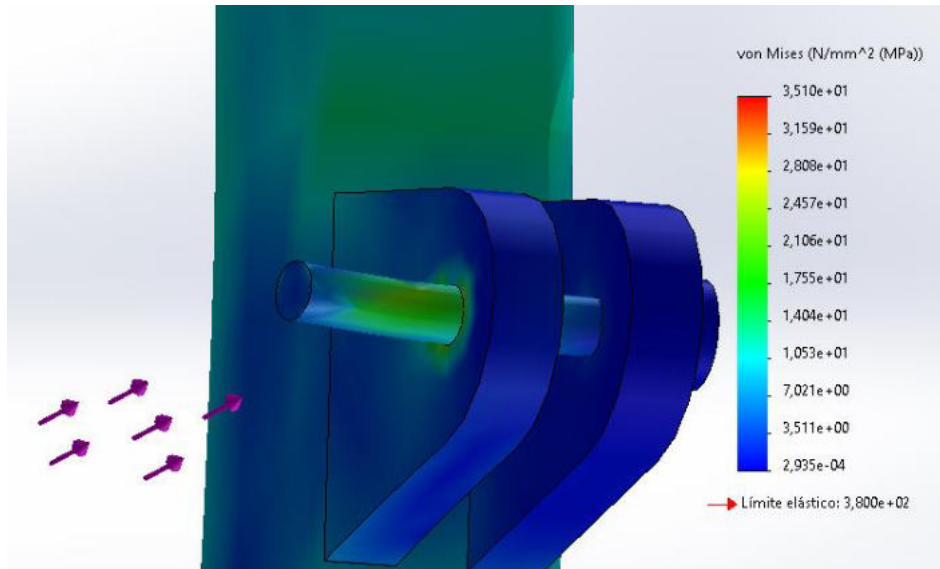


Ilustración 80. Tensión de von Mises en los elementos del amarre para el gatillo.

-Desplazamientos en mm.

Su valor máximo es de 0,4mm y, como era de esperar, se produce en la viga longitudinal dónde se sujeta dicho enclavamiento.

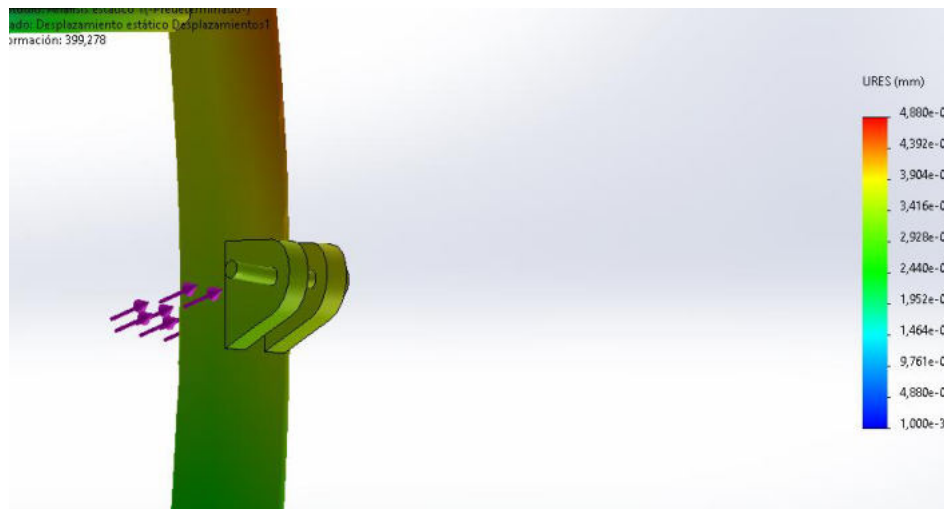


Ilustración 81. Desplazamientos del amarre para el gatillo.

-Factor de seguridad.

A la vista de los resultados, observamos que el factor de seguridad mínimo es de 10,82. Por lo tanto, tanto el diseño propuesto como el mismo bulón anterior de 16,2mm de diámetro superan con creces el valor límite inferior de 1,5.

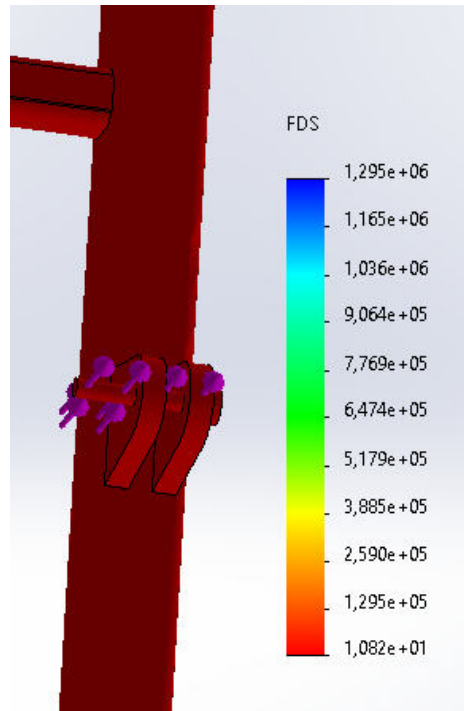


Ilustración 82. Factor de seguridad del amarre para el gatillo.

10. Bastidor fijo.

El bastidor fijo es la parte más importante del aplicador ya que es el encargado de soportar tanto los esfuerzos de los bastidores plegables como el resto de los elementos que componen dicho aplicador. Así mismo, incorporaremos en éste, el cabezal de enganche para su amarre en la parte trasera de la cuba, por lo tanto, es el bastidor que más solicitado estará. Intuyendo de antemano que sería el bastidor más solicitado, se ha propuesto un diseño del conjunto de tal forma que este bastidor, albergara el mínimo número de brazos de reja. De esta forma, y siguiendo con el diseño inicial de 4600mm de anchura de trabajo y 15 brazos, el bastidor fijo tiene una anchura de 860mm y 3 brazos de reja, dispuestos de forma que, en la viga longitudinal anterior, tenemos 1 brazo; y en la posterior, 2.

Tal y como hemos ido calculando a lo largo del trabajo, hemos analizado cada uno de los elementos más importantes que forman el aplicador, de forma que, salvo los elementos de enganche de este a la cisterna de purín, el resto de los elementos están analizados y dimensionados. Así, hemos optado por realizar el ensamblaje final de este bastidor fijo, incluyendo el diseño propio del cabezal de enganche y, mediante la reacción de todos los elementos analizados; comprobar el diseño del propio cabezal. Es decir, se realizará un estudio global del bastidor fijo para analizar el diseño del cabezal.

El diseño final de dicho bastidor es el siguiente.

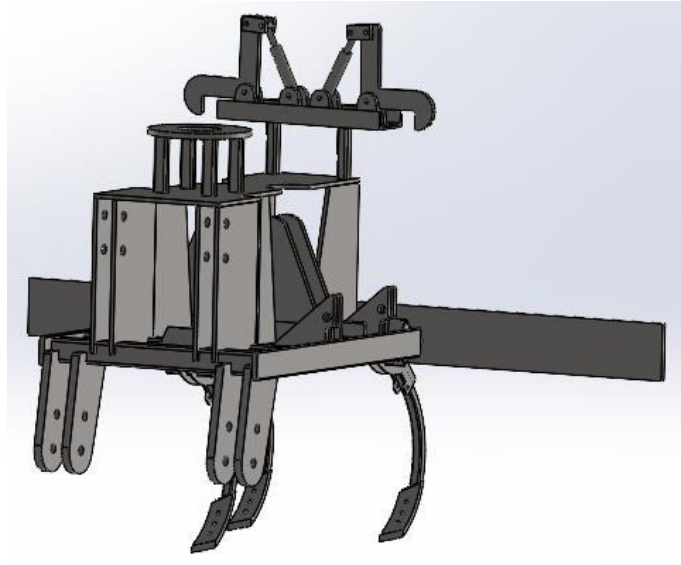


Ilustración 83. Alzado del ensamblaje final del bastidor fijo

De esta forma, se ha propuesto el diseño de un cabezal que va a lo largo del aplicador, es decir, desde la viga anterior a la posterior. Como podemos observar, se ha aprovechado este cabezal para alojar tanto el soporte del distribuidor de purín como el sistema de anclajes de seguridad. De la misma forma, se han introducido unas orejetas en la parte inferior de la viga anterior, que, junto con los orificios en el mismo cabezal, permiten el enganche en la cuba en 4 puntos de amarre. Así mismo, se han incorporado otro grupo de cuatro orificios, de tal forma que se pueda escoger la posición de enganche que más satisfaga las condiciones de trabajo en cada determinado instante.

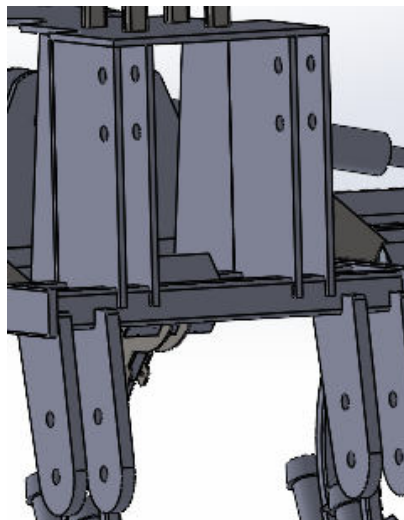


Ilustración 84. Detalle del enganche a los 4 puntos.

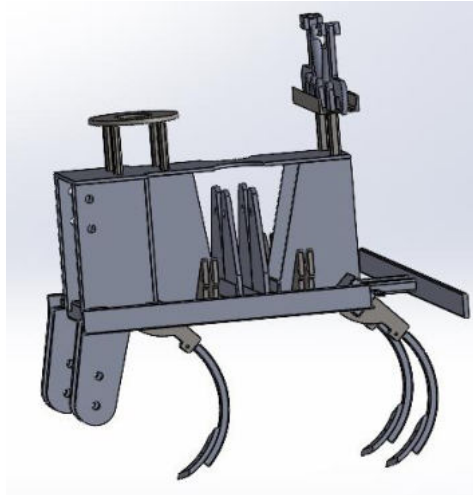


Ilustración 85. Perfil del ensamblaje final del bastidor fijo.

De la misma forma que en los bastidores plegables, se ha optado por incorporar un perfil en C a lo ancho del bastidor fijo. Sobre este, además, se han fijado las orejetas para el alojamiento de los cilindros hidráulicos principales. La sujeción de las orejetas de giro también sigue el mismo patrón que el resto de los bastidores.

Tal y como hemos abordado en el Reglamento General de Vehículos, la anchura máxima de transporte es de 2550mm, ya que es considerado como una extensión del voladizo trasero de la cisterna. De esta forma, pese a que la anchura del bastidor fijo es de 860mm, esta no será su anchura de transporte puesto que, al plegarlo, los brazos de las rejas de los bastidores plegables pasarán de estar verticales a horizontales, por lo que aumentarán esta anchura. Teniendo en cuenta todos los cálculos iniciales, esta nueva anchura no tiene que superar los 2550mm. En cambio, el hecho de que el aplicador forme parte del voladizo de la cisterna nos lleva a que, la señalización trasera de esta cisterna tiene que desaparecer y tiene que verse incorporada en el aplicador. El problema reside en que tenemos que incorporar, o bien unos gálibos traseros que determinen la anchura máxima, o bien incorporar los pilotos traseros a una anchura que sea representativa a la máxima del vehículo. Pero como hemos explicado, la anchura del bastidor fijo no representa la anchura máxima de nuestro equipo. De esta forma, es necesario el diseño de algún elemento que nos permita alojar todos los sistemas de señalización en la parte final del voladizo, y a una anchura equivalente a la máxima del equipo. Como estamos llevando a cabo el diseño de un aplicador para cualquier tipo de cuba, no conocemos la anchura máxima de esta para cada caso, pero entendemos, que la anchura del aplicador, plegado, será mayor que la de la cisterna en la mayoría de los casos.

Por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha optado por incorporar una viga en la parte posterior del aplicador, amarrada a este mediante otras dos vigas, y, que, tenga una anchura de 2550mm. Así, independientemente de la anchura de la cuba y del aplicador, como sabemos que ambas dos no superarán en ningún caso los 2550 puesto que estarán homologados, alcanzaremos con dicho soporte para las luces la anchura máxima permitida, cumpliendo así la normativa de señalización y, como tendremos los pilotos a la anchura de 2550mm, no será necesario incorporar unos gálibos traseros.

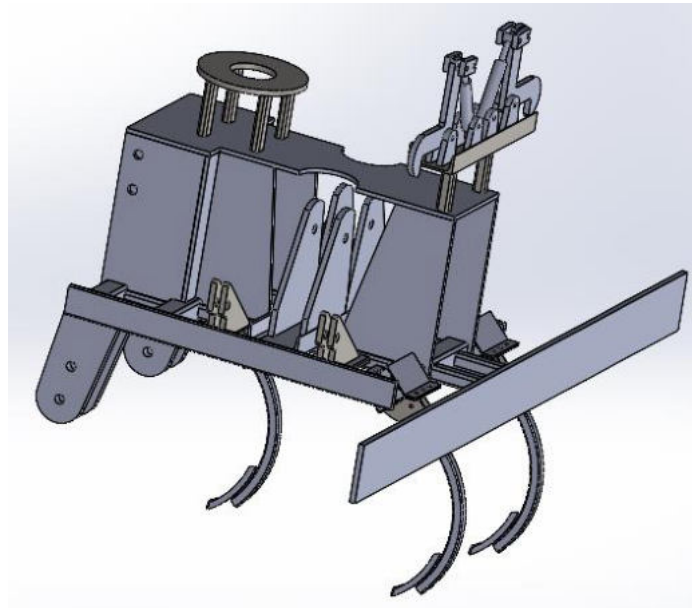


Ilustración 86. Diseño propuesto para la barra de luces.

10.1. Simulación.

Tras la aplicación de las cargas y sujeciones de las condiciones de trabajo, y, teniendo en cuenta que el material utilizado para toda la estructura es igual al del resto del trabajo, es decir, acero S460N; llevamos a cabo la simulación de este.

Tal como observamos en el estudio del bastidor plegable, algunos componentes de este no superaban nuestro límite inferior en cuanto al factor de seguridad se refiere por lo que hubo que hacer modificaciones que, entre otros, redujeron la tensión máxima y los desplazamientos. De esta forma, para este estudio, empezaremos analizando el factor de seguridad del bastidor fijo, y será cuando ya estemos seguros de que todos los elementos, exceptuado los elastómeros, cumplen; analizaremos tanto la tensión máxima como los desplazamientos.

Cabe recordar que, ya hemos incluido parte de los refuerzos que incluimos en el bastidor plegable, pero veremos si es necesario incluir más.

Analizando los resultados obtenidos para el caso del factor de seguridad, tenemos un factor de seguridad mínimo de 0,23 en todas aquellas zonas de color rojo.

Como podemos observar, los refuerzos incluidos siguiendo el patrón del bastidor plegable, nos llevan a un factor de seguridad superior a 3, por lo que no debe preocuparnos.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

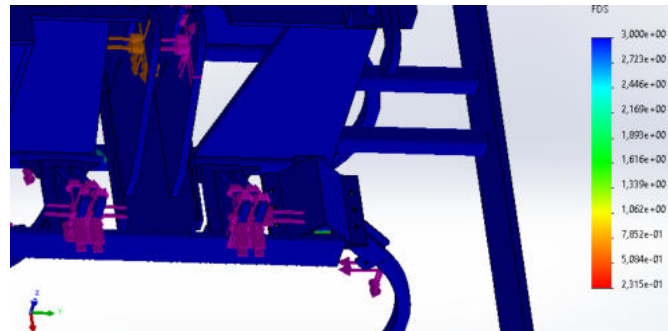


Ilustración 87. Factor de seguridad inicial en el bastidor fijo, tras los refuerzos determinados en el bastidor plegable.

En cambio, en una de las orejetas de cada lado, se observa que estamos por debajo del factor de seguridad mínimo. Si observamos las reacciones del bastidor plegable, vemos que, efectivamente, esta orejeta que sufre en demasía es la que está sometida a mayor carga en cada una de las 3 direcciones principales, por lo que es lógico que sea la más crítica.

Esto es debido a que dichas orejetas han sido calculadas para un sentido determinado de las fuerzas. Como bien hemos comentado, en este bastidor hemos plasmado las reacciones del bastidor plegable, por lo que su efecto hace que las orejetas sufran en exceso.

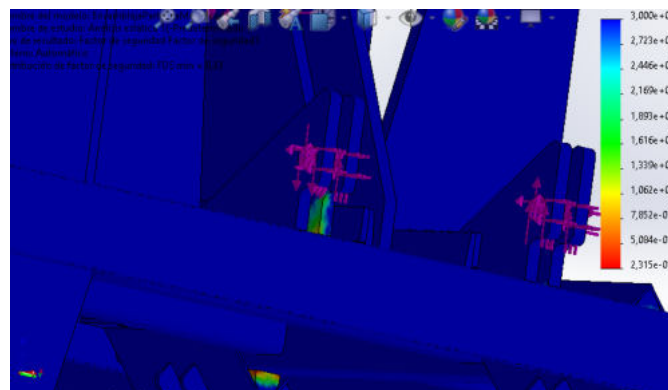


Ilustración 88. Factor de seguridad inicial en las orejetas de giro alojadas en el bastidor fijo.

Tras el refuerzo incorporado, conseguimos aumentar el factor de seguridad por encima de 1,6; por lo tanto, la decisión ha sido beneficiosa.

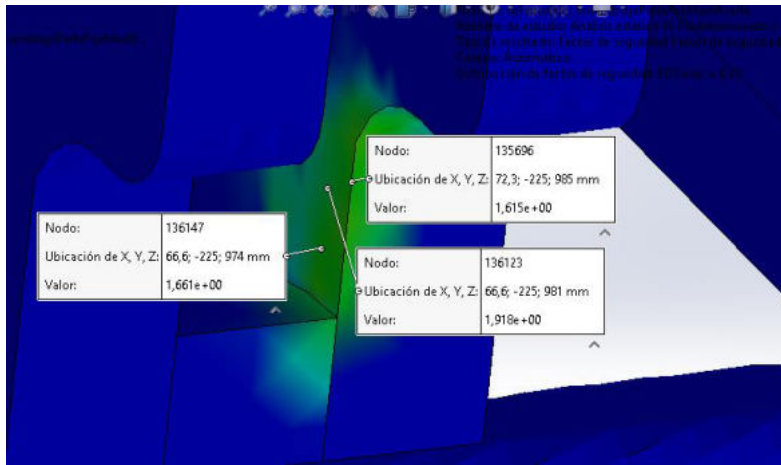


Ilustración 89. Factor de seguridad en las orejetas tras el refuerzo aplicado.

Siguiendo el mismo patrón, vamos a identificar el factor de seguridad en aquellas zonas que encontramos con un color verde, ya que son las más próximas al factor de seguridad límite.

Una de estas zonas, son las vigas transversales a la estructura que ya tuvimos que reforzar en los bastidores plegables. En este caso, y como podemos observar, el coeficiente de seguridad es superior a nuestro límite. De esta forma, no es necesario reforzarla ya que, pese a tener la misma sección que en los bastidores plegables, la anchura de este conjunto es menor, hecho que explica que su factor de seguridad esté por encima del límite.

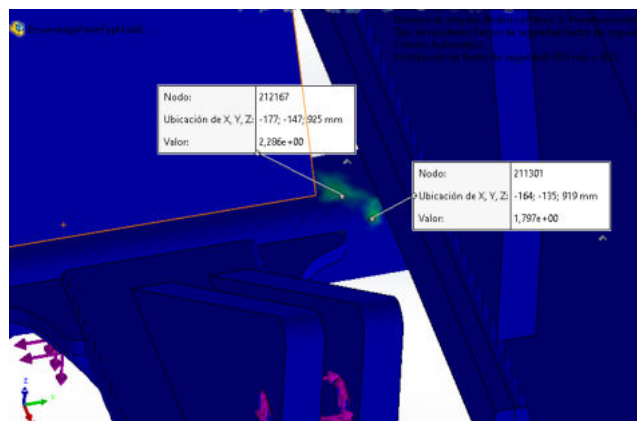


Ilustración 90. Factor de seguridad en las barras transversales del bastidor fijo.

Por último, otra de las zonas que nos preocupaba es la unión entre la orejeta del enganche y la viga. Como se puede observar, estamos por encima del límite en todos los nodos.

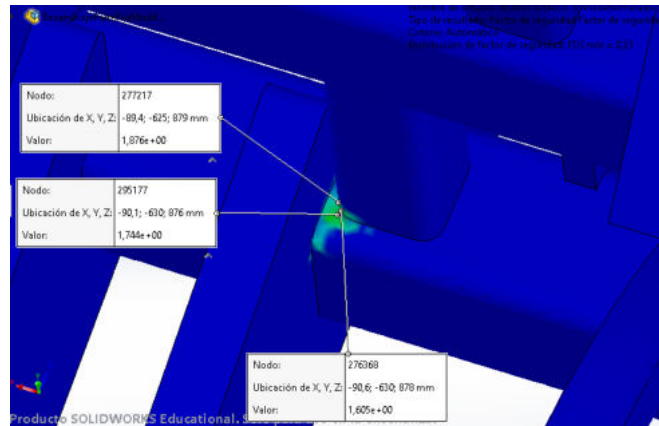


Ilustración 91. Factor de seguridad en la orejeta del enganche del bastidor fijo.

Una vez sabemos que la estructura va a ser la definitiva, podemos extraer los resultados principales de esta.

10.1.1. Tensión de von Mises.

A la vista de los resultados, observamos que la tensión máxima está próxima a los 280MPa y esta, la encontramos, como era lógico, en la zona conflictiva de la orejeta de giro, que precisamente hemos tenido que reforzar.

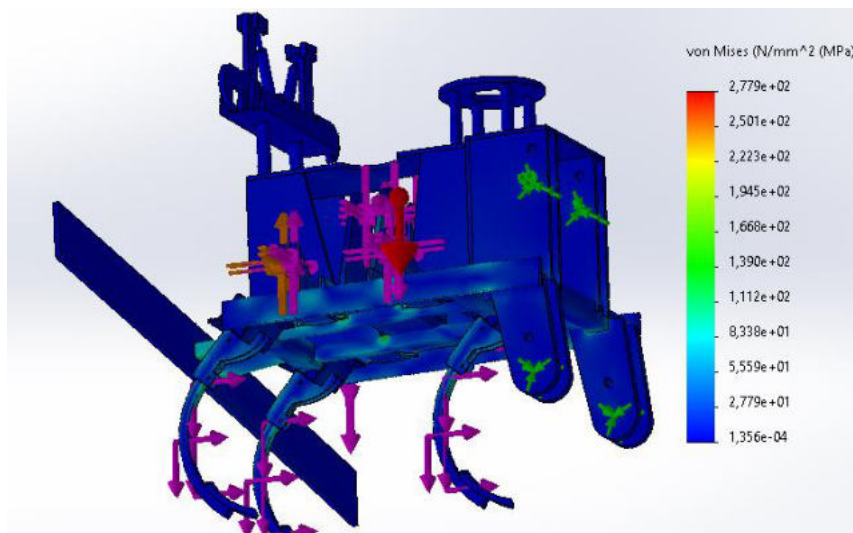


Ilustración 92. Tensión de von Mises global del bastidor fijo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

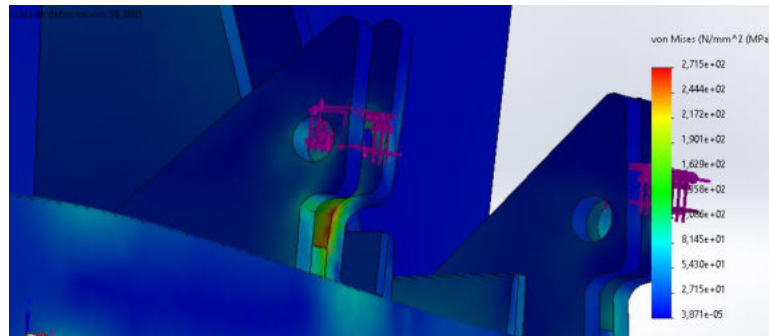


Ilustración 93. Tensión máxima del bastidor fijo.

10.1.2. Desplazamientos.

Como podemos observar, al añadir el peso de una persona situada sobre la barra diseñada para sustentar las luces, es en ella donde obtenemos el mayor desplazamiento, llegando hasta los 9mm.

Por otro lado, y dejando aparte esta pequeña simulación de la barra para las luces, son los brazos de las rejillas dónde se obtiene el desplazamiento máximo. Este se produce en los extremos de estos brazos y llega hasta los 5,5mm.

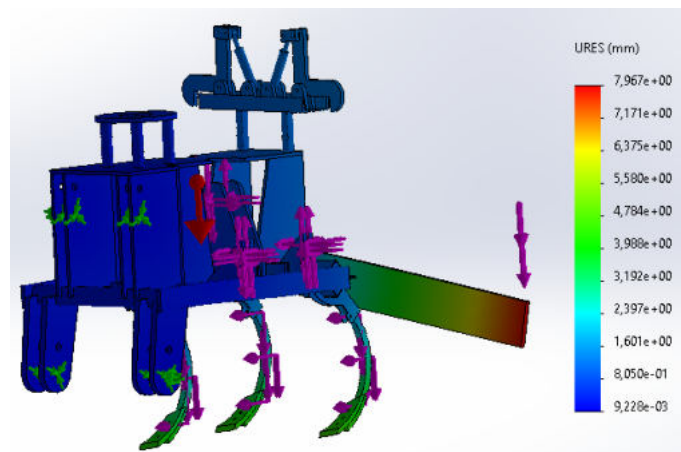


Ilustración 94. Desplazamientos en el bastidor fijo.

10.1.3. Factor de seguridad.

Tal como hemos analizado inicialmente, tras las modificaciones pertinentes, hemos conseguido alcanzar un factor de seguridad mínimo de 1,6.

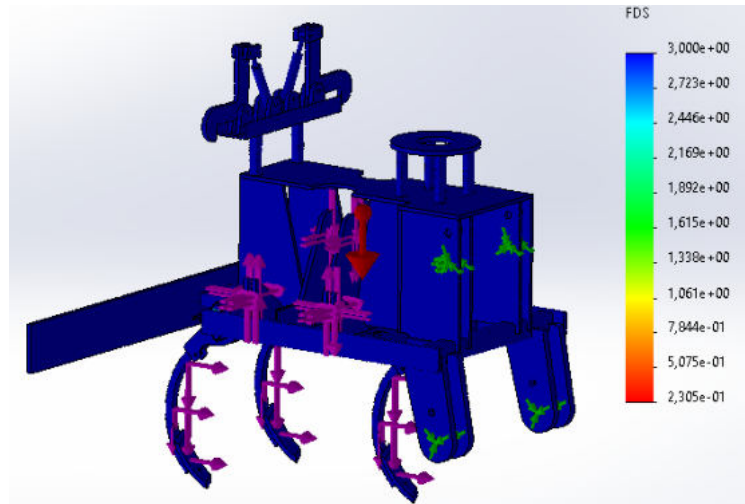


Ilustración 95. Factor de seguridad global del bastidor fijo.

11. Cálculo de los bulones para el enganche del aplicador.

Una vez diseñado el bastidor fijo, con todas las cargas de trabajo actuando sobre este, vamos a calcular el bulón para el enganche del aplicador con la cuba. Inicialmente, los orificios que se han diseñado para el enganche son de 30,5mm con el objetivo firme de unificar un mismo diámetro de bulón para todas las piezas unidas mediante pasador.

Una vez llevada a cabo la simulación, podemos observar que, aunque las reacciones no son idénticas, los valores están muy próximos unos a otros. Como cabía esperar, los esfuerzos en los enganches inferiores son mayores que en los enganches superiores ya que son los encargados de resistir el tiro del tractor, pues los superiores cumplen una función de posicionamiento e inclinación de las cuchillas respecto al suelo.

A la vista de las reacciones obtenidas en el ANEXO 8, el bulón tiene que ser capaz de soportar 2740 N de fuerza cortante resultante. Viendo el valor obtenido, y comparado con los 68200 N de cortante obtenidos en las orejetas de giro de los bastidores, podemos conocer de antemano que el factor de seguridad de este bulón será muy elevado. De todas formas, aprovechamos el cálculo para mostrar el sistema real de enganche, determinando así los planos de cortadura de este.

Tras los cálculos, llegamos a un factor de seguridad de 88, por lo que el diseño inicial de estos bulones es adecuado y, por lo tanto, sería un bulón intercambiable con los calculados a lo largo del trabajo.

12. Rueda de control.

Uno de los componentes indispensables para el correcto funcionamiento del dispositivo en su función de inyector es las ruedas de control. Hay que recordar que el tractor, tiene que ser capaz de mover la cisterna de purín, y, al mismo tiempo, hacer penetrar y desplazar las rejillas sobre el terreno.

Si el inyector no lleva ningún elemento que controle su profundidad, como las rejillas experimentan una fuerza vertical y hacia abajo debida a la acción del peso del inyector y de la fuerza aplicada sobre el inyector, este penetraría en aquellos terrenos no muy compactos de tal manera que, el tractor, no tendría potencia suficiente. Ante esta falta de potencia, tendríamos que levantar el inyector, recuperándose así el tractor, hasta que lo volviéramos a bajar, obteniendo el mismo resultado. Esta forma de trabajo es incompatible con la inyección de purín, ya que, en esas pérdidas de potencia, el tractor reduciría su velocidad de avance, pero la bomba de la cuba seguiría en funcionamiento, aplicando una cantidad excesiva de purín. Además, en el momento en el que levantemos el inyector, las rejillas no profundizarán y el purín ascenderá a la superficie, incumpliendo así el objetivo primordial del inyector.

De esta forma, se ha optado por incorporar dos unidades de ruedas de control, ubicadas en los extremos de los bastidores plegables.

Tras los cálculos abordados en el ANEXO 9, escogemos el neumático 320/55-15" montado sobre el soporte para dicha rueda previamente diseñado y analizado. *Tal como hemos podido comprobar, la suposición inicial del trabajo, mediante la cual se obviaban las ruedas de control puesto que se creía que estas obligaban en menor medida a la estructura, es correcta.*

Su montaje final queda de la siguiente forma:

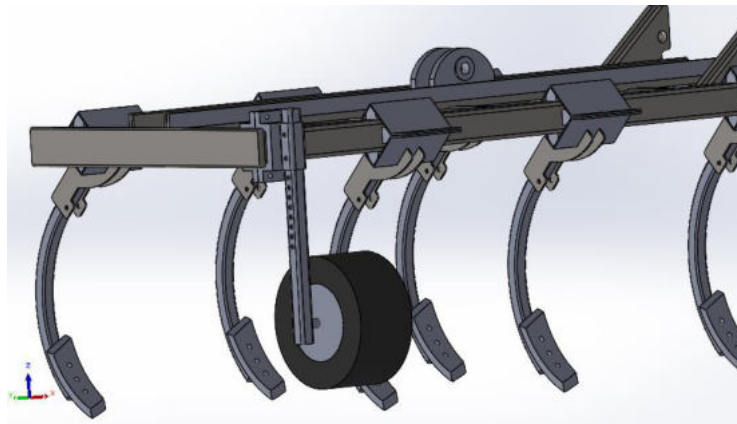


Ilustración 96. Ensamblaje final de la rueda de control.

13. Cambio de modo de trabajo.

Tal como hemos comentado, el objetivo del trabajo no era solo diseñar un inyector de purín, sino, buscar la forma para poder transformarlo de una manera rápida a un aplicador de purín. Para ello, recordamos que, en la función de inyector, la separación entre los brazos entre dos filas consecutivas es de 300mm. Esta anchura es tal para evitar un posible taponamiento, es decir, como las rejas levantan el terreno y todo lo que hay sobre él, tenemos que permitir un paso libre de estos impedimentos entre los brazos. La ventaja principal de la inyección de purín es que, al labrar el terreno a la vez que depositamos el purín, conseguimos que este se mezcle con la tierra y se uniformice con toda la superficie movida por la reja. De esta forma, aunque los brazos estén separados por el motivo anterior, conseguimos una aplicación prácticamente uniforme.

Esta ventaja, con la transformación a aplicador, desaparece ya que, si únicamente depositamos el purín sobre la superficie directamente de los tubos que van a cada una de las rejas, obtendremos una aplicación no uniforme ya que, entre los tubos, dejaremos demasiada superficie sin aplicar purín debido a que, al no mover la tierra, este no se uniformiza.

De esta forma y, usando el mismo método que nuestro aplicador actual, se ha optado por el diseño de unos platos, unidos a un nuevo soporte sobre el que se amarrará el tubo que baja a cada brazo. Este plato nos permite que el purín se aplique de forma esparcida, cubriendo prácticamente la totalidad de la separación entre tubos consecutivos.



Ilustración 97. Funcionamiento de los platos para la aplicación en cobertera.

De esta manera, para cambiar de una forma de trabajo a otra, únicamente necesitamos desconectar el tubo en su unión al brazo de reja, cuya conexión, como veremos posteriormente, se realizará mediante conexión rápida; y desmontar el propio brazo a través de los dos tornillos que podemos observar.



Ilustración 98. Desmontaje del brazo de la reja mediante dos tornillos.

Así, se ha incorporado en ambos sistemas, un tubo rígido dónde se unirá la conexión rápida para que el montaje y desmontaje de este sistema sea rápido y cómodo.

De esta forma, se ha procedido al diseño de unos platos para uniformizar el purín durante la aplicación. Para ello, se ha optado por usar la misma sección que para el brazo de la reja y únicamente se ha añadido en su extremo un semicírculo encargado de distribuir el purín. Tal como hemos podido observar en el aplicador propio, estos platos están unidos al tubo procedente del distribuidor de purín mediante una manguera flexible, para el caso en el que estos platos rocen con el suelo. Como podemos observar también, esta aplicación se realiza con las ruedas de control del aplicador incorporadas de tal manera que estos platos no tocan con el suelo. De todas formas, si llegasen a tocar, tenemos la seguridad de los elastómeros del brazo.

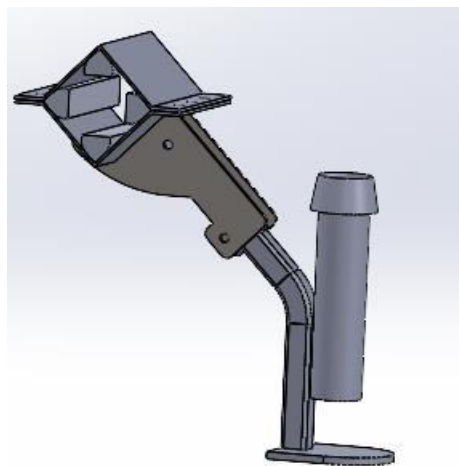


Ilustración 99. Diseño propio de los platos para la aplicación en cobertera.

Así, tendríamos una primera opción de montaje, formada por el brazo de reja, compuesto por la cuchilla y tanto el soporte como el tubo con el enlace macho de la conexión.

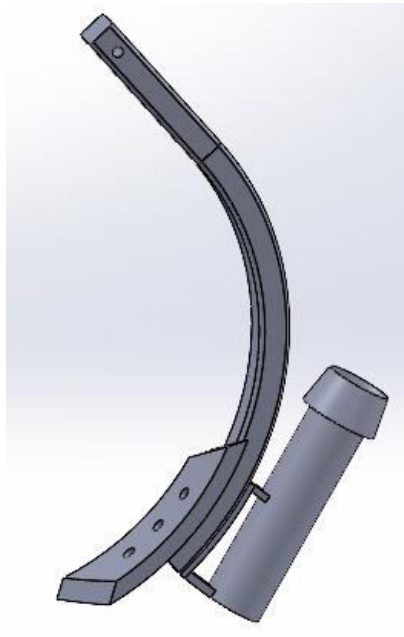


Ilustración 100. Ensamblaje final del brazo para la inyección de purín.

La segunda opción de montaje correspondería a otro brazo de igual sección, pero compuesto por el plato de aplicación y tanto el tubo como el enlace macho de conexión, distintos a los de la primera opción.

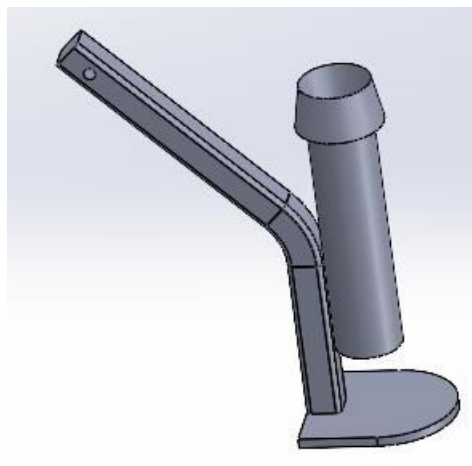


Ilustración 101. Ensamblaje final del brazo para la aplicación en cobertera.

Estos elementos introducidos en este apartado del trabajo no se van a calcular puesto que su única función es la de sujeción de la manguera y sus conexiones, sin realizar apenas esfuerzo.

14. Resultados y conclusiones.

14.1. Ensamblaje final del sistema de seguridad.

A la vista de la ilustración 102, el sistema de seguridad estaría sujetando los bastidores plegables, evitando así una apertura involuntaria de estos durante el transporte.

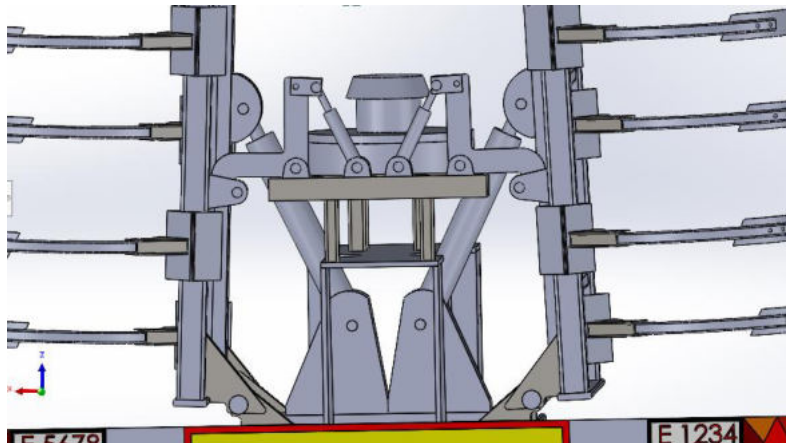


Ilustración 102. Sistema de seguridad enclavado.

En cambio, en la ilustración 103, el sistema de seguridad estaría desenclavado, permitiéndose así la apertura de los bastidores plegables para empezar a trabajar.

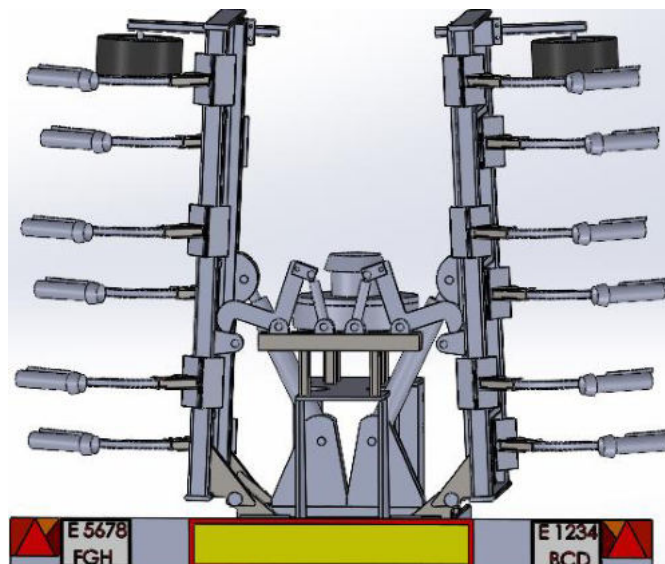


Ilustración 103. Sistema de seguridad desenclavado.

14.2. Ensamblaje final del distribuidor de purín.

A la vista de la ilustración 104, podemos observar cómo se ha cumplido el objetivo de que el distribuidor de purín descansa sobre una superficie uniforme, con el fin de no tener secciones más sobrecargadas que otras.

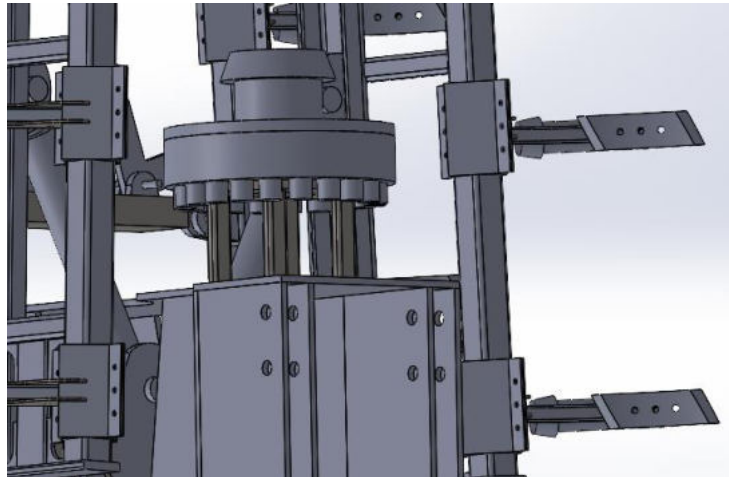


Ilustración 104. Ensamblaje final del distribuidor de purín.

14.3. Ensamblaje final de la rueda de control.

A la vista de la ilustración 105, observamos el ensamblaje de la rueda de control, junto al bulón calculado para el posicionamiento de esta dependiendo de la profundidad a realizar.

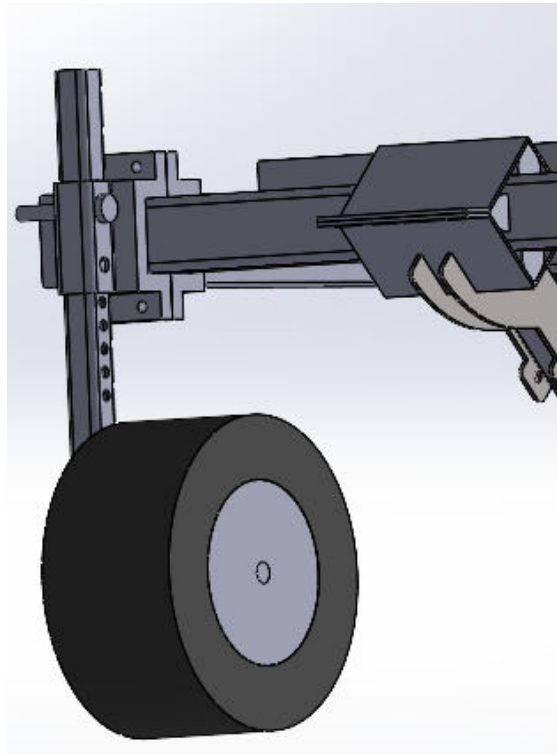


Ilustración 105. Alzado del ensamblaje final de la rueda de control.

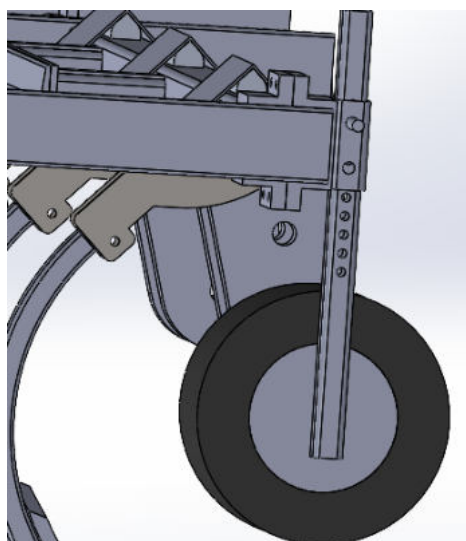


Ilustración 106. Perfil del ensamblaje final de la rueda de control.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

14.4. Vistas principales del inyector en modo de trabajo.

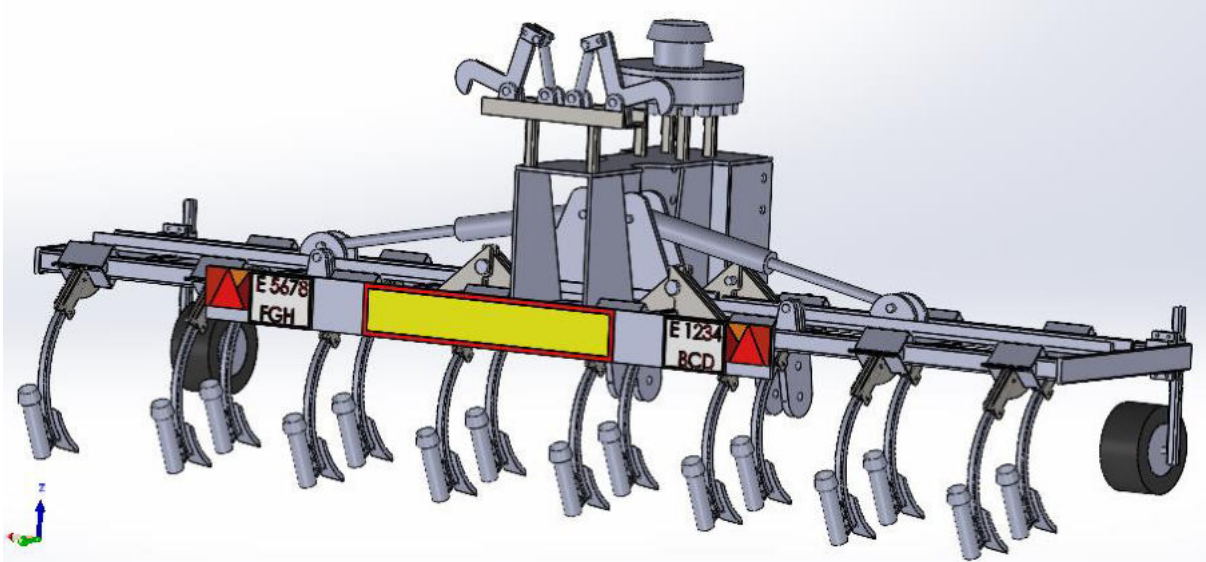


Ilustración 107. Vista trasera del inyector desplegado.

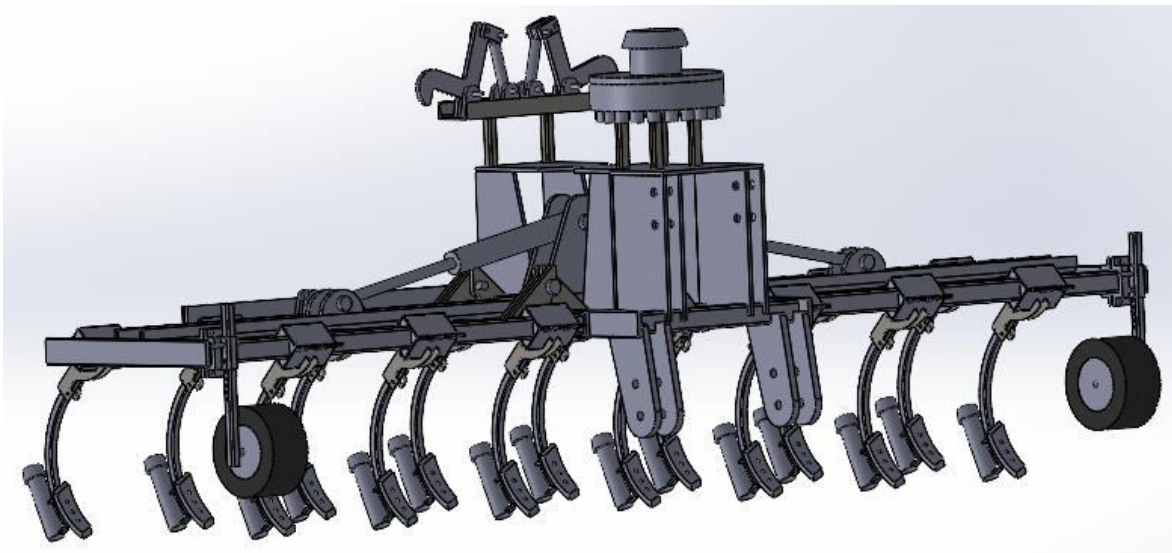


Ilustración 108. Vista delantera del inyector desplegado.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

14.5. Vistas principales del aplicador en modo de transporte.

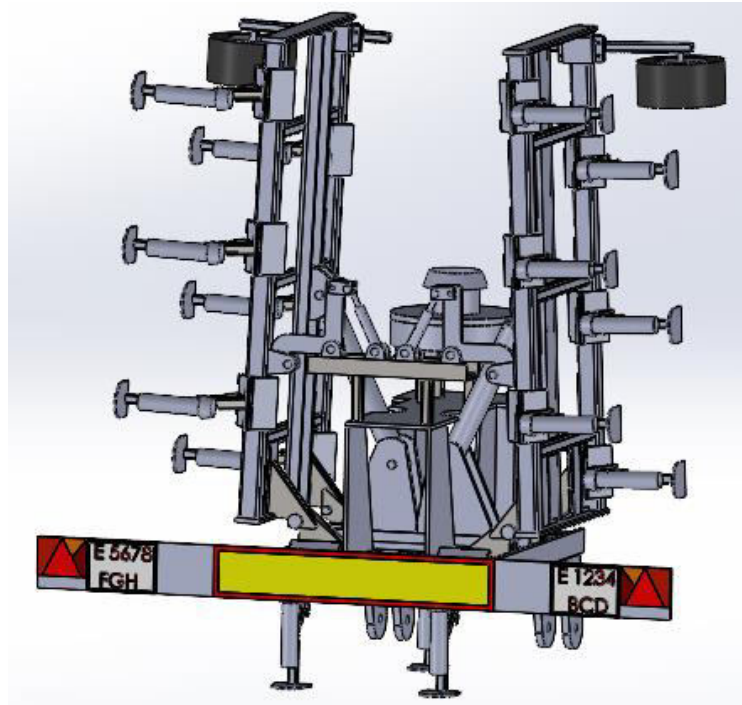


Ilustración 109. Vista trasera del aplicador plegado.

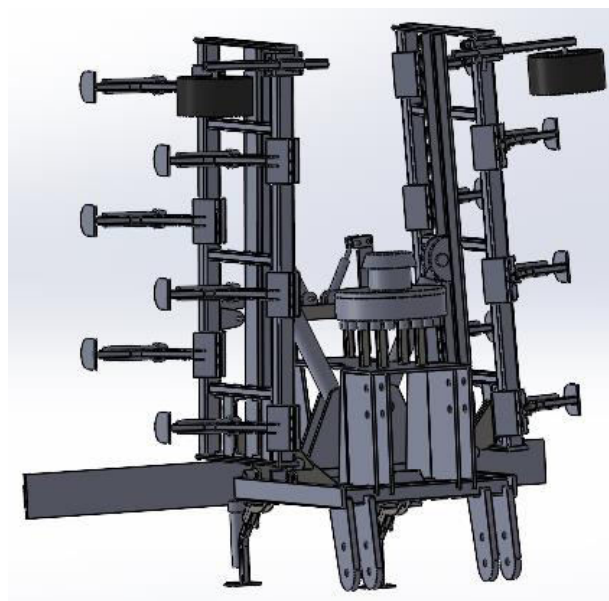


Ilustración 110. Vista delantera del aplicador plegado.

15. Webgrafía.

- [1] <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=1067926083939>
- [2] <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=1008291780707>
- [3] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/11/10/980>
- [4] Arado chisel-Cinzel-Cultivador pesado (mapa.gob.es)
- [5] <https://www.bellotaagrisolutions.com/es/catalogo/cultivadores/rejas-cultivador/5#100>
- [6] Sistemas de Laboreo Agrícola (idae.es)
- [7] <https://www.boe.es/eli/es/rd/1998/12/23/2822/con>
- [8] <https://www.bellotaagrisolutions.com/es/catalogo/cultivadores/brazos-chisel>
- [9] Mangueras aspiración purín - CISKAR SERVICE
- [10] DobleEfecto_0.pdf (cicromur.com)
- [11] Elastómeros de caucho y Poliuretano (surisa.es)
- [12] Módulo elástico y coeficiente de Poisson de materiales poliméricos (sonelastic.com)
- [13] rueda 200/60-14.5 ficha técnica - Buscar con Google --- Trelleborg (pdf descargable)
- [14] Contacto directo con Alfredo Altemir Febas, representante de la marca JOSKIN.
- [15] <https://www.fendt.com/es/geneva-assets/article/50937/170442-fendt800vario-2001-td-es.pdf>
- [16] <https://www.claas.es/blueprint/servlet/blob/2288624/3e410bfdd9d9400c1149413c51cff3cd/206140-23-dataRaw.pdf>

Para los cálculos:

- RESISTENCIA DE MATERIALES para ingenieros mecánicos- Juan Doria Charro.
- APUNTES CRITERIOS DE DISEÑO DE MÁQUINAS-
- DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS- Vicente Vanegas Useche.

ANEXOS

Diseño y desarrollo de un inyector/aplicador de purín.

Autor:

Alberto Panillo Ballesteros.

- ❖ Anexo 1. Introducción a los cálculos.
- ❖ Anexo 2. Reglamento General de Vehículos (RGV)
- ❖ Anexo 3. Simulaciones y cálculos.
- ❖ Anexo 4. Simulación del bastidor plegable.
- ❖ Anexo 5. Distribuidor de purín.
- ❖ Anexo 6. Sistema de seguridad.
- ❖ Anexo 7. Bastidor fijo.
- ❖ Anexo 8. Cálculo del bulón para el enganche del aplicador.
- ❖ Anexo 9. Rueda de control.
- ❖ Anexo 10. Conexión rápido de mangueras.
- ❖ Anexo 11. Propiedades finales.
- ❖ Anexo 12. Señalización.
- ❖ Anexo 13. Planos del distribuidor de purín.
- ❖ Anexo 14. Fichas técnicas de los tractores portadores de la cisterna junto al aplicador.

Anexo 1. Introducción a los cálculos.

Para verificar que la estructura resiste a la carga de trabajo, se ha realizado un estudio estático, por el método de elementos finitos (MEF), mediante el software SolidWorks.

El método de los elementos finitos es una herramienta de análisis muy poderosa que permite obtener soluciones aproximadas a una amplia variedad de problemas.

El método trabaja dividiendo la región a resolver en un número finito de partes “**elementos**”, cuyo comportamiento, se especifica mediante un número finito de parámetros, asociados a ciertos puntos característicos denominados “**nodos**”. Estos nodos, son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.

La solución obtenida por MEF es sólo aproximada, coincidiendo con la solución exacta sólo en un número finito de puntos, en los nodos. En el resto de los puntos que no son nodos, la solución aproximada se obtiene interpolando a partir de los resultados obtenidos para los nodos, lo cual hace que la solución sea sólo aproximada debido a ese último paso.

Para poder realizar el cálculo correctamente en el software, es necesario definir una serie de condiciones y cualidades. Los puntos para definir son los siguientes:

1. Material de las piezas
2. Conexiones. Las conexiones físicas, como pernos, resortes y soldaduras, entre las partes del ensamblaje.
3. Sujeciones. Se especifica un cero o un valor prescrito de desplazamiento en cualquier dirección. Las opciones más usadas son:
4. Cargas externas. En este apartado se introducen los esfuerzos a los cuales está sometido la pieza o estructura. Entre las diversas posibilidades destacan: Fuerza, presión, gravedad, masa distribuida, torsión, etc.
5. Mallado. Antes de ejecutar el estudio es necesario crear el mallado de la pieza/ensamblaje.

Una vez se ha ejecutado el estudio, se pueden obtener los desplazamientos, las fuerzas resultantes en las sujeciones y las tensiones a las que está sometido el sistema. Para el estado tensional, se pueden usar diferentes criterios.

Anexo 2. Reglamento General de Vehículos (RGV).

Aunque el dispositivo a desarrollar es un apero utilizado para labores agrícolas, el hecho de ir enganchado a la parte trasera de la cuba hace que no sea considerado como tal, sino como una ampliación del voladizo trasero de esta. Así, este aplicador, deberá ajustarse a las dimensiones generales de circulación, recogidas en el Real Decreto 2822/1998 [7], en la tabla de dimensiones máximas autorizadas.

3.1 Las dimensiones máximas autorizadas a los vehículos para poder circular son las siguientes:

Tabla 3. Dimensiones máximas autorizadas

Longitud	Metros
Vehículos de motor excepto autobuses	12,00
Remolques	12,00
Vehículos articulados excepto autobuses	16,50
Distancia máxima entre el eje de pivote de enganche y la parte trasera del semirremolque	12,00
Distancia entre el eje del pivote de enganche y un punto cualquiera de parte delantera del semirremolque, horizontalmente	2,04
Trenes de carretera (1)	18,75
La distancia máxima, medida en paralelo al eje longitudinal del tren de carretera, entre los puntos exteriores situados más adelante de la zona de carga detrás de la cabina y más atrás del remolque del conjunto vehículos, menos la distancia entre la parte trasera del vehículo motor y la parte delantera del remolque	15,65
Distancia máxima, medida en paralelo al eje longitudinal del tren de carretera, entre los puntos exteriores situados más adelante de la zona de carga detrás de la cabina y más atrás del remolque del conjunto de vehículos	16,40
Autobuses articulados	18,75
Autobuses rígidos de 2 ejes	13,50
Autobuses rígidos de más de 2 ejes	15,00
Autobuses con remolque, incluido éste	18,75
En el caso de autobuses equipados con accesorios desmontables, como los porta esquís, la longitud del vehículo, accesorios incluidos, no sobrepasará las máximas previstas en este apartado.	
Anchura:	
La anchura máxima autorizada, como regla general	2,55
Superestructuras de vehículos acondicionados (2)	2,60
Autobuses especialmente acondicionados para el traslado de presos (3)	2,60
Altura:	
Altura máxima de los vehículos incluida la carga, como norma general	4,00

Tabla 1. Dimensiones máximas autorizadas.

De esta, podemos extraer que, la anchura máxima autorizada es de 2,55 metros, siendo de 4 metros la altura máxima. Por lo tanto, nuestro aplicador deberá cumplimentar dichas dimensiones en posición de transporte, es decir, con los bastidores móviles, plegados.

El hecho de que el aplicador sea considerado una extensión del voladizo trasero de esta, es necesario que, la señalización de la propia cuba sea retirada de esta e incorporada al aplicador.

Por lo tanto, nos afectan las condiciones de señalización requeridas para un remolque agrícola, ya que, como hemos comentado, el aplicador tiene que portar la señalización de la cuba, que será considerada como remolque agrícola.

Teniendo en cuenta que la anchura del aplicador es de 2528mm necesitamos adaptarnos a las siguientes condiciones:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

La altura de las luces de cruce podrá ser superior a 1,20 metros siempre que en estos casos se regulen de forma que su haz ilumine una zona de 25 metros de longitud, como máximo, por delante del vehículo.

Las luces de gálibo podrán estar situadas en un plano inferior a las del alumbrado ordinario y siempre se colocarán en la parte más alta de la parte más ancha del vehículo. El alumbrado ordinario podrá suplir al de gálibo siempre que se cumpla la condición anterior y no está colocado a más de 250 milímetros de los bordes exteriores del vehículo.

Descripción:	Remolques agrícolas y máquinas de servicios remolcadas. Máquinas remolcadas, agrícolas o de obras				
	Tipo de luz	Número	Color	Situación (4)	Obligatorio o no
					Aptos para circular de noche / No aptos para circular de noche
Luz de marcha atrás	1 ó 2	BLANCO	Detrás		Opcional / Opcional
Luces indicadoras de dirección	Un número par de luces	AMARILLO AUTO	Bordes exteriores		Obligatorio (1) / Obligatorio (1)
Luz de frenado	2	ROJO	Detrás		Opcional / Opcional
Luz de la placa de matrícula trasera	1	BLANCO	La necesaria para iluminar la placa		Obligatorio / Opcional
Luz de posición delantera	2	BLANCO	Delante		Obligatorio (2) / Opcional
Luz de posición trasera	2	ROJO	Detrás		Obligatorio / Opcional
Luz de gálibo	2 delante 2 detrás	BLANCO delante ROJO detrás	Bordes exteriores y arriba		Obligatorio (3) / Opcional (3)
Luz antiniebla trasera	1 ó 2	ROJO	Detrás		Opcional / Opcional
Catadióptricos traseros triangulares	2	ROJO	Detrás		Obligatorio / Obligatorio
Catadióptricos delanteros no triangulares	2	BLANCO	Delante		Obligatorio / Obligatorio
Catadióptricos laterales no triangulares	Los necesarios	AMARILLO AUTO	Laterales		Obligatorio / Opcional
Luz interior del habitáculo	Sin especificar	BLANCO			Opcional / Opcional
Luz de trabajo	Sin especificar	BLANCO	Sin especificar		Opcional / Opcional

(1) Solamente posteriores.

(2) Obligatoria cuando su anchura exceda de 20 cm por el lado más desfavorable de la anchura del vehículo tractor. Opcional para el resto.

(3) Luces de gálibo anteriores y posteriores, si el vehículo tiene más de 2,10 m de anchura.

(4) La situación y altura de cada dispositivo se ajustará a lo dispuesto en la reglamentación vigente de tractores agrícolas.

Tabla 2. Señalización necesaria.

De aquí extraemos la necesidad de incorporar luces indicadoras de posición, luz de frenado, luz de la placa de matrícula trasera, luz de posición trasera, catadióptricos traseros triangulares y catadióptricos laterales no triangulares.

Para el caso de las luces de gálibo, veremos la anchura máxima del aplicador una vez ensamblado y valoraremos la posibilidad de incorporar los pilotos de señalización en la posición adecuada según la normativa para evitar el uso de gálibos traseros.

Ante esta necesidad, la opción escogida será la de unos pilotos que incluyen ya un catadióptrico triangular, además del resto de señalizaciones.



Ilustración 111. Piloto trasero para el dispositivo desarrollado.

En el caso que el conjunto de tractor más cisterna con aplicador mida más de 12 metros de largo, será necesario incluir una señal V-6, con varias opciones de montaje:

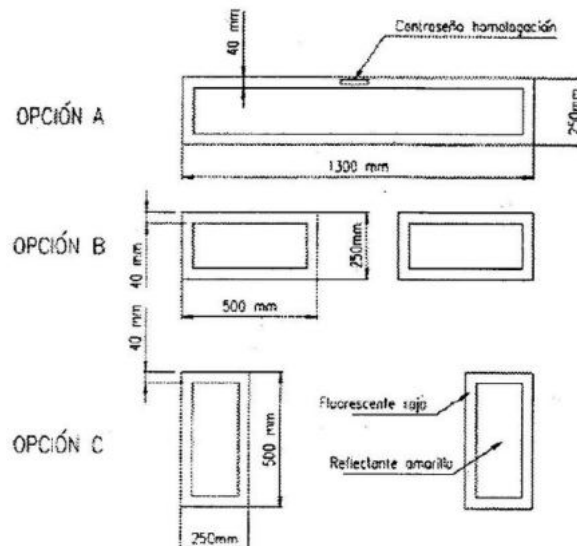


Ilustración 112. Opciones de montaje para señal V-6.

En nuestro caso, será necesario colocarla ya que estamos ante el diseño de un aplicador para cisternas de alto cubicaje (mayor o igual a 12 m³), y, por lo tanto, tractores portadores de gran capacidad que superarán dicha longitud. Escogeremos la opción 1 de montaje.

Por último, tenemos que disponer un alojamiento para la placa de matrícula del vehículo portador del remolque, así como para la del propio remolque.

Anexo 3. Simulaciones y cálculos

A3.1. Cálculo del brazo

De la fórmula de $F = \frac{P}{V}$, extraemos que la velocidad es inversamente proporcional a la potencia, por lo que, si aumentamos dicha velocidad de trabajo, con la misma potencia; disminuiríamos la fuerza ejercida por cada brazo. Así, vamos a marcarnos una velocidad mínima de trabajo, que será de 5 km/h. No nos tenemos que olvidar que estamos aplicando purín y que, por lo tanto, velocidades muy bajas de aplicación nos lleva a dosificaciones muy altas, hecho que queremos evitar para poder cumplimentar la dosificación de 210kgN/ha/año o incluso los 170kgN/ha/año en su caso.

Por lo tanto, con esta velocidad mínima de aplicación y teniendo en cuenta que la potencia aplicada sobre cada brazo es de 8 CV, podemos extraer la fuerza que se aplica a cada brazo de forma longitudinal.

$$F = \frac{P(W)}{V\left(\frac{m}{s}\right)} = \frac{8 \text{ cv}}{5 \left(\frac{km}{h}\right)} * \frac{735 (W)}{1,38 \left(\frac{m}{s}\right)} = 4260 \text{ N}$$

Como esta es una fuerza longitudinal al brazo y recordamos que este tiene un ángulo de 50 grados respecto de la horizontal, su descomposición queda de la siguiente manera:

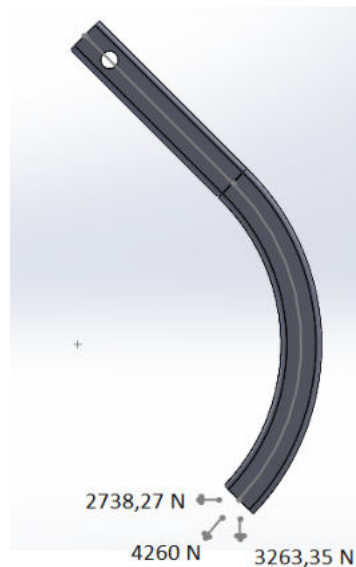


Ilustración 113. Descomposición de fuerzas en el brazo de la rejilla.

Una vez determinados los esfuerzos que actúan sobre nuestro brazo de la rejilla, podemos comprobar si la sección escogida inicialmente de 35x35mm es la correcta.

Cabe recordar que la fuerza para calcular el momento resistente de nuestro brazo será la que actúa en el eje horizontal, es decir, la de 2738,27 N ya que será ahí donde vaya anclada nuestra cuchilla. Para calcular la sección resistente, tenemos que conocer la cuchilla empleada puesto que será esta la que nos marcará la longitud de nuestro rectángulo. Como el brazo escogido

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

tiene una distancia de 45 mm entre centros de los dos agujeros donde colocaremos los tornillos, el diámetro de estos es de M12 y hay 20 mm por cada extremo del brazo que apoyan aún sobre el brazo, la longitud total será nuestra dimensión para calcular dicha sección resistente

El material escogido será el acero S235 JO, cuyas propiedades principales son:

$$\sigma_m = 235 \frac{N}{mm^2}$$

$$\gamma_m = 1,05$$

Teniendo en cuenta la geometría antes expuesta, podemos obtener el módulo resistente de este brazo;

$$W_z = \frac{b * h^2}{6} = \frac{35 * (45 + 20 + 20 + 6 + 6)^2}{6} = 54885,83 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_m}{\gamma_m} = \frac{235}{1,05} = 223,8 \frac{N}{mm^2}$$

Con la tensión admisible del material y el momento resistente, podemos obtener el momento resistente de este brazo.

$$Mr = W_z * \sigma_{adm} = 54885,83 * 223,8 = 12283971 \text{ Nmm}$$

Por último, para obtener la fuerza máxima que es capaz de resistir el brazo, necesitamos la altura de dicho brazo, es decir, la distancia entre la sujeción de este al bastidor y el punto de aplicación de la carga.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

3.10 BRAZOS CHÍSEL
BRAÇOS CHISEL

Características:

- Acero especial de gran elasticidad y poder de recuperación de la geometría inicial.
- Tratamiento térmico integral específico que aporta a cada material las óptimas características.

Usos:

- Se recomienda utilizar con el suelo seco.
- La profundidad de trabajo recomendada es de 18-22 cm.
- Se recomienda una potencia de 25 a 40 CV/m de anchura de labor.
- La velocidad de trabajo debe ser alta (7 a 9 Km/h) para mejorar su eficacia.

Características:

- Aço especial de grande elasticidade e poder de recuperação da geometria inicial.
- Tratamento térmico integral específico que atribui a cada material as óptimas características.

Usos:

- Se recomenda utilizar com o solo seco.
- A profundidade de trabalho recomendada varia de 18 a 22 cm.
- Se recomenda uma potência de 25 a 40 CV/m de largura de lavoura.
- A velocidade de trabalho deve ser elevada (7 a 9 km/h) para melhorar sua eficácia.



Ref.		A	B	C	D	E	F	Grs.		
2461-B	45x20	500	355	17	40-50	M12	296	5.200	100	
2461-C	40x30	495	368	18,5	40-50	M12	296	6.900	90	
2461-CL	40x30	470	492	26	45	M12	215	9.620	70	
2461-D	45x20	415	450	17	40-50	M12	280	6.200	100	
2461-E	45x30	500	365	17	40-50	M12	296	8.200	100	
2461-EL	45x30	415	460	26	40-50	M12	280	9.300	70	50
2462-A	50x25	450	582	21,5	40-50	M12	280	10.300	45	
2462-B	50x30	455	587	21,5	40-50	M12	280	12.500	40	
2462-B-A16	50x30	545	660	17	56	M12	330	14.150	35	50
2462-B A24	50x30	455	587	26	40-50	M12	280	12.500	40	
2462-B A24 CA2	50x30	455	587	26	45-57	M12	280	12.500	40	
2462-C	50x30	560	480	20	57	M14	330	11.700	80	50
2464-A	40x40	470	500	26	45	M12	245	11.000	50	
2464-A PI	40x40	470	500	26	45	M12	245	11.000	50	50
2464-AL	40x40	525	575	26	45	M12	230	12.500	30	
2464-AL PI	40x40	525	575	26	45	M12	230	12.500	30	50
2464-B	40x40	460	480	26	70	M12	235	11.700	50	50
2464-C	40x40	380	390	19	45	M12	252	9.610	85	50
2464-G	40x40	470	502	26	60	M12	215	11.000	50	50
2466	25x25	393	370	17,5	45	M12	217	3.500	200	
2467	30x30	470	397	17	45	M12	275	5.500	125	
2467 HT	30x30	470	397	17	45	M12	275	5.500	125	
2467-A18	30x30	470	397	19	45	M12	275	5.500	125	50
2467-32	32x32	470	399	17	45	M12	275	6.200	125	50
2467-35	35x35	470	402	17	45	M12	275	7.500	125	50
2467-35 L	35x35	470	500	17	45	M12	275	8.800	100	50

2461 - 2467



2464-A PI y 2464-AL PI: Se recomienda el montaje de estos brazos con el amarre Bellota. Ver página 85 / 2464-A PI e 2464-AL PI: Recomenda-se a montagem destes braços com a amarração Bellota. Ver página 85
2467 HT: con agujero lateral / 2467 HT: com orifício lateral
Posibles montajes. Ver página 103 / Possíveis montagens. Na pág. 103

Tabla 3. Geometría del brazo escogido.[8]

Teniendo en cuenta que el brazo escogido es el 2467-35 L, observando la tabla anterior, sabemos que la altura deseada es de 500mm.

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{Mr}{h \text{ brazo}} = \frac{12283971}{500} = 24567,94 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza máxima que es capaz de resistir el brazo escogido es de 24567,94N, muy inferior a los 4260N a los que está sometido en régimen de trabajo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A3.2. Simulación inicial.

Como hemos comentado, se ha desarrollado la siguiente estructura simplificada con el fin de obtener en ella las reacciones iniciales en lo que queremos que sean las orejetas para el giro y sobre el futuro cilindro hidráulico.

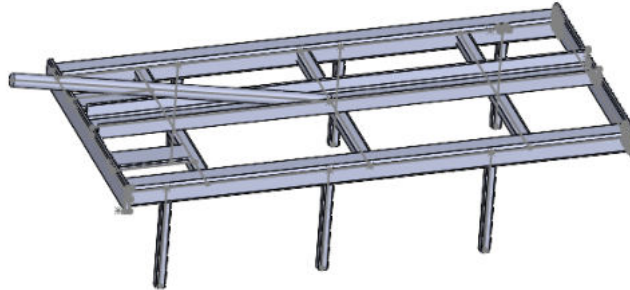


Ilustración 114. Simulación inicial del bastidor plegable.

Una vez diseñada, vamos a imponer el material, las sujeciones y cargas para poder realizar el estudio. La fuerza sobre cada uno de los brazos la conocemos, tanto en dirección vertical como horizontal. Cabe recordar que estamos diseñando un inyector de purín por lo que el brazo (con la cuchilla) no será el único esfuerzo sobre la estructura. Para que el purín pueda quedarse bajo tierra, tenemos que llevar hasta cada uno de los brazos una manguera procedente del distribuidor de purín, con sus correspondientes conexiones para que se sujete en la parte trasera del brazo. Además, estas tuberías van a ir llenas de purín en el momento de trabajo por lo que tendremos una fuerza vertical en cada uno de los brazos. Como el distribuidor de purín estará en la parte central de este aplicador, tendremos que llevar mangueras desde este a cada uno de los brazos. De esta forma, el peso sobre estos brazos será variable, dependiendo de lo lejos que esté de dicho distribuidor.

El material escogido para el desarrollo del trabajo, salvo que se indique lo contrario, será el acero estructural S460N, con las siguientes propiedades:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Material

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de aplicación Fav

Propiedades de material
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades: SI - N/mm² (MPa)

Categoría: DIN Acero (estructural)

Nombre: 1.8901 (S460N)

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción: STE 460

Origen: Límite de tracción y límite elástico para 100<t<=150

Sostenibilidad: Definido

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000.0031	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	530	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	380	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Abbr... Aplicar Cerrar Guardar Config... Ayuda

Tabla 4. Propiedades del acero S460N.

Por otro lado, para poder determinar el peso de las mangueras, de forma aproximada, necesitamos seleccionar en primer lugar la manguera encargada de transportar el purín.

Basándonos en nuestro aplicador, necesitamos una manguera de impulsión de diámetro interior 60mm. Cabe destacar que necesitamos una manguera flexible, pero a la vez resistente ya que necesitamos realizar curvaturas para poder adaptarse al bastidor del aplicador.

Así, la manguera seleccionada es la H-140, en cuya definición se considera óptima para el movimiento de aguas negras y purín, desempeñando la función de impulsión de líquidos.

Sus características técnicas son:

Características técnicas / Technical features

Ø Interior Inside Ø (mm)	Peso Weight (kg/m)	Vacío Vacuum (bar)	Radio de Curvatura Bend Radius (mm)
50	1,20	0,8	400
53	1,40	0,8	424
60	1,65	0,8	480
67	1,90	0,8	536
70	1,98	0,8	560
75	2,05	0,8	592
80	2,25	0,8	640
90	2,60	0,8	720
100	3,20	0,8	800
110	3,70	0,8	880
120	4,00	0,8	960
125	4,15	0,8	1000
130	4,55	0,8	1040
150	6,10	0,8	1200
200	10,3	0,8	1600
250	15,0	0,8	2000

Tabla 5. Características técnicas de la manguera de impulsión.[9]



Ilustración 115. Manguera de impulsión seleccionada.

Como ya tenemos el primer diseño del bastidor, podemos determinar aproximadamente la distancia a la que se encuentra cada brazo del distribuidor de purín, que irá alojado en la parte central de este. Como las mangueras no irán en línea recta, si no que irán buscando los apoyos del bastidor, vamos a darle un 25% más a la distancia en línea recta.

El esquema quedaría de la siguiente manera:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

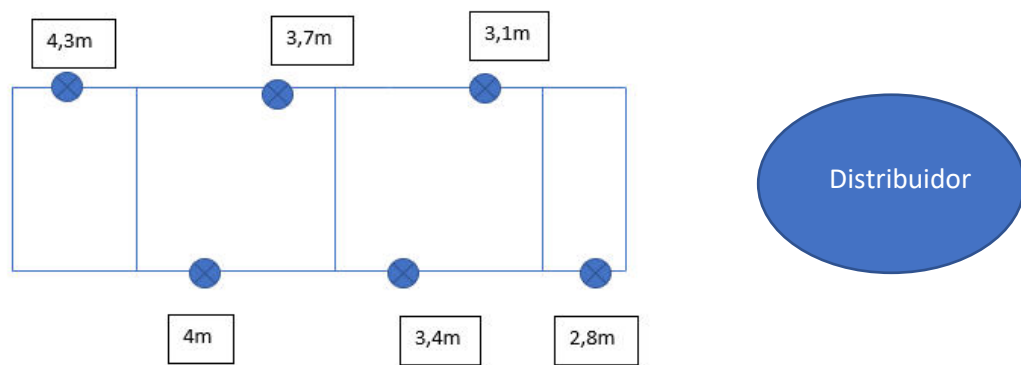


Ilustración 116. Determinación de los metros de manguera para cada una de las salidas.

Una vez obtenidos los metros aproximados de manguera, podemos obtener el peso total que generarán sobre cada brazo. Para ello, vamos a tener en cuenta que la densidad del purín es aproximadamente de 1 Kg/l, ya que se considera una densidad de entre 1.014 - 1.040 g/l

Con esto, y las características técnicas de la manguera, podemos obtener el peso total de purín en función de la distancia de cada brazo.

Diámetro interior manguera= 60 mm

$$\text{Área manguera} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{60 * e^{-3}}{2}\right)^2 = 0,002827 \text{ m}^2$$

Volumen manguera= Área manguera * Longitud

Densidad purín $\approx 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Peso purín= Volumen manguera * Densidad purín

Peso manguera= $1,65 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$

Peso total= Peso manguera * distancia a brazo + Área manguera * distancia a brazo * densidad purín.

De esta forma, el peso sobre cada uno de los brazos es el siguiente:

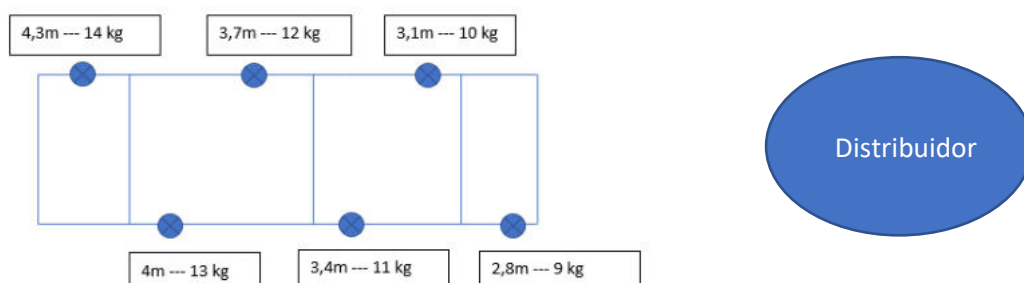


Ilustración 117. Peso de purín sobre cada salida del bastidor plegable.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Por tanto, tendremos una fuerza puntual sobre cada brazo sumada a la ya calculada de 4260 N. Cabe destacar que, a la vista de estos valores, podrían considerarse como despreciables. Así, aunque en el estudio del bastidor plegable sí que se van a incluir, haremos lo contrario en el estudio del bastidor fijo, puesto que, el distribuidor estará justo encima de estas salidas y, por lo tanto, el peso sobre estas será mucho menor y, por lo tanto, despreciable.

A3.3. Dimensionado del cilindro para el plegado hidráulico de la estructura.

Una vez determinadas las cargas sobre cada uno de los brazos, imponemos las condiciones de apoyo para obtener las reacciones. En este caso, queremos conocer la fuerza que realiza el cilindro hidráulico.

Así, las condiciones impuestas para el vástago son las siguientes:

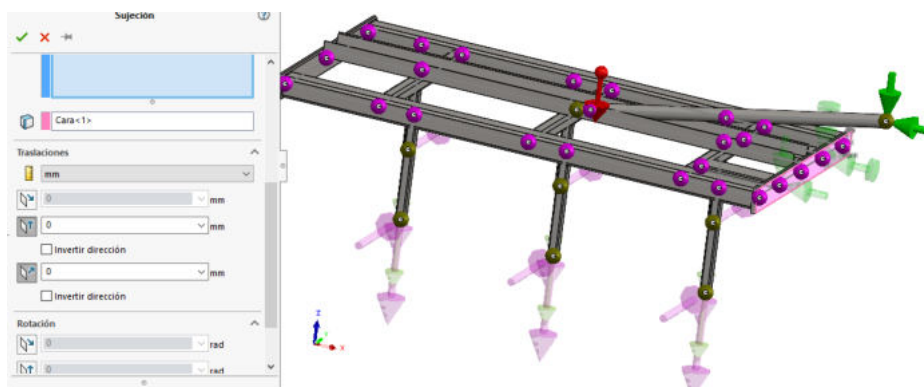


Ilustración 118. Condiciones de apoyo sobre la barra circular de la estructura.

Como podemos observar, hemos fijado dicho vástago en las direcciones x e y, para que podamos, de esta manera, obtener la fuerza axial que realiza la barra circular.

Por otro lado, vamos a fijar los puntos dónde irán las orejetas que permitirán el giro del bastidor. Para ello, aplicamos las siguientes condiciones en dichos puntos.

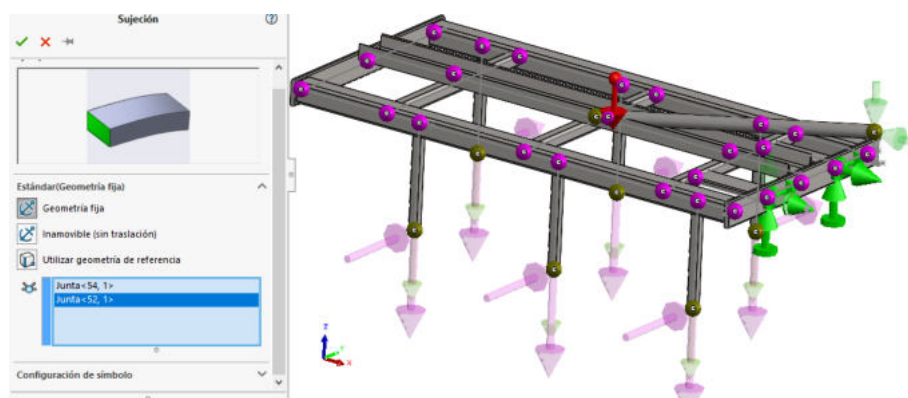


Ilustración 119. Condiciones de apoyo sobre los puntos de giro de la estructura.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Una vez impuestas todas las condiciones, vamos a realizar el mallado de toda la estructura. Como la estructura es muy simple, vamos a realizar un mallado por defecto, obteniendo el siguiente resultado.

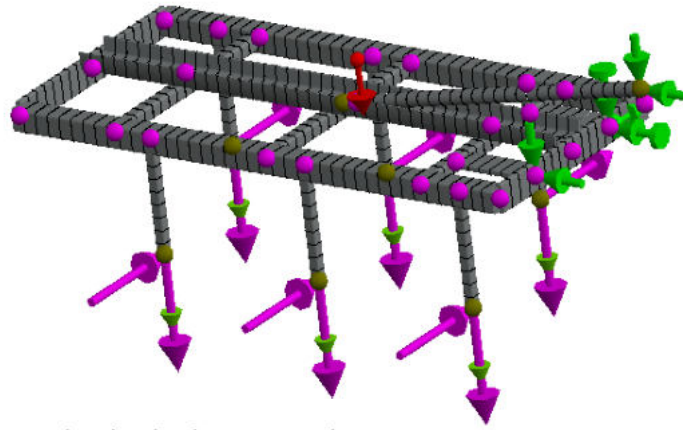


Ilustración 120. Mallado de la estructura para determinar la fuerza axial de la barra circular.

Con todos los parámetros establecidos, podemos simular el estudio. De los resultados obtenidos con las anteriores condiciones de apoyo, únicamente nos quedaremos con la fuerza axial en la barra circular que simula al cilindro. Por lo tanto, pedimos al software que nos muestre la fuerza axial en dicho elemento, obteniendo el siguiente resultado:

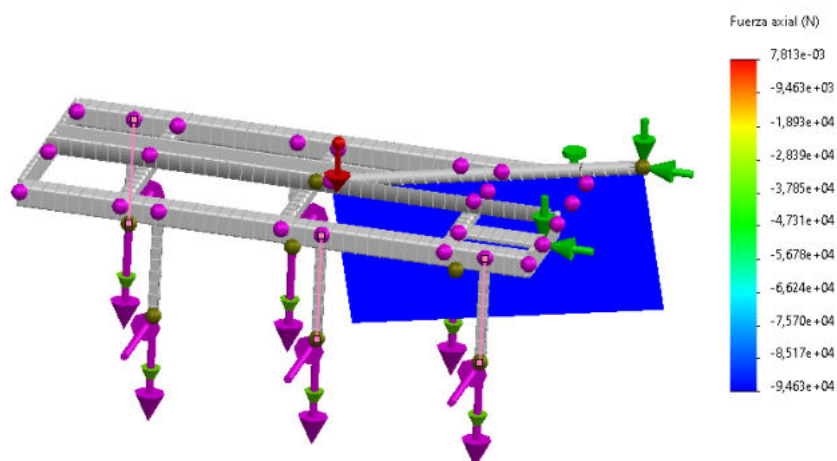


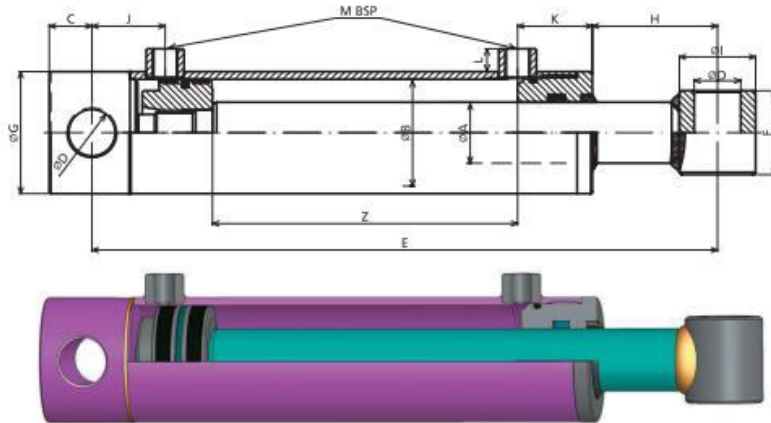
Ilustración 121. Fuerza axial de la barra circular.

Por tanto, la fuerza axial a lo largo del cilindro será constante y de valor 94630N.

Una vez obtenida la fuerza que realiza el cilindro, podemos proceder a su dimensionado teniendo en cuenta las pautas comentadas en la memoria. Para ello, hemos elegido un proveedor de cilindros hidráulicos con el objetivo de ajustarnos a diámetros normalizados.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Las variedades que nos ofrece son las siguientes:



REF.	Ø A	Ø B	Z CARRERA STROKE	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	Vol. (L)	Peso Weight (Kg.)
700/05			50	205											0,04	1,7
700/10			100	255											0,08	2,0
700/15	20	32	150	305	16	16,2	35	40	28	30	47	35	9,5	1/4	0,12	2,3
700/20			200	355											0,16	2,6
700/30			300	455											0,24	3,2
701/1			100	270											0,13	2,9
701/2			200	370											0,25	3,8
701/3	25	40	300	470	17,5	20,25	40	50	64,5	35	38,5	40	15	3/8	0,38	4,7
701/4			400	570											0,50	5,7
701/5			500	670											0,63	6,6
702/1			100	300											0,20	4,3
702/2			200	400											0,39	5,6
702/3			300	500											0,59	6,8
702/4	30	50	400	600	22	25,25	45	60	85	40	43	43	15	3/8	0,79	8,0
702/5			500	700											0,98	9,5
702/6			600	800											1,18	10,5
702/7			700	900											1,37	11,7
703/1			100	300											0,28	5,4
703/2			200	400											0,57	7,0
703/3			300	500											0,85	8,1
703/4	30	60	400	600	22	25,25	45	70	83	40	43	45	15	3/8	1,13	9,5
703/5			500	700											1,41	10,8
703/6			600	800											1,70	12,2
703/7			700	900											1,98	13,5
704/2			200	410											0,77	10,0
704/3			300	510											1,15	11,9
704/4	40	70	400	610	28	30,5	55	80	82	50	48	49	15	3/8	1,54	13,7
704/5			500	710											1,92	15,6
704/6			600	810											2,31	17,5
704/7			700	910											2,69	19,4
705/2			200	410											1,01	12,0
705/3			300	510											1,51	14,0
705/4	40	80	400	610	28	30,5	55	90	70	50	48	54	15	3/8	2,01	16,0
705/5			500	710											2,51	18,1
705/6			600	810											3,02	20,1
705/7			700	910											3,52	22,1
706/3			300	525											2,36	25,6
706/4			400	625											3,14	28,5
706/5	50	100	500	725	28	30,5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	3,93	31,4
706/7			700	925											5,50	37,2
706/9			900	1125											7,07	43,0
707/5	70	120	500	770	40	40,5	80	140	55	80	65	82	17	1/2	5,65	60,0
707/10			1000	1270											11,31	90,0

Tabla 6. Dimensiones normalizadas de los cilindros hidráulicos del proveedor cicromur. [10]

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Escogemos un diámetro de émbolo y vástago y realizamos la comprobación. Como la fuerza que tiene que realizar es elevada, vamos a descartar los diámetros más bajos y nos vamos a centrar en la parte baja de la tabla. Así, escogemos un diámetro de émbolo de 80mm, que tiene asociado un diámetro de vástago de 40mm.

En el ANEXO 14, podemos observar varias fichas técnicas de las principales marcas de tractores agrícolas de categoría 3, es decir, con una potencia superior a 120 hp que serán los encargados de llevar dicho aplicador. Tal como hemos determinado, cada brazo consume 8CV de potencia, por lo que, al tener 15 brazos, necesitamos una potencia de 120CV únicamente para mover los brazos, teniendo que arrastrar la cisterna llena, por el campo y con la toma de fuerza del tractor conectada para mover la bomba de la cuba. Así, sabemos de antemano que la potencia requerida del tractor podría ser superior a los 200CV. A la vista de dichas fichas técnicas, observamos que todos ellos trabajan con bombas hidráulicas que desarrollan 200 bares de presión a régimen nominal, por lo que esta será la presión de trabajo de los cilindros hidráulicos.

Con esta presión y los diámetros seleccionados, podemos obtener la fuerza máxima que es capaz de desarrollar el cilindro en la cámara de retroceso.

Como conocemos la presión de trabajo y las dimensiones de los diámetros del émbolo y vástago respectivamente, podemos conocer la fuerza máxima que es capaz de desarrollar el cilindro en su cámara de retroceso. Necesitamos conocer la fuerza máxima en esta cámara de retroceso ya que, como hemos visto, la fuerza que es necesaria aplicar sobre el vástago es de tracción, por lo que el cilindro es necesario que trabaje en retroceso.

$$P = \frac{F}{A}, \text{ siendo, } A = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2)$$

$$F = P * \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2)$$

$$F = 200(\text{bar}) * \frac{1}{10} \left(\frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right) * \frac{\pi}{4} * (80^2 - 40^2)$$

$$F = 75398,22 \text{ N}$$

Podemos observar que esta fuerza máxima es mucho inferior a nuestra fuerza de trabajo (75398,22N frente a 94630N), por lo tanto, la elección **no es correcta**.

Vamos a probar con el modelo superior, es decir, con 50mm de vástago y 100 de émbolo.

$$F = 200(\text{bar}) * \frac{1}{10} \left(\frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right) * \frac{\pi}{4} * (100^2 - 50^2)$$

$$F = 117809,72 \text{ N}$$

Tras dos iteraciones, llegamos a un cilindro de diámetro de émbolo de 100mm y un diámetro de vástago de 50mm. Para completar su geometría, acudiremos a la tabla de los anexos, teniendo en cuenta que su referencia es 706/5. Como bien hemos calculado, la fuerza máxima capaz de desarrollar el cilindro escogido es de 117809,72N, bastante superior a los 94630N de trabajo.

A3.4. Dimensionado de las orejetas para la sujeción del cilindro hidráulico.

A3.4.1. Determinación del espesor.

Como bien hemos comentado, el cilindro escogido es capaz de desarrollar una fuerza superior a la carga de trabajo por lo que, para el dimensionado del espesor de las orejetas, consideraremos la fuerza máxima que es capaz de desarrollar el cilindro. Esta fuerza máxima se desarrolla en la cara de avance del cilindro, por lo que únicamente influirá el área del émbolo de este.

Así, su fuerza máxima es:

$$F_{\text{máx}} = P * A = \frac{200}{10} * 7853,98 = \mathbf{157079 \text{ N}}$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * 100^2 = 7853,98 \text{ mm}^2$$

$$P = 200 \text{ bar}$$

Si observamos el cilindro escogido, el casquillo que va soldado al vástago ya nos viene con el cilindro, por lo que consideramos que soportará el aplastamiento a la fuerza máxima del cilindro.



Ilustración 122. Geometría del cilindro escogido.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Si observamos la siguiente imagen, dicho casquillo corresponde al espesor e_1 del esquema. Así, nos centraremos en el dimensionado del espesor e_2 desde el punto de vista del aplastamiento.

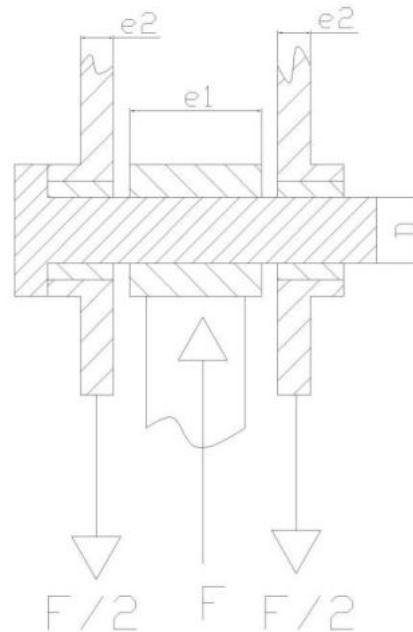


Ilustración 123. Ensamblaje del cilindro sobre las orejetas.

Cuando comprobamos por aplastamiento siempre hay suponer que romperá aquella parte más frágil, es decir, la que menos resista. Es por ello por lo que necesitamos seleccionar un material también para el bulón, comprobando que ambos sean capaces de superar nuestro **coeficiente de seguridad mínimo que es de 1,5**.

Así, vamos primero a suponer un material para el bulón, que, en este caso, será el F1250 con una $\sigma_f = 355 \text{ MPa}$. Para asegurarnos de que la elección del material ha sido la correcta, obtendremos el coeficiente de seguridad que tendríamos con este bulón.

Aplicaremos la siguiente ecuación:

Para ello, tenemos en cuenta que los bulones únicamente están sometidos a tensión cortante. Así, obtenemos esta tensión mediante la fuerza máxima del cilindro, el área de este bulón y los planos de cortadura a los que está sometido.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{F_{\text{máx}}}{n * A}$$

Siendo n , el número de planos de cortadura, que, en este caso, sobre el eje de simetría del bulón, serían 2, tal como podemos observar en la ilustración 112.

Según la Teoría del Cortante Máximo, sabemos que:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\frac{\sigma_f}{2}}{C_s}$$

Como hemos comentado, el diámetro del bulón nos viene marcado por el fabricante del cilindro, y este es igual para ambos extremos y de valor 30,5mm.

Su área, por lo tanto, será de: $A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * 30,5^2 = 730,61 \text{ mm}^2$

Tal como hemos calculado anteriormente, conocemos la fuerza máxima del cilindro, así como la σ_f del bulón, por lo que podemos igualar ambas ecuaciones y obtener el coeficiente de seguridad al que estaría trabajando el bulón.

$$\frac{F_{\text{máx}}}{n * A} = \frac{\frac{\sigma_f}{2}}{C_s}$$

$$\frac{157079}{2 * 730,61} = \frac{\frac{355}{2}}{C_s}$$

$$C_s = 1,63$$

Como el coeficiente de seguridad es superior a 1.5, la elección del material ha sido la correcta. Esto nos lleva a que, entre el bulón y la orejeta, el material menos resistente es esta última, por lo que vamos a dimensionarla desde el punto de vista del aplastamiento.

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{\sigma_{f \text{ orejeta}}}{C_s}$$

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{\frac{F_{\text{máx}}}{2}}{\phi * e}$$

Siendo e, el espesor de la orejeta, es decir, e2 según la ilustración 112.

Vamos a considerar un coeficiente de seguridad de 2 para dicha orejeta, por lo que, igualando ambas ecuaciones, llegamos a:

$$\frac{\sigma_{f \text{ orejeta}}}{C_s} = \frac{F_{\text{máx}}}{2 \cdot \phi * e}$$

$$\frac{355}{2} = \frac{157079}{30,5 * e}$$

$$e = 14,5 \text{ mm}$$

Viendo el resultado, trabajaremos con un espesor de orejeta de 15mm.

A3.4.2. Determinación del resto de dimensiones.

Para determinar el resto de dimensiones, calcularemos las orejetas a flexión, por lo que necesitamos un diseño previo de estas. Como tenemos el limitante del ángulo que tiene que formar el cilindro una vez ensamblado, la altura de estas orejetas vendrá condicionada.

Como conocemos la longitud total del cilindro en su posición extrema de avance (émbolo + carrera) y el ángulo que éste forma, podemos conocer la altura de la orejeta mayor, es decir, la altura de la orejeta que va alojada en el bastidor fijo. A esta altura obtenida, tendremos que sumarle la altura de la orejeta que va alojada en el bastidor plegable. Cabe recordar que estas orejetas irán alojadas en el interior del perfil en C que refuerza la estructura, por lo que la altura de la orejeta más pequeña, es decir, la que va alojada en el bastidor plegable, tiene que ser lo suficientemente alta como para librar dicho perfil y que el bulón pueda introducirse sin problema.

Como podemos observar, para librar el perfil perfectamente, necesitamos una altura superior a 60mm. En nuestro caso, impondremos una altura hasta el centro del agujero de 87mm, por lo tanto, esta será la altura que habrá que sumar a la operación siguiente para obtener la altura de la orejeta mayor.

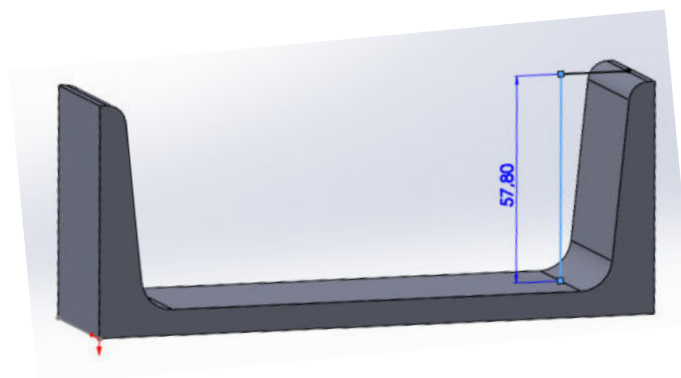
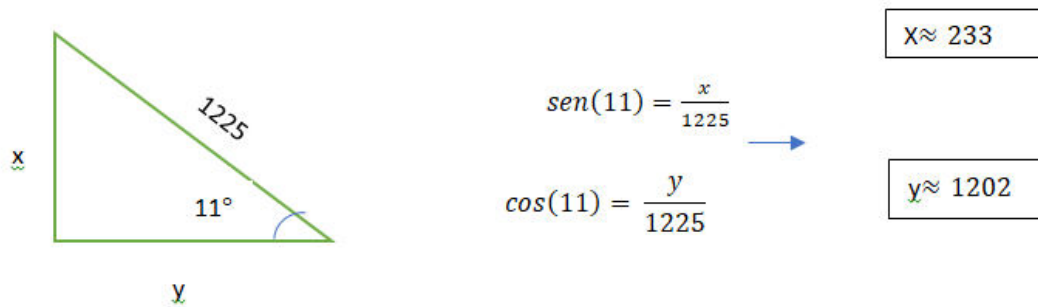


Ilustración 124. Altura del perfil en C que refuerza la estructura.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Para obtener dicha altura, sabiendo que la longitud total del cilindro según especificaciones es de 1225mm (500mm + 725mm) y el ángulo formado entre el cilindro y la horizontal del bastidor son 11 grados; aplicaremos la regla de senos y cosenos, obteniéndose también la separación entre ambas orejetas.



Con todos estos datos, podemos comprobar si la orejeta cumple para el caso de flexión. Para ello, vamos a tener en cuenta lo comentado antes, es decir, que al resultado de despejar la x mediante la aplicación de la regla del seno, le tenemos que sumar 87mm para que la orejeta del otro extremo pueda montarse sin alterar los datos geométricos. Así, esta altura sería de $233+87=320\text{mm}$. Para la primera estimación, partimos de una base de la orejeta de 200mm.

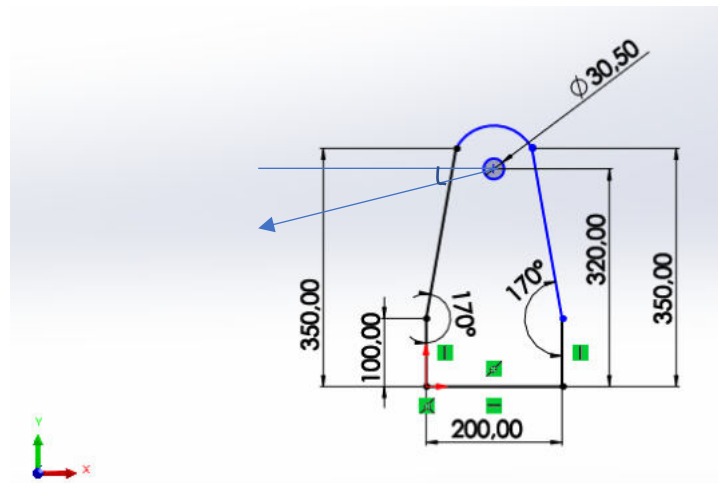


Ilustración 125. Diseño inicial de la orejeta situada en el bastidor fijo para alojar el cilindro hidráulico.

Para este cálculo, necesitaremos otra vez la fuerza máxima del cilindro hidráulico, cuyo valor es 157079 N. Mediante la siguiente fórmula, podremos obtener la tensión aplicada sobre dicha orejeta. Como hemos comentado, estas orejetas estarán sometidas a la tensión axial del propio cilindro, pero a su vez a un momento flector al estar la fuerza aplicada a una determinada distancia respecto al suelo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A}$$

Para ello, vamos a tener en cuenta que la fuerza del cilindro se reparte en dos orejetas de las mismas dimensiones, así como que dicha fuerza está aplicada sobre esta con un ángulo de 11 grados.

Tal como podemos observar en la ilustración 114, el coseno de la fuerza del cilindro es el que realiza un momento flector sobre esta orejeta.

$$M_f = \frac{F_{cil}}{2} * \cos(11) * h = \frac{157079}{2} * \cos(11) * 320 = 24670882,62 \text{ Nmm}$$

Por otro lado, el seno de esta fuerza somete a la orejeta a tensión axial.

$$N = \frac{F_{cil}}{2} * \sin(11) = \frac{157079}{2} * \sin(11) = 14986 \text{ N}$$

Por último, para calcular el momento resistente de dicha orejeta, necesitamos conocer el eje sobre el que se lleva a cabo esta inercia. Observando el eje de coordenadas de la misma ilustración anterior y, sabiendo que, el momento flector lleva la dirección del eje Z (aplicando la regla de la mano derecha), tenemos que calcular la inercia sobre esa misma dirección.

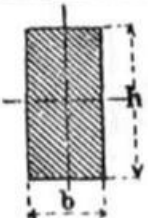
CROQUIS de la sección	MÓDULO Z de la sección	ÁREA A de la sección
	$\frac{1}{6} b h^2$	$b h$

Ilustración 126. Ayuda para el cálculo del módulo resistente.

A la vista de la ilustración 115, orientando el perfil paralelo al eje z, determinamos que, la base mayor de dicho perfil corresponde a la base mayor de la orejeta, siendo el espesor de esta, su base menor.

$$W_f = \frac{I_z}{y_{max}} \rightarrow \frac{\frac{e * h^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{e * h^2}{6} = \frac{15 * 200^2}{6} = 100000 \text{ mm}^3$$

$$I_z = \frac{e * h^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{h}{2}$$

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Finalmente obtenemos:

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A} = \frac{24670882,62}{100000} + \frac{14986}{15 * 200} = 251,7 \text{ MPa}$$

Tras obtener la tensión compuesta, al compararla con la tensión admisible del material utilizado, obtenemos el factor de seguridad de la orejeta.

$$C_s = \frac{\sigma_{f \text{ orejeta}}}{\sigma} = \frac{355}{251,7} = 1,41$$

Como podemos observar, el coeficiente de seguridad es reducido e inferior a 1,5 que es el que estamos usando para el trabajo, por lo que la elección de las dimensiones de la orejeta es incorrecta, así que vamos a modificar el diseño para obtener una base mayor.

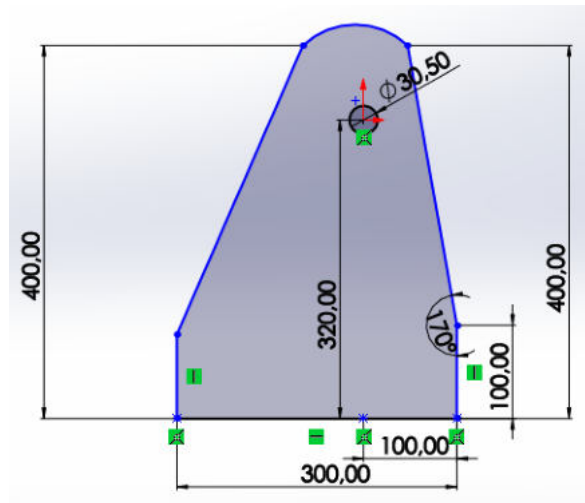


Ilustración 127. Rediseño de la orejeta.

Una vez rediseñada la base, volvemos a recalcular dicho cálculo a flexión:

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A}$$

$$M_f = \frac{F_{cil}}{2} * \cos(11) * h = \frac{157079}{2} * \cos(11) * 320 = 24670882,62 \text{ Nmm}$$

$$N = \frac{F_{cil}}{2} * \text{sen}(11) = \frac{157079}{2} * \text{sen}(11) = 14986 \text{ N}$$

$$W_f = \frac{I_z}{y_{max}} \rightarrow \frac{\frac{e * h^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{e * h^2}{6} = \frac{15 * 300^2}{6} = 225000 \text{ mm}^3$$

$$I_z = \frac{e * h^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{h}{2}$$

Finalmente obtenemos:

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A} = \frac{24670882,62}{225000} + \frac{14986}{15 * 300} = 112,97 \text{ MPa}$$

$$C_s = \frac{\sigma_{f \text{ orejeta}}}{\sigma} = \frac{355}{112,97} = 3,14$$

Como podemos observar, el coeficiente de seguridad es amplio y superior a 1,5 que es el que estamos usando como referencia para el trabajo.

Así pues, la orejeta tendría un espesor de 15mm y una altura hasta el centro del agujero de 320mm.

Esta orejeta es la que iría en la parte central del aplicador, desde dónde saldría el cilindro hasta la parte plegable del mismo.

Para unir el cilindro al bastidor plegable, necesitamos otra orejeta. Esta, estará compuesta del mismo material, sometida a la misma fuerza que las orejetas del bastidor fijo y con una longitud de base de 200mm, pero con mucha menos altura que la orejeta anterior. De esta forma, estamos seguros de que dicha orejeta cumplirá el cálculo a flexión, pero no está de más calcularlo y ver en que coeficiente de seguridad trabaja.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

El diseño propuesto quedaría así:

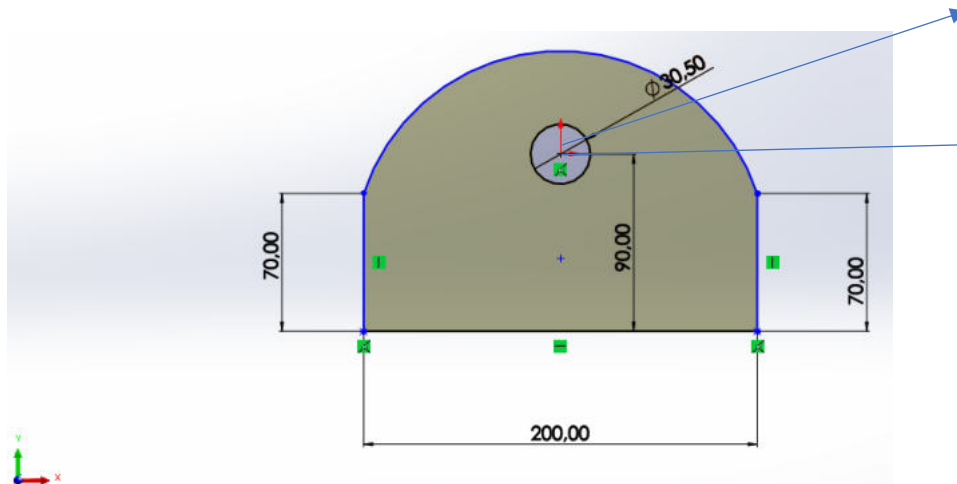


Ilustración 128. Orejeta para alojar el cilindro hidráulico en el bastidor plegable.

Aplicando las mismas ecuaciones, llegamos a obtener el coeficiente de seguridad al que trabaja dicha orejeta.

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A}$$

$$M_f = \frac{F_{cil}}{2} * \cos(11) * h = \frac{157079}{2} * \cos(11) * 90 = 6938685,74 \text{ Nmm}$$

$$N = \frac{F_{cil}}{2} * \text{sen}(11) = \frac{157079}{2} * \text{sen}(11) = 14986 \text{ N}$$

$$W_f = \frac{I_z}{y_{max}} \rightarrow \frac{\frac{e * h^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{e * h^2}{6} = \frac{15 * 200^2}{6} = 100000 \text{ mm}^3$$

$$I_z = \frac{e * h^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{h}{2}$$

Finalmente obtenemos:

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A} = \frac{6938685,74}{100000} + \frac{14986}{15 * 200} = 74,38 \text{ MPa}$$

$$C_s = \frac{\sigma_{f \text{ orejeta}}}{\sigma} = \frac{355}{74,38} = 4,77$$

Como era de esperar, la orejeta cumple sobradamente a flexión.

A3.5. Diseño de las orejetas para el giro de los bastidores plegables.

A3.5.1. Cálculo del bulón.

En primer lugar, diseñaremos y calcularemos el bulón que permitirá el giro entre los bastidores plegables y el fijo. Para ello, vamos a partir de un bulón de diámetro 30,5mm y del mismo material que los anteriores bulones, es decir, del acero F1250.

Como sabemos, los bulones únicamente están sometidos a tensión cortante, por lo que vamos a analizar su comportamiento mediante la teoría del Cortante Máximo.

Para ello, necesitamos conocer el valor de la fuerza en cada una de las dos direcciones que producen el cortante. Así, vamos a volver al esquema simplificado inicial. Como el bastidor fijo y plegable estarán unidos en dos puntos de apoyos diferentes, tenemos que analizar cada uno de ellos para determinar cuál de los dos es el que realiza mayor esfuerzo.

Así, en las sujeciones, vamos a imponer geometría fija en uno de los dos apoyos, dejando en el otro apoyo la dirección de la fuerza axial libre, para conocer en dicho punto, la tensión cortante producida por las otras dos direcciones. A la vista de los siguientes esquemas, la dirección que produce el axil es la dirección Y.

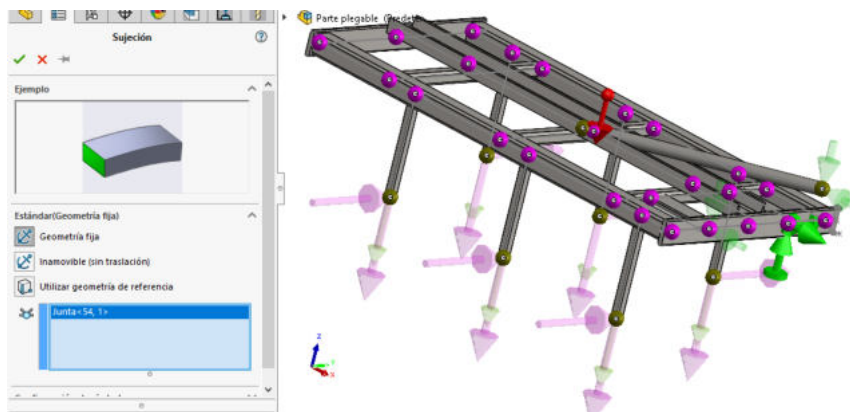


Ilustración 129. Liberación del apoyo en el eje Y para la orejeta derecha.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

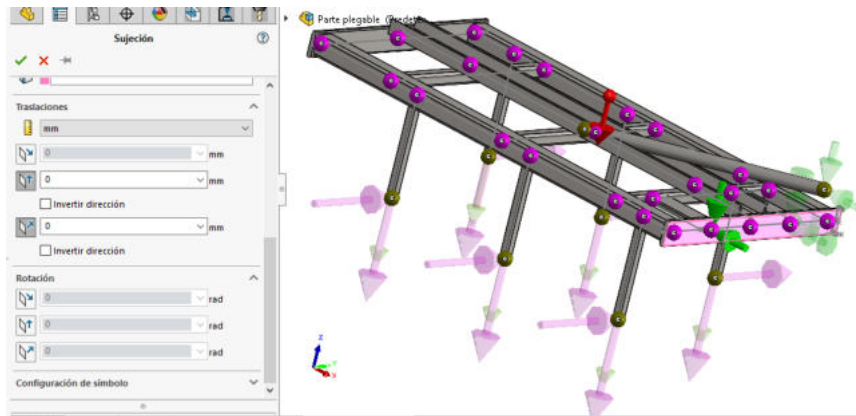


Ilustración 130. Liberación del apoyo en el eje Y para la orejeta izquierda.

Una vez marcadas las sujeciones de los apoyos, dejando la sujeción del vástago del cilindro como en el primer caso, podemos mellar el esquema. Estamos en la misma situación que antes, como no tenemos ningún elemento complejo, aplicamos un mallado por defecto, obteniendo el mismo resultado que en el caso del cilindro.

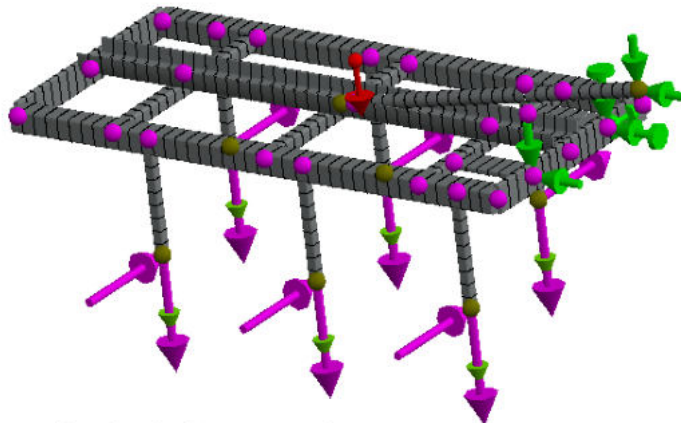


Ilustración 131. Mayado por defecto de la estructura para la simulación.

De esta forma, el programa es capaz de analizar la geometría y obtener la fuerza cortante en las dos direcciones, que analizaremos en el apoyo donde hemos determinado la geometría variable, liberando el apoyo en la dirección Y. Por tanto, haremos esta operación en los dos apoyos con el fin de determinar en cuál de ambos es mayor.

Como hemos dicho, los bastidores tienen fuerza simétrica por lo que analizaremos los dos apoyos en un mismo bastidor.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

El resultado obtenido es el siguiente:

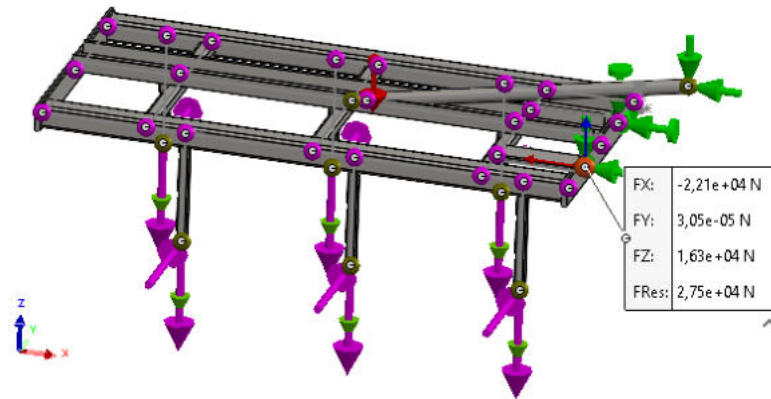


Ilustración 132. Fuerza cortante resultante en el apoyo izquierdo.

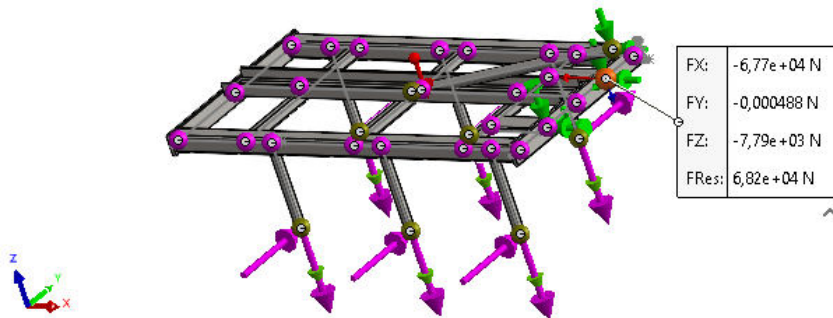


Ilustración 133. Fuerza cortante resultante en el apoyo derecho.

Una vez analizados los dos apoyos, podemos observar que, en el primer apoyo, se produce la mayor fuerza en el eje z, siendo esta, una fuerza vertical y hacia arriba. En el mismo lado plegable, pero en el otro apoyo, obtenemos la mayor fuerza en el eje x. Esta, es una fuerza horizontal y hacia la izquierda, es decir, negativa.

Para analizar el comportamiento del bulón, tomaremos como fuerza resultante, el valor máximo de la fuerza resultante entre los dos apoyos.

$$F_{resultante} = 68200 \text{ N}$$

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Esta tensión la calcularemos mediante:

$$\tau_{xz} = \frac{F_{resultante}}{n * A} = \frac{68200}{2 * \frac{\pi}{4} * 30,5^2} = 46,67 \text{ MPa}$$

Para obtener los planos de cortadura (n), vamos a analizar la distribución de estas orejetas en el aplicador. Aunque no tengamos aún el diseño de estas, la forma de unión que queremos conseguir es la siguiente.

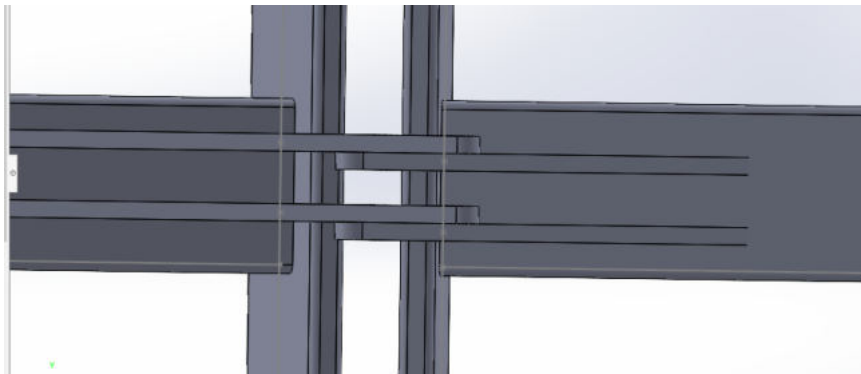


Ilustración 134. Planos de cortadura para el bulón de giro.

Como podemos observar, el bulón rompería en dos planos, correspondientes a los planos producidos por el roce de las orejetas. Como tenemos dos grupos de dos orejetas cada uno, tenemos un plano de corte en cada grupo, por lo que el número de planos de corte sería 2.

Por último, vamos a obtener el coeficiente de seguridad de este bulón, que recordemos, tiene que ser igual o superior a 1,5 para ser coherentes con el resto del trabajo.

$$C_s = \frac{\sigma_F}{2 * \tau_{máx}} = \frac{355}{2 * 46,67} = 3,8$$

Como podemos observar, el coeficiente de seguridad es superior a 1,5, por lo tanto, la lección del diámetro del bulón ha sido la correcta.

A3.5.2. Diseño y cálculo de las orejetas de giro.

Una vez diseñado y calculado el bulón, procedemos al diseño de las orejetas que serán las encargadas de unir ambos bastidores plegables con el fijo. Una vez propuesto el diseño, vamos a aplicar sobre las orejetas, en la posición del bulón, las fuerzas máximas obtenidas en la simulación anterior, más concretamente en la posición dónde hemos impuesto el apoyo fijo.

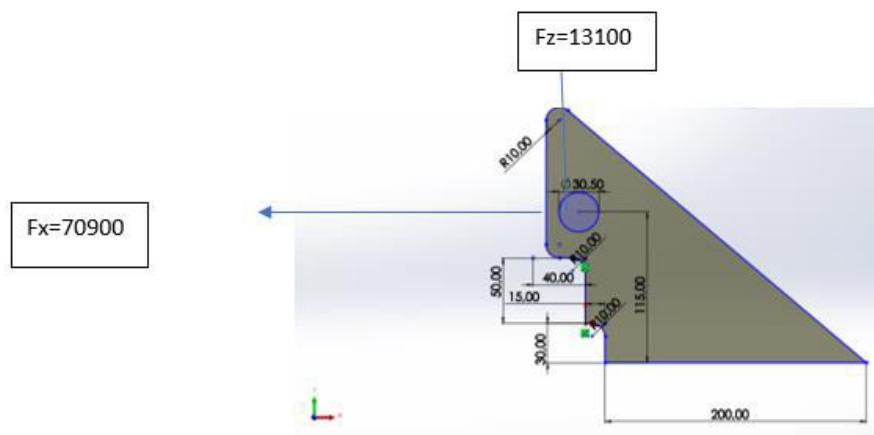


Ilustración 135. Fuerzas en el plano X y Z sobre la orejeta.

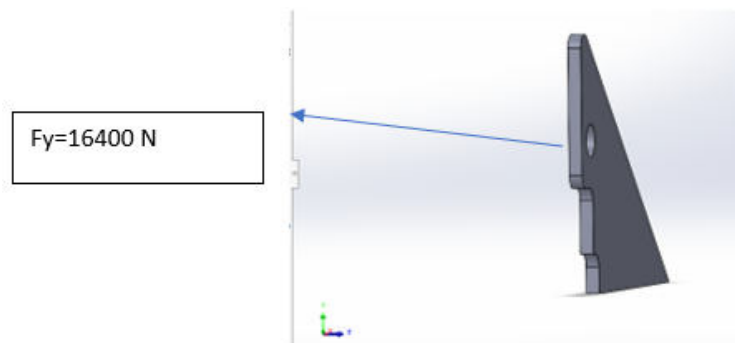


Ilustración 136. Fuerza en dirección Y sobre la orejeta.

Como podemos observar, en dicho punto de giro, tenemos una fuerza que nos generará un esfuerzo axial sobre esta, y luego dos fuerzas que nos generarán flexión en dos planos. La fuerza en x, que obtenemos del Solid, nos generará axial, la fuerza en Y, flexión en el plano Z; y la fuerza Z, flexión en el plano Y; aplicando la misma regla que en el caso anterior.

Vamos a aplicar la siguiente fórmula para obtener el espesor de dicha orejeta. Para ello, tenemos en cuenta que:

$$F_x = 70900 \text{ N}$$

$$F_y = 16400 \text{ N}$$

$$F_z = 13100 \text{ N}$$

Siguiendo las imágenes anteriores, obtenemos estas 3 fuerzas máximas en cada dirección, que son las que actuarán sobre la orejeta.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Teniendo en cuenta que, como hay 4 orejetas, todas las fuerzas las dividimos entre 2, ya que dos orejetas reciben las reacciones de las otras dos. Las fórmulas aplicadas en este caso son idénticas a las usadas en las orejetas del cilindro, teniendo en cuenta ahora que las fuerzas obtenidas están aplicadas sobre los mismos ejes, por lo que no hay que proyectarlas.

Volvemos a aplicar el cálculo a flexión.

- Dirección Z

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A}$$

$$M_f = \frac{F_y}{2} * 115 = \frac{16400}{2} * 115 = 943000 \text{ Nmm}$$

$$N = \frac{F_x}{2} = \frac{70900}{2} = 35450 \text{ N}$$

$$W_f = \frac{I_z}{y_{max}} \rightarrow \frac{\frac{b * e^3}{12}}{\frac{e}{2}} = \frac{b * e^2}{6} = \frac{200 * e^2}{6} = 33,33 * e^2 \text{ mm}^3$$

$$I_z = \frac{b * e^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{e}{2}$$

Con todo lo calculado, tenemos:

$$\sigma_z = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A} = \frac{943000}{33,33 * e^2} + \frac{35450}{e * 200}$$

- Dirección y

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A}$$

$$M_f = \frac{F_z}{2} * 135 = \frac{13100}{2} * 115 = 753250 \text{ Nmm}$$

$$N = \frac{F_x}{2} = \frac{70900}{2} = 35450 \text{ N}$$

$$W_f = \frac{I_z}{y_{max}} \rightarrow \frac{\frac{e * b^3}{12}}{\frac{b}{2}} = \frac{e * b^2}{6} = \frac{e * 200^2}{6} = 6666,6 * e \text{ mm}^3$$

$$I_z = \frac{e * b^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{b}{2}$$

Con todo lo calculado, tenemos:

$$\sigma_y = \frac{M_f}{W_f} + \frac{N}{A} = \frac{753250}{6666,6 * e} + \frac{35450}{e * 200}$$

Para obtener el espesor, necesitamos sumar las tensiones en ambas direcciones, por lo que obtenemos:

$$\sigma_{zy} = \frac{943000}{33,33 * e^2} + \frac{35450}{e * 200} + \frac{753250}{6666,6 * e}$$

Para obtener el espesor, vamos a imponer un coeficiente de seguridad de 2.

$$C_s = \frac{\sigma_f \text{ orejeta}}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_f \text{ orejeta}}{C_s} = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ MPa}$$

Igualando las tensiones tenemos:

$$177,5 = \frac{943000}{33,33 * e^2} + \frac{35450}{e * 200} + \frac{753250}{6666,6 * e}$$

Así, obtenemos un espesor de:

$$e = 13,46 \text{ mm}$$

Por lo que escogeríamos un espesor de 14mm.

A4. Simulación del bastidor plegable.

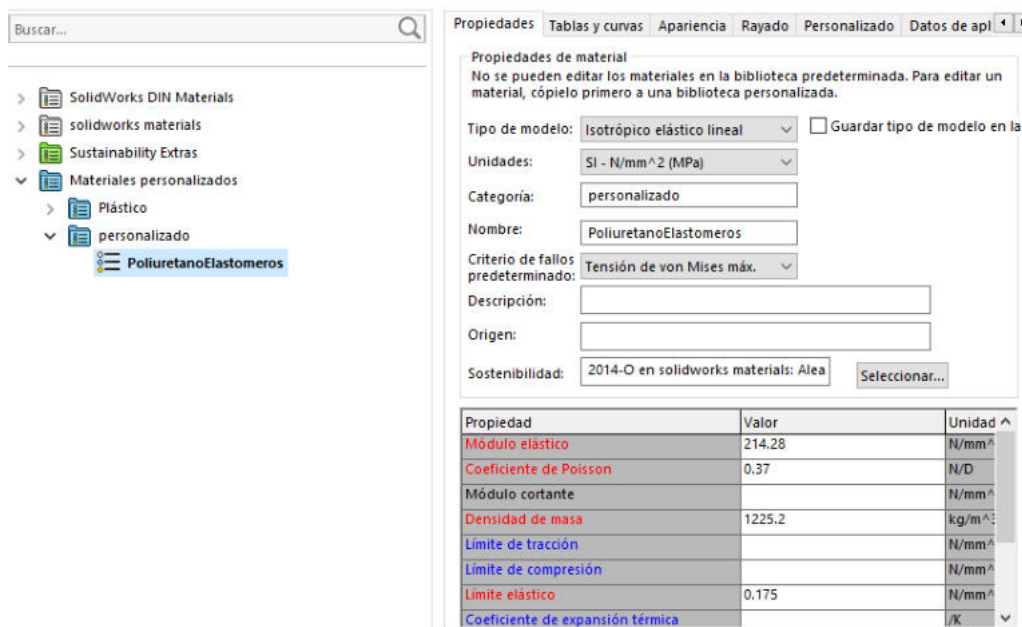
A4.1. Condiciones para la simulación.

A4.1.1. Materiales.

Una vez terminado el ensamblaje final, vamos a imponer las condiciones de cargas y sujeciones para poder realizar el análisis; así como la imposición de los diferentes materiales de la estructura, según lo comentado en los cálculos anteriores.

Como hemos comentado, para los elastómeros, el material escogido será el poliuretano. Como en la librería del SolidWorks no lo encontramos, vamos a definirlo.

Para ello, buscamos las propiedades más representativas y las definimos en el Software, obteniendo el siguiente resultado:



The screenshot shows the SolidWorks Material Properties dialog for a custom material named 'PoliuretanoElastomeros'. The material type is set to 'Isotrópico elástico lineal' with units in 'SI - N/mm^2 (MPa)'. The failure criterion is 'Tensión de von Mises máx.'. The properties table is as follows:

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	214.28	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.37	N/D
Módulo cortante		N/mm ²
Densidad de masa	1225.2	kg/m ³
Límite de tracción		N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	0.175	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K

Ilustración 137. Propiedades de los elastómeros.[11][12]

A4.1.2. Sujeciones.

Para las orejetas que albergan al cilindro, necesitamos determinar un plano para aplicar la geometría de referencia. Para este plano, definimos una línea que forma 11 grados con la horizontal, simulando así la geometría de aplicación de la fuerza por parte del cilindro.

Como podemos observar en la siguiente imagen, dicho plano es normal a la línea del vástago del cilindro. Así mismo, imponemos un desplazamiento nulo en esa dirección, puesto que estará sujeto por el cilindro:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

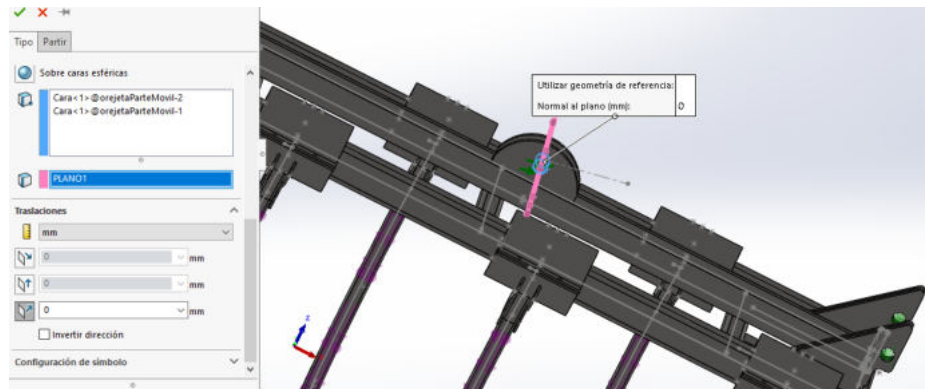


Ilustración 138. Definición de un plano a 11 grados respecto de la horizontal.

Por otro lado, para las orejetas que permiten el giro de los bastidores, impedimos el desplazamiento en la dirección radial a los agujeros que alojarán los bulones de giro:

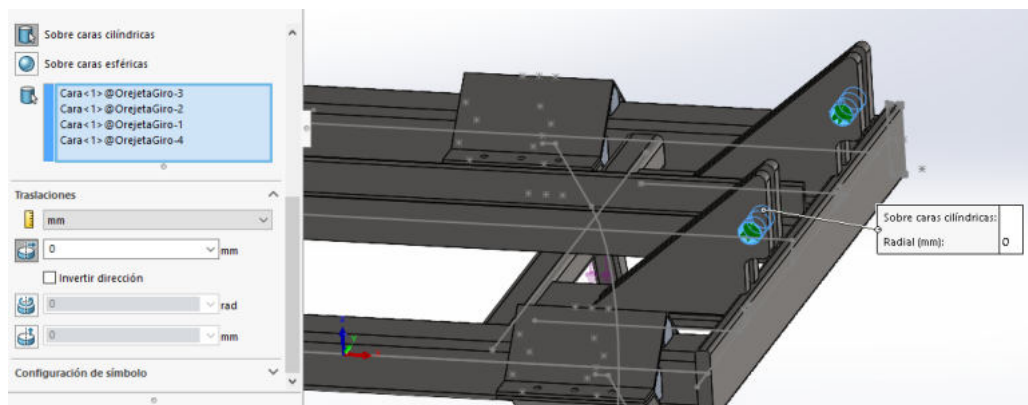


Ilustración 139. Desplazamiento radial nulo en los orificios de las orejetas de giro.

A4.1.3. Cargas.

Como hemos comentado a lo largo del trabajo, tenemos unas fuerzas iguales a todos los brazos, correspondientes a la fuerza que ejerce el terreno sobre ellos. Por otro lado, hemos estimado unas cargas mucho menores y variables sobre cada brazo correspondientes a la manguera, con el soporte para sujetarla y obviamente llena de purín. Aunque estas cargas son muy inferiores a las principales, vamos a considerarlas también. Así, tenemos las siguientes cargas aplicadas sobre la superficie interna de cada brazo.



Ilustración 140. Direcciones principales de las cargas aplicadas sobre los brazos.

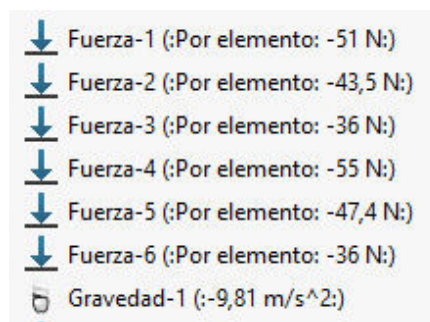


Ilustración 141. Magnitud de las cargas aplicadas sobre los brazos.

Hay que tener en cuenta que también hemos aplicado la fuerza de la gravedad.

A4.1.4. Mallado.

En este caso, como la estructura a analizar es más compleja en cuanto a geometría se refiere, vamos a definir una malla basada en curvatura para poder obtener un mejor resultado en los brazos. Para ello, se han utilizado elementos tetraédricos de segundo orden, con refinamiento por curvatura. Para el tamaño del elemento, se ha buscado un compromiso entre precisión y tiempo de cálculo.

Las propiedades y el resultado de la malla es el siguiente:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

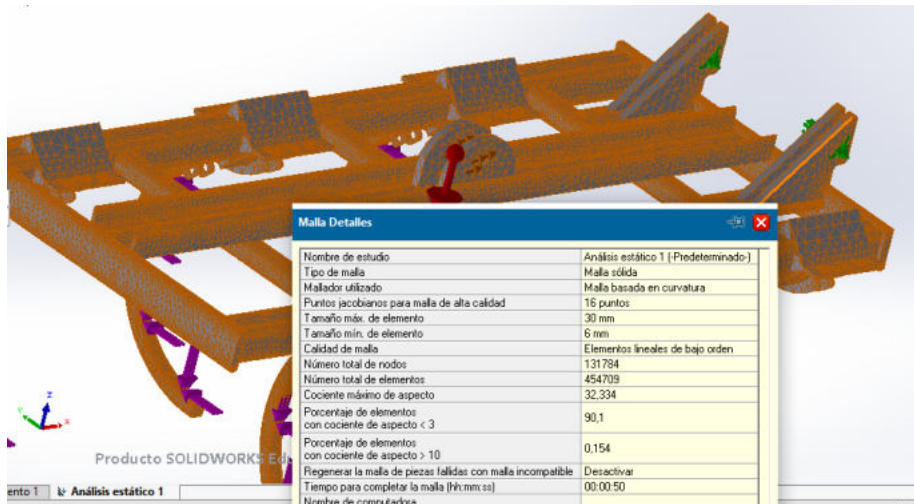


Ilustración 142. Propiedades del mallado.

A4.1.5. Refuerzos en las zonas más solicitadas.

A la vista de los resultados obtenidos en la memoria, tenemos zonas dentro de la misma estructura que están por debajo de nuestro límite de 1,5 del factor de seguridad. Así, optamos por aplicar soluciones individuales a cada uno de los elementos comprometidos.

-Orejeta sujeción de cilindro hidráulico:

Vamos a optar por aumentar el grosor de la zona cercana al orificio, de tal forma que se refuerce la superficie donde trabaja el bulón. Así, vamos a realizar una especie de arandela que formará parte de la orejeta, por ambos lados y con un diámetro al doble del orificio de esta.

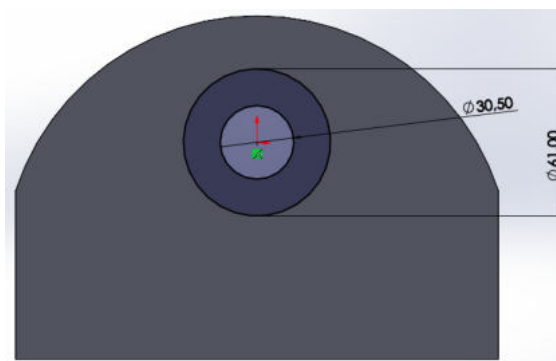


Ilustración 143. Croquis del refuerzo a aplicar en la orejeta.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Una vez dibujada, vamos a extruirla con un grosor de 5mm, obteniendo el siguiente resultado:

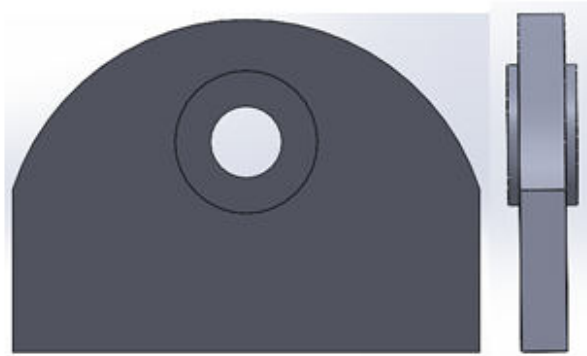


Ilustración 144. Alzado y perfil del refuerzo aplicado en la orejeta.

-Barras transversales a la estructura:

Tal como hemos comentado a lo largo del trabajo, estas barras transversales que refuerzan los dos bastidores principales estaban compuestas por un tubo cuadrangular de sección 50x50x5. Para intentar aumentar el factor de seguridad, podemos aumentar el grosor de estas vigas. Pero recordemos que necesitamos construir un elemento no demasiado pesado y aumentando el espesor de estas vigas, estaríamos sobredimensionando demasiado la estructura, ya que como podemos observar en la memoria, solo tenemos el problema en la parte superior de estas vigas, cumpliéndose el factor de seguridad en la parte inferior. Así, optamos por introducir una pletina de 5mm de espesor en la parte superior de estas vigas a modo de refuerzo.

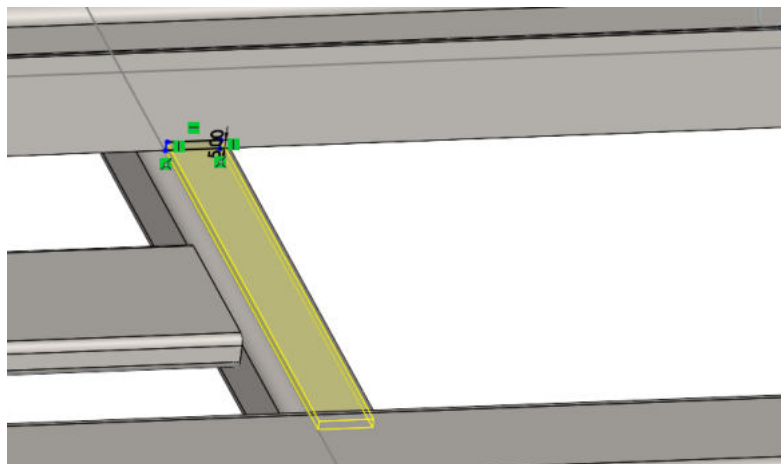


Ilustración 145. Croquis de la solución aportada para el refuerzo de las vigas transversales.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

-Pletinas para apoyo de orejetas del giro del bastidor:

En este caso, vamos a optar por incluir un ángulo recto en cada una de las uniones entre los dos elementos con el fin de evitar los concentradores de tensiones.

El diseño del ángulo es el siguiente, con la curvatura suficiente para librar uno de los amarres del brazo. Su espesor es de 10mm.

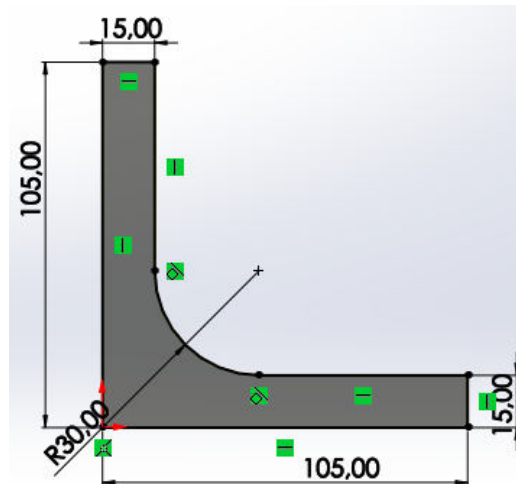


Ilustración 146. Croquis de la solución aportada para reforzar las pletinas sobre las que trabajan las orejetas de giro.

-Perfil en C del bastidor:

Como vemos que el perfil en C sufre a lo largo de su longitud, la modificación que llevaremos a cabo es la de incorporar una pletina de 10mm de espesor a lo largo de sus caras exteriores, a modo de refuerzo. La geometría de esta es la siguiente:

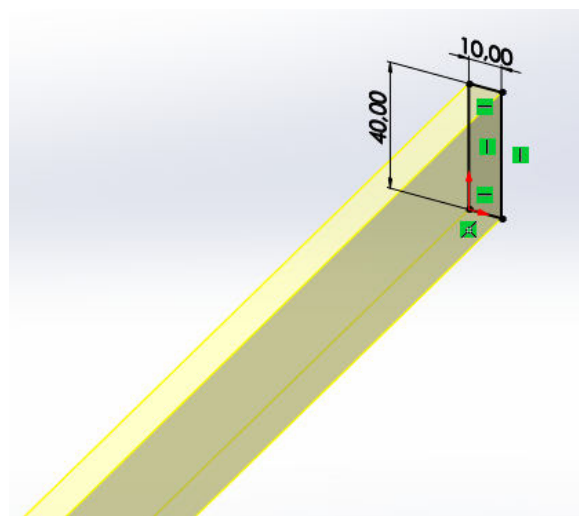


Ilustración 147. Croquis del refuerzo aportado para el perfil en C.

5. Distribuidor de purín.

5.1. Cálculos.

Para los cálculos, necesitamos conocer las fuerzas que actúan sobre éste. Para ello, vamos a considerar que, afectarán sobre este soporte, el distribuidor en sí mismo, es decir, tanto la tapa inferior como la superior; además del plato giratorio de discos junto al motor hidráulico y todas las mangueras que salen de este, así como la general que entra, estando, además, llenas de purín.

Por lo tanto, vamos a considerar que, tenemos 2 metros de manguera por cada salida de purín, que va del distribuidor, hasta la parte fija del bastidor. Cabe recordar que el resto de peso de la manguera hasta su salida lo estamos considerando y aplicando para el bastidor del aplicado, por lo que no recaerá sobre el soporte en cuestión.

Como bien hemos comentado, aunque el diseño propuesto utilice 15 salidas de purín, el distribuidor tiene 20. Para los cálculos y, buscando siempre la situación más desfavorable; consideraremos que tenemos las 20 salidas en utilidad.

Así, siguiendo con la manguera anterior, tenemos:

$$1,65 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{ de la manguera} * 2 \text{ metros de manguera en cada salida} = 2,6 \text{ kg}$$

Como hemos comentado, consideramos que la manguera está llena de purín:

Teniendo en cuenta la sección de esta, calculamos su volumen y lo multiplicamos por la densidad del purín:

$$0,002827 \text{ m}^2 * 2 \text{ m} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 5,7 \text{ kg de purín}$$

Por lo tanto, en cada salida del distribuidor tenemos un **peso**, considerando manguera y purín de **8,3 kg**. Como hemos comentado, operaremos considerando un total de 20 salidas de purín, por lo que el peso total será de:

$$\text{Peso total salidas de purín} = 8,3 * 20 = 166 \text{ kg}$$

Por otro lado, siguiendo los planos del fabricante del distribuidor de purín, adjuntos en el ANEXO 13, tenemos un peso para las bases tanto inferior como superior de **17,5 kg y 8,5 kg** respectivamente.

Hablando con el mismo fabricante, nos aconseja considerar unos **40 kg** extra del distribuidor correspondientes al plato de discos y al motor hidráulico de este.

Por último, tenemos que considerar el peso de la manguera de alimentación de purín, que es la encargada de transportarlo desde la cuba hasta el mismo distribuidor. Para ello, necesitamos seleccionar dicha manguera. Midiéndola sobre nuestro propio aplicador, determinamos que su diámetro es de 125mm.

Acudiendo al mismo proveedor que las mangueras para la conexión entre el distribuidor y los brazos, obtenemos sus propiedades.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Características técnicas / Technical features

Ø Interior Inside Ø (mm)	Peso Weight (kg/m)	Vacío Vacuum (bar)	Radio de Curvatura Bend Radius (mm)
50	1,20	0,8	400
53	1,40	0,8	424
60	1,65	0,8	480
67	1,90	0,8	536
70	1,98	0,8	560
75	2,05	0,8	592
80	2,25	0,8	640
90	2,60	0,8	720
100	3,20	0,8	800
110	3,70	0,8	880
120	4,00	0,8	960
125	4,15	0,8	1000
130	4,55	0,8	1040
150	6,10	0,8	1200
200	10,3	0,8	1600
250	15,0	0,8	2000

Ilustración 148. Propiedades técnicas de la manguera de alimentación del distribuidor.

Así, para este diámetro de 125mm, tenemos un peso de 4,15 kg/m. De la medición anterior, extraemos también la longitud de esta, que es de 3 metros

Su peso por tanto es de: 4,15 kg/m * 3metros= **12,45 kg**

Como a su vez esta manguera irá llena de purín, vamos a calcular su volumen para obtener el peso del líquido.

$$\text{Área manguera} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{125 * e - 3}{2}\right)^2 = 0,01227 \text{ m}^2$$

El peso de este líquido es de **30 kg**.

Si sumamos cada uno de los resultados obtenidos, llegamos a un valor de 274,75 kg. Así mismo, no hemos considerado ningún tipo de conexiones para las mangueras, ni tampoco la sujeción de las mangueras de salida del distribuidor.

Como no tenemos el peso de este despiece, vamos a considerar que equivalen a un 10% del peso total calculado, por lo que nos vamos a un peso total de unos 300 kg aproximadamente, que equivalen a unos **2940 N**.

Por otro lado, para la determinación de la fuerza lateral que actúa sobre el soporte, vamos a considerar una magnitud igual al peso, tanto de la manguera de alimentación llena de purín como el del mismo distribuidor; puesto que serían los elementos que podrían forzar lateralmente a este soporte con el movimiento oscilante de la manguera de alimentación.

De esta forma, el valor de esta fuerza es de:

$$\text{Fuerza lateral} = 17,5 + 8,5 + 40 + 12,45 + 30 = 108,45 \text{ Kg}$$

Es decir, esta fuerza lateral equivale a **1063N**.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A5.2. Simulación.

Una vez obtenido el valor de la fuerza, vamos a aplicarla al diseño propuesto.

En primer lugar, definimos un material para este soporte, siendo este el **acero S460N**, cuyas propiedades ya son conocidas.

Posteriormente, aplicamos las sujeciones. Recordamos que, como va a estar sujeto a la parte superior del cabezal, estará fijado por los 4 apoyos. Así, imponemos geometría fija.

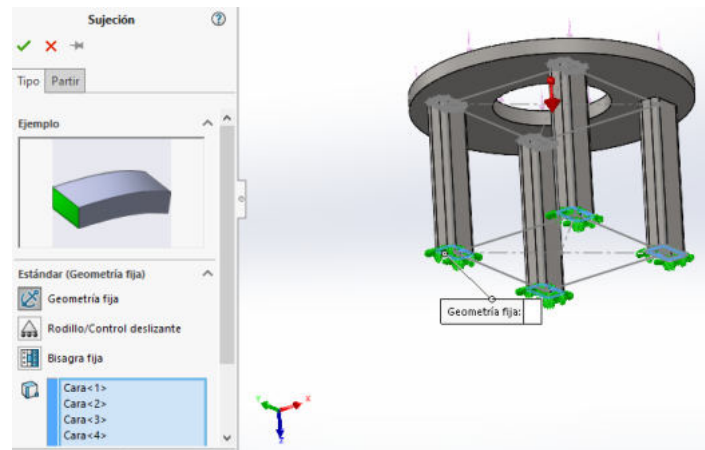


Ilustración 149. Geometría fija para la base del soporte del distribuidor.

Posteriormente, aplicamos tanto la fuerza de la gravedad como la carga de trabajo calculada, distribuida por toda la superficie superior.

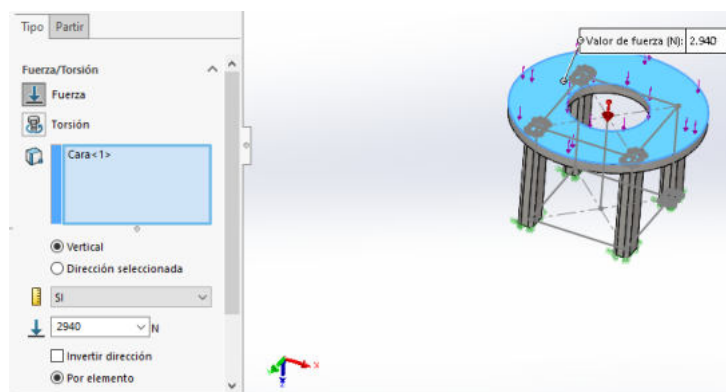


Ilustración 150. Carga de trabajo vertical junto a la fuerza de la gravedad.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

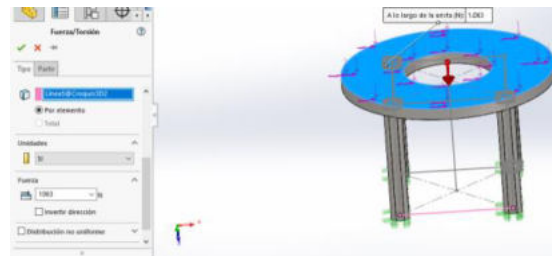


Ilustración 151. Carga de trabajo horizontal.

Una vez definidas las condiciones de contorno, aplicamos un mallado estándar, procediendo a la simulación.

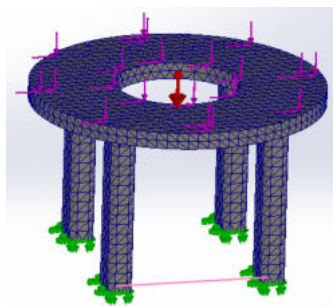


Ilustración 152. Resultado del mallado estándar sobre el soporte propuesto.

A6. Sistema de seguridad.

A6.1. Simulación del diseño.

Para abordar el cálculo del diseño propuesto, como ya se han calculado y comprobado analíticamente las orejetas de los elementos anteriores, la comprobación de este diseño se realizará únicamente mediante el Software SolidWorks.

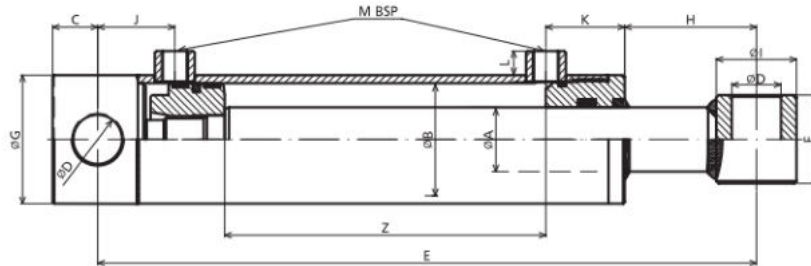
A la vista del diseño propuesto, necesitamos conocer la fuerza que tendrían que soportar a tracción los gatillos, así como la elección del cilindro hidráulico.

Cabe destacar que los cilindros hidráulicos no tendrán que vencer la fuerza de los gatillos ya que, una de las condiciones para el sistema hidráulico será que, el sistema se monte de tal manera que, cuando queramos desplegar los bastidores, en primer lugar, los cilindros principales se expandan, recuperando así una posible pérdida de presión de estos. De esta forma, los gatillos de seguridad se abrirán sin encontrar ningún impedimento a su paso. Así, únicamente necesitamos un cilindro con un vástago suficiente para librar el bulón donde se engancharán estos gatillos en el bastidor plegable, sin importarnos la fuerza máxima que son capaces de realizar.

Por tanto, vamos a seleccionar el cilindro más pequeño de nuestro proveedor inicial, con el objetivo de amoldar el resto de dimensiones geométricas a este. Esta elección se basa respecto a lo comentado, es decir, que únicamente necesitamos un cilindro capaz de desplazar el gatillo, sin exigirle ninguna fuerza mayor.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Acudiendo al proveedor cicromur, escogemos el cilindro más pequeño fabricado, siendo éste el correspondiente a la referencia 700/05 y cuyas dimensiones podemos ver a continuación:



REF.	Ø A	Ø B	Z CARRERA STROKE	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	Vol. (L)	Peso Weight (Kg.)
700/05	20	32	50	205	16	16,2	35	40	28	30	47	35	9,5	1/4	0,04	1,7
700/10			100	255											0,08	2,0
700/15			150	305											0,12	2,3
700/20			200	355											0,16	2,6
700/30			300	455											0,24	3,2

Tabla 7. Dimensiones de los cilindros secundarios.

Como podemos observar, el diámetro del vástago es de 20mm, siendo de 32mm el émbolo. Su carrera es de 50mm y su longitud total en su estado de excitación es de 255mm. Otra de sus características que nos interesa es la magnitud del diámetro D, es decir, el diámetro del casquillo para la sujeción del cilindro. Tal como podemos observar, este diámetro es de 16,2mm. Por lo que todos los bulones correspondientes a este sistema de seguridad serán de dicho diámetro, con el fin de unificar dimensiones.

Tal como hemos comentado, no requerimos la fuerza máxima del cilindro escogido, ya que únicamente necesitamos que sea capaz de mover los gatillos, cuyo peso es muy reducido. De esta manera, la solución aportada será la de incorporar un regulador de presión en estos cilindros escogidos de tal manera que limiten la fuerza máxima que son capaces de desarrollar ellos mismos. Tal como se comentará en las líneas siguientes, la fuerza máxima que se estima a la que estarán sometidos los cilindros será de 2940N, por lo que vamos a limitar esta fuerza máxima de manera que sea inferior a la fuerza máxima estimada. Esta decisión se debe principalmente a dos motivos. El primero de ellos es que, no tiene lógica alguna dimensionar el sistema desarrollado para soportar la fuerza máxima del cilindro escogido, siendo que dicha fuerza no es necesaria para el desarrollo de este. La siguiente razón es que, como hemos comentado, por motivos de seguridad, no queremos que los gatillos se abran estando los bastidores plegables descansado sobre estos. Es decir, llegamos al campo y los cilindros principales han perdido presión a lo largo del viaje, de tal forma que su peso recae sobre los gatillos. Si incorporamos unos cilindros secundarios que puedan abrirse en esa determinada situación, estaríamos en serio peligro de romper este sistema ya que, al desengancharse estos gatillos, se producirían golpes secos y posibles roturas. Así, se va a calcular la presión a la que habría que limitar el sistema para que estos cilindros secundarios no sobrepasen una fuerza máxima de 90N en el sentido de avance, siendo esta menor en el sentido de retroceso. Teniendo en cuenta que, el diámetro del vástago es de 20mm y el del émbolo de 32mm,

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

procedemos a calcular la presión de trabajo para desarrollar esa fuerza máxima de 90N en la cara de avance del cilindro.

-Cara de avance del cilindro:

$$P = \frac{F}{A}, \text{ siendo, } A = \frac{\pi}{4} * (D^2)$$

$$P = \frac{4 * F}{\pi * D^2}$$

$$P(\text{bar}) * \frac{1}{10} \left(\frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right) = \frac{4 * 90}{\pi * 32^2}$$

$$P = 1,11 \text{ bar}$$

-Cara de retroceso del cilindro:

Con esta nueva presión de trabajo, procedemos a calcular la fuerza máxima del cilindro en la cara de retroceso.

$$A = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2)$$

$$F = P * \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2)$$

$$F = 1,11(\text{bar}) * \frac{1}{10} \left(\frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right) * \frac{\pi}{4} * (32^2 - 20^2)$$

$$F = 54,39 \text{ N}$$

De esta forma, mediante la válvula reguladora de presión, se obtiene una fuerza máxima de 90N en el cilindro, de forma que en ningún caso se supere la carga de trabajo de la estructura, por lo que, como veremos ahora, para cerciorarnos de que este sistema de seguridad cumple con los estándares de seguridad marcados en el trabajo, únicamente contaremos con la fuerza de 2940N.

Así, partiendo del siguiente diseño del gatillo, y como queremos que este esté horizontal cuándo engatille al bastidor plegable, teniendo en cuenta la longitud total del cilindro que necesitamos, distribuiremos las orejetas de apoyo en su ensamblaje sobre el soporte.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

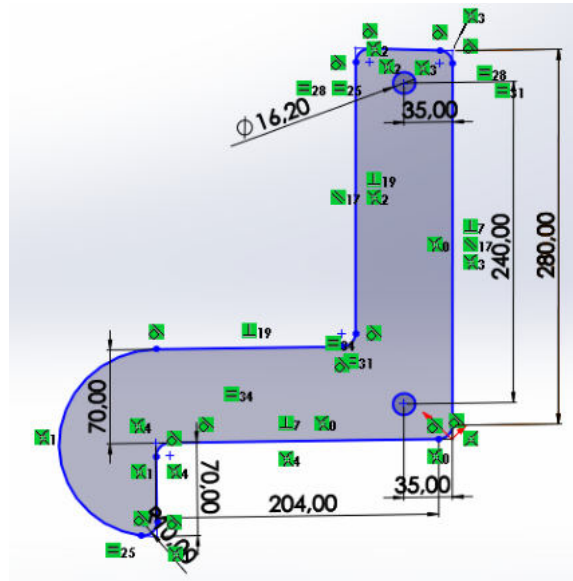


Ilustración 153. Croquis del diseño propuesto para los enclavamientos de seguridad.

El problema reside en que los cilindros, como hemos podido observar, vienen con un casquillo soldado perpendicular al vástago para permitir la unión con el elemento a desplazar. Como el gatillo es plano, es difícil conexionarlos. Así, hemos optado por introducir dos pletinas soldadas perpendicularmente al gatillo a modo de orejetas, para poder introducir en el interior el casquillo del vástago. A su vez, como el casquillo del cilindro es mucho más ancho que el grosor del gatillo, hemos introducido unos casquillos entre dicho gatillo y las pletinas soldadas.

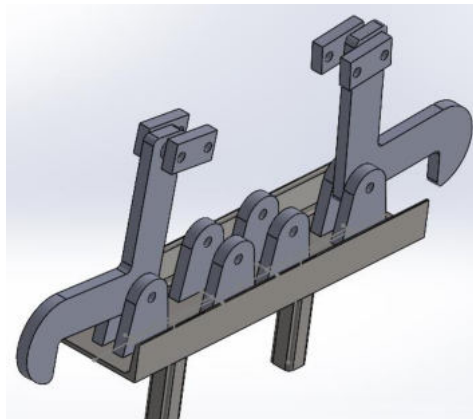


Ilustración 154. Ensamblaje del sistema de seguridad alojado en el bastidor fijo.

Conociendo las dimensiones del gatillo y del alargador, tenemos que deducir la posición a la que tenemos que colocar las orejetas de sujeción del cilindro. Para ello, vamos a aplicar trigonometría para conocer las dimensiones del siguiente triángulo.

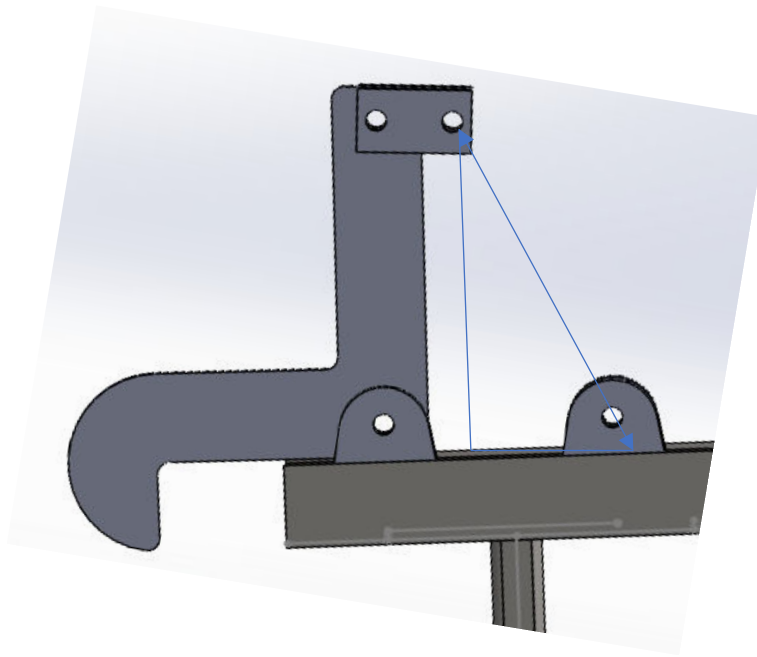


Ilustración 155. Determinación de la posición de las orejetas de amarre del cilindro.

Cateto menor= x

Cateto mayor= distancia entre agujeros del gatillo= 240mm

Hipotenusa= carrera del cilindro escogido en su posición de avance= 255mm

Aplicando las reglas básicas de trigonometría sabemos que el cateto menor mide 86mm

Por tanto, teniendo en cuenta que el alargador mide 60mm entre agujeros, la distancia entre centros de las orejetas de sujeción del cilindro respecto a las de sujeción del gatillo será de 86+60mm, es decir, de **146mm**.

Una vez determinadas las dimensiones de los elementos y la localización de cada uno de estos en su posición óptima de trabajo, vamos a simular y analizar su comportamiento.

Para ello, en primer lugar, vamos a definir el material para los componentes que forman el sistema de seguridad, siendo este el **acero S460N** como en la mayoría de los elementos del diseño. Seguidamente, vamos a definir tanto las uniones con pasador como las uniones rígidas del dispositivo diseñado, siendo este un aspecto muy importante en este estudio ya que tenemos que asegurarnos de que, con el movimiento del cilindro, los gatillos realicen los movimientos requeridos.

Así, en el apartado de conexiones, vamos a definir como conectores, las uniones con pasador para permitir el giro de los elementos deseados.

De esta forma, establecemos la condición de pasador en las siguientes uniones:

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

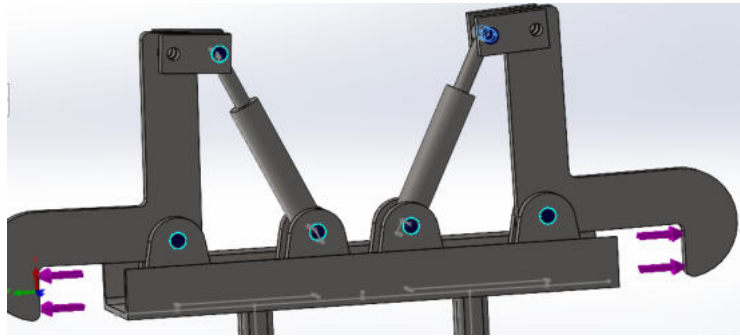


Ilustración 156. Conexiones con pasador para los elementos móviles.

Con esta unión con pasador, imponemos una **rigidez rotacional de 0 N.m/rad**.

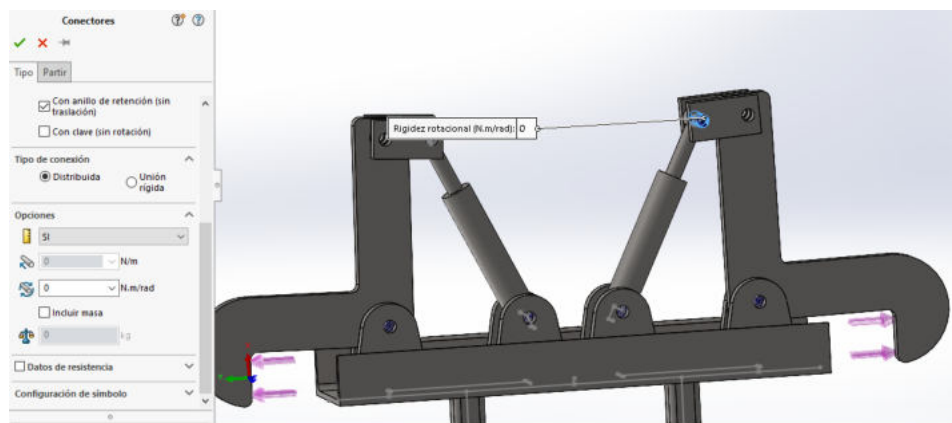


Ilustración 157. Definición de conexiones con pasador.

Por otro lado, la unión entre el gatillo y el alargador no puede ser únicamente de pasador, ya que, si fuera así, el movimiento del cilindro no desplazaría al gatillo. De esta forma, se ha optado por una unión rígida entre ambos, mediante un bulón de las mismas dimensiones, pero soldado a los alargadores, de forma que tanto el gatillo como el alargador formen un mismo conjunto.

Así, para estas uniones, hemos determinado un contacto entre componentes rígido, como podemos observar en la simulación.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

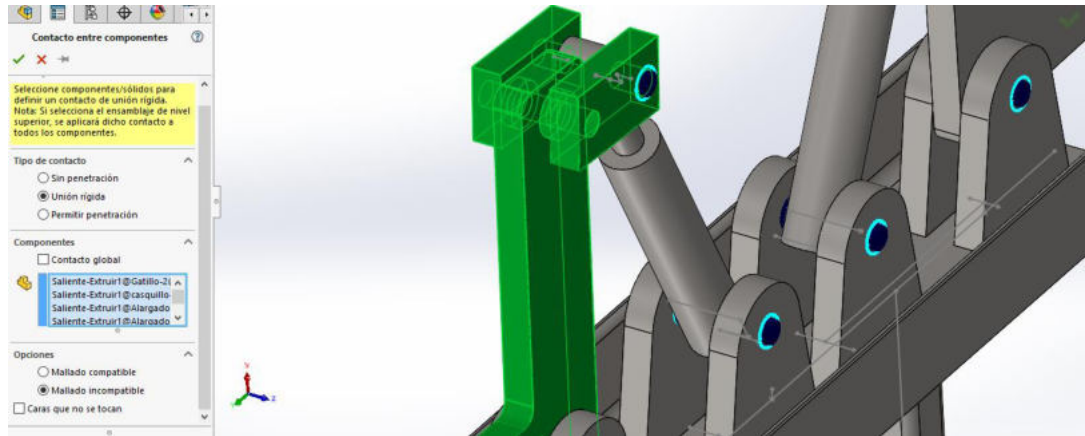


Ilustración 158. Contacto rígido para trasladar la acción del cilindro al gatillo.

Por último, como el soporte va a ir fijado sobre el cabezal del bastidor fijo, tenemos que imponer estas condiciones de apoyo.

De esta forma, imponemos geometría fija en la base de estos soportes.

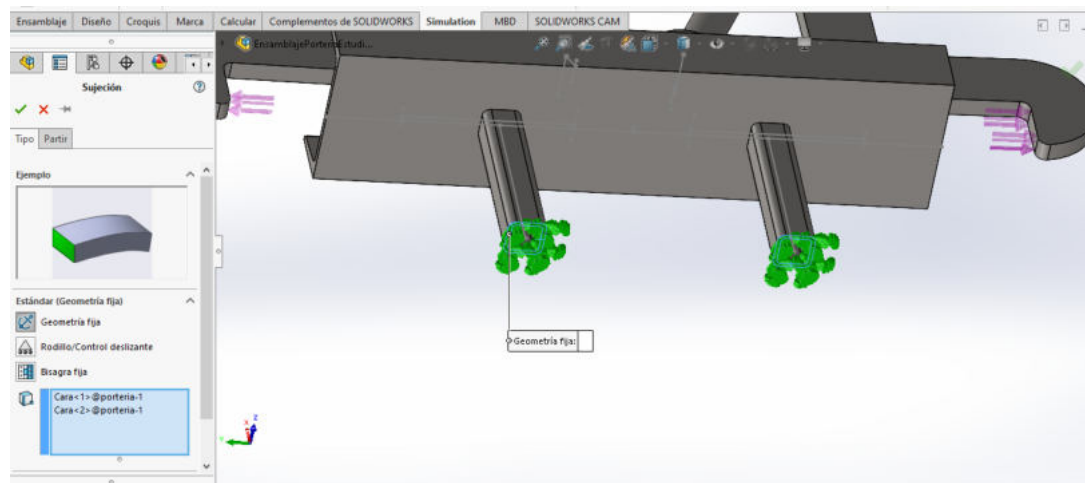


Ilustración 159. Geometría fija para el apoyo del sistema de seguridad sobre el cabezal del bastidor fijo.

En cuanto a la carga de trabajo, se va a considerar que esta es igual al peso de la estructura del bastidor plegable, por lo que, mediante la simulación anterior de este bastidor, podemos obtener el peso de la estructura.

Así, en el apartado de simulación del bastidor plegable, dentro de las propiedades físicas de este, encontramos un peso de la estructura de **248,71 kg**, como podemos ver en la imagen siguiente.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

El último paso antes de llevar a cabo la simulación es el mallado de todo el ensamblaje. Para ello, y como tenemos cilindros hidráulicos, vamos a aplicar un mallado basado en curvatura, con los siguientes parámetros.

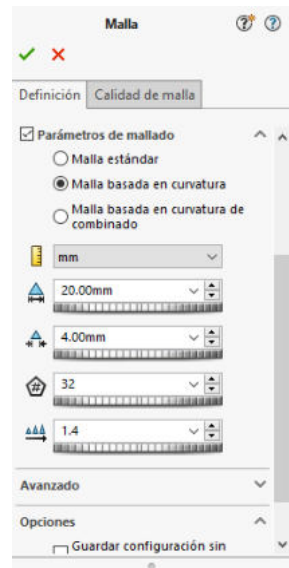


Ilustración 162. Características del mallado basado en curvatura.

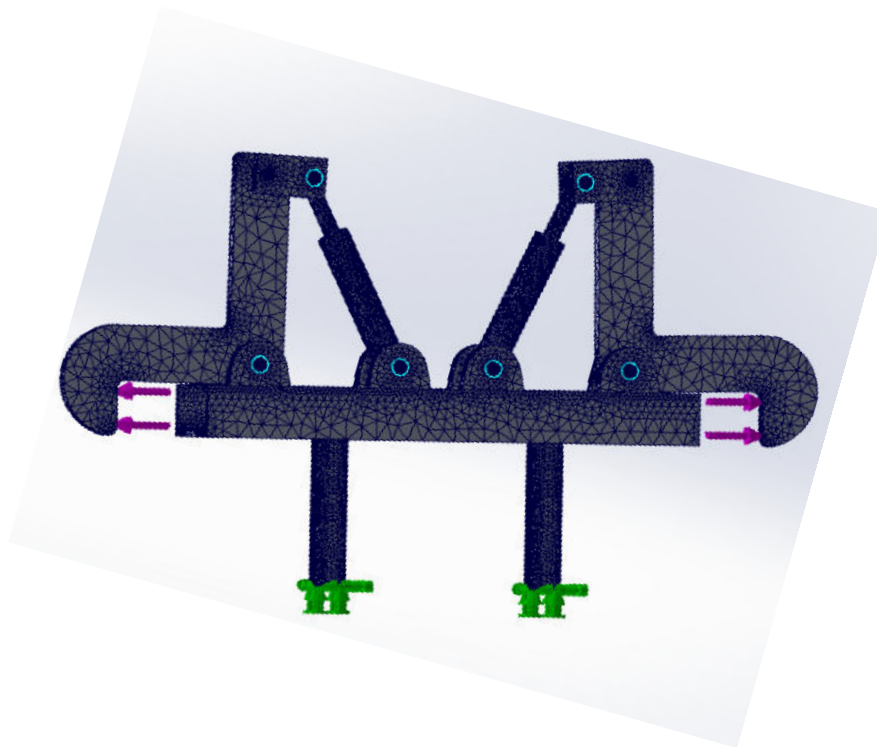


Ilustración 163. Resultado final del mallado.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A6.2. Cálculo del bulón pasador.

Mediante la opción de determinación de la fuerza resultante en pasadores, podemos esgrimir la máxima tensión cortante a la que están sometidos estos pasadores. Como siempre, vamos a extraer de la lista de resultados aquella tensión máxima cortante para analizar el bulón propuesto. Siguiendo con las especificaciones de dimensiones y materiales, consideraremos un bulón de diámetro 16,2mm, es decir, de igual diámetro que los casquillos del cilindro escogido y compuesto de acero F1250 con una $\sigma_f = 355 \text{ MPa}$.

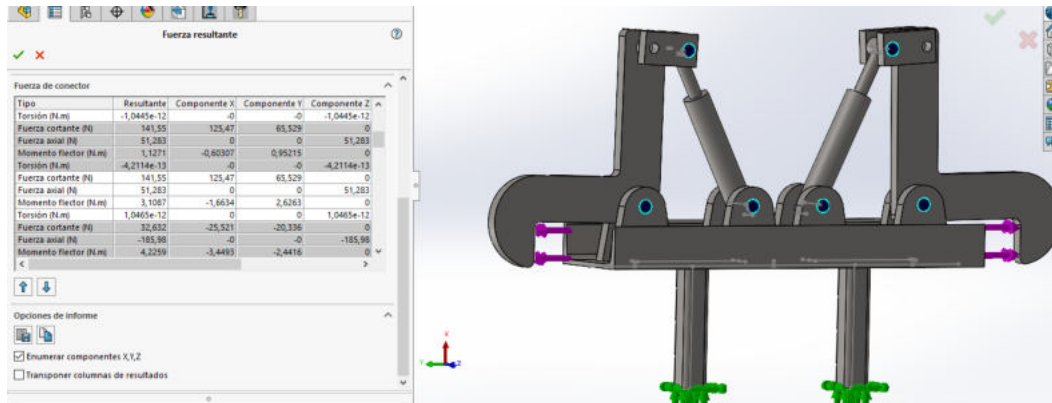


Ilustración 164. Tensión cortante para cada uno de los conectores.

Tras examinar los resultados para la tensión cortante, su valor máximo es de 141,65N.

Aunque la fuerza aplicada sea muy inferior a la del resto de bulones analizados, el hecho de que el diámetro del bulón sea inferior al del resto de bulones considerados, nos lleva a analizar su comportamiento. Con este valor máximo de fuerza cortante, podemos determinar la tensión de cortadura.

$$\tau_{xz} = \frac{F_{resultante}}{n * A} = \frac{141,64}{2 * \frac{\pi}{4} * 16,2^2} = 0.34 \text{ MPa}$$

Viendo el resultado de la tensión, sabemos que el bulón cumple con creces con la carga de trabajo determinada.

Por otro lado, vamos a analizar el comportamiento del enclavamiento de estos gatillos, formados por dos orejetas y un bulón; ubicados en los bastidores plegables. De esta forma, llevamos a cabo un estudio estático en el que solo nos importa el enclavamiento de estos gatillos. Como estos actúan en el transporte, únicamente consideramos la fuerza de 2940N que realiza el gatillo sobre dicho enclavamiento. Para ello, partiendo de uno de los bastidores plegables, incorporamos en la viga trasera dicho enclavamiento y lo analizamos.

Como podemos observar, simulando que el bastidor está en vertical, es decir, plegado; y amarrado por el cilindro, vamos a suponer que éste no se mueve, y aplicaremos sobre esta estructura inmóvil la carga de 2940N. Para ello, imponemos geometría fija tanto en las

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

orejetas que permiten el giro del bastidor como en la orejeta dónde va amarrado el cilindro hidráulico principal.

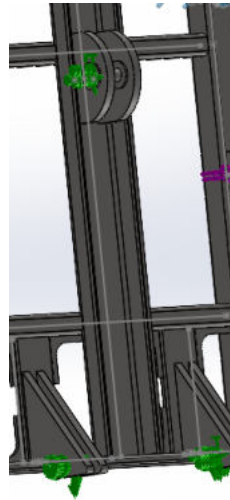


Ilustración 165. Fijación del bastidor plegable en la posición de transporte.

Por último, vamos a aplicar la carga de trabajo sobre el bulón dónde se produce el engatillamiento y con el sentido de acción de dicho gatillo.

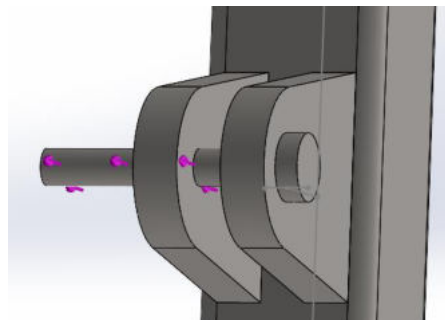


Ilustración 166. Carga de trabajo sobre el bulón diseñado.

Una vez aplicadas las condiciones de contorno, aplicamos un mallado estándar para obtener los resultados.

A7. Bastidor fijo.

A7.1. Simulación.

Una vez propuesto el diseño del bastidor fijo, vamos a aplicar las condiciones de carga y apoyos para determinar si el diseño es útil o si, en cambio, necesitamos reforzar alguna zona en concreto.

Teniendo en cuenta que el material utilizado será también el acero S460N, vamos a aplicar sobre este, las cargas que ya conocemos. Sobre el soporte del distribuidor hidráulico, vamos a aplicar la carga ya conocida, que ha sido usada para su simulación parcial. En el caso del sistema de anclajes de seguridad, cabe destacar que, para la situación más desfavorable para

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

la que se está calculando el aplicador, es decir, en condiciones de trabajo; este no funciona, por lo que no tiene aplicada ninguna carga, ejerciendo sobre el cabezal únicamente su peso.

En cuanto a los brazos de reja, estos harán el mismo esfuerzo que el resto de los brazos de los bastidores plegables, como es obvio.

Por último, necesitamos transmitir los esfuerzos de dichos bastidores plegables, al bastidor fijo. De esta manera, como tenemos la simulación de dichos bastidores, únicamente necesitamos acudir a cada una de las uniones entre el bastidor plegable y fijo, para transmitir la fuerza de uno, como reacción al otro, respectivamente.

Así, únicamente tenemos que acudir a la simulación del bastidor plegable y pedir al software que nos muestre la fuerza de reacción en cada uno de los puntos comunes a los dos bastidores.

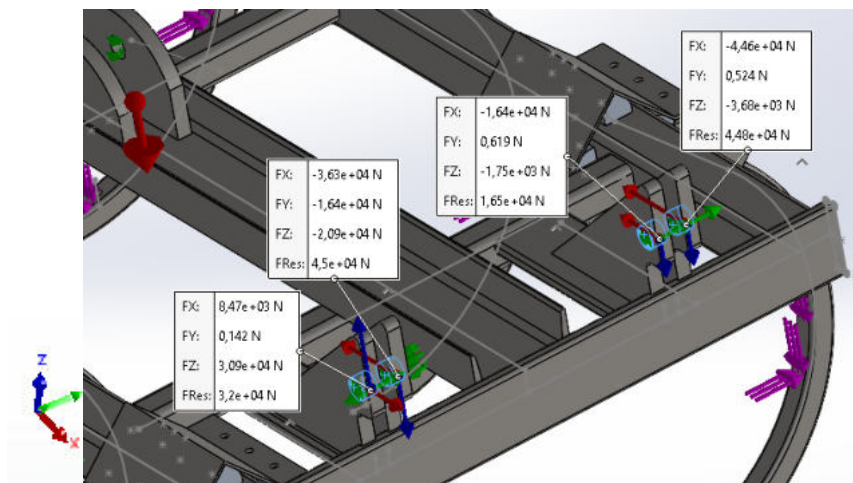


Ilustración 167. Reacciones en las orejetas de giro del bastidor plegable.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

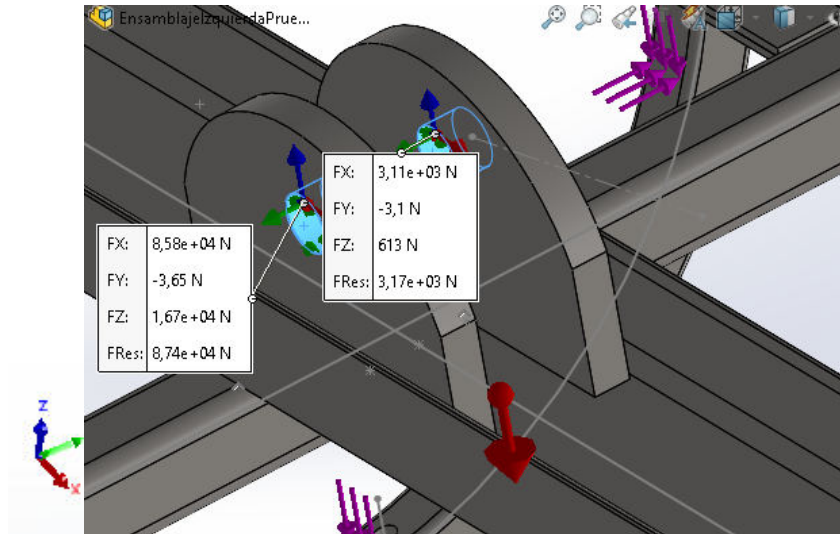


Ilustración 168. Reacciones en la orejeta de sujeción del cilindro principal del bastidor plegable.

Una vez obtenidas las reacciones en el bastidor plegable, las llevamos al bastidor fijo con la misma dirección, pero en sentido contrario.

Así, a modo de ejemplo, las reacciones sobre una de las orejetas de giro en el bastidor fijo quedan de la siguiente manera:

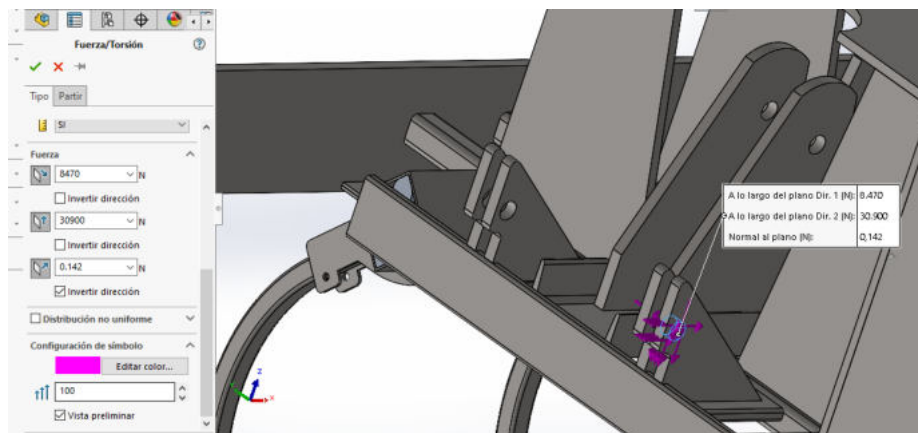


Ilustración 169. Llevamos las reacciones del bastidor plegable al bastidor fijo.

Siguiendo esta misma operación, llevamos todas las reacciones al bastidor fijo.

Como hemos comentado, aplicamos la carga sobre los brazos de reja y el soporte del distribuidor de purín, siguiendo las magnitudes de estas cargas comentadas en simulaciones anteriores.

Por otro lado, para la barra de luces, se considera que el peso de todas las señalizaciones que tiene que sustentar es mínimo en comparación con la rigidez de la estructura diseñada para

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

ello. De todas formas, este elemento puede ser usado por el operario de la máquina para alzarse sobre este y alcanzar el resto de los dispositivos del aplicador. Para ello, y aunque sea muy poco probable y peligroso, vamos a considerar que esta acción se realiza durante el periodo de trabajo. Así, vamos a añadir a todas las cargas anteriores, un peso de 200kg sobre la parte más extrema de este soporte para las luces.

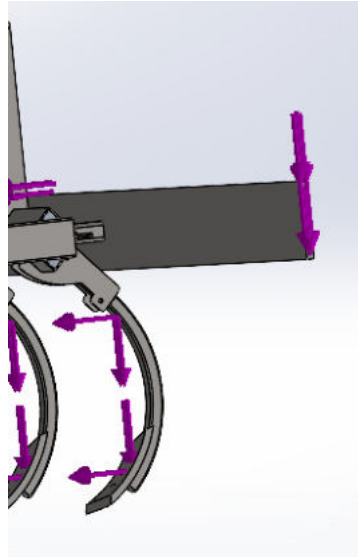


Ilustración 170. Simulación de la barra para las luces.

Por último, necesitamos imponer las condiciones de sujeción. Para ello, vamos a considerar que el apero ya está enganchado a la cisterna. Como bien hemos comentado, tenemos 2 posibilidades de enganche, así que para la simulación vamos a usar la más desfavorable, es decir, el enganche más extremo a la base de las orejetas. De esta forma, vamos a aplicar en cada uno de los 4 puntos de enganche una geometría en la que imponemos un desplazamiento radial nulo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

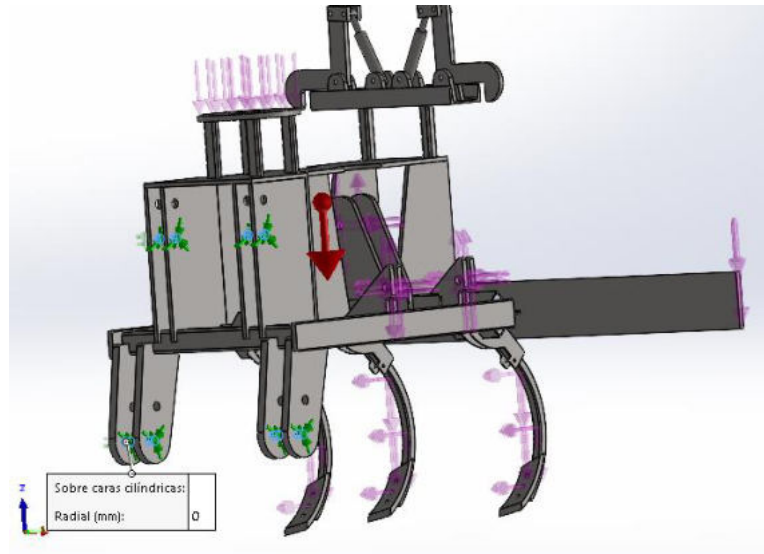


Ilustración 171. Condiciones geométricas en los puntos de enganche del aplicador.

Una vez aplicadas todas las condiciones de trabajo, tenemos el siguiente resultado en cuanto a sujeciones y cargas se refiere.

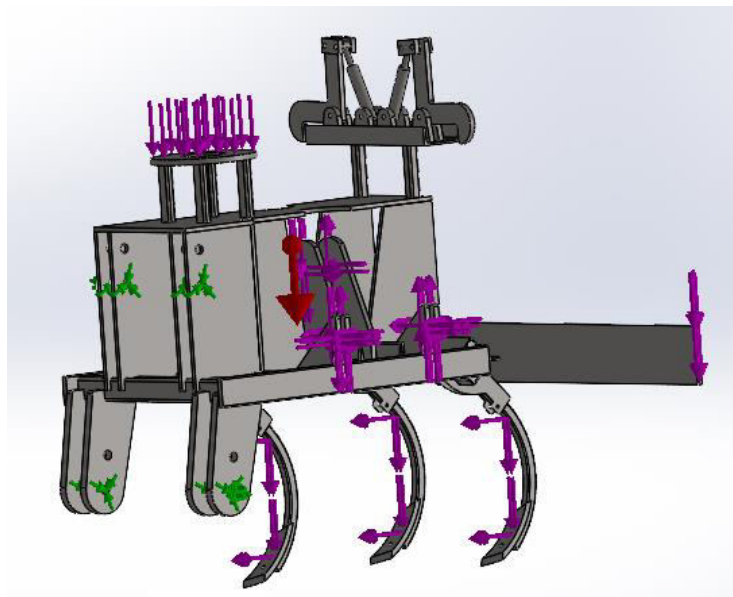


Ilustración 172. Cargas que actúan sobre el bastidor fijo.

Por otro lado, siguiendo con la experiencia de la simulación de la parte plegable, vamos a incorporar los refuerzos que calculamos entonces para aumentar el factor de seguridad.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

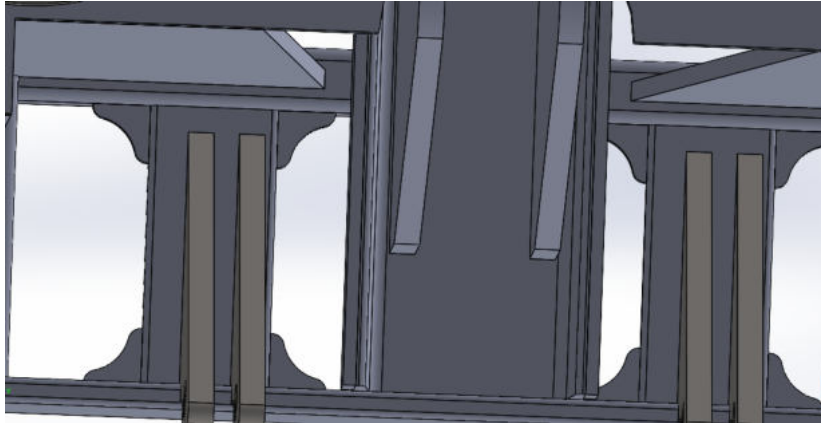


Ilustración 173. Incorporamos los refuerzos en las pletinas de apoyo para las orejetas de giro determinados en el bastidor plegable.

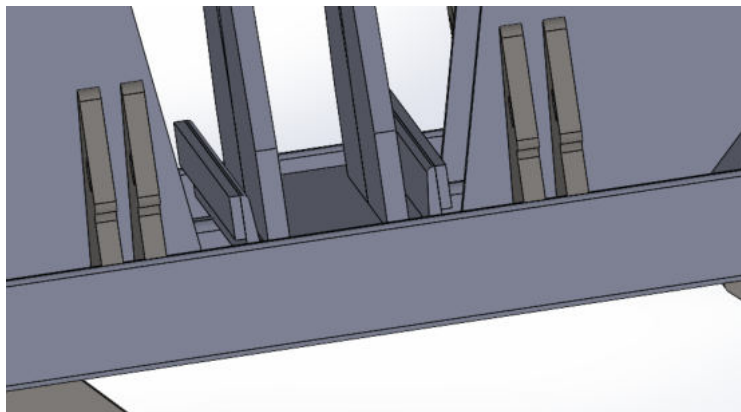


Ilustración 174. Refuerzo del perfil en C a la vista de los resultados de simulación del bastidor plegable.

En cambio, con la incorporación del cabezal, el aumentar el grosor las barras transversales a las vigas principales es más complejo. Así, vamos a realizar una primera simulación y veremos si es necesario tomar alguna medida de refuerzo en estas vigas.

Antes de llevar a cabo la simulación, realizamos el mallado de la estructura, con las mismas propiedades que todos los mallados anteriores de esta misma categoría.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

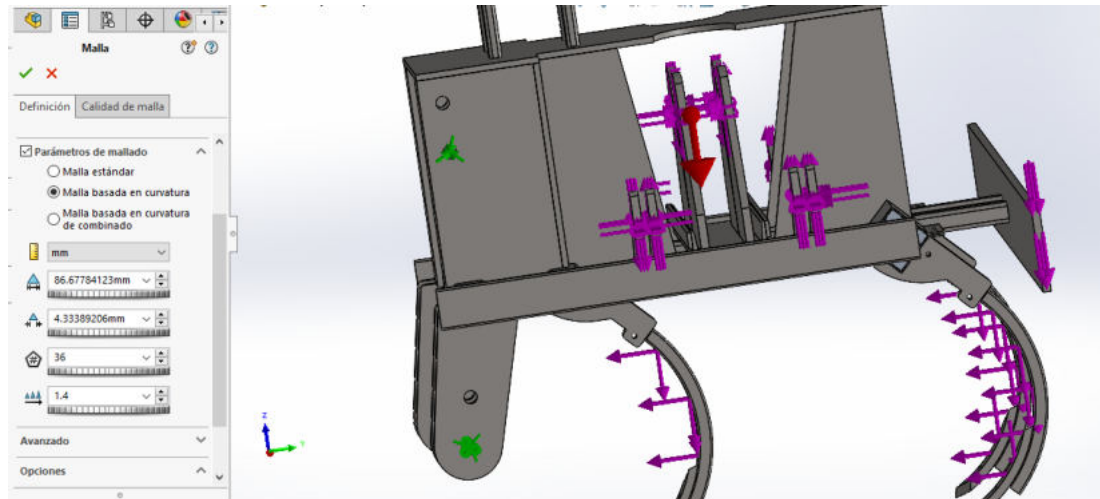


Ilustración 175. Mallado basado en curvatura del bastidor fijo dada su complejidad.

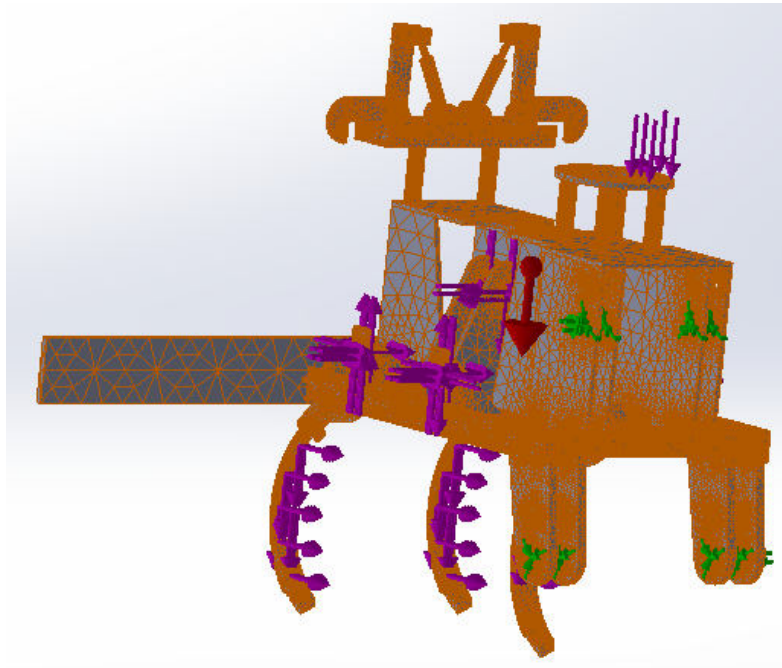


Ilustración 176. Mallado de la estructura.

A7.1.1. Refuerzos en los elementos.

-Refuerzos en las orejetas de giro:

Ante la sobrecarga de una de las orejetas en cada uno de los pares de estas, la opción que vamos a probar es la de incorporar un grueso entre ambas orejetas, en una zona que no moleste para el giro de estas, con el fin de intentar llevar los esfuerzos de dicha orejeta sobrecargada tanto a la otra orejeta más descansada como a la base de apoyo de estas.

Para ello, incorporamos un grueso de las siguientes dimensiones, que encaja en el espacio entre ambas y que llega hasta la base donde se sujetan las orejetas. Como venimos

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

comentado, el diseño tiene que ser con cantos romos para evitar más concentradores de tensiones.

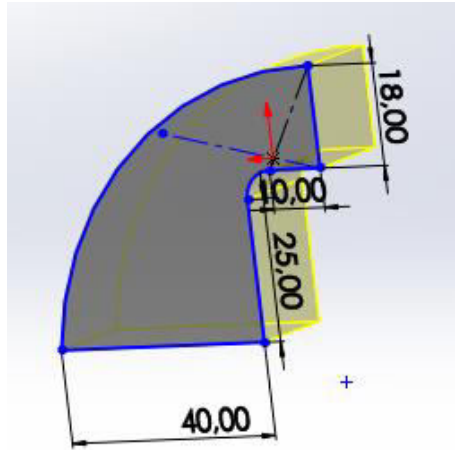


Ilustración 177. Croquis de la solución aportada para aligerar una de las orejetas de giro.

Su grosor es de 20mm, ya que es la separación entre las dos orejetas.

8. Cálculo del bulón para el enganche del aplicador.

Para comprobar si en efecto, un bulón de 30,5mm de diámetro es suficiente para sujetar el aplicador, necesitamos conocer la fuerza de reacción en los 4 puntos de enganche con el objetivo de identificar el mayor esfuerzo en cada dirección. Para ello, definimos un contacto entre componentes de tipo pasador con el fin de conocer las reacciones principales sobre este.

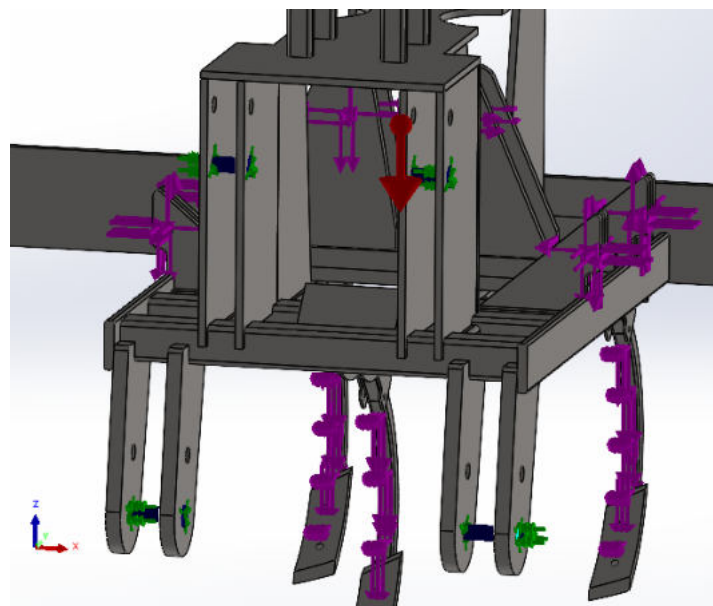


Ilustración 178. Conexión de tipo pasador para determinar el bulón de enganche.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Una vez simulado el nuevo estudio, obtenemos la fuerza resultante de cada uno de los 4 conectores.

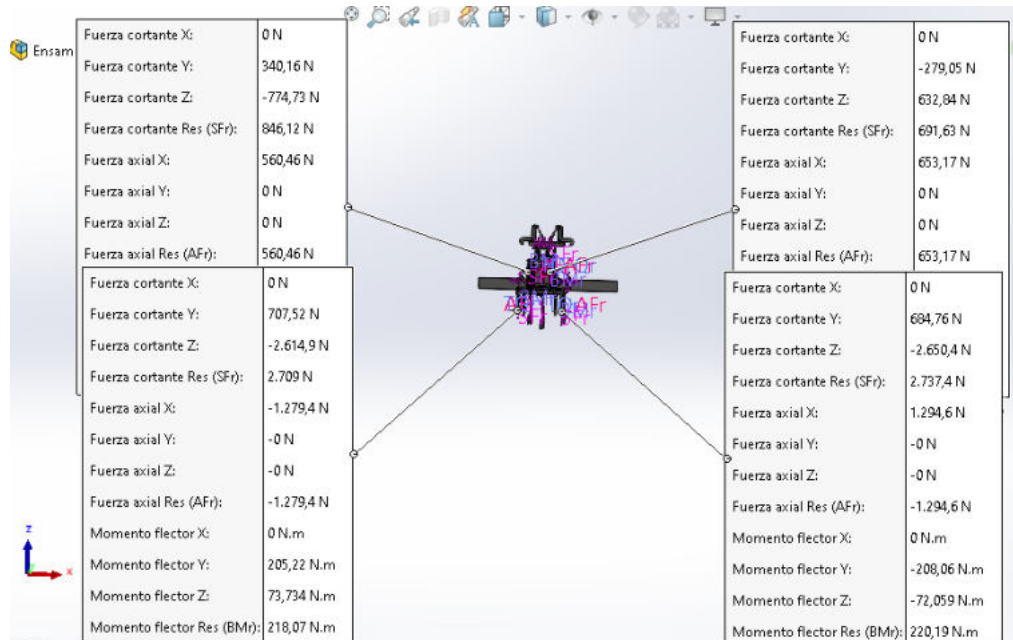


Ilustración 179. Fuerza cortante resultante para cada uno de los pasadores de enganche.

A la vista de las reacciones, la fuerza cortante máxima resultante es de **2740 N**.

Para calcular la tensión generada por la fuerza resultante, necesitamos conocer también los planos de cortadura del bulón. El enganche a través de la cuba se realizará de la forma que podemos observar en la siguiente imagen, por lo que los planos de cortadura serán 2.



Ilustración 180. Conexión entre enganche del aplicador y la cisterna.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Así, calculamos la tensión de cortadura resultante.

$$\tau_{xz} = \frac{F_{resultante}}{n * A} = \frac{2740}{2 * \frac{\pi}{4} * 30,5^2} = 1,87 \text{ MPa}$$

Por último, vamos a obtener el coeficiente de seguridad de este bulón, que recordemos, tiene que ser igual o superior a 1,5 para ser coherentes con el resto del trabajo.

$$C_s = \frac{\sigma_F}{2 * \tau_{máx}} = \frac{355}{2 * 2} = 88$$

A9. Rueda de control.

A9.1. Diseño.

Para analizar el comportamiento de esta rueda de control, vamos a suponer la situación más desfavorable, es decir, el preciso instante en el que el inyector está trabajando con la carga de trabajo usada para el desarrollo del mismo estudio, pero en este caso, incluyendo la rueda como un nuevo apoyo respecto a los casos anteriores.

De esta forma, se ha diseñado la siguiente sujeción, amarrada a una de las vigas principales del bastidor y, cuya función es la de posicionar la rueda de control a la profundidad deseada por el operario.

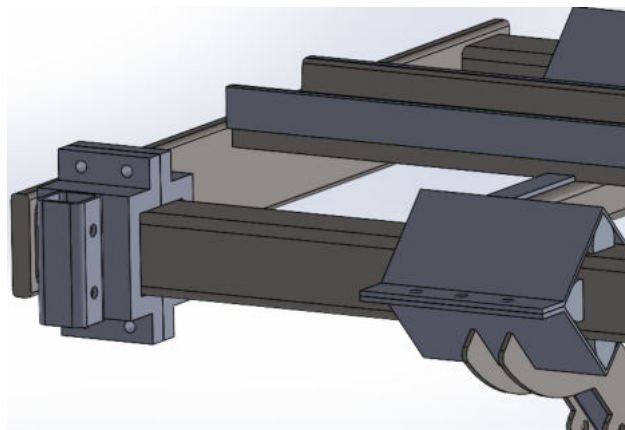


Ilustración 181. Diseño para sujeción y posicionamiento de la rueda de control.

Este diseño permite que la carga actúe sobre el mismo soporte y no sobre los tornillos de unión de dicho soporte. Así mismo, se ha incluido un tubo cuadrado de 50x50x5, con dos orificios sobre el que se puede regular la profundidad de esta rueda. Puesto que para este perfil es excesivo un bulón como el que estamos usando para el resto de las conexiones, se ha

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

propuesto un diámetro de 16,2mm para estos pasadores, con el fin de que sean iguales a los del sistema de seguridad.

Por otro lado, se ha diseñado el soporte para el eje de la rueda de control con un perfil cuadrado de 40x40x4 y un eje de 23mm de diámetro. A falta de obtener la fuerza sobre dicho eje para definir la rueda y la llanta, con su posterior eje definitivo, se ha partido de dicho diámetro inicial, pudiéndose aumentar el grosor posteriormente tras la elección de la llanta.

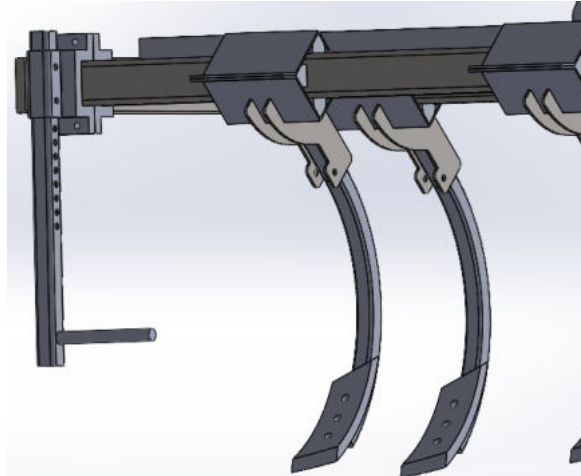


Ilustración 182. Diseño para el soporte del eje de la rueda.

A9.2. Simulación y resultados del bastidor plegable.

Una vez abordado el diseño, vamos a realizar la simulación. Para ello, el primer paso es definir las nuevas condiciones de apoyo en el bastidor plegable, incluyendo el apoyo del eje de la rueda. De esta forma y, manteniendo las mismas condiciones tanto en las orejetas de giro como en las orejetas del cilindro hidráulico, podremos analizar tanto el comportamiento del soporte de la rueda como su influencia en el bastidor fijo.

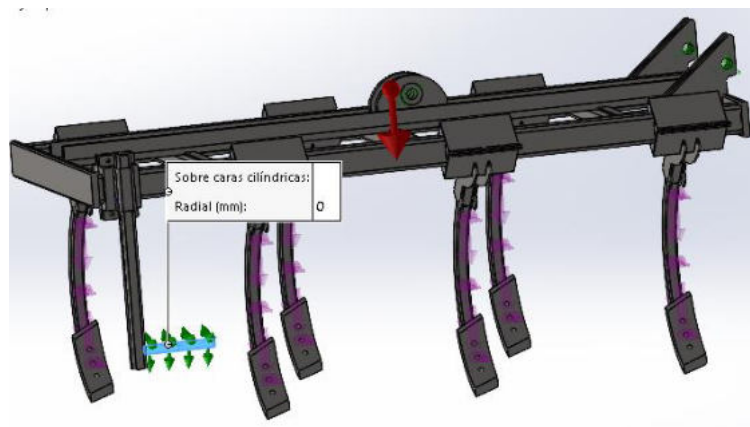


Ilustración 183. Imponemos un desplazamiento nulo en la dirección radial del eje.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Por otro lado, vamos a definir una conexión tipo pasador para la unión del soporte del eje con el bastidor, obteniendo así los valores para calcular dicho pasador. Para esta simulación, y, como entendemos que la fuerza a la que está sometida el eje es mayor que el peso de la propia rueda, no consideramos el peso de esta ya que iría apoyada al suelo.

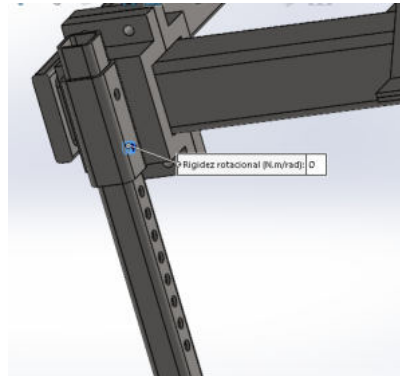


Ilustración 184. Conexión de tipo pasador para regular la profundidad de la rueda de control.

Finalmente, realizamos el mallado con las mismas condiciones que los anteriores y obtenemos, por un lado, la fuerza en cada uno de los orificios de estas orejetas para llevar al bastidor fijo dichas reacciones y, por el otro, el comportamiento de este bastidor tras las nuevas condiciones.

Así, las reacciones en cada uno de los orificios de las orejetas de giro y del cilindro hidráulico son las siguientes:

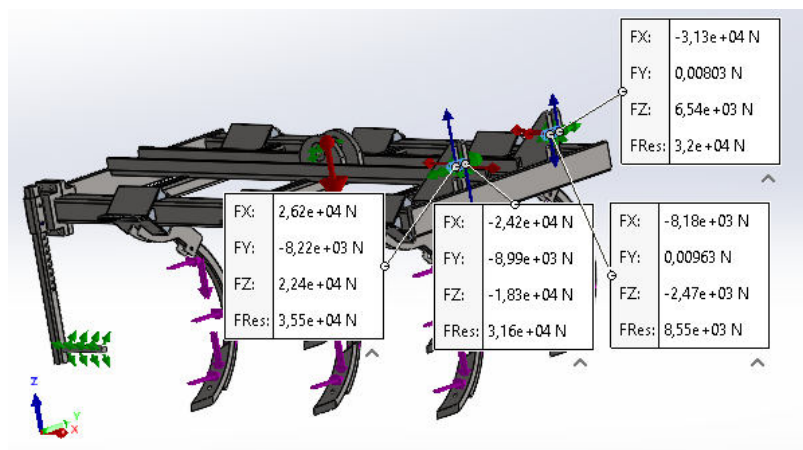


Ilustración 185. Nuevas reacciones en las orejetas de giro del bastidor plegable tras incorporar la rueda de control.

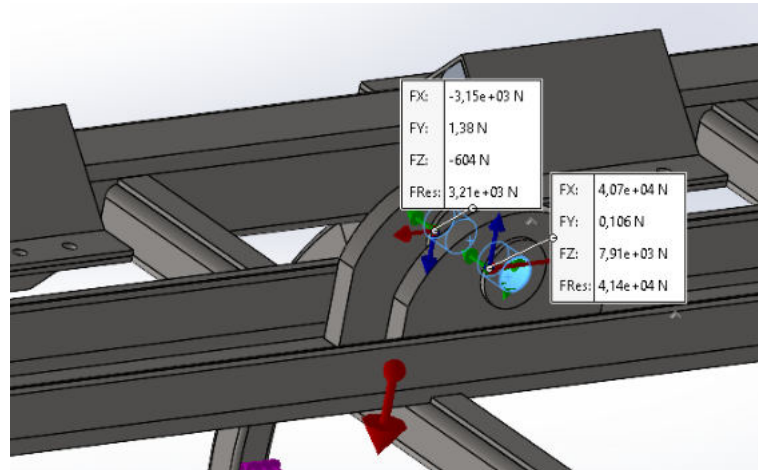


Ilustración 186.. Nuevas reacciones en las orejetas del cilindro del bastidor plegable tras incorporar la rueda de control.

El comportamiento del bastidor plegable obtenido es el siguiente:

Tensión de von Mises en MPa:

A la vista de los resultados, observamos que la tensión máxima es de **119MPa**, muy inferior a la obtenida en la simulación inicial del bastidor plegable sin la rueda de control. Esto se debe a que, al incorporar el apoyo de la rueda, hemos eliminado el voladizo inicial del bastidor, dónde se producía la máxima tensión

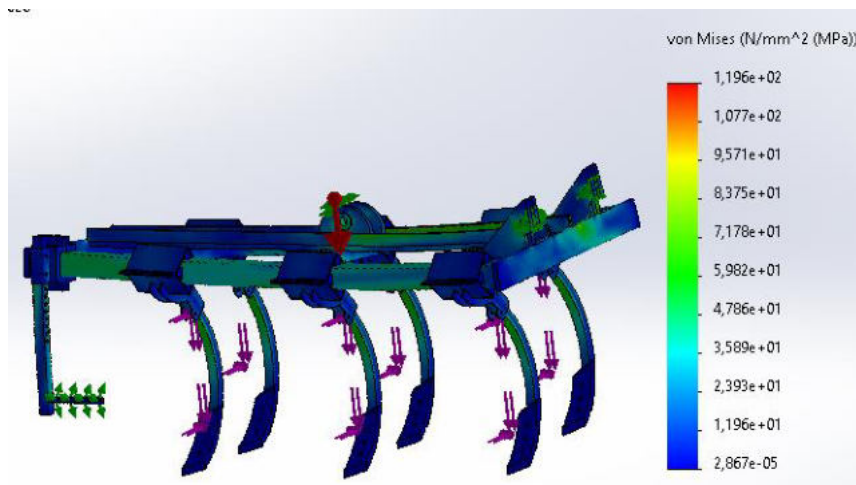


Ilustración 187. Tensión de von Mises en el bastidor plegable con la rueda de control.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

-Desplazamiento en mm:

Como era de esperar, la viga posterior es la que más desplazamiento vertical sufre debido a la fuerza vertical de la reja, llegando hasta los **9,7 mm**. Si observamos los resultados sin la rueda de control, el desplazamiento máximo del extremo de la reja ha disminuido casi 4 mm. Esto se debe a que con el nuevo apoyo, la la deformación de las vigas principales es menor, por lo que el desplazamiento se ha visto reducido.

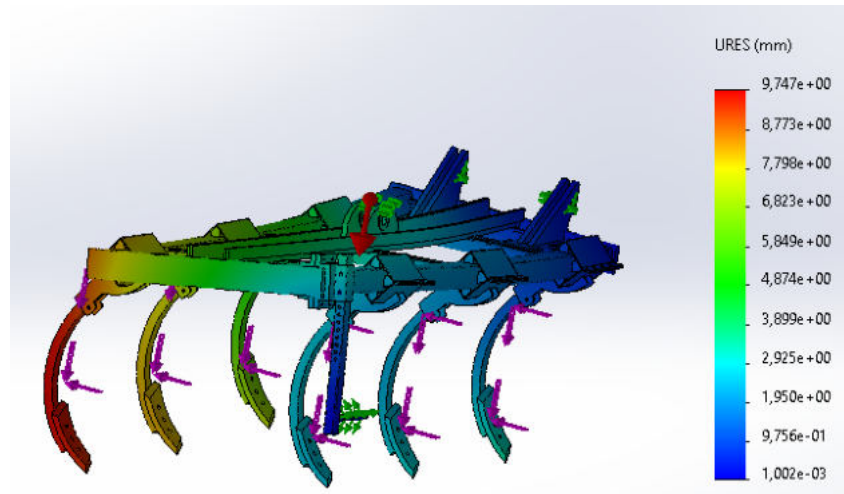


Ilustración 188. Desplazamientos en el bastidor plegable con la rueda de control.

-Factor de seguridad:

Tal como cabía esperar, al reducirse la tensión máxima, la estructura cumple sobradamente, salvando los elastómeros, como en el resto del estudio.

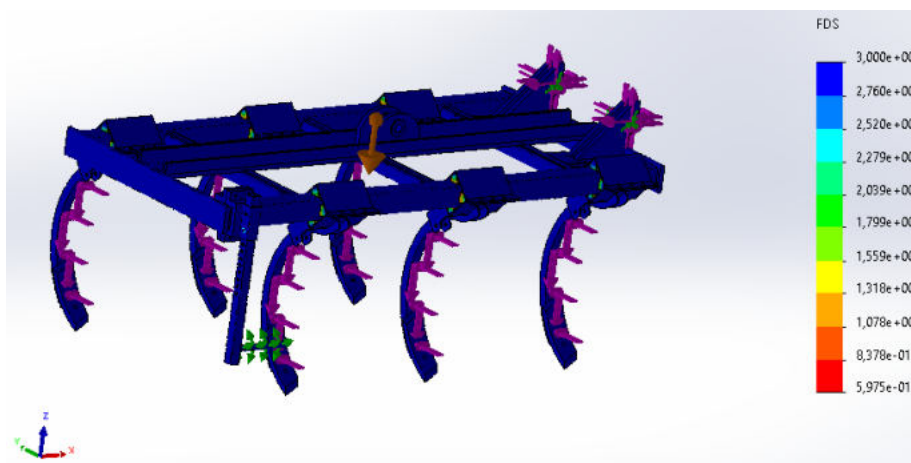


Ilustración 189. Factor de seguridad en el bastidor plegable con la rueda de control.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Por lo tanto, el diseño propuesto para la sujeción de la rueda de control es el adecuado.

A9.3. Simulación y resultados del bastidor fijo.

Ya que hemos alterado los apoyos respecto a las simulaciones de los bastidores plegables, creemos conveniente cerciorarnos de que, tras estos cambios, seguimos cumpliendo los estándares de seguridad en el bastidor fijo.

Para este bastidor, tal como hemos comentado, necesitamos mantener las condiciones de apoyo, así como las cargas de trabajo aplicadas, pero incluyendo las nuevas reacciones de los bastidores plegables. De esta forma, tenemos que aplicar sobre las orejetas de dicho bastidor, las reacciones, cambiadas de signo, obtenidas en el bastidor plegable.

El comportamiento del bastidor fijo obtenido es el siguiente:

Tensión de von Mises en MPa:

A la vista de los resultados, observamos que la tensión máxima es de **179MPa**, muy inferior a los 280MPa obtenidos en la simulación inicial del bastidor fijo. Esto se debe a que, al incorporar el apoyo de la rueda en el bastidor plegable, hemos reducido considerablemente las tensiones a lo largo del aplicador.

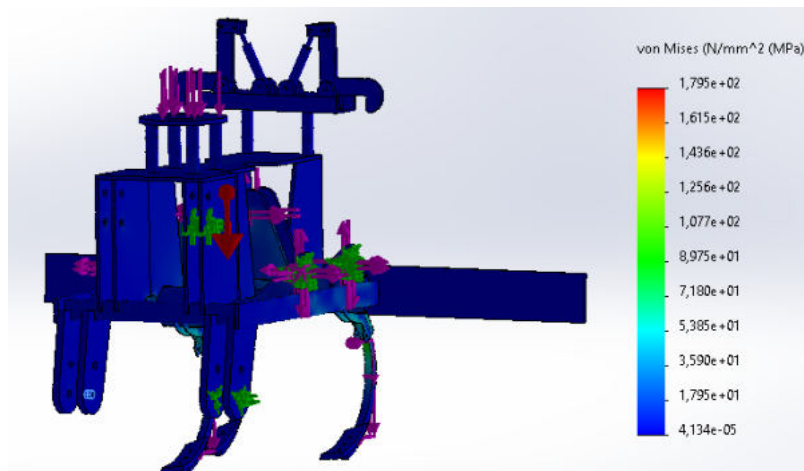


Ilustración 190. Tensión de von Mises en el bastidor fijo con la rueda de control en el bastidor plegable.

-Desplazamiento en mm:

Como era de esperar, al reducirse tanto las tensiones máximas, el desplazamiento máximo también se ha visto reducido en gran medida, pasando de 9 a **3mm**.

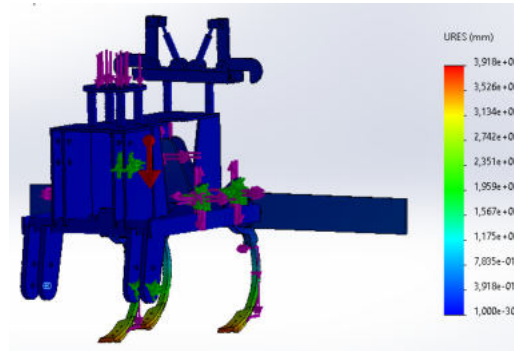


Ilustración 191. Desplazamientos en el bastidor fijo con la rueda de control en el bastidor plegable

Factor de seguridad:

Tal como podemos observar, no tenemos ninguna zona que sufra en exceso con esta nueva configuración, obteniendo un factor de seguridad superior al límite inferior.

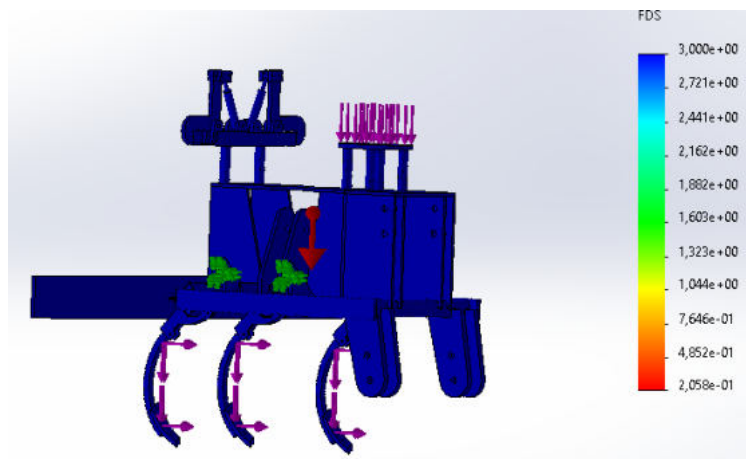


Ilustración 192. Factor de seguridad en el bastidor fijo con la rueda de control en el bastidor plegable

A9.4. Elección del neumático.

Así, tras realizar la simulación, podemos conocer el valor de la carga al que está sometido el eje de la rueda. Tal como podemos observar, este, tendrá que soportar una fuerza resultante de **6720N**, es decir, 686 kg.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

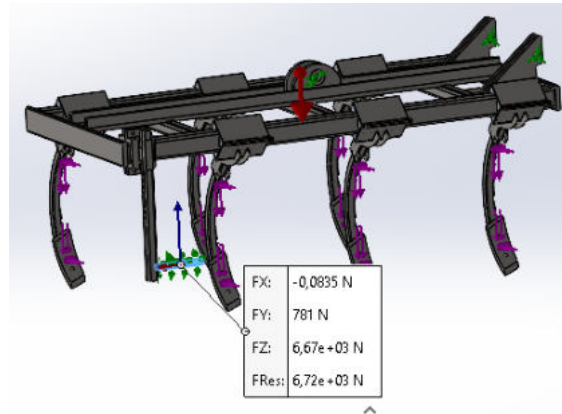


Ilustración 193. Reacciones en el eje de la rueda de control.

Tal como podemos ver, el fabricante JOSKIN, marca del aplicador propio de referencia usa el neumático 200/60-14,5".



Ilustración 194. Neumático del aplicador de referencia.

Acudiendo a la tabla de especificaciones para dicha rueda, podemos observar que la carga máxima que es capaz de soportar es de 950 kg, por lo tanto, este neumático cumpliría con los requisitos de carga.

LLANTA 14.5"											
MEDIDA	PR/LI	MODELO	USO	LLANTA	LLANTAS PERMITIDAS	D mm +/-1,5%	SW mm +/-2%	PRESIÓN MÁX. bar	CARGA MÁX. Kg	VELOCIDAD (km/h)	C.d.R. mm +/-2,5%
200/60-14.5	10	T448 Extra	Agrícola	6.75	8.00	620	206	5,0	950	30	1841
	10	T536	Agrícola	6.75	8.00	628	204	5,0	950	30	1865
	10	T522	Agrícola	6.75	8.00	624	228	5,0	950	30	1866

Tabla 8. Ficha técnica de los neumáticos con llanta 14,5". [13]

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Siendo coherentes con el resto del trabajo, si la carga a la que está sometido el neumático es de 686kg y la carga máxima de la rueda es de 950; estaríamos trabajando con un factor de seguridad inferior al 1,5

$$C_s = \frac{carga_{m\acute{a}xima}}{carga_{trabajo}} = \frac{950}{686} = 1,38$$

De esta forma, tenemos que acudir al modelo siguiente de neumático, con llanta de 15 pulgadas.

LLANTA 15"											
MEDIDA	PR/LI	MODELO	USO	LLANTA	LLANTAS PERMITIDAS	D mm +/-1,5%	SW mm +/-2%	PRESIÓN MÁX. bar	CARGA MÁX. kg	VELOCIDAD (km/h)	C.d.R. mm +/-2,5%
7.00-15	6	TRACTION	Agrícola	4.50		730	175	2,5			2140
11L-15	12	TS10 TL									
29x12.50-15	4	T411	Áreas verdes/Agrícola	10		743	308	1,3	600	50	2207
29x13.50-15	4	T411	Áreas verdes/Agrícola	10		W731	334	1,2	600	50	2171
31x15.50-15	8	T412 TL	Agrícola	13		818	402	3,1	1250	50	2429
33x12.50-15	6	T413 TL	Áreas verdes/Agrícola	10		846	320	1,9	1215	50	2513
33x15.50-15	6	T412 TL	Áreas verdes/Agrícola	13		842	395	1,5	1250	50	2501
	8	T412 TL	Agrícola	13		842	395	2,0	1600	50	2501
185-15	4	TS10 TL	Agrícola	4.50		637	166	2,4	482	30	1892
315/75-15	126A5	TS39 TL	Industrial	10LB		835	340	1,9	1700	25	2550
320/55-15	123A8	TS59 Turf Grip	Áreas verdes/Agrícola	10LB	9.00	730	320	2,8	1550	40	2190
	133A8/121A8	T421 TL	Industrial	10LB	9.00	735	315	4,0	2060	40	2200
400/50-15	135A8	T463 TL	Agrícola/Industrial	13LB		795	400	3,2	2180	40	2351
380/60-15	114A8	TS39 Soft Grip TL	Áreas verdes/Agrícola	10	12	829	375	1,2	1180	40	2440
690x180-15	100A8	TRACTION	Agrícola	4.50E		685	179	3,3	800	40	2034

Tabla 9. Ficha técnica de los neumáticos con llanta de 15".[13]

Dentro de estas especificaciones, escogeríamos el neumático 320/55-15 con una carga máxima de 1550kg. El nuevo factor de seguridad sería:

$$C_s = \frac{carga_{m\acute{a}xima}}{carga_{trabajo}} = \frac{1550}{686} = 2,25$$

A9.5. Cálculo del bulón de control para la rueda.

Para comprobar si, en efecto, un bulón del diámetro propuesto inicialmente para los orificios del control de profundidad de la rueda es el correcto, necesitamos en un primer momento conocer la carga que actúa sobre dicho pasador. Para ello, como hemos definido una conexión tipo pasador para los orificios de la corredera de control de profundidad, obtenemos la fuerza del conector. Como hemos definido dos conectores (uno por cada lado de los agujeros por donde corre el soporte del eje), tenemos una fuerza de reacción para cada uno de ellos en los 3 ejes principales. Como estamos analizando un bulón, recordamos que únicamente resiste a la fuerza cortante. Como esta se produce en dos direcciones, para determinar la carga de trabajo, necesitamos sumar la fuerza de reacción cortante de los dos pasadores definidos.

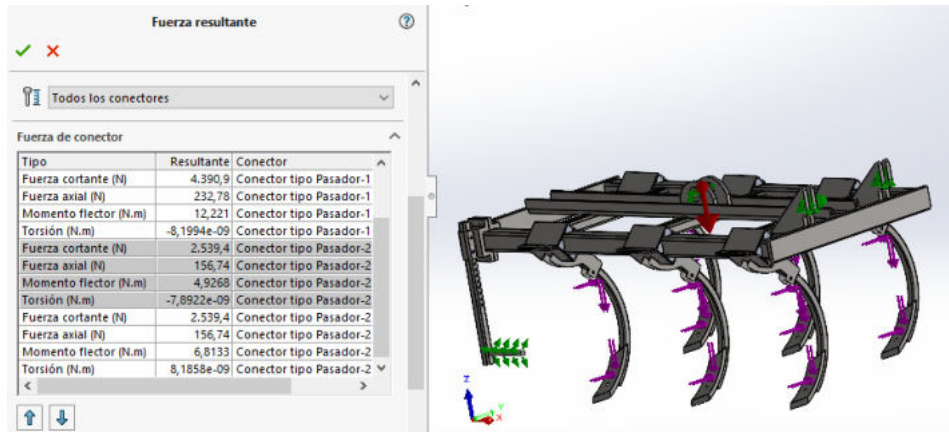


Ilustración 195. Fuerza cortante resultante para cada uno de los dos conectores.

A la vista de los resultados, la fuerza resultante máxima desde el punto de vista del cortante es:

$$F_{resultante} = 4390,9 + 2539,4 = 6930,3 \text{ N}$$

Para calcular la tensión generada por la fuerza resultante, necesitamos conocer también los planos de cortadura del bulón. Como podemos observar en la ilustración 172, el bulón cortaría en 2 planos de cortadura.

$$\tau_{xz} = \frac{F_{resultante}}{n * A} = \frac{6930,3}{2 * \frac{\pi}{4} * 16,2^2} = 16,81 \text{ MPa}$$

Por último, vamos a obtener el coeficiente de seguridad de este bulón, que recordemos, tiene que ser igual o superior a 1,5 para ser coherentes con el resto del trabajo.

$$C_s = \frac{\sigma_F}{2 * \tau_{m\acute{a}x}} = \frac{355}{2 * 16,81} = 10,55$$

Por tanto, aunque su factor de seguridad sea muy elevado, hemos conseguido que dichos bulones sean comunes a parte del sistema desarrollado.

A10. Conexión rápido de mangueras.

Para facilitar el montaje y desmontaje para el cambio de orientación del inyector/aplicador, se ha optado por incorporar las llamadas conexiones rápidas de manguera. Para ello, y teniendo en cuenta que, la manguera utilizada para conectar el distribuidor de purín con cada una de las salidas es de 60mm de diámetro; escogemos este tipo de conexiones para dicho diámetro.



Ilustración 196. Macho de conexión rápida para manguera de diámetro interior 60mm.



Ilustración 197. Hembra de conexión rápida para manguera de diámetro interior 60mm.

A la vista de las siguientes conexiones, y observando la complejidad de estas, optamos por introducir en enlace macho en los dos sistemas, es decir, tanto en el brazo de reja como en el brazo con plato. De esta forma, Necesitaríamos dos enlaces macho por brazo y tan solo un enlace hembra para cada manguera; siendo esta última conexión la más cara.

A11. Propiedades finales.

Por último, vamos a realizar las mediciones con el ensamblaje final tanto del inyector como del aplicador para cerciorarnos de que se cumplen las especificaciones recogidas en el Reglamento General de Vehículos en cuanto a circulación se refiere.

Como podemos observar, tanto la anchura de trabajo como la profundidad, serán idénticas en ambos modos de trabajo ya que, únicamente cambiamos los brazos de cada una de las rejillas manteniéndose igual la estructura principal.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

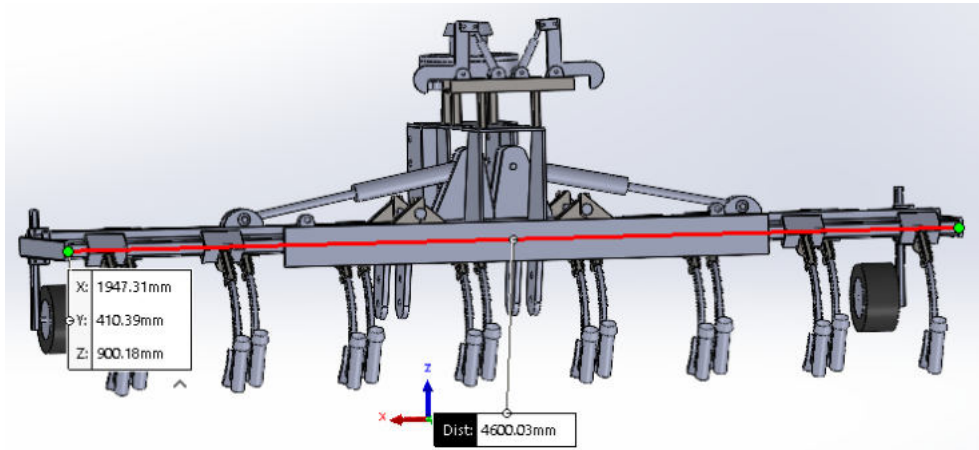


Ilustración 198. Anchura total de trabajo.

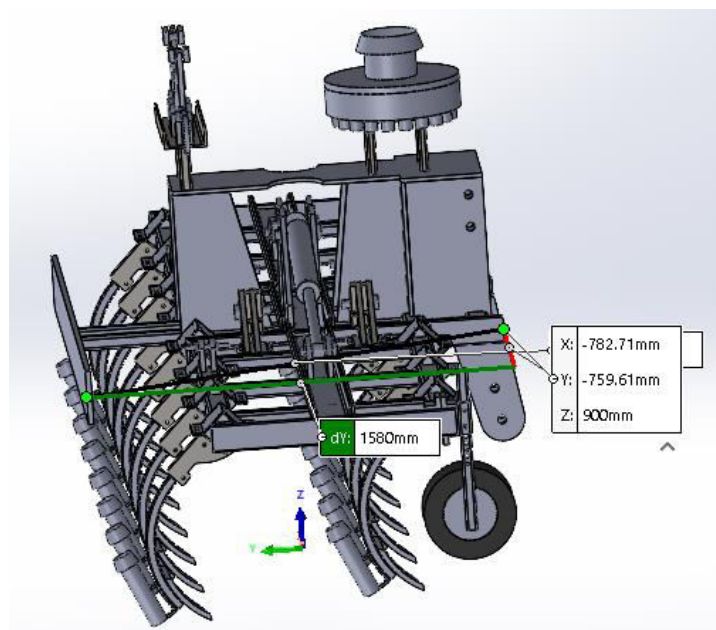


Ilustración 199. Profundidad del diseño final.

La principal diferencia entre ambos modos de trabajo reside en la anchura máxima de cara al transporte, ya que, al plegar los bastidores, los brazos con las rejillas recogerán una mayor anchura de transporte que los brazos con los platos de aplicación. Este cambio, también tendrá su efecto en el peso de cada una de las dos formas de trabajo. Es por ello que vamos a analizar estos parámetros para cada uno de los métodos de trabajo. Cabe destacar que en los ensamblajes finales, únicamente queda por incorporar la manguera seleccionada anteriormente, encargada de conectar cada salida del distribuidor con cada una de las salidas de los brazos, ya sean con la rejilla o con los platos de aplicación.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A11.1. Modo inyector.

Trabajando con el modo de inyector, es decir, con los brazos con rejas, llegamos a alcanzar un peso de **1563 kg**.

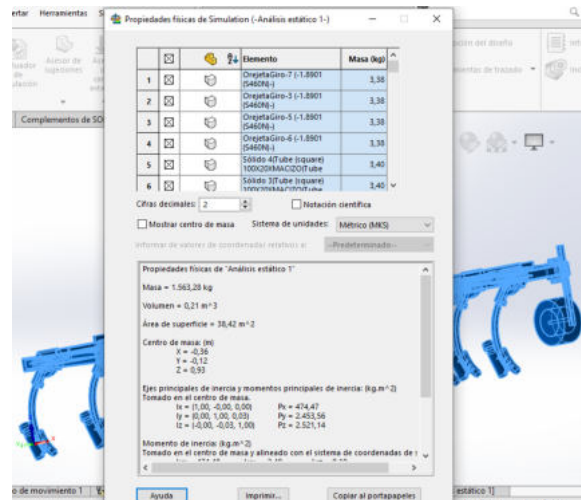


Ilustración 200. Propiedades físicas en el modo de inyector.

Al realizar el plegado, llegamos a una anchura máxima de transporte de 2528mm, inferiores a los 2550mm que recoge la normativa de circulación.

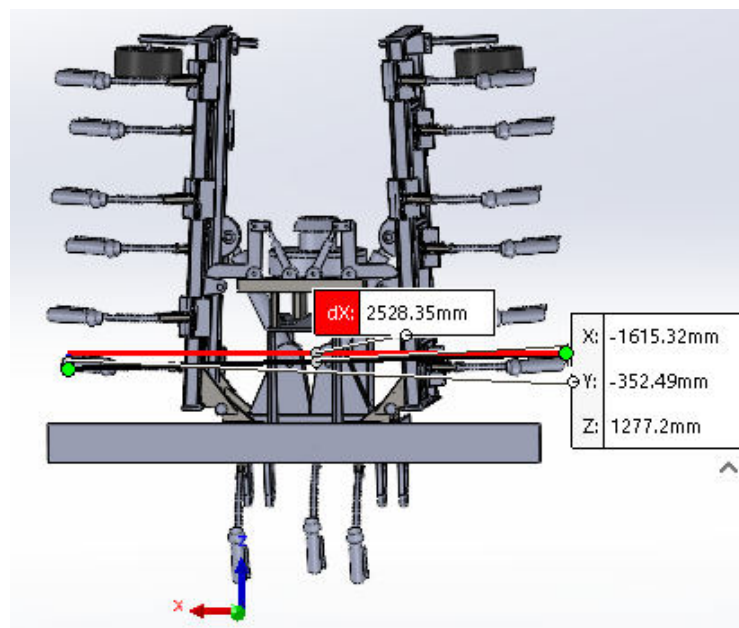


Ilustración 201. Anchura de transporte en el modo de inyector.

Por otro lado, la altura máxima la alcanzaremos con este mismo modo de inyección, siendo esta de **2735 mm**. De esta forma, estando el aplicador suspendido en la cisterna no se alcanzará la altura máxima permitida de 4 metros, ya que la altura de elevación de la cisterna en ningún caso será superior a 1300mm.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

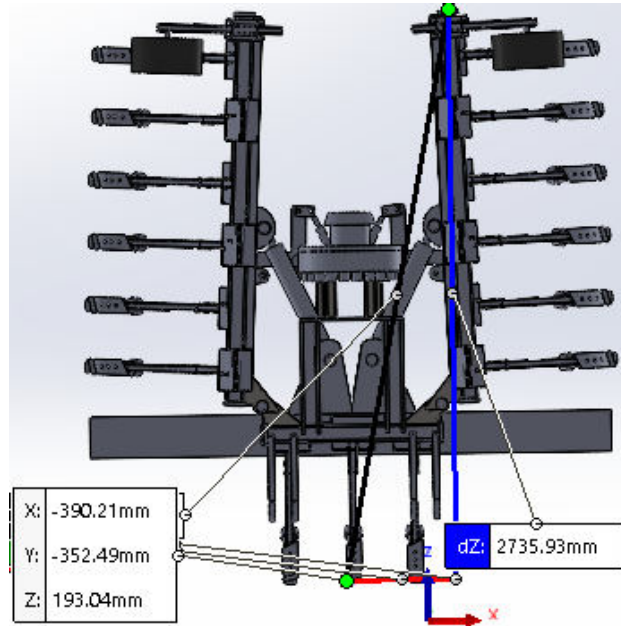


Ilustración 202. Altura del inyector.

A11.2. Modo aplicador.

Trabajando con los platos para la aplicación del purín en cobertera sobre un cultivo ya implantado alcanzamos los **1512 kg**.

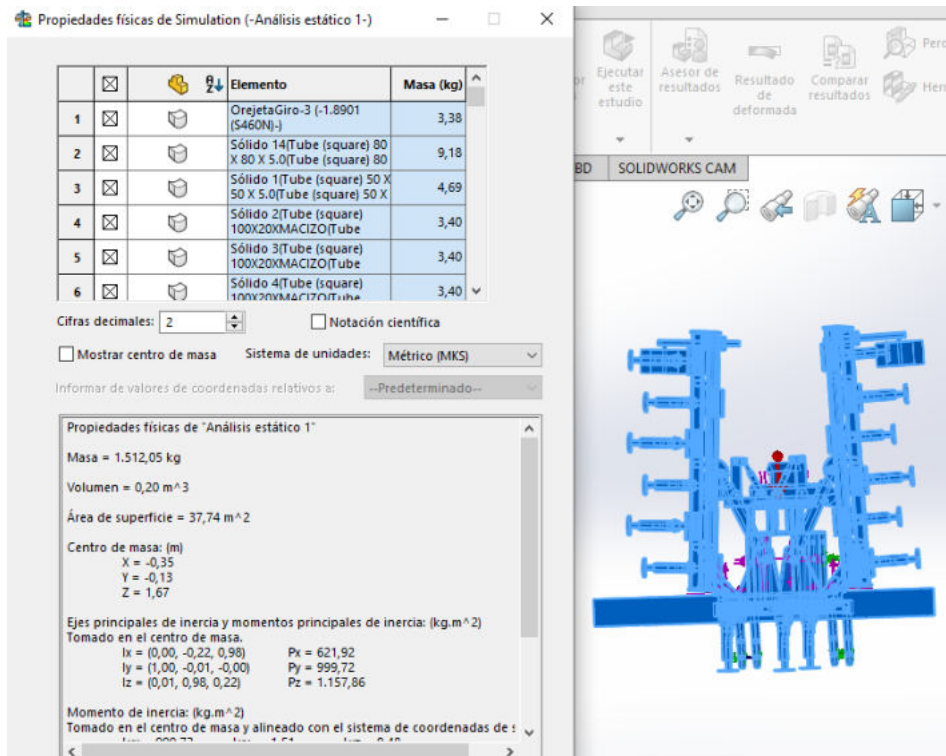


Ilustración 203. Propiedades físicas en el modo de aplicador.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Trabajando en este modo, la anchura máxima del sistema, sin contar la barra para la señalización, es de 2022mm, por lo tanto, será en el modo de inyector la opción más restrictiva en cuanto a la cumplimentación del Reglamento General de Vehículos.

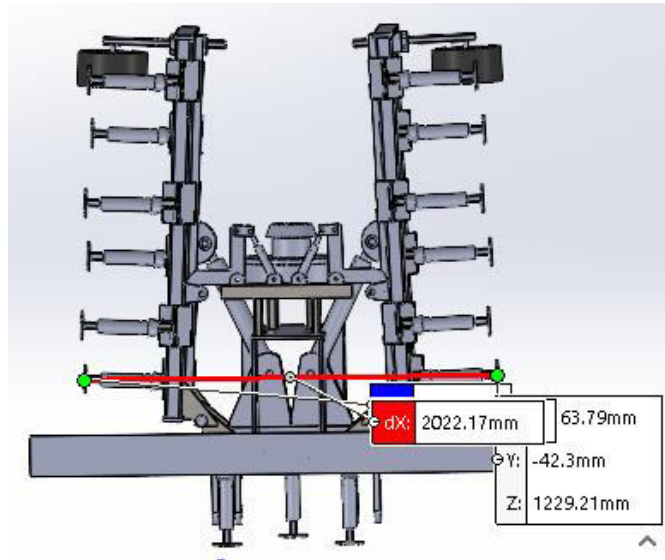


Ilustración 204. Anchura de transporte en el modo de aplicador.

A12. Señalización.

Tras las mediciones finales, vamos a introducir todos los dispositivos de señalización necesarios para la circulación homologada por carretera. De esta forma, siguiendo lo comentado en ANEXO 2, vamos a incorporar todos los elementos necesarios en el alojamiento para dichos dispositivos anteriormente analizado. De esta forma, ya que los pilotos traseros van a estar situados a la anchura de 2555, es decir, la máxima permitida para la circulación no será necesario incorporar luces de gálibo.

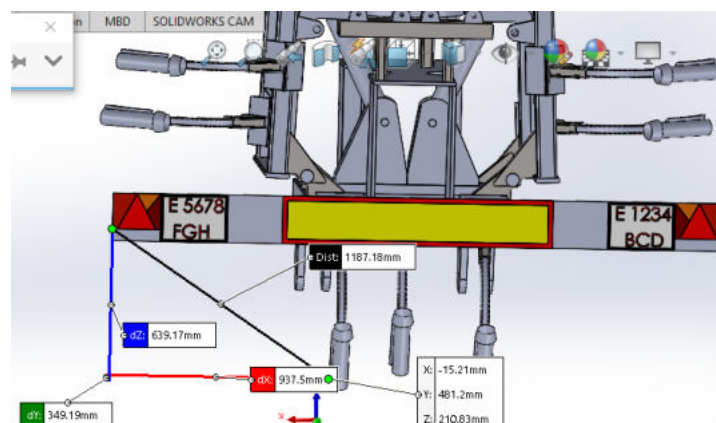


Ilustración 205. Comprobaciones finales de la señalización.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

Tal como podemos observar, los pilotos están situados en la parte más alta de la parte más ancha del vehículo, a menos de 250mm de sus extremos, ya que están en el mismo extremo y con una altura hasta el suelo de 639mm. La altura a la que estarían situados los pilotos durante el transporte no sería la comprobada anteriormente, puesto que, sería necesario elevar el aplicador para que las rejillas no rozasen con el suelo.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A13. Planos del distribuidor de purín.

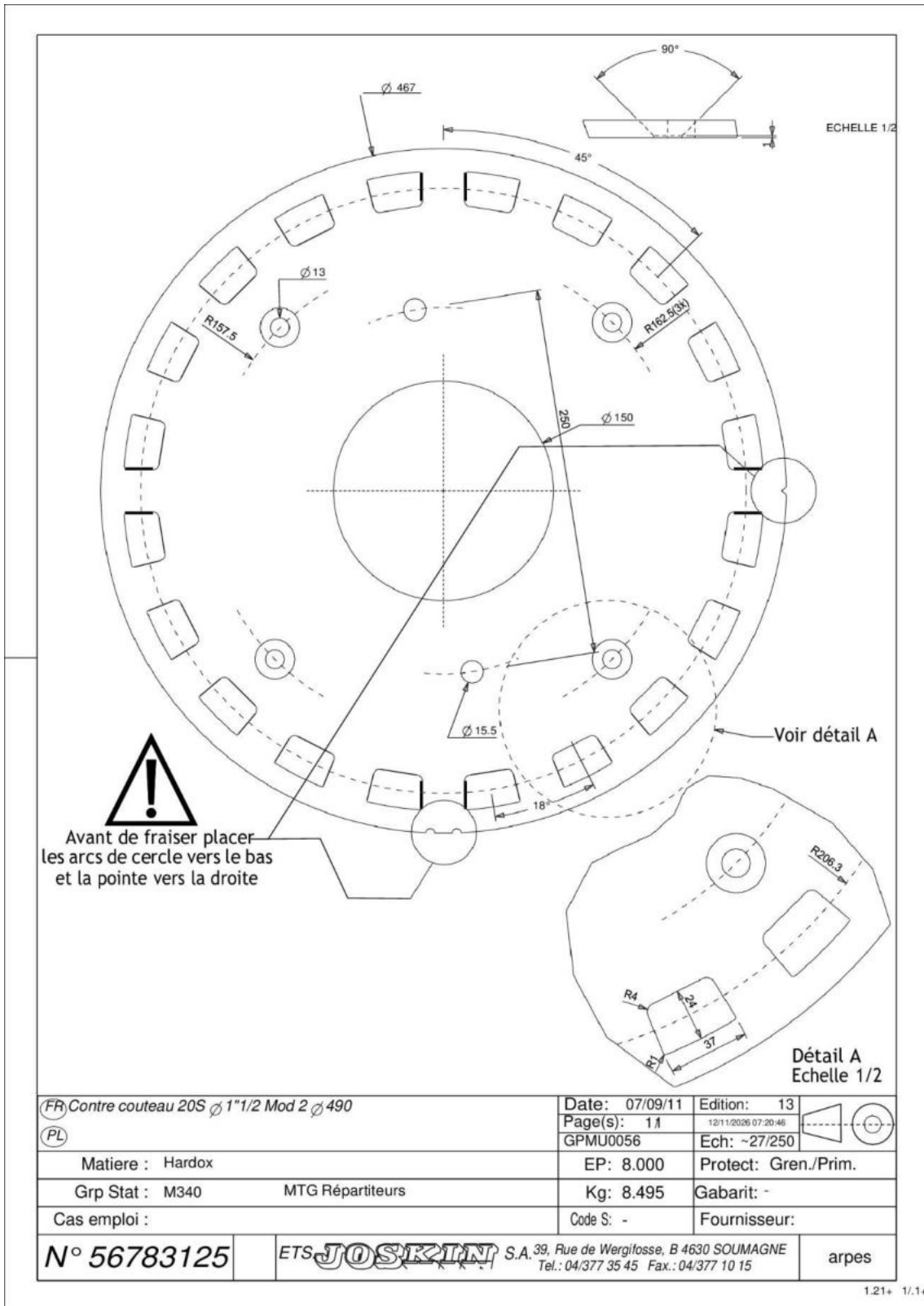
[14]

Technical drawing showing dimensions and assembly instructions for a fertilizer distributor. Dimensions include 86, 522, 636.5, 140, 356, 215, and 174.5. A warning symbol indicates: "Avant la galvanisation mettre du goudron dans le filet".

1	12340069	1
2	17567296_11	12
3	34569551	1
4	56783073	1
5	56783504	2
6	56789019	2
N°	N°Pieces	Qt.

Couvercle repartiteur 6" 20B $\phi 1"1/2 + 23BR \phi 1"1/4$		Date: 14/03/2012	Edition: 3
(PL)		Page(s): 1/1	27/01/2012 10:50:29
Matiere : -		GAMU0011	Ech: 17/120
Grp Stat : M340 MTG Repartiteurs		EP: 0.000	Protect: Galva
Cas emploi :		Kg: 17.500	Gabarit: -
		Code S: -	Fournisseur:
N° 17567231		ETS JOSKIN S.A. 39, Rue de Wergifosse, B 4630 SOUMAGNE Tel.: 04/377 35 45 Fax.: 04/377 10 15	
		frsno	

1.3+ 1/1+



DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

A14. Fichas técnicas de los tractores portadores de la cisterna junto al aplicador.

Para cerciorarnos de que la presión de trabajo del circuito hidráulico a régimen nominal es de 200 bares, vamos a fijarnos en las fichas técnicas de dos las principales marcas de tractores agrícolas.

-Ficha técnica tractores de la serie 800 de la marca Fendt, con un rango de potencia de los 220CV a los 280CV.

FENDT 800 VARIO

Especificaciones técnicas.



		822 Vario	824 Vario	826 Vario	828 Vario
Motor					
Potencia nominal ECE R 120	kW/CV	166/226	181/246	195/265	211/287
Potencia máxima ECE R 120	kW/CV	166/226	181/246	195/265	211/287
Nº de cilindros	Número	6	6	6	6
Diámetro del cilindro/carrera	mm	101/ 126	101/ 126	101/ 126	101/ 126
Cilindrada	cm³	6057	6057	6057	6057
Régimen nominal	rpm	2100	2100	2100	2100
Par máximo a 1450 rpm	Nm	960	1054	1125	1217
Reserva de par motor	%	32.0	31.0	31.0	30.0
Nivel de combustible	litros	505.0	505.0	505.0	505.0
Depósito AdBlue	litros	50.0	50.0	50.0	50.0
Transmisión y TdF					
Tipo de transmisión		ML 220	ML 220	ML 220	ML 220
Gama de velocidades 1	km/h	0,02-35	0,02-35	0,02-35	0,02-35
Gama de velocidades 1 - marcha atrás	km/h	0,02-20	0,02-20	0,02-20	0,02-20
Gama de velocidades 2	km/h	0,02-60	0,02-60	0,02-60	0,02-60
Gama de velocidades 2 - marcha atrás	km/h	0,02-33	0,02-33	0,02-33	0,02-33
Velocidad máxima	km/h	60	60	60	60
Toma de fuerza trasera		540E/ 1000	540E/ 1000	540E/ 1000	540E/ 1000
Toma de fuerza trasera opcional		1000/1000E	1000/1000E	1000/1000E	1000/1000E
Toma de fuerza delantera opcional		1000	1000	1000	1000
Elevador y sistema hidráulico					
Bomba de caudal variable	l/min	152	152	152	152
Bomba de caudal variable opcional 1	l/min	205	205	205	205
Presión de trabajo / presión de control	bar	200+20	200+20	200+20	200+20
Válvulas máx. (delante/centro/atrás) Power / Power+	Número	0/0/4	0/0/4	0/0/4	0/0/4
Válvulas máx. (delante/centro/atrás) Profi / Profi+	Número	2/0/6	2/0/6	2/0/6	2/0/6
Máx. volumen de aceite hidráulico disponible	litros	80	80	80	80
Máx. capacidad de elevación del elevador hidráulico trasero	daN	11110	11110	11110	11110
Máx. capacidad de elevación del elevador hidráulico delantero	daN	5040	5040	5040	5040

Tabla 10. Ficha técnica Fendt serie 800. [15]

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN INYECTOR/APLICADOR DE PURÍN

-Ficha técnica tractores de la serie 800 de la marca Claas, con un rango de potencia de los 200CV a los 300CV.



AXION		870	850	830	810	800
Instalación hidráulica						
Circuito hidráulico Loadensing 110 l/min		●	●	●	●	●
Circuito hidráulico Loadensing 150 l/min		○	○	○	○	○
Circuito hidráulico Loadensing 205 l/min		○	○	○	○	○
Presión máx. de trabajo	bar	200	200	200	200	200
Cantidad de distribuidores hidráulico-mecánicos		–	3-4	3-4	3-4	3-4
Cantidad de distribuidores electro-hidráulicos		3-7	3-7	3-7	3-7	3-7
Dos distribuidores electrohidráulicos centrales, manejo con ELECTROPILOT		○	○	○	○	○
Regulación del caudal		●	●	●	●	●
Elevador trasero						
Capacidad de carga máx. en los puntos de acoplamiento	kg	10200	10200	9700	9500	9500
Capacidad de carga constante con 610 mm	kg	6200	6200	6200	6200	6200
Antivibración		●	●	●	●	●
Control externo		●	●	●	●	●
Control antipatinaje activo		○	○	○	○	○
Elevador delantero						
Capacidad de carga	t	4,7 / 5,9	4,7 / 5,9	4,7 / 5,9	4,7 / 5,9	4,7 / 5,9
Toma de fuerza delantera 1.000 rpm		○	○	○	○	○
Antivibración		●	●	●	●	●
Regulación de la posición		○	○	○	○	○
Accionamiento externo del elevador frontal		○	○	○	○	○

Tabla 11. Ficha técnica de los tractores de la serie 800 de Claas. [16]

Tal como podemos observar, ambos tractores, al igual que el resto de los tractores de este rango de potencia del mercado, trabajan con una presión de 200bares.