

Proyecto Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Modelado con 3DExperience del plan de fabricación
y montaje de un soporte para smartphone

Autora: María de Lourdes Amador Sánchez

Tutor: Domingo Morales Palma

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



A handwritten signature in green ink, appearing to read 'LAP'.



Proyecto Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Modelado con 3DExperience del plan de fabricación y montaje de un soporte para smartphone

Autora:

María de Lourdes Amador Sánchez

Tutor:

Domingo Morales Palma
Profesor Contratado Doctor

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Modelado con 3DExperience del plan de fabricación y montaje de un soporte para smartphone

Autor: María de Lourdes Amador Sánchez

Tutor: Domingo Morales Palma

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis maestros

Índice	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
1 Introducción	1
1.1 <i>Antecedentes</i>	1
1.2 <i>Objeto del proyecto</i>	2
1.3 <i>Estructura del documento</i>	2
2 Introducción a 3DExperience DELMIA	3
2.1 <i>Breve reseña</i>	3
2.2 <i>CATIA, DELMIA, SIMULIA y ENOVIA</i>	4
2.3 <i>Planificación del proceso de montaje con DELMIA</i>	5
2.3.1 <i>Lista de materiales de fabricación (MBOM)</i>	6
2.3.2 <i>Definición de la secuencia de montaje</i>	6
2.3.3 <i>Asignación de recursos y definición del layout</i>	7
2.3.4 <i>Análisis y evaluación del plan del proceso</i>	7
2.3.5 <i>Generación de documentación: Instrucciones de trabajo</i>	8
2.4 <i>Herramientas de DELMIA</i>	9
2.4.1 <i>DELMIA Manufactured Item Definition</i>	9
2.4.2 <i>DELMIA Process Planning</i>	10
2.4.3 <i>DELMIA Planning Structure</i>	11
2.4.4 <i>DELMIA Manufacturing Assembly Evaluation</i>	11
2.4.5 <i>DELMIA Plant Layout Design</i>	12
2.4.6 <i>DELMIA Manufacturing Equipment Allocation</i>	13
2.4.7 <i>DELMIA Work Instructions</i>	13
2.5 <i>Aplicaciones adicionales de DELMIA</i>	15
3 Proceso de montaje del soporte para Smartphone	17
3.1 <i>Descripción del soporte</i>	17
3.2 <i>Análisis de componentes</i>	18
3.3 <i>Planificación del proceso de montaje</i>	31
3.3.1 <i>Soporte para bicicleta</i>	32
3.3.2 <i>Soporte para coche</i>	62
4 Proceso completo de fabricación y montaje del soporte	75
4.1 <i>Fabricación de componentes mediante impresión 3D</i>	75
4.2 <i>Tiempos de cada operación de fabricación y montaje</i>	77
4.3 <i>Soporte para bicicleta</i>	87
4.3.1 <i>Definición del MBOM</i>	87
4.3.2 <i>Definición del plan del proceso</i>	95
4.4 <i>Soporte para coche</i>	104
4.4.1 <i>Definición del MBOM</i>	104
4.4.2 <i>Definición del plan del proceso</i>	108
4.5 <i>Propuesta de mejora</i>	115
5 Conclusiones y trabajos futuros	117
5.1 <i>Conclusiones</i>	117

5.1.1	Sobre la plataforma 3DExperience	117
5.1.2	Sobre el plan de montaje del soporte	117
5.1.3	Sobre el plan completo de fabricación y montaje	118
5.2	<i>Desarrollos futuros</i>	118
Referencias		121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempos de Fabricación de piezas para Soporte de Bicicleta.	77
Tabla 2. Tiempos de montaje para el Soporte de la Bicicleta	78
Tabla 3. Distribución de piezas en Impresora 1 (Soporte Bicicleta).	79
Tabla 4. Distribución de piezas en Impresora 2 (Soporte Bicicleta).	80
Tabla 5. Distribución de piezas en Impresora 3 (Soporte Bicicleta).	80
Tabla 6. Distribución de piezas en Impresora 4 (Soporte Bicicleta).	80
Tabla 7. Distribución de piezas en Impresora 5 (Soporte Bicicleta).	81
Tabla 8. Distribución de piezas en Impresora 6 (Soporte Bicicleta).	81
Tabla 9. Tiempos de Fabricación de piezas para Soporte de Coche.	82
Tabla 10. Tiempos de montaje para el Soporte del Coche.	83
Tabla 11. Distribución de piezas en Impresora 1 (Soporte Coche).	85
Tabla 12. Distribución de piezas en Impresora 2 (Soporte Coche).	85
Tabla 13. Distribución de piezas en Impresora 3 (Soporte Coche).	85
Tabla 14. Distribución de piezas en Impresora 4 (Soporte Coche).	86
Tabla 15. Distribución de piezas en Impresora 5 (Soporte Coche).	86
Tabla 16. Distribución de piezas en Impresora 6 (Soporte Coche).	86
Tabla 17. Distribución de piezas en Impresora 7 (Soporte Coche).	87
Tabla 18. Tiempos de impresión con impresora 3D de polvo.	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planificación de un proceso de fabricación.	6
Figura 2. Elaboración clásica del MBOM.	6
Figura 3. Diagrama de Gantt de un proceso de producción.	7
Figura 4. Plano del layout de una fábrica.	7
Figura 5. Diagrama de flujo para el análisis de procesos.	8
Figura 6. Instrucciones de Trabajo.	9
Figura 7. MBOM creado mediante DELMIA Manufactured Item Definition.	10
Figura 8. Plan de proceso mediante DELMIA Process Planning.	10
Figura 9. DELMIA Planning Structure.	11
Figura 10. Simulación mediante DELMIA Assembly Evaluation.	12
Figura 11. Posicionamiento de recursos en la planta mediante DELMIA Plant Layout Design.	13
Figura 12. Comprobación de línea de ensamblaje mediante DELMIA Manufacturing Equipment Allocation.	13
Figura 13. Ejemplo de Instrucción de Trabajo hecha con DELMIA Work Instructions.	14
Figura 14. Soporte de Bicicleta, vista superior.	17
Figura 15. Soporte de Bicicleta, vista inferior.	17
Figura 16. Soporte para coche, vista superior.	18
Figura 17. Soporte para coche, vista inferior.	18
Figura 18. Ventana de opciones de la herramienta de explosionado de Assembly Evaluation.	19
Figura 19. Explosionado 3D, al primer nivel de profundidad.	19
Figura 20. Explosionado 3D, a todos los niveles de profundidad.	19
Figura 21. Explosionado 3D, a todos los niveles con secuencia de ensamblaje.	20
Figura 22. Carcasas superior e inferior.	20
Figura 23. Guías dentadas.	20
Figura 24. Rueda dentada.	21
Figura 25. Pinchos.	22
Figura 26. Semibola.	23
Figura 27. Fijar_4.	24
Figura 28. Fijar_5.	24
Figura 29. Fijar_3.	25
Figura 30. Sujeción Bici.	26
Figura 31. Fijar_2.	26
Figura 32. Explosionado de Soporte para coche.	28

Figura 33. Explosionado de Soporte para coche.	28
Figura 34. Barra_1 y Barra_2.	29
Figura 35. Sujeción coche.	30
Figura 36. Fijar_1 y Tornillo.	30
Figura 37. Enlazar MBOM con Product mediante Scope link.	33
Figura 38. Product enlazado con MBOM.	34
Figura 39. Carcasa Superior asignada.	34
Figura 40. Assembly Assignment Assistant.	35
Figura 41. MBOM básico para Soporte de bicicleta.	35
Figura 42. Ensamblar de la Rueda dentada con Tornillo.	36
Figura 43. Colocar Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.	36
Figura 44. Ensamblar Semibola con Tornillo.	36
Figura 45. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.	36
Figura 46. Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior.	37
Figura 47. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.	37
Figura 48. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.	37
Figura 49. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.	37
Figura 50. Ensamblar Fijar_5 con Tuerca.	38
Figura 51. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar.	38
Figura 52. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.	38
Figura 53. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.	38
Figura 54. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	39
Figura 55. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.	39
Figura 56. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.	39
Figura 57. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.	39
Figura 58. Herramienta B.I. Essentials.	40
Figura 59. Product Assignment Status.	40
Figura 60. Manufactured Item Completion Status.	41
Figura 61. MBOM enlazado con Process Planning.	42
Figura 62. B.I. Manufactured Items Assignment status.	43
Figura 63. B.I. Essentials en Process Planning.	43
Figura 64. System Assignment Assistant en Process Planning.	44
Figura 65. Assignment Manager en Process Planning.	44
Figura 66. Process Planning para análisis del montaje del Soporte para Bicicleta.	45
Figura 67. No se ha creado un flujo entre Fijar_2 y Tornillo de forma automática.	45
Figura 68. Creación manual de Flujo entre Fijar_2 y Tornillo.	45
Figura 69. Resultado de creación de flujo manual entre operación de ensamblaje y operación previa de carga	

de pieza.	46
Figura 70. Ensamblar Rueda dentada con Tornillo.	46
Figura 71. Colocar Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.	46
Figura 72. Ensamblar Semibola con Tornillo.	47
Figura 73. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.	47
Figura 74. Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior.	48
Figura 75. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.	48
Figura 76. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.	49
Figura 77. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.	49
Figura 78. Ensamblar Fijar_5 con tuerca.	50
Figura 79. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar.	50
Figura 80. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.	50
Figura 81. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.	50
Figura 82. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	50
Figura 83. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.	50
Figura 84. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.	51
Figura 85. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.	51
Figura 86. Manufactured Items Assignment Status en Process Planning.	51
Figura 87. Operations Placement Status.	51
Figura 88. Movimientos realizados con ayuda del “Robot”.	52
Figura 89. Movimientos realizados con la herramienta Editor de Tracks.	52
Figura 90. Grabar un movimiento.	52
Figura 91. Grabar una secuencia de movimientos.	52
Figura 92. Edición de Tracks validados.	53
Figura 93. Product BuidUp Options.	53
Figura 94. Ensamblaje de Rueda Dentada y Tornillo.	54
Figura 95. Colocar de la Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.	54
Figura 96. Ensamblar Semibola y Tornillo.	55
Figura 97. Colocar de la Semibola sobre la Carcasa Inferior.	55
Figura 98. Incompatibilidad encontrada al colocar las Guías sobre la Carcasa Inferior.	56
Figura 99. Reordenado y Renombrado de Guías.	56
Figura 100. Reordenado de MBOM.	57
Figura 101. Reordenado del Process Planning.	57
Figura 102. Ensamblar Semibola con Tornillo.	58
Figura 103. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.	58
Figura 104. Guías sobre Carcasa Inferior.	58
Figura 105. Ensamblar Rueda Dentada y Tornillo.	59

Figura 106. Colocar Rueda Dentada sobre Carcasa Inferior.	59
Figura 107. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.	59
Figura 108. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.	59
Figura 109. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.	60
Figura 110. Ensamblar Fijar_5 con Tuerca.	60
Figura 111. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar	60
Figura 112. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.	60
Figura 113. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.	61
Figura 114. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	61
Figura 115. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.	61
Figura 116. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.	61
Figura 117. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.	61
Figura 118. MBOM de partida para el Soporte del Coche.	62
Figura 119. MBOM básico para Soporte de coche.	63
Figura 120. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.	64
Figura 121. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.	64
Figura 122. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.	64
Figura 123. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.	64
Figura 124. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.	64
Figura 125. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.	64
Figura 126. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	65
Figura 127. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.	65
Figura 128. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.	65
Figura 129. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.	65
Figura 130. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.	66
Figura 131. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.	66
Figura 132. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.	66
Figura 133. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.	66
Figura 134. Product Assignment Status.	67
Figura 135. Manufactured Item Completion Status.	67
Figura 136. Estado del Process Planning tras el copiado de operaciones.	68
Figura 137. Process Planning para análisis del montaje del Soporte para Coche.	68
Figura 138. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.	68
Figura 139. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.	68
Figura 140. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	69
Figura 141. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.	69
Figura 142. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.	69

Figura 143. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.	69
Figura 144. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.	70
Figura 145. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.	70
Figura 146. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.	70
Figura 147. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.	70
Figura 148. Manufactured Items Assignment Status en Process Planning.	71
Figura 149. Operations Placement Status.	71
Figura 150. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.	71
Figura 151. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.	71
Figura 152. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	72
Figura 153. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.	72
Figura 154. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.	72
Figura 155. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.	72
Figura 156. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.	72
Figura 157. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.	72
Figura 158. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.	73
Figura 159. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.	73
Figura 160. Diagrama del proceso de fabricación para los soportes.	76
Figura 161. Catálogo con los datos del análisis del Montaje del Soporte para Bicicleta.	87
Figura 162. Manufactured Part.	88
Figura 163. Asignación del producto resultante.	89
Figura 164. Scope link con pieza del Product.	89
Figura 165. Scope link con pieza del Product.	90
Figura 166. Dissassembly Manufactured Item.	91
Figura 167. Manufacturing Kit.	91
Figura 168. MBOM para el proceso de fabricación del Soporte de la Bicicleta.	92
Figura 169. Manufactured Item Completion Status para el proceso de fabricación del Soporte de la Bicicleta.	93
Figura 170. Ensamblaje de Semibola y su posterior colocación en la Carcasa Inferior.	93
Figura 171. Fabricación de Guías y colocación en Carcasa Inferior.	93
Figura 172. Fabricación, ensamblaje y colocación de la Rueda Dentada.	94
Figura 173. Fabricación y colocación de la Carcasa Superior.	94
Figura 174. Fabricación, retirada de material y colocación de los Pinchos.	94
Figura 175. Fabricación, ensamblaje y colocación de Fijar_4 y Fijar_5.	94
Figura 176. Fabricación, retirada de material, ensamblaje y colocación de los Sujeción Bici y Fijar_2.	95
Figura 177. Fabricación, ensamblaje y colocación de Fijar_3.	95
Figura 178. Ensamblaje de Sujeción Bici con el cuerpo de la Carcasa y acopio de material.	95
Figura 179. Distribución de Transformation Systems en el Process Planning del Soporte para Bicicleta.	96

Figura 180. Distribución de los Manufactured Items entre las impresoras.	96
Figura 181. Carga de trabajo de las impresoras.	97
Figura 182. Porcentaje de utilización de cada una de las impresoras.	97
Figura 183. Habilitar Multi-Cycle en las impresoras.	98
Figura 184. Establecer Flujo entre impresoras de mayor carga a menor carga.	98
Figura 185. Redistribución del trabajo entre las impresoras.	98
Figura 186. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.	99
Figura 187. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.	99
Figura 188. Error al establecer órdenes de inicio distintos de las precedencias.	100
Figura 189. Distribución de sistemas para el montaje del Soporte de Bicicleta.	100
Figura 190. Sistema de montaje, acopio de material.	101
Figura 191. Operaciones de retirada de Material.	101
Figura 192. Operaciones de ensamblaje entre piezas y tuercas y tornillos.	102
Figura 193. Redistribución del trabajo entre las impresoras.	102
Figura 194. Carga de trabajo entre los sistemas de montaje del soporte.	103
Figura 195. Distribución de la carga de trabajo en el proceso completo de fabricación.	104
Figura 196. MBOM para el proceso de fabricación del Soporte del Coche.	105
Figura 197. Manufactured Item Completion Status para el proceso de fabricación del Soporte de la Bicicleta.	105
Figura 198. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.	106
Figura 199. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.	106
Figura 200. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.	106
Figura 201. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.	106
Figura 202. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.	107
Figura 203. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.	107
Figura 204. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.	107
Figura 205. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.	107
Figura 206. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.	108
Figura 207. Distribución de Transformation Systems en el Process Planning del Soporte para Coche.	108
Figura 208. Carga de trabajo de las impresoras.	109
Figura 209. Porcentaje de utilización de cada una de las impresoras.	109
Figura 210. Redistribución del trabajo entre las impresoras.	110
Figura 211. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.	110
Figura 212. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.	111
Figura 213. Distribución de sistemas para el montaje del Soporte de Bicicleta.	111
Figura 214. Sistema de montaje, acopio de material.	112
Figura 215. Operaciones de retirada de Material.	112
Figura 216. Operaciones de ensamblaje entre piezas y tuercas y tornillos.	112

Figura 217. Redistribución del trabajo entre las impresoras.	113
Figura 218. Carga de trabajo entre los sistemas de montaje del soporte.	113
Figura 219. Distribución de la carga de trabajo en el proceso completo de fabricación.	114

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En los últimos años se está viviendo una época de transición hacia la era digital que ha influido en todos los ámbitos de la vida de las personas, transformando las actividades que realizan y cómo las realizan. El desarrollo de estos avances ha permitido mejorar de forma notable la eficacia de los procesos de fabricación, desarrollarlos e, incluso, renovarlos. Sin embargo, la industria sigue resistiéndose a la digitalización, las inversiones necesarias en software y formación hacen que este proceso de cambio sea lento, quedándose retrasado respecto a los avances que se producen en la tecnología de forma continuada. No obstante, en la industria, la mejora continua es un proceso de vital importancia para permanecer a la cabeza y mantener una alta eficiencia. Por este motivo, mantenerse al día con la última tecnología en diseño de procesos de fabricación debe ser una prioridad.

En fabricación, el cambio de una línea completa de fabricación con el fin de introducir mejoras potenciales conlleva un gran riesgo, tanto en coste de implementación, como en el coste de oportunidad que conllevaría el tiempo requerido en la implementación de la nueva línea, en comparación con el beneficio que se estaría produciendo si la producción con la antigua línea continuara. Todo esto sin mencionar la pérdida de capital a largo plazo que supondría que las mejoras implementadas no funcionaran como se pensaba.

Estas son sólo algunas de las razones por las que la simulación de procesos de fabricación es una mejora imprescindible. Con la simulación, es posible conocer el comportamiento que tendrá una línea de producción, permitiendo comprobar el resultado de una posible mejora en la misma, sin interferir ni provocar ningún tipo de impacto en la producción diaria de la planta.

Además, con la simulación, también pueden validarse los diseños de nuevos sistemas de producción. Todo esto, permite reducir la necesidad de verificación física y de programación, reduciendo así el tiempo necesario entre el diseño y la implementación de un nuevo sistema.

El paquete de Software más maduro del mercado en relación al diseño, desarrollo y simulación de sistemas de producción es DELMIA, de Dassault Systèmes. El lanzamiento de este paquete de software, se realizó en el 2000 y, en la actualidad se ha incluido en la nueva plataforma creada como entorno colaborativo en la que la compañía está centrando toda su estrategia. Esta nueva plataforma, es la conocida como 3DExperience.

Uno de los predecesores de 3DExperience fue Quest, un software desarrollado originalmente por Deneb Robotics, compañía que fue adquirida por Dassault Systèmes en 1997 y renombrado como DELMIA.

La idea detrás de Quest era proveer de una herramienta para Simulación Discreta de Eventos (DES, por sus siglas en inglés), con la que el usuario pudiera cambiar entre una vista de 2D conceptual y una vista 3D más cercana a la realidad. En Quest, el usuario podía bien seleccionar geometrías o generar las suyas propias, describir el comportamiento de cada geometría y ejecutar la simulación. Tras obtener los resultados, el usuario podía especificar cambios y mejoras con el fin de estudiar la posibilidad de cambiar su sistema de producción real.

Dassault Systèmes define 3DExperience como una “Plataforma de experiencias de negocio”, que puede estar “disponible en el lugar de trabajo y en la nube de forma pública o privada”. Esto significa que 3DExperience presenta una interfaz unificada que da servicio a las diferentes aplicaciones y provee acceso a los datos necesarios en función de los diferentes roles en una compañía. La plataforma contiene aplicaciones relevantes a modelado 3D, simulación, colaboración y tecnología de la información.

La plataforma 3DExperience excede la conocida como Sistema de gestión del ciclo de vida del producto (PLM), proveyendo de una visión general en la que el cliente está en el centro, en lugar del producto. De esta

manera 3DExperience aporta un conocimiento más profundo del cliente y de las funciones de sus productos para cada usuario.

1.2 Objeto del proyecto

El objetivo general de este proyecto es evaluar, mediante un caso práctico, las herramientas de 3DExperience DELMIA para la planificación de los procesos de fabricación y montaje.

Como producto para el desarrollo de la aplicación práctica se ha seleccionado un soporte para smartphone modelado en CATIA V5 por un alumno en su Trabajo Fin de Grado (García, 2017). El soporte tiene dos configuraciones que permiten su instalación en una bicicleta o en un coche, y contiene un mecanismo de cremallera para ajustar su forma al tamaño del smartphone o teléfono móvil. El producto consta de varias piezas fabricadas por impresión 3D y ensambladas, lo que lo convierten en un producto ideal para el objetivo planteado en este proyecto.

El caso práctico incluye el modelado y análisis del plan de impresión 3D y posterior ensamblaje de cada una de las dos configuraciones del soporte, para bicicleta y para coche. Los modelos permiten analizar las herramientas de la nueva plataforma 3DExperience para diseñar el plan del proceso, de forma que se puedan evaluar sus ventajas y sus limitaciones.

1.3 Estructura del documento

El documento se estructura en 5 Capítulos.

En el **Capítulo 1**, se hace una descripción global del contenido del trabajo, comentando de forma breve las ventajas de la simulación de procesos de producción y los beneficios que puede traer a la empresa. Además, se proporciona una pequeña descripción del proyecto y sus objetivos.

El **Capítulo 2** se centra en el software que se va a utilizar. Centrándose, en primer lugar, en la historia del software y de la compañía que lo desarrolla, los módulos en los que se divide la plataforma, incluyendo una breve descripción sobre ellos, la explicación de cómo es la planificación de un proceso productivo con un software como DELMIA y, por último, una breve descripción de las herramientas que se relacionan con la planificación de procesos.

En el **Capítulo 3**, se realiza una descripción del producto que se va a fabricar, para luego proceder a un análisis de sus componentes y, por último, el análisis y la simulación del proceso de montaje de cada uno de los soportes.

En el **Capítulo 4**, se va a proceder al diseño completo del proceso de fabricación, calculando, en primer lugar, los parámetros de tiempo de fabricación, reparto entre sistemas de impresión, etc. A continuación, se han definido los tiempos de fabricación y montaje para cada operación y, por último, se ha volcado toda esta información en las aplicaciones de 3DExperience y se ha obtenido el resultado del proceso para cada uno de los soportes.

Por último, en el **Capítulo 5**, se exponen las conclusiones que se han obtenido tras la realización del proyecto, las posibles mejoras y las posibles futuras líneas de desarrollo.

2 INTRODUCCIÓN A 3DEXPERIENCE DELMIA

2.1 Breve reseña

3DEXperience se trata de una plataforma virtual creada por la compañía Dassault Systèmes, que contiene las soluciones 3D de dicha compañía. Con esta plataforma, se pueden crear “empresas sociales” que permiten que los usuarios participen de forma colaborativa en el proceso de innovación. El entorno virtual posee una estructura en línea que ayuda a probar y a evaluar las experiencias futuras en todas las etapas del ciclo de vida de los productos o servicios.

En resumen, la plataforma 3DEXperience se trata, en términos de la propia compañía, de una “plataforma profesional de experiencias, que proporciona soluciones de software para cada uno de los departamentos de la empresa, desde marketing a ventas o ingeniería. Esta interfaz fomenta las “Industry Solutions Experiences”, que se basan en el software de diseño 3D, análisis, simulación e inteligencia en un entorno interactivo de colaboración.

Dassault Systèmes se trata de una empresa francesa subsidiaria de Dassault Group fundada en 1981 por una división de ingenieros de Dassault Aviation, liderada por Francis Bernard, con el fin de crear un software de diseño asistido por ordenador llamado CATI, actualmente conocido como CATIA, y así facilitar la creación de diseños tanto en aviación como en otros sectores industriales.

En sus inicios, el único cliente de Dassault Systèmes era Avions Marcel Dassault, la compañía primigenia del grupo Dassault, y estaba formada por 25 ingenieros que no sabían cómo comercializar el producto, así fue como surgió el acuerdo con IBM para vender CATIA. Este acuerdo trajo grandes beneficios a ambas compañías y es considerado como uno de los hechos fundamentales en la historia de Dassault Systèmes.

Poco a poco, CATIA empezó a utilizarse en otros sectores fuera de la industria aeronáutica, sobre todo en el sector automovilístico por grandes empresas como BMW, Mercedes u Honda. En 1984, CATIA, se convierte en el software líder de diseño en la industria aeroespacial, tras el acuerdo firmado con Boeing y se reafirma en este sector tras la firma de un contrato con AIRBUS para el despliegue de CATIA V5; en 1988 pasa también a ser el líder mundial de diseño en la industria de automoción.

En 1997, la empresa introduce un software para la gestión del ciclo de vida de producto (PLM) y se divide en dos segmentos, uno dedicado a la totalidad del proceso de desarrollo de los clientes y otro concentrado en el diseño (Mainstream/ SolidWorks), para los clientes que desearan diseñar sus productos en un entorno 3D.

En 1998, se introdujo la marca ENOVIA, centrada en la gestión de datos de producto CATIA con la adquisición de Product Manager Software, de IBM. Esta marca se amplía en 1999 con la adquisición de Smarteam, que trata la gestión de datos para PYMES.

En el 2000, Dassault Systèmes crea la marca DELMIA, destinada al dominio de la fabricación digital mediante una serie de tres adquisiciones: Daneb Robotics, una compañía estadounidense especializada en simulación de robots; Safework, una compañía canadiense especializada en la tecnología de modelización humana; y EAI-DELTA, compañía alemana especializada en software de gestión de procesos de fabricación. Esta nueva marca incluía la planificación de procesos digitales, simulación de robots y tecnología de modelización humana.

En 2005 la compañía adquiere Abacus Inc., con la que crea la marca SIMULIA, una marca centrada en la simulación realista, que constituye una expansión considerable de las funciones del grupo y se convierte en el eje de su oferta de productos de simulación existentes.

En 2007 se lanza la marca 3DVIA, a la vez que adquiere Seemage, líder en la creación de documentación 3D interactiva, con la que lanza 3DVIA Composer product line. La ya adquirida Virtools se implementa en

3DVIA y la marca pasa a llamarse 3DVIA Virtools.

Hay que esperar hasta 2012 para encontrar la primera versión de 3DExperience, presentada como la primera solución basada en “experiencias” para la industria, con el fin de recoger en una sola plataforma todas las aplicaciones de sus marcas y así optimizar la modelización 3D, los contenidos y las simulaciones, la innovación social y colaborativa y la inteligencia de información. Esta plataforma estaba diseñada de forma distinta en función de las necesidades de cada uno de los diferentes sectores industriales a los que estuviera destinado: Aeroespacial y Defensa, Arquitectura, Ingeniería y Construcción, bienes de consumo y venta al por menor, productos envasados y venta al por menor, energía, procesos y servicios públicos, servicios financieros y empresas, etc.

Poco tiempo después y en el mismo año, la empresa adquiere Netvibes, empresa que aporta funcionalidades de Dashboards inteligentes, y la de SquareClock, que ofrece soluciones de planificación de espacios 3D. Estas empresas aportan la tecnología necesaria para la creación del entorno 3DExperience tal y como lo conocemos hoy en día, terminándose de desarrollar en ese mismo año. Desde entonces, la estrategia de la empresa se ha focalizado en el desarrollo y mejora de este espacio colaborativo, mejorando el diseño y facilitando el uso de la plataforma.

A finales de este mismo año, también se crea la marca GEOVIA, dedicada a la modelización del planeta, convirtiendo esta tecnología en un nuevo sector industrial, el de los recursos naturales. Esto es posible gracias a la adquisición de Gemcom Software International Inc. (Gemcom), especializado en el sector minero.

La última mejora en cuanto a prestaciones para 3DExperience se hizo en 2013, con la adquisición de Apriso, empresa líder en soluciones de Software para fabricación; con esta adquisición se incorpora a la plataforma en la gestión de las operaciones de fabricación, introduciendo el software de la marca DELMIA.

2.2 CATIA, DELMIA, SIMULIA y ENOVIA

3DExperience se divide en cuatro grandes módulos a los que se puede acceder desde su herramienta principal: la brújula. El primero de ellos son las herramientas sociales y de colaboración, el segundo, las herramientas de 3D Modeling; en el tercero se encuentran las herramientas de simulación y, en el cuarto, las de Information Intelligence.

Dentro de las herramientas sociales y de colaboración pueden administrarse:

- La planificación de productos y administración de programas.
- Administración de configuraciones.
- Administración de diseño global.
- Ingeniería global y administración de fabricación.
- Administración estratégica de relaciones con los proveedores.
- Administración de cumplimiento y de calidad.
- Clasificación de IP y administración de seguridad.
- Administración estratégica de relaciones con los clientes.

Además, dentro de la plataforma pueden encontrarse planificadores de producto, diseñadores y directores de programa, planificadores de fabricación, agentes de compras, proveedores y directores de cumplimiento con los que cualquier usuario de la plataforma puede ponerse en contacto con el fin de desarrollar sus proyectos.

Dentro de las aplicaciones de Modelado 3D o “3D Modeling” se pueden encontrar las aplicaciones CATIA, donde se pueden realizar los diseños 3D, la ingeniería y el modelado de sistemas y arquitectura. Dentro de este paquete también se pueden diseñar los sistemas eléctricos y electrónicos, además de capturar y reutilizar los diseños ya realizados.

En cuanto a las aplicaciones de simulación, pueden encontrarse herramientas que permiten reducir los prototipos físicos, incrementar la confianza en el desempeño del producto y así, acelerar las decisiones de

diseño y mejorar el conocimiento acerca del comportamiento de un sistema en el mundo real a través de un entorno virtual.

Dentro de este módulo encontramos las aplicaciones relacionadas con las marcas DELMIA y SIMULIA. Las aplicaciones DELMIA ofrecen un espectro de soluciones con las que simular procesos de fabricación, con las que puede optimizarse el diseño de la planta y de sus actividades de mecanizado, la investigación de problemas relacionados con factores humanos, y la planificación de procesos y recursos.

Las aplicaciones SIMULIA proporcionan un espectro de soluciones que permiten simular el comportamiento de sus diseños en un entorno de modelado de multifísica. Dentro de estas soluciones podemos encontrar en análisis de elementos finitos, que incluyen la simulación de problemas estructurales, térmicos y de dinámica de fluidos.

Las aplicaciones de inteligencia de la información, que incluyen las de las marcas EXALEAD y NETVIVES, permiten a cualquier empleado de la compañía recopilar, conectar, descubrir, consolidar y entender de forma global la información de la plataforma 3DExperience, así como de cualquier otro sistema de la web.

Por último, se tienen las aplicaciones sociales y colaborativas, entre las que se encuentran las aplicaciones que componen la Marca ENOVIA. Mediante estas aplicaciones puede gestionarse la lista de materiales, la configuración y las modificaciones, la gestión del diseño, la clasificación y protección de la propiedad intelectual, planificación de productos y gestión de programas, gestionar la calidad y el cumplimiento, capturar y gestionar los requisitos de los clientes y los suministros de los proveedores.

2.3 Planificación del proceso de montaje con DELMIA

Las aplicaciones de DELMIA permiten al usuario gestionar el Ciclo de Vida de la Fabricación (MLM), permitiendo a los planificadores de procesos experimentar virtualmente todos los aspectos de la producción de planta, desde el impacto del diseño hasta la respuesta a la demanda global, permitiendo que el fabricante oriente y modifique los procesos para responder de forma rápida a la competencia y sacar partido a las oportunidades que ofrece el mercado.

A la hora de planificar cualquier proceso de montaje, deben seguirse los siguientes pasos:

1. Creación de la lista de materiales de fabricación o MBOM.
2. Definición de la secuencia de montaje.
3. Asignación de recursos y definición del layout.
4. Análisis y evaluación del plan del proceso.
5. Generación de documentación: Instrucciones de Trabajo.

DELMIA provee de aplicaciones específicas para el desarrollo de cada uno de los pasos necesarios para planificar completamente un proceso de fabricación. La descripción de cada uno de estos pasos y su asociación con la correspondiente aplicación de DELMIA, se desarrollará en las próximas líneas.

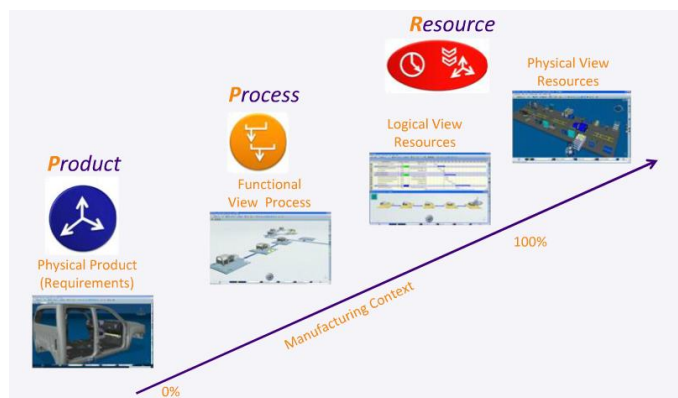


Figura 1. Planificación de un proceso de fabricación.

2.3.1 Lista de materiales de fabricación (MBOM)

En primer lugar, se creará la lista de materiales de fabricación (MBOM). Esta lista contiene todos los detalles sobre las partes y ensamblajes que completan el producto, incluyendo todos los detalles sobre las partes individuales y sus relaciones.

Adicionalmente incluye los equipos y herramientas necesarias para construir esas partes, así como los detalles de material de empaquetado, manuales de usuario y folletos que permiten que el producto pueda ser enviado.

La finalidad de todos los detalles aquí incluidos es la de facilitar la comprensión del ensamblaje del diseño y de los procedimientos de empaquetado.

El MBOM provee la información necesaria para trasladar el diseño del concepto a la realidad, la exactitud del contenido facilita la toma de decisiones para que su fabricación y coste sean eficientes, ya que influye directamente en la compra de componentes, la disponibilidad de inventario y determina el proceso de ensamblaje que seguirá a lo largo de la planta.

DELMIA permite la creación del MBOM para el producto, mediante su aplicación Manufactured Item Definition.

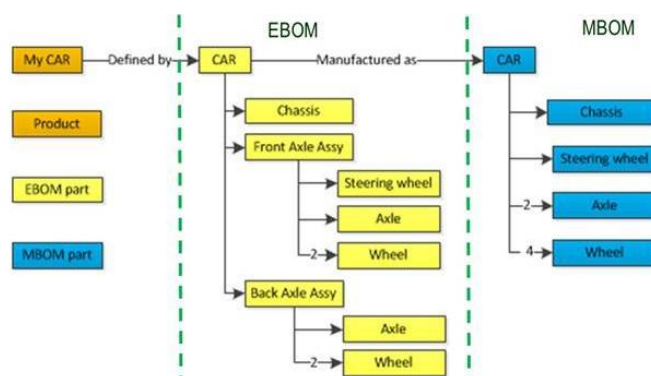


Figura 2. Elaboración clásica del MBOM.

2.3.2 Definición de la secuencia de montaje

La secuencia de montaje se definirá mediante la aplicación de DELMIA Process Planning, con la ayuda de DELMIA Assembly Evaluation.

Este paso en el proceso de planificación del proceso de montaje incluye la definición de todas las operaciones y sistemas que son necesarios para fabricar completamente el producto y que éste esté listo para ser enviado, incluyendo las operaciones de fabricación, ensamblaje y empaquetado.

En primer lugar, se definirán todas las operaciones necesarias y, a continuación, estas se asignarán a los sistemas que conformarán el proceso de fabricación. Estos sistemas pueden representar puestos de trabajo o agrupaciones de operaciones del mismo tipo o con la misma finalidad.

En este paso también se asignan tiempos a las operaciones y se procede al equilibrado de la carga entre los distintos sistemas, de forma que se optimice su utilización.

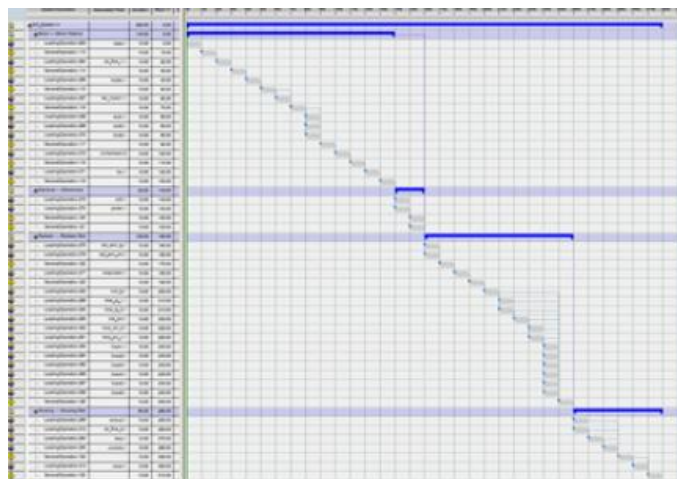


Figura 3. Diagrama de Gantt de un proceso de producción.

2.3.3 Asignación de recursos y definición del layout

A continuación, se procede a asignar recursos a los distintos sistemas creados en el paso anterior. Los recursos pueden ser maquinaria, productos o empleados.

En este paso será en el que se cree el layout de la planta, definiendo la distribución de todos los recursos en el espacio disponible para ello, el layout deberá optimizarse de tal manera que los desplazamientos sean mínimos y el flujo de material sea lo más fluido posible, con el fin de minimizar los costes en la producción.

La asignación de recursos y definición del layout se realizará mediante la aplicación DELMIA Plant layout Design.

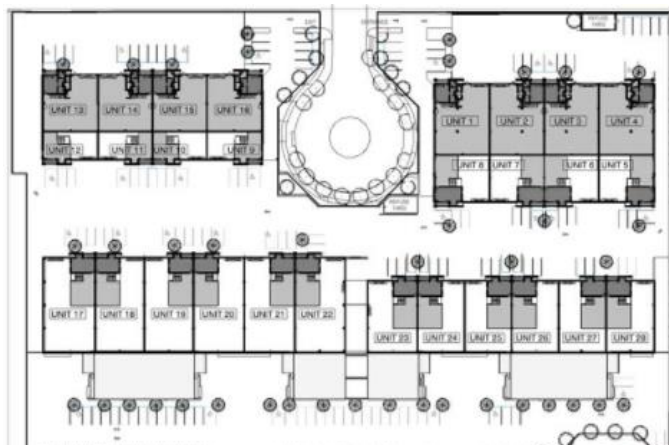


Figura 4. Plano del layout de una fábrica.

2.3.4 Análisis y evaluación del plan del proceso

El análisis y evaluación del plan de proceso será el último paso en el diseño del proceso de fabricación. Llegados a este punto, se analizará la distribución del layout diseñado en el paso anterior para comprobar que es la más eficiente, se analizará también la asignación de operaciones a sistemas y recursos y se comprobará la utilización de los mismos.

Todo este proceso permite tomar decisiones en cuanto al layout, la partición de operaciones entre distintos

recursos y maquinaria, etc.

Este análisis y evaluación del proceso de fabricación, se realizará mediante la aplicación DELMIA Manufacturing Equipment Allocation.

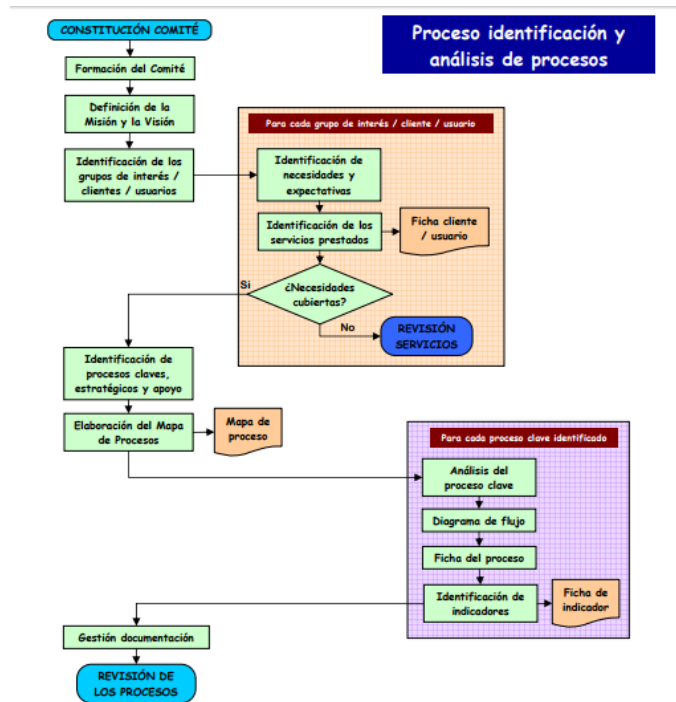


Figura 5. Diagrama de flujo para el análisis de procesos.

2.3.5 Generación de documentación: Instrucciones de trabajo

Por último, la generación de instrucciones de trabajo permitirá crear una guía a los operarios y a los propios planificadores de proceso de la forma en la que deben realizarse los procesos de ensamblaje y fabricación, así como de las características que debe tener la pieza, el ensamblaje o el producto final, asegurando así que todo el proceso cumple con los estándares de calidad.

Las instrucciones de trabajo podrán crearse mediante la aplicación DELMIA Work Instructions.


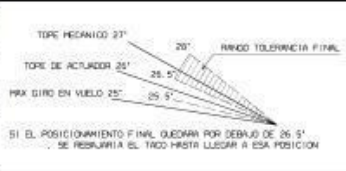

 San Pablo	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO	I.T.-076E39-0900-0-1	
		HOJA: 3 (de 4)	PÁGINA 18 (de 32)
TÍTULO: FALCON 7X FASE IV			
7.32.1 Deflectar el timón hacia abajo, hasta que se produzca contacto en el tope de herraje 3. 7.32.2 Comprobar que el tope se produce en el rango (-18° + -20,5°) 7.32.3 Desmontar este tope y almacenarlo adecuadamente junto a sus fijaciones. 7.32.4 Llevar el timón hacia abajo hasta contactar con el tope de herraje 4, comprobar que el contacto se produce en el rango (-92° + -95°). Chequear que no existe contacto con la estructura de tapas de borde de salida.			
7.32.5 Deflectar el timón hacia arriba hasta el contacto superior del mismo herraje. Comprobar ángulo. 7.32.6 Llevar el valor obtenido hasta la zona rayada mediante el rebaje de la zona de contacto del tope.			
7.32.7 Comprobar que no existen interferencias con la estructura, deflectando el timón hasta los topes máximos de recorrido.			
7.33. CLAUSULA DE ASEGURAMIENTO ASEG-07-04: Asegurar ausencia de interferencia zona carena: 7.33.1 Asegurar no existen interferencias (referencia defecto HTP#1 FNX.DA.WP11.04727).			
7.34. Sellar aseguramiento en la orden de producción.			

Figura 6. Instrucciones de Trabajo.

2.4 Herramientas de DELMIA

2.4.1 DELMIA Manufactured Item Definition

Manufactured Item Definition se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “3DEXPERIENCE Essentials Client”. Su función principal es la de crear el MBOM de un producto, en el que se incluyan todos los materiales, piezas y procesos de ensamblaje y fabricación.

El MBOM de un producto o “Manufactured Bill of Materials”, lista de productos fabricados en Castellano, se trata de un diagrama de flujo en el que se incluyen todos los materiales, piezas, procesos de fabricación, modificación y ensamblaje, que requiere un producto para ser fabricado en su totalidad.

Cada paso en el MBOM está formado por “Tiles” o azulejos que contendrán la información necesaria para realizar ese paso en la fabricación del producto. Así pues, pueden encontrarse distintos tipos de Tiles, según el nivel al que nos encontremos en la fabricación; por ejemplo, a los Provided Parts o los Manufactured Parts, se les asocia directamente una de las piezas del producto y representan la incorporación de una pieza o la fabricación de una pieza del producto, respectivamente; en otro nivel del proceso se encontrarían los General Assemblies, que son precedidos por una pieza u otro proceso de ensamblaje, y que representan el ensamblaje de una pieza con otra o con un conjunto de piezas.

Por último, también existen pasos intermedios, como los Dissassembly Steps o los Fasten Steps, que representan operaciones entre una pieza y una operación de ensamblaje o la fijación de una pieza o conjunto de piezas mediante otra pieza o conjunto de piezas.

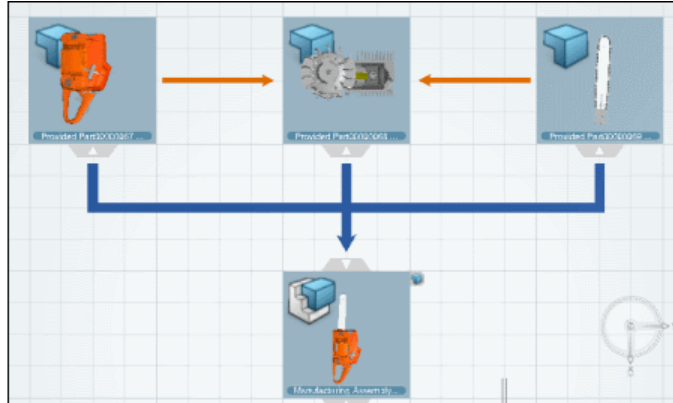


Figura 7. MBOM creado mediante DELMIA Manufactured Item Definition.

2.4.2 DELMIA Process Planning

Process Planning se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “3DEXPERIENCE Essentials Client”. La finalidad de esta aplicación es la de proveer herramientas que permitan definir un Scope Link entre los Manufactured Items que conforman el MBOM y los distintos flujos del proceso, mediante el empleo de sistemas y operaciones.

En el caso del Process Planning, las distintas operaciones y sistemas se representan también mediante Tiles, pero ambas pueden diferenciarse por la geometría de los mismos. Los Manufactured Items se asignan a las operaciones y, éstas, se agrupan en distintos sistemas. Como en el caso anterior, también existen distintos tipos de operaciones y sistemas, en función de la operación o conjunto de operaciones que representan. De este modo, los Transform Systems, se utilizan para las operaciones de fabricación, mientras que los General Systems suelen albergar operaciones de ensamblaje.

Así mismo, también es posible establecer un flujo de material entre los distintos sistemas u operaciones, así como establecer los vínculos de precedencia en la ejecución entre las distintas operaciones.

Por último, una de las características más importantes de esta aplicación es su capacidad para calcular la carga de trabajo que alberga cada uno de los sistemas para poder así equilibrarlos entre ellos.

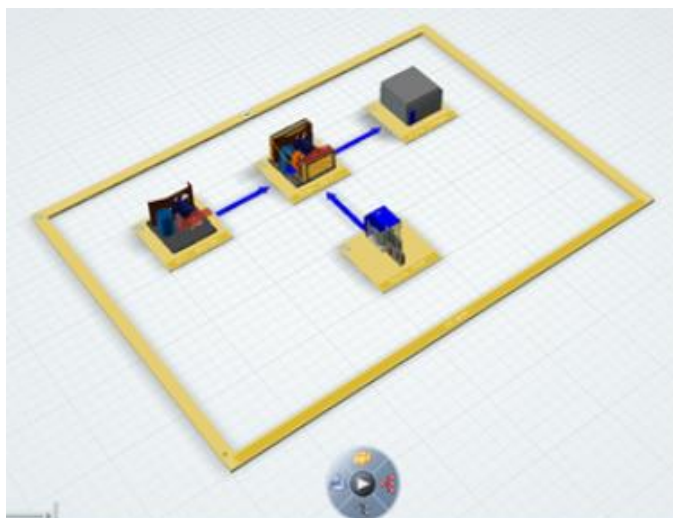


Figura 8. Plan de proceso mediante DELMIA Process Planning.

2.4.3 DELMIA Planning Structure

Planning Structure se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “3DEXPERIENCE Essentials Client”. Esta aplicación provee herramientas para la creación de estructuras para un proceso de ensamblaje, un sistema de fabricación, un producto o recursos.

Por tanto, con esta aplicación, los usuarios podrán definir Scope Links entre Manufactured Items y productos, sistemas, recursos y otros Manufactured Items.



Figura 9. DELMIA Planning Structure.

2.4.4 DELMIA Manufacturing Assembly Evaluation

Manufacturing Assembly Evaluation se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “3DEXPERIENCE Essentials Client”. Esta aplicación contiene las herramientas necesarias para evaluar completamente el proceso de ensamblaje de un producto, así como las piezas que lo conforman, bien como estudio previo o bien como proceso de verificación de un proceso creado con anterioridad.

Manufacturing Assembly Evaluation, permite la creación de explosionados de las piezas de los productos, así como simulaciones con los movimientos necesarios para que el producto se ensamble correctamente.

También contiene herramientas que permiten verificar que no existen colisiones entre las distintas piezas cuando estas se ensamblan entre sí.

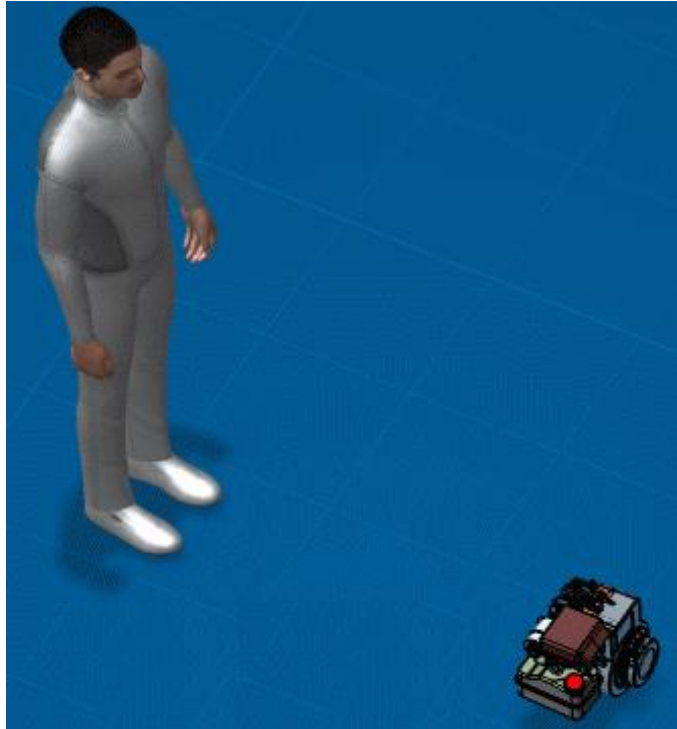


Figura 10. Simulación mediante DELMIA Assembly Evaluation.

2.4.5 DELMIA Plant Layout Design

Plant Layout Design se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “3DEXPERIENCE Essentials Client”. Su finalidad principal es la de establecer un diseño estático de una planta, equipada con geometrías de recursos como maquinaria, productos o empleados.

Esta aplicación, además, contiene características que permiten transferir los detalles de un proyecto en 2D y una representación en 3D. Esta transferencia puede ir en ambos sentidos, ya que la aplicación dispone de medios para colocar geometrías en 3D y sacarlas de su huella subyacente en 2D; del mismo modo, puede obtener la huella base de las geometrías en 3D para transformarlas en elementos 2D.

Como el objetivo de esta aplicación es la creación de una representación visual de una fábrica, el usuario no crea las geometrías utilizando esta aplicación, pero puede posicionarlas en la planta, alineándolas conforme a un proyecto, creando nuevas disposiciones o creando patrones de la misma geometría.

También es posible fijar unas geometrías a otras, como una herramienta a una máquina o una cinta transportadora a un contenedor. Esto se realiza asignando Ports como puntos fijos en las geometrías de los recursos. Existen distintas clases de Ports según el propósito de los mismos, como Connector Ports, Base Ports, etc.

Con el propósito de organizar los recursos en la planta, estos pueden asignarse a distintas categorías, como células de fabricación, robots, trabajadores, etc. Estas categorías tienen su origen en los distintos tratos que se les pueden dar a los recursos, como la lógica interna, es decir, si existe o no en el recurso, si puede programarse, qué clase de recursos son agregados mediante el recurso o qué enlaces de referencia existen para el recurso.

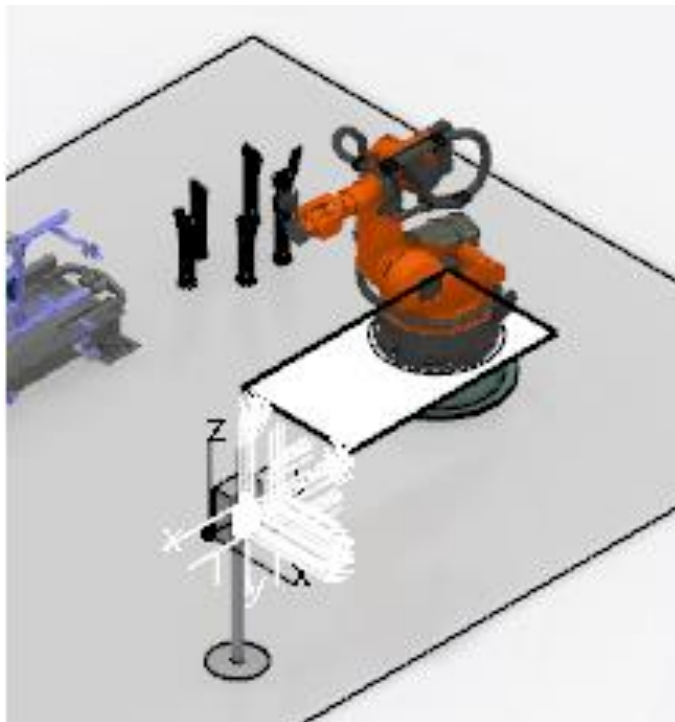


Figura 11. Posicionamiento de recursos en la planta mediante DELMIA Plant Layout Design.

2.4.6 DELMIA Manufacturing Equipment Allocation

Manufacturing Equipment Allocation se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “3DEXPERIENCE Essentials Client”. La finalidad de esta aplicación es la de proveer de herramientas para equilibrar las operaciones asociadas a los distintos recursos, comprobar la utilización de los recursos y sistemas, definir operaciones y repartir operaciones entre distintos recursos.

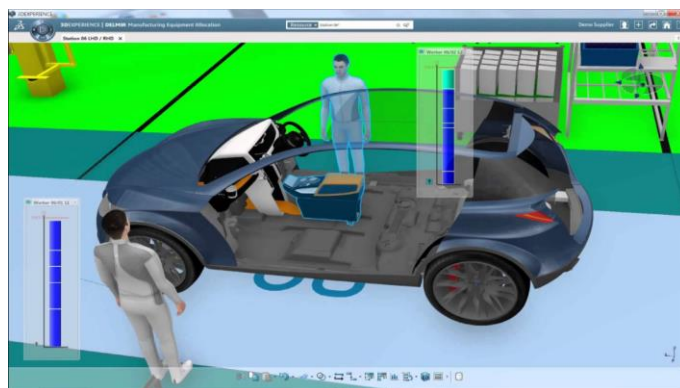


Figura 12. Comprobación de línea de ensamblaje mediante DELMIA Manufacturing Equipment Allocation.

2.4.7 DELMIA Work Instructions

Work Instructions se trata de una aplicación que se encuentra disponible en el rol “Manufacturing and Production”. Esta aplicación permite a los planificadores añadir instrucciones de trabajo a las operaciones y especificar la información que debe proveerse y recolectarse con la utilización de los sistemas de ejecución para la fabricación.

Las instrucciones de trabajo pueden ser añadidas a las operaciones que se han definido en cualquiera de las aplicaciones de Ingeniería de Fabricación.

Work Instructions permite a los planificadores crear instrucciones de trabajo en distintos formatos de archivo (PDF, Microsoft Office documents, etc.), que estén asociadas con operaciones basadas en tiempo como carga o apriete, que aparezcan en una pantalla MES, de manera que sean interactivas; también pueden ser previsualizadas en formatos XSLT, con el fin de comprobar su apariencia.

Por último, las instrucciones de trabajo pueden ser almacenadas en catálogos. Los documentos catalogados pueden insertarse en otros procesos y ser modificados.

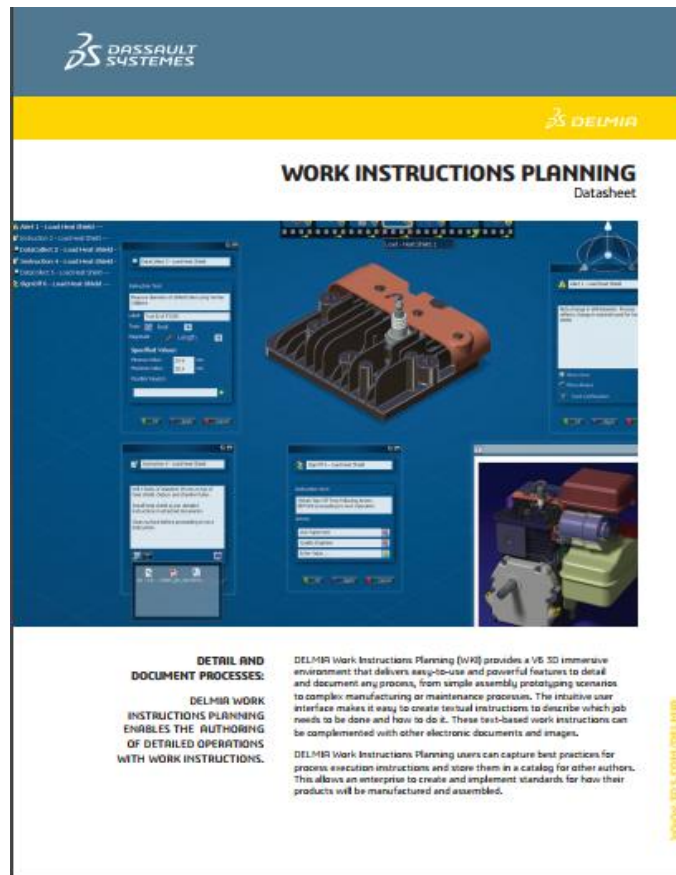


Figura 13. Ejemplo de Instrucción de Trabajo hecha con DELMIA Work Instructions.

2.5 Aplicaciones adicionales de DELMIA

3DExperience DELMIA ofrece aplicaciones adicionales para el Ingeniero Industrial y el Ingeniero de Fabricación. Estas aplicaciones se han excluido debido a que no contienen características relevantes para el presente proyecto. Las aplicaciones adicionales son:

- Simulation Experience.
- Fastened Item Definition.
- Fastener Planning.
- Tool Analysis.
- Time-Motion.
- Assembly Path Optimization.
- Heavy Industry Manufacturing.
- Heavy Industry Process Planning.
- Heavy Industry Structure Fabrication.
- Assembly Definition.
- Assembly Experience.
- Planning Review.

3 PROCESO DE MONTAJE DEL SOPORTE PARA SMARTPHONE

3.1 Descripción del soporte

En este documento se va a realizar un estudio del proceso de ensamblaje de un soporte para Smartphone que permitirá a los usuarios colocarlo en la bicicleta o en el coche, de tal manera que se facilite el uso y visualización del dispositivo a la vez que éste se encuentre posicionado de forma segura.

El punto de partida para este estudio será el del soporte ya diseñado y preparado para su impresión en impresoras 3D. El diseño lo realizó, mediante el software de Dassault Systèmes CATIA, Manuel García, para su Trabajo Fin de Grado con el que concluía sus estudios de Grado en Ingeniería Aeroespacial.

El diseño del soporte quedaría, por tanto, como sigue:

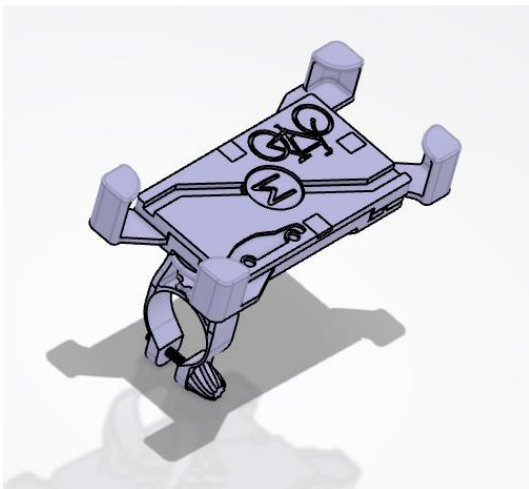


Figura 14. Soporte de Bicicleta, vista superior.

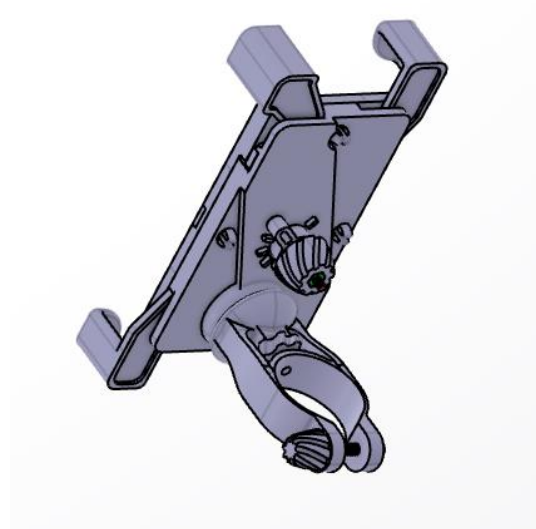


Figura 15. Soporte de Bicicleta, vista inferior.

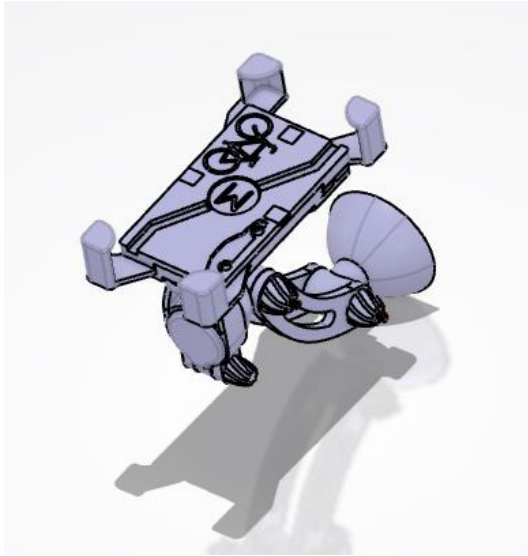


Figura 16. Soporte para coche, vista superior.

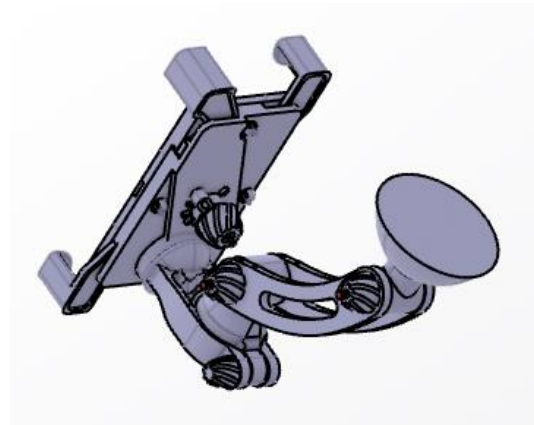


Figura 17. Soporte para coche, vista inferior.

Como se puede observar en la Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17, el diseño del soporte permite el ajuste de la posición del dispositivo, de forma que su visualización se ajuste a las necesidades del usuario. Esta capacidad de adaptación se consigue mediante el uso de una Semibola que, actuando como una rótula, permite el giro de la sujeción de la carcasa. A su vez, el diseño de las barras que sujetan la carcasa al soporte del coche, permiten el desplazamiento vertical del dispositivo.

Por último, el soporte se adapta a distintos tamaños de Smartphone. Esto se consigue mediante el desplazamiento de unas guías dentadas que, en sus extremos finales poseen las sujeciones del dispositivo.

En primer lugar, se va a realizar un estudio básico sobre el proceso de ensamblaje del soporte. Para ello, se analizarán las piezas que componen cada uno de los soportes, con el fin de conocer su localización y su proceso básico de ensamblaje.

Este análisis se realizará mediante las aplicaciones de DELMIA Manufacturing Item Definition, Process Planning y Assembly Evaluation.

3.2 Análisis de componentes

Para empezar, se realizará un explosionado de cada uno de los soportes y se identificará la localización y las uniones de cada una de las piezas utilizando el módulo de Assembly Evaluation.

Esta herramienta es muy útil a la hora de hacer este tipo de estudios, ya que permite controlar el grado de explosionado de los productos, decidir entre distintos tipos de explosionado e, incluso generar una secuencia de ensamblaje:

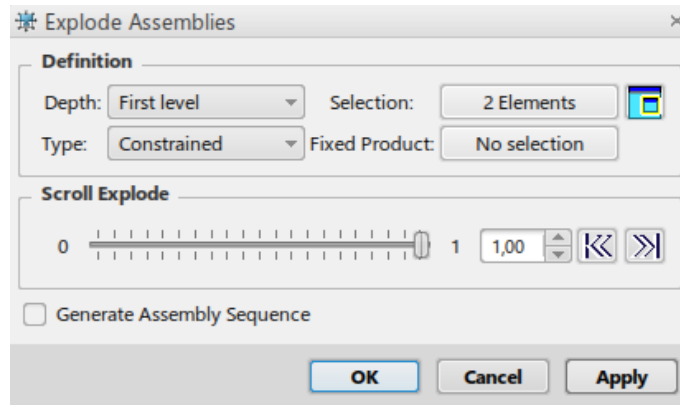


Figura 18. Ventana de opciones de la herramienta de explosionado de Assembly Evaluation.

A continuación, se van a mostrar algunos ejemplos de los explosionados realizados con esta herramienta:

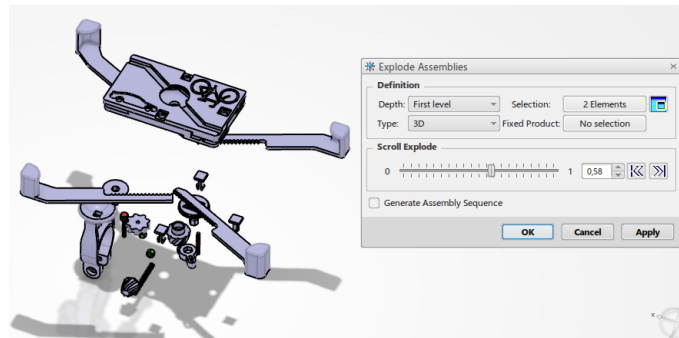


Figura 19. Explosionado 3D, al primer nivel de profundidad.

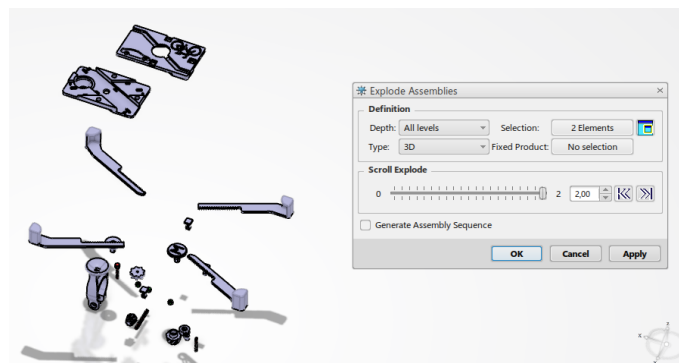


Figura 20. Explosionado 3D, a todos los niveles de profundidad.

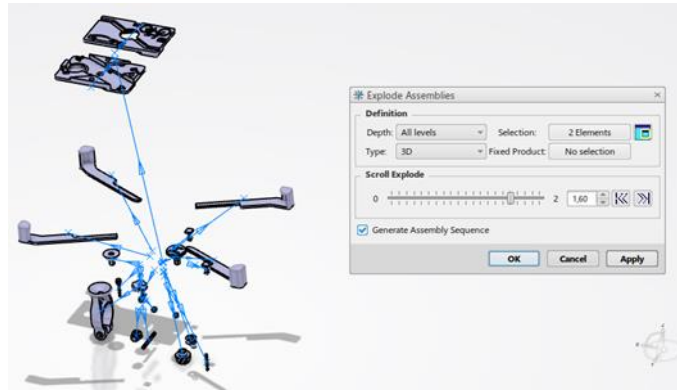


Figura 21. Explosión 3D, a todos los niveles con secuencia de ensamblaje.

Para realizar el estudio del proceso de ensamblaje del producto, se va a utilizar el tipo de explosión de la Figura 21, ya que es el que mejor permite hacerse una idea de la posición de cada una de las piezas en el conjunto.

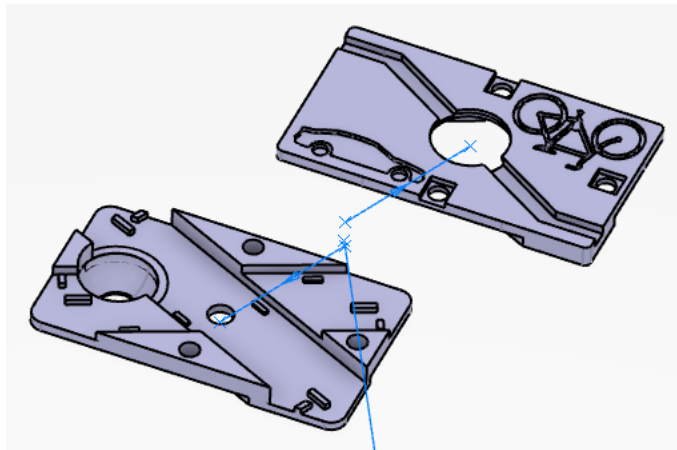


Figura 22. Carcasas superior e inferior.

En la Figura 22, se pueden observar las dos primeras piezas que compondrán el soporte, las Carcasas superior e inferior, que son las piezas sobre las que se apoyará el Smartphone y que incluirán el mecanismo que permitirá variar el tamaño del dispositivo a soportar. La carcasa superior sería la superior derecha y se colocaría sobre la carcasa inferior de forma que todos sus bordes coincidieran perfectamente.

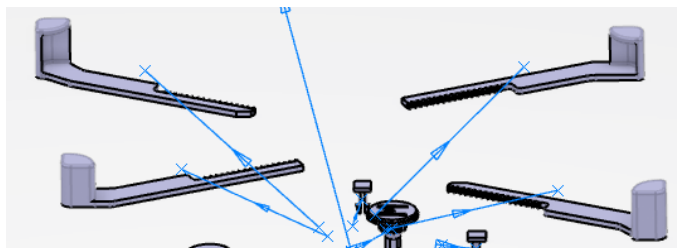


Figura 23. Guías dentadas.

En la Figura 23 se muestran las guías dentadas. Estas guías son las encargadas de sujetar el Smartphone mediante los “ganchos” de los que dispone en las esquinas. Estas guías tienen la capacidad de moverse utilizando sus dientes con el fin de regular el tamaño del dispositivo que puede colocarse sobre la carcasa. La posición de estas guías es sobre la carcasa inferior, en las ranuras habilitadas para ello. Existen dos tipos de guías, en adelante Guías_1 y Guías_2, entre las que varía ligeramente el ángulo de desplazamiento.

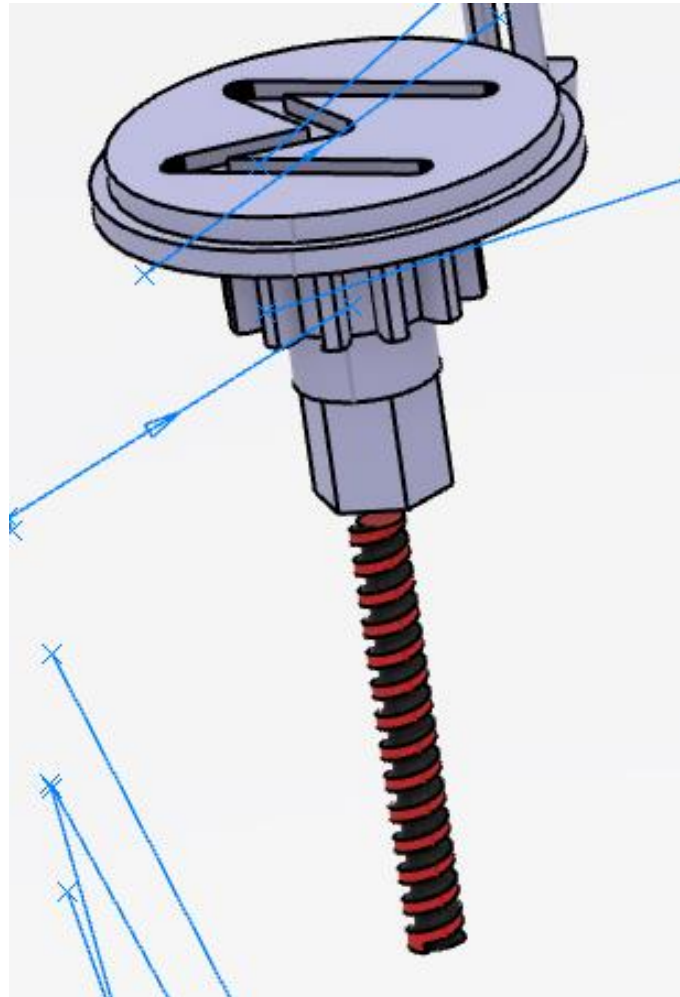


Figura 24. Rueda dentada.

En la Figura 24 queda representada la Rueda Dentada, este dispositivo será sobre el que apoyen los dientes de las guías para desplazarse y aumentar la amplitud entre las mismas. Va situada sobre la carcasa inferior y su parte superior, el círculo con el grabado en forma de M encaja con el hueco circular del que dispone la carcasa superior en el centro. A esta pieza se le debe ensamblar un tornillo.

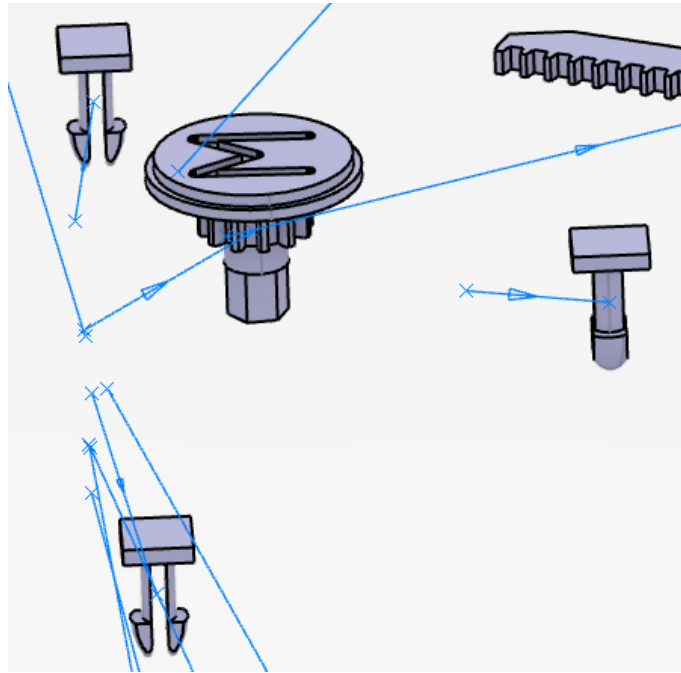


Figura 25. Pinchos.

Alrededor de la rueda dentada, en la Figura 25, pueden observarse tres Pinchos. Estos pinchos serán los encargados de mantener cerrada la carcasa y van localizados en los tres huecos que tienen las carcasas a los lados y en la zona inferior.

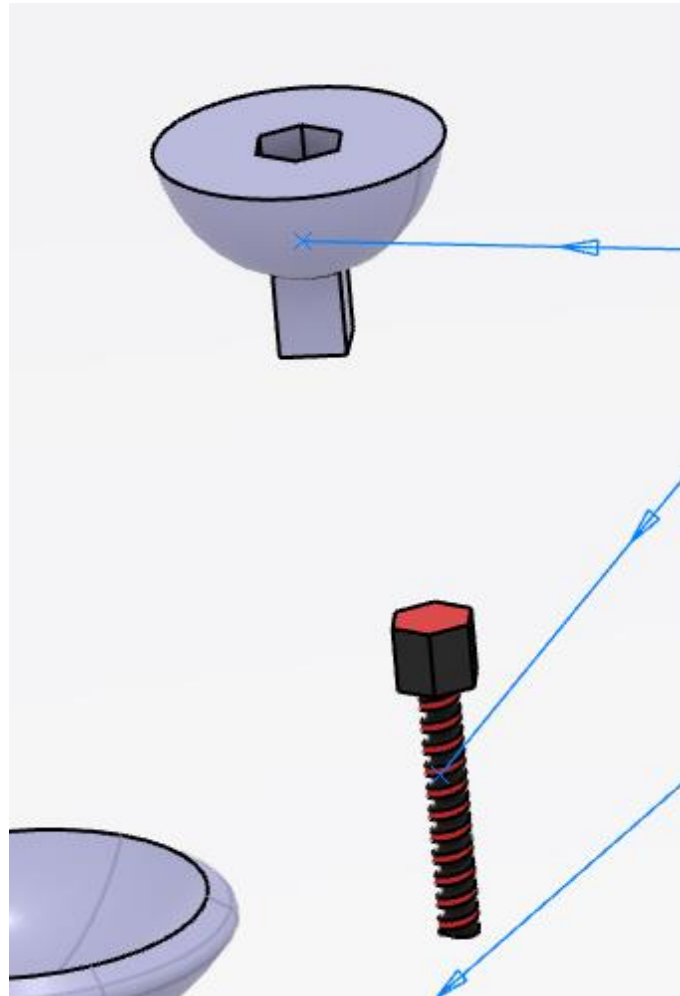


Figura 26. Semibola.

En la Figura 26 encontramos la Semibola, a la que también hay que ensamblarle un tornillo. Esta pieza se coloca en el hueco con forma esférica de la carcasa inferior y será la encargada de permitir el movimiento de la carcasa sobre el soporte.

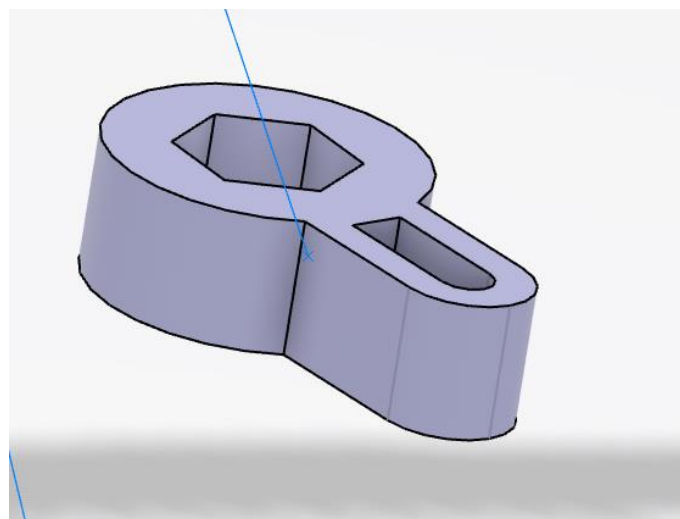


Figura 27. Fijar_4.

La pieza de la Figura 27, se nombrará como Fijar_4, se encuentra situada sobre la parte baja de la carcasa inferior, introducida en el vástago del tornillo de la rueda dentada. Esta pieza encaja con unas muescas situadas en esta zona, permitiendo fijar la apertura entre las guías dentadas.

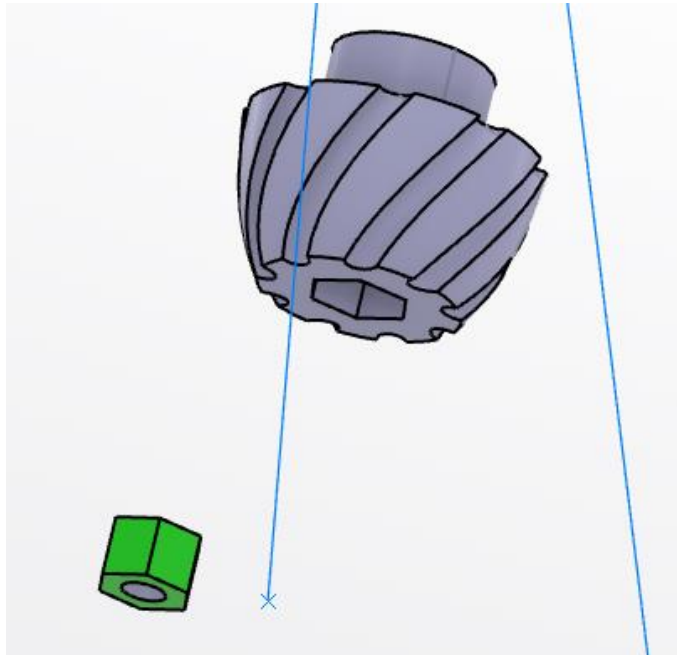


Figura 28. Fijar_5.

La pieza que se muestra en la Figura 29 se denomina Fijar_5, se colocará sobre Fijar_4, insertada también en el tornillo de la rueda dentada. Será la encargada de sujetar a Fijar_4 y de que las guías no se muevan de su posición.

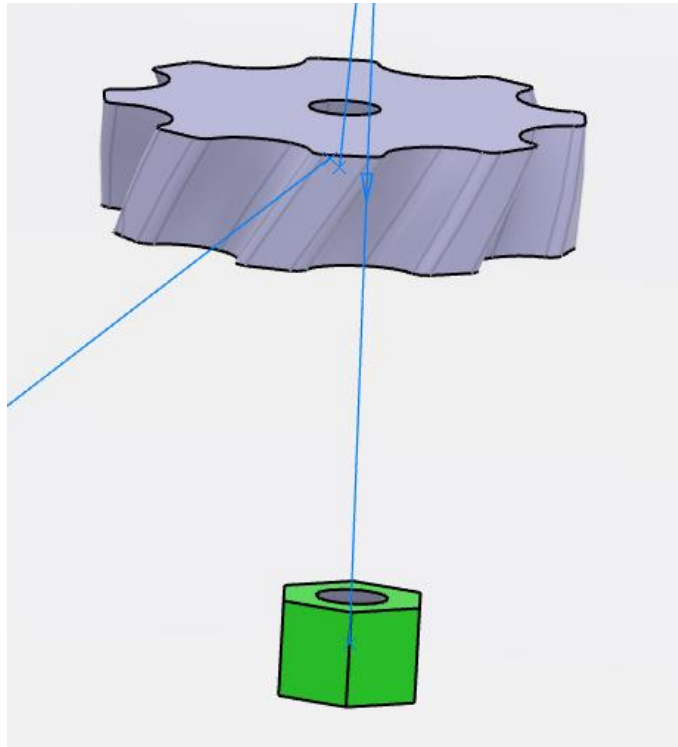


Figura 29. Fijar_3.

La pieza que se muestra en la Figura 29 se nombrará como fijar_3, su situación será insertada en el tornillo de la Semibola y será la encargada de fijar la carcasa al soporte de la bici.

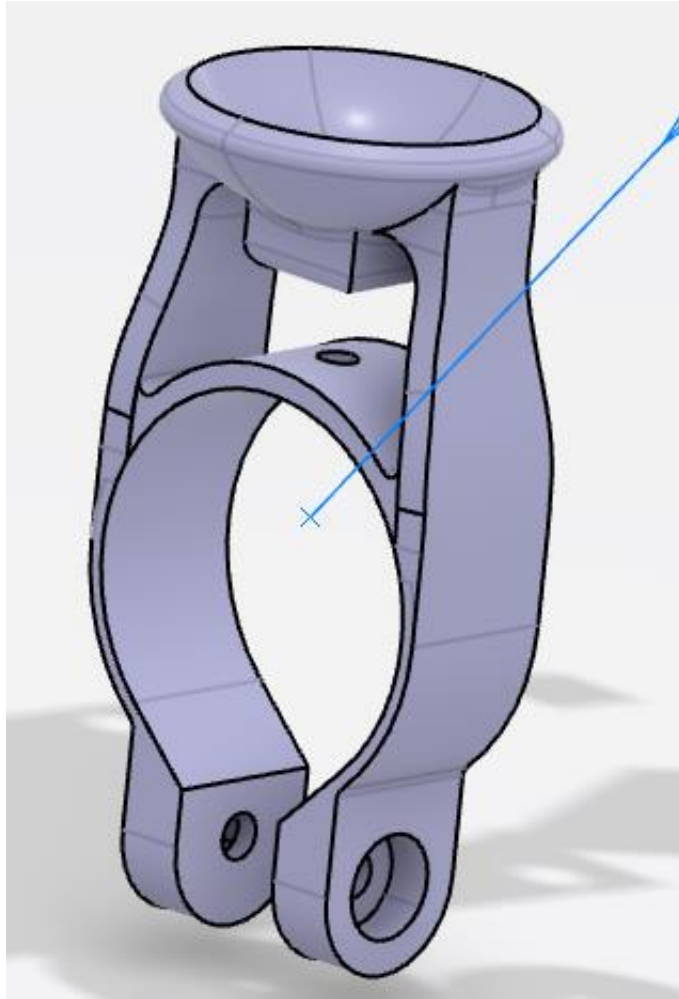


Figura 30. Sujeción Bici.

En la Figura 30 se muestra la denominada Sujeción Bici. Esta pieza, como su propio nombre indica, será la encargada de sujetar el soporte a la bicicleta. Se inserta también en el tornillo de la Semibola, por encima de Fijar_3.

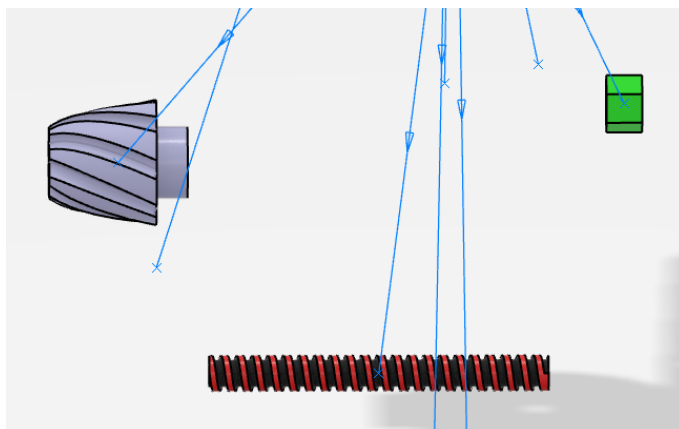


Figura 31. Fijar_2.

Por último, en la Figura 31, se encuentre la pieza denominada como Fijar_2, que será la encargada de fijar Sujeción Bici a la bicicleta. Esta pieza lleva ensamblada un tornillo y se sitúa en el hueco inferior de Sujeción bici. La sujeción al manillar de la bicicleta se conseguirá girando Fijar_2 hasta que el tornillo quede suficientemente insertado en la tuerca y la posición del soporte en la bicicleta sea suficientemente rígido.

Por tanto, la relación de piezas que conformaría el soporte para la bicicleta quedaría como sigue:

Nº de piezas	Denominación
1	Carcasa Superior
1	Carcasa Inferior
1	Rueda Dentada
1	Semibola
2	Guía_1
2	Guía_2
1	Fijar_4
1	Fijar_5
1	Fijar_3
1	Sujeción Bici
1	Fijar_2
3	Pincho
3	Tornillo
3	Tuerca

A continuación, se va a realizar el estudio de las piezas que conforman el soporte para el coche y su posición:

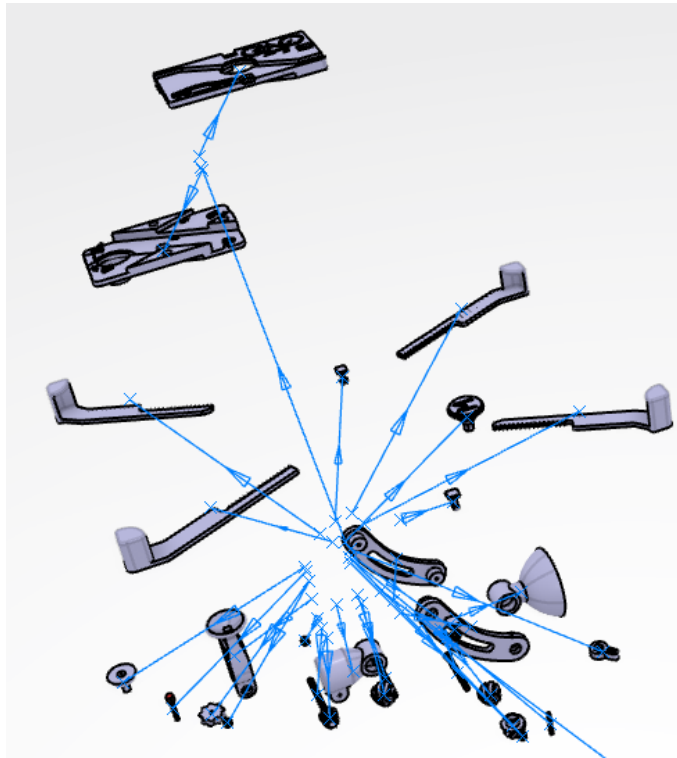


Figura 32. Explosionado de Soporte para coche.

En este caso, las piezas que conforman la carcasa y la sujeción a la bici son las mismas, tal y como se puede observar en la Figura 32, por lo que se procederá al análisis de las piezas extra que son necesarias para conformar el soporte del coche.

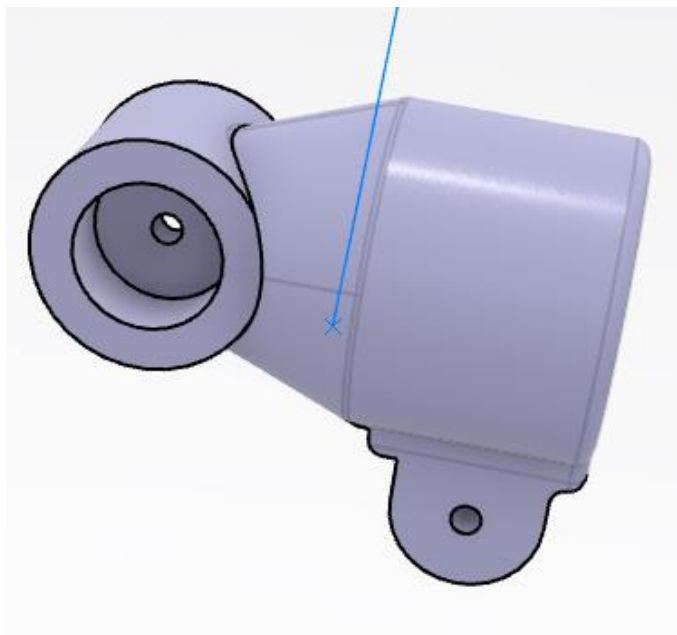


Figura 33. Explosionado de Soporte para coche.

La primera de estas piezas es el denominado Adaptador (Figura 33), se sitúa insertado en el hueco central de la Sujeción bici y sirve como soporte para la infraestructura que permitirá que el soporte pueda colocarse en el coche. Esta pieza se ancla a la Sujeción de la bici en su parte inferior, mediante Fijar_2 y el tornillo.

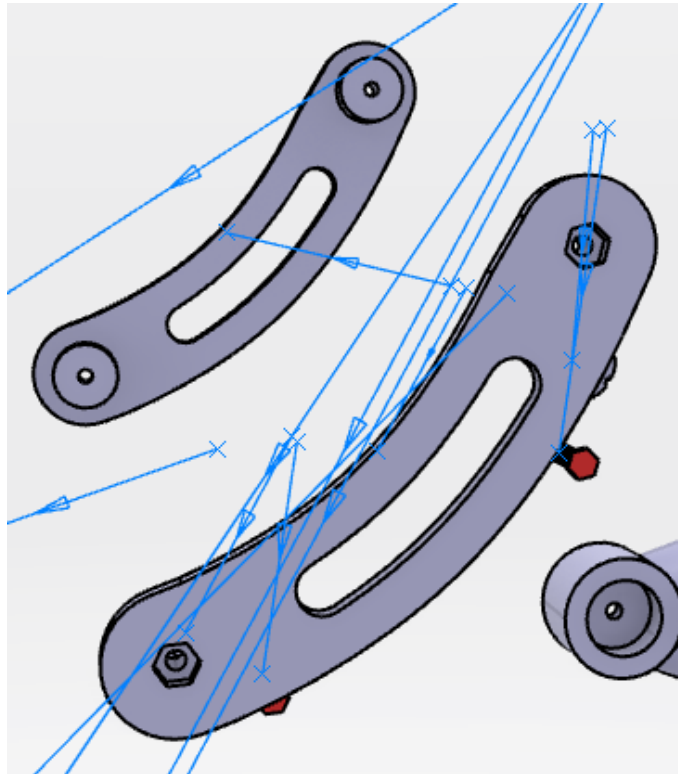


Figura 34. Barra_1 y Barra_2.

En la Figura 34 se observan las Barras 1 y 2, estas barras van ancladas en su parte superior al adaptador.

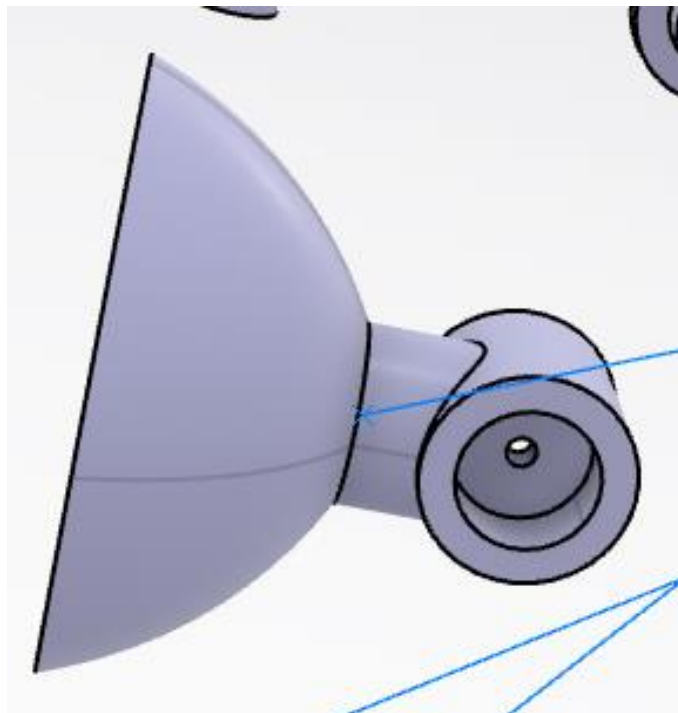


Figura 35. Sujeción coche.

En la Figura 35, se encuentra la pieza encargada de sujetarse directamente al coche, se une a las barras en su parte inferior, a través del hueco circular que tiene a la derecha.

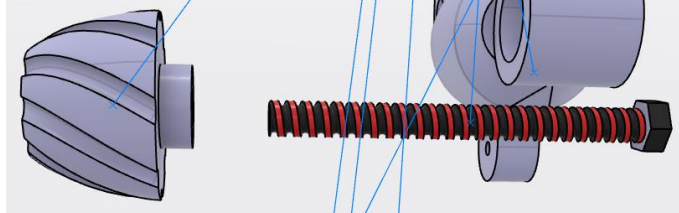


Figura 36. Fijar_1 y Tornillo.

Por último, en la Figura 36, se encuentra Fijar_1. Este elemento, junto con un tornillo se encargará de fijar el Adaptador y la Sujeción coche a las barras. Este elemento se encuentra, por tanto, duplicado y se sitúa en los huecos superior e inferior de las barras.

Por tanto, la relación de piezas que conforma el soporte para el coche quedaría como sigue:

Nº de piezas	Denominación
1	Carcasa Superior
1	Carcasa Inferior
1	Rueda Dentada
1	Semibola
2	Guía_1
2	Guía_2
1	Fijar_4
1	Fijar_5
1	Fijar_3
1	Sujeción Bici
1	Fijar_2
3	Pincho
1	Barra_1
1	Barra_2
1	Adaptador
1	Sujeción Coche
5	Tornillo
3	Tuerca

3.3 Planificación del proceso de montaje

Para este análisis se utilizarán las aplicaciones de DELMIA Manufacturing Item Definition, Process Planning y Assembly Evaluation. En primer lugar, se realizará una propuesta de ensamblaje para el soporte de bicicleta y una propuesta de ensamblaje para el soporte del coche utilizando las dos primeras aplicaciones mencionadas. A continuación, se utilizará Assembly Evaluation para comprobar si la propuesta es válida o si, por el contrario, es necesario variar alguno de los pasos seguidos en el montaje.

Para esta primera aproximación al montaje de los soportes no se tendrán en cuenta los tiempos de fabricación y de montaje, simplemente se analizará el proceso que será necesario llevar a cabo para ensamblar las piezas de forma válida respecto al diseño. Este análisis dará como resultado el proceso de ensamblaje final para cada uno de los soportes, el cual se utilizará más adelante para diseñar el proceso de fabricación completamente.

El primer paso será crear un MBOM (Manufacturing Bill of Materials o lista de materiales), es decir, la estructura compuesta por la lista de materiales, ensamblajes, componentes, subcomponentes, partes y la cantidad necesaria de cada uno que son necesarias para fabricar el producto final.

El siguiente paso será planificar el proceso de montaje, en el que aparecerán todas las operaciones necesarias para ensamblar completamente cada uno de los soportes.

Por último, se analizará cada uno de estos procesos, con el fin de verificar que no existen incongruencias entre las operaciones de ensamblaje y el diseño. Si tras este proceso de verificación se detectara alguna incompatibilidad entre el proceso de ensamblaje y el diseño del producto final, se volverá al primer paso, donde se realizarán las modificaciones pertinentes.

Es necesario tener en cuenta que existen piezas que deben ser ensambladas con tornillos y con tuercas antes de implementarlas en el soporte. Estas piezas son:

- Rueda dentada,
- Semibola,
- Fijar_2,
- Fijar_5,
- Fijar_3 y
- Sujeción Bici.

3.3.1 Soporte para bicicleta

En primer lugar, se procederá al análisis del proceso de ensamblaje del Soporte para bicicleta. El caso propuesto para crear el MBOM consta de los siguientes pasos:

1. Ensamblar Rueda dentada con Tornillo.
2. Colocar Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.
3. Ensamblar Semibola con Tornillo.
4. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.
5. Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior.
6. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.
7. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.
8. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.
9. Ensamblar Fijar_5 con Tuerca.
10. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar.
11. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.

12. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.
13. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.
14. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.
15. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.
16. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.

Una vez se tiene clara la estructura de montaje, se va a proceder a implementar esta estructura en Manufacturing Item Definition y así crear el MBOM del soporte. Para ello, en primer lugar se asignará el diseño, en formato Product, al MBOM mediante un “Scope link”:

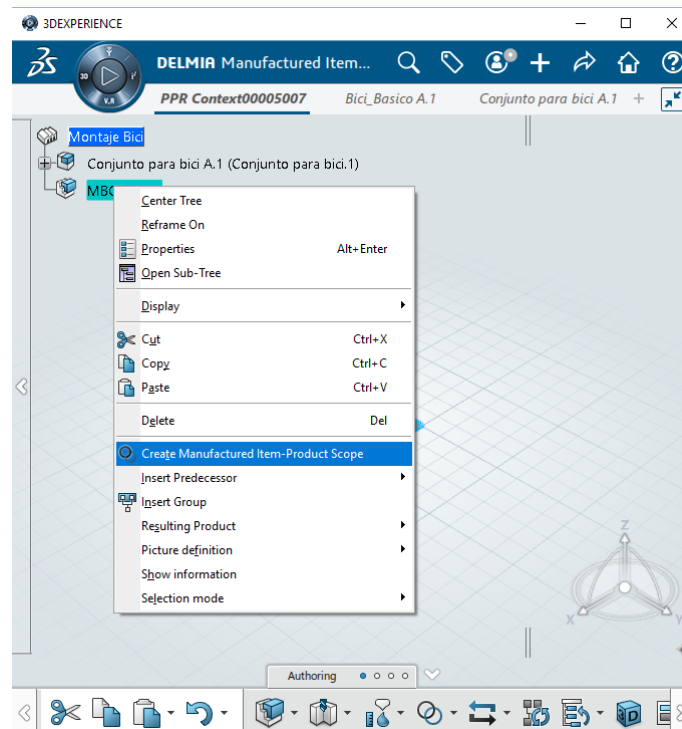


Figura 37. Enlazar MBOM con Product mediante Scope link.

Una vez que se han asociado el MBOM y el producto, aparecerá una representación en 3D del mismo sobre el azulejo. Esta representación mostrará un color semitransparente.

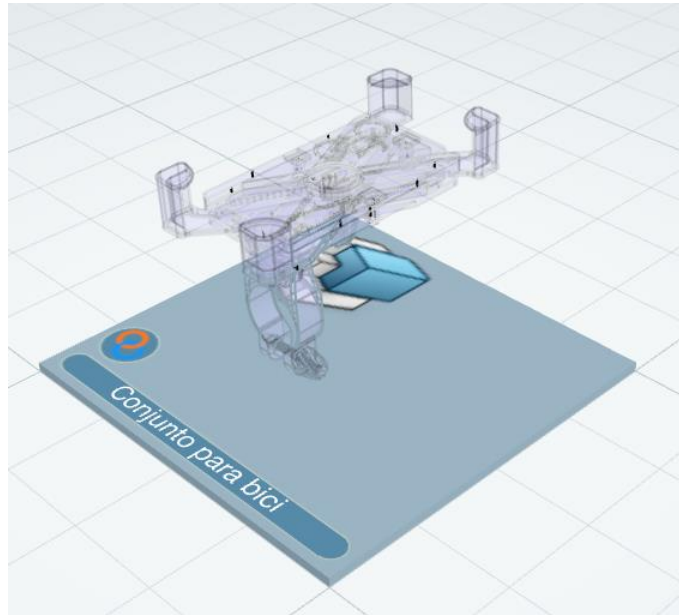


Figura 38. Product enlazado con MBOM.

Este color semitransparente irá pasando a sólido conforme se vayan asignando todas las partes del producto al MBOM.

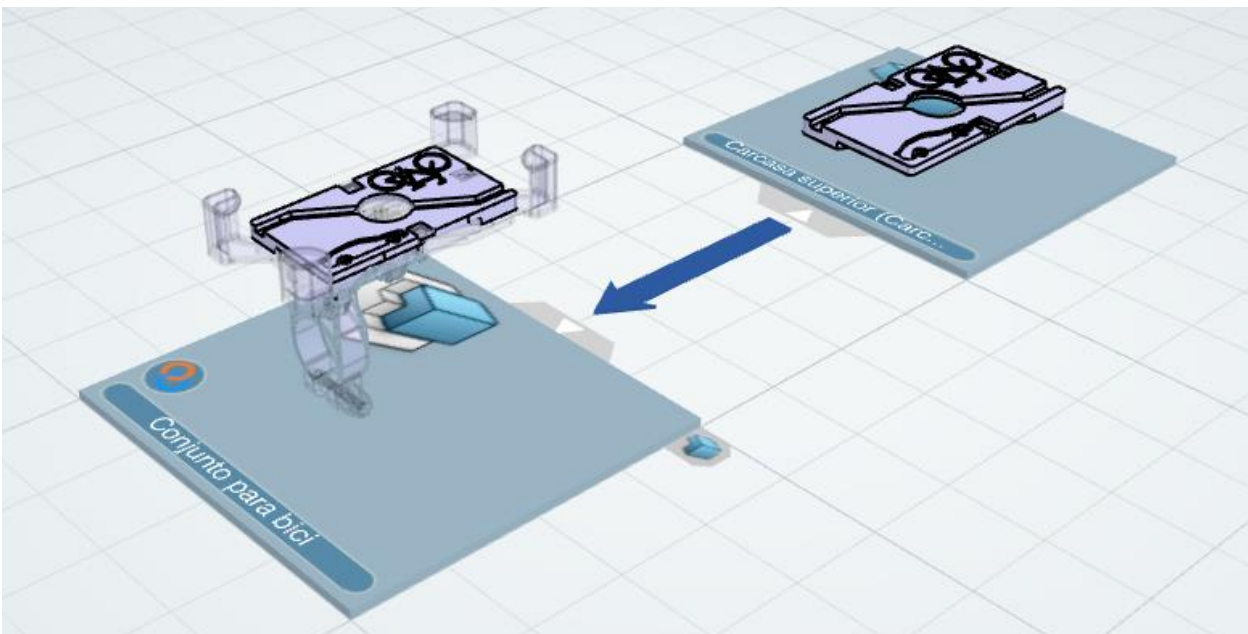


Figura 39. Carcasa Superior asignada.

A continuación, por tanto, se estructurará el MBOM completo para el Soporte de la bicicleta. Por ser un análisis previo al diseño del proceso de fabricación, se utilizarán exclusivamente “Manufacturing Assemblies” y “Provided Parts”, es decir, no se tendrá en cuenta si las piezas son fabricadas o si ya vienen manufacturadas o las necesidades que puedan estar relacionadas con el proceso de fabricación posterior.

Para asignar las piezas a un Manufactured Item, se utilizará la herramienta “Assembly Assignment Assistant”, en la que se muestra los provided Parts que quedan por asignar, por lo que facilita el proceso de creación del MBOM y evita que se olvide asignar alguna de las piezas.

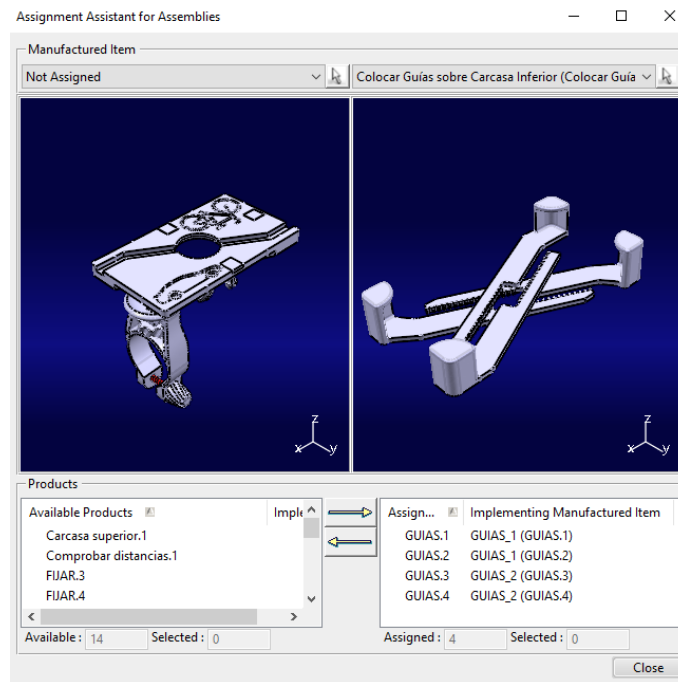


Figura 40. Assembly Assignment Assistant.

Tras asignar todas las partes a los Manufactured Items, se obtiene un MBOM como el de la Figura 41:

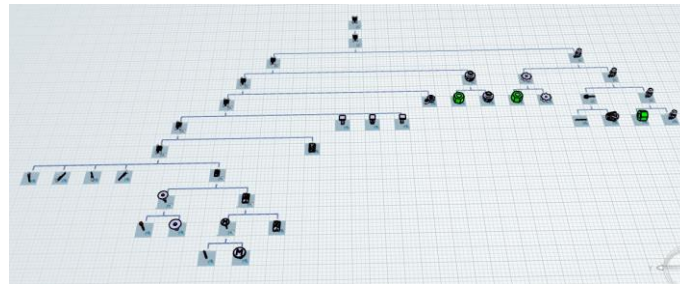


Figura 41. MBOM básico para Soporte de bicicleta.

En él pueden observarse todas las operaciones de montaje descritas con anterioridad:

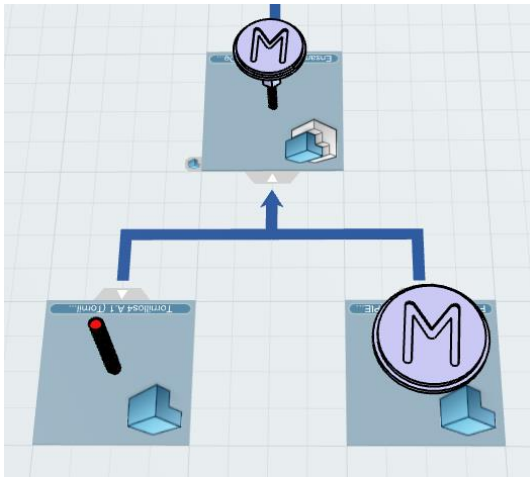


Figura 42. Ensamblar de la Rueda dentada con Tornillo.

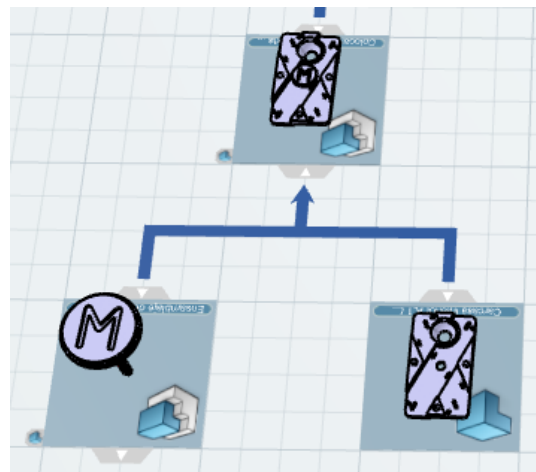


Figura 43. Colocar Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.

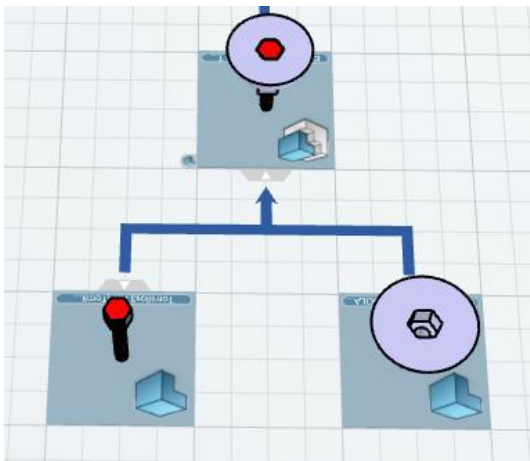


Figura 44. Ensamblar Semibola con Tornillo.

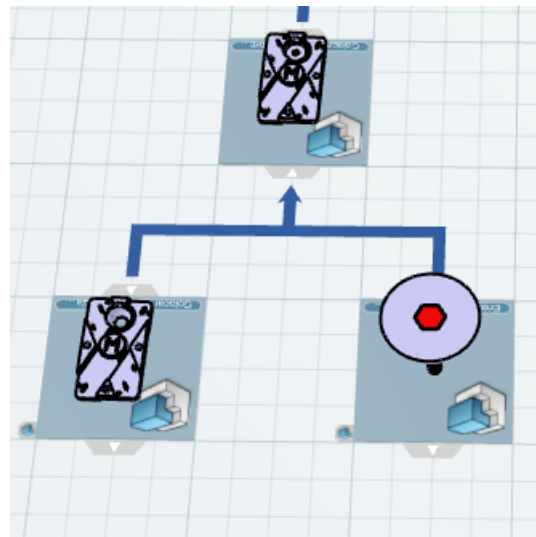


Figura 45. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.

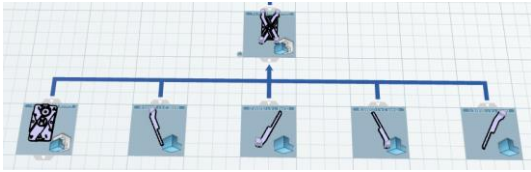


Figura 46. Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior.

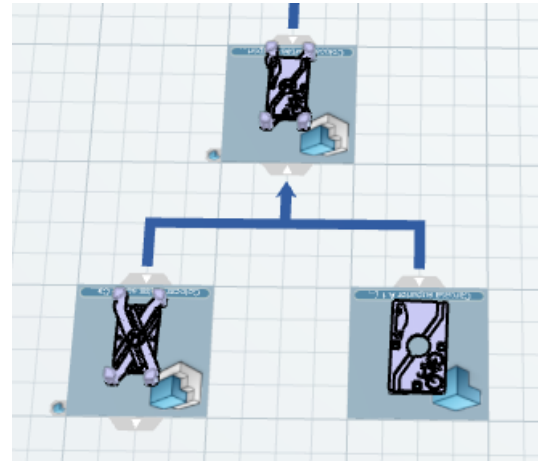


Figura 47. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.

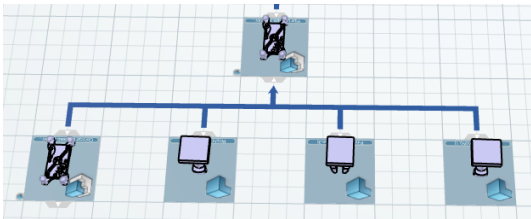


Figura 48. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.

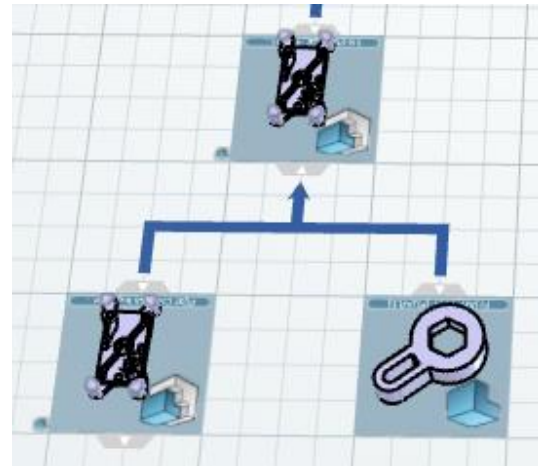


Figura 49. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.

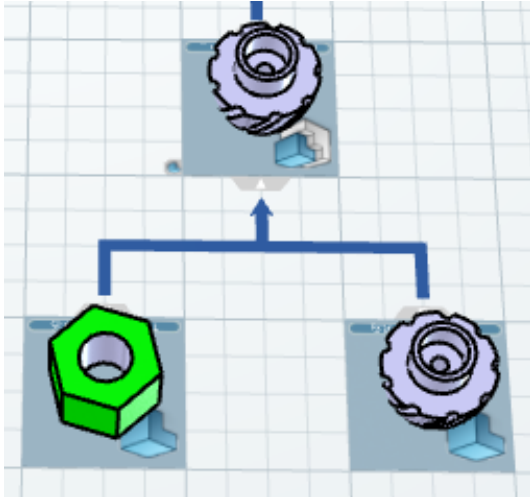


Figura 50. Ensamblar Fijar_5 con Tuerca.

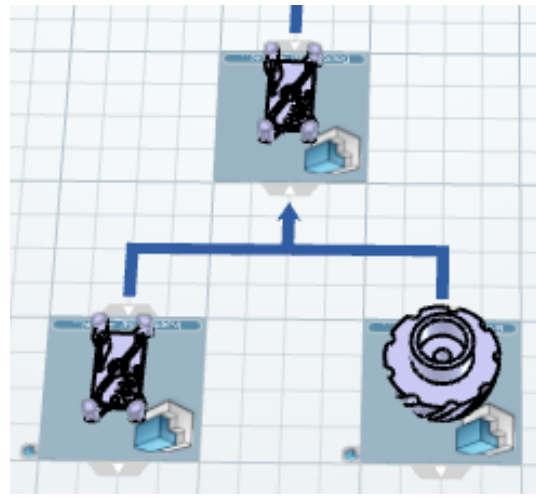


Figura 51. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar.

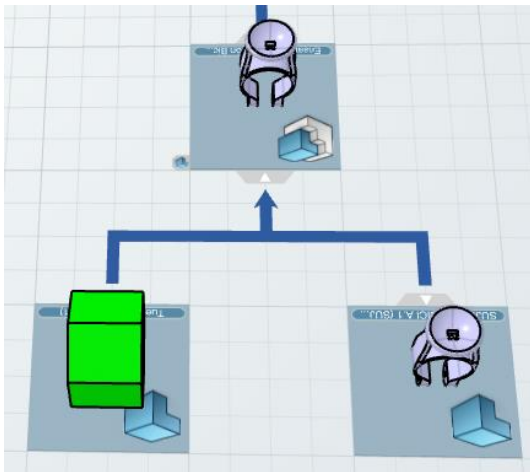


Figura 52. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.

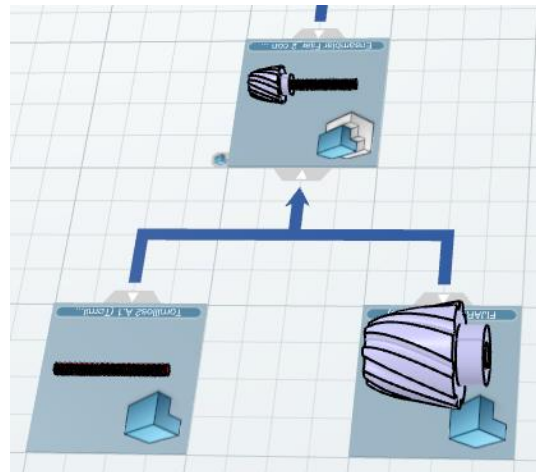


Figura 53. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.

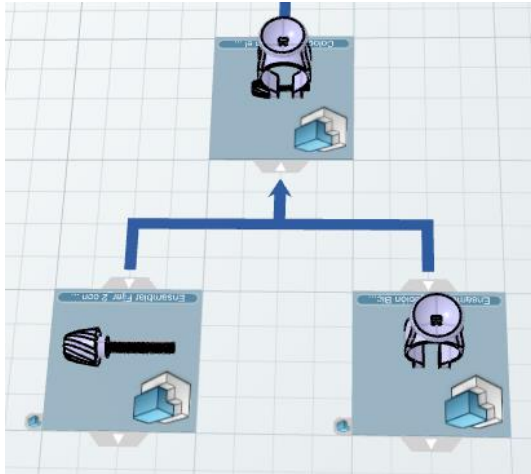


Figura 54. Colocar Fijador_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

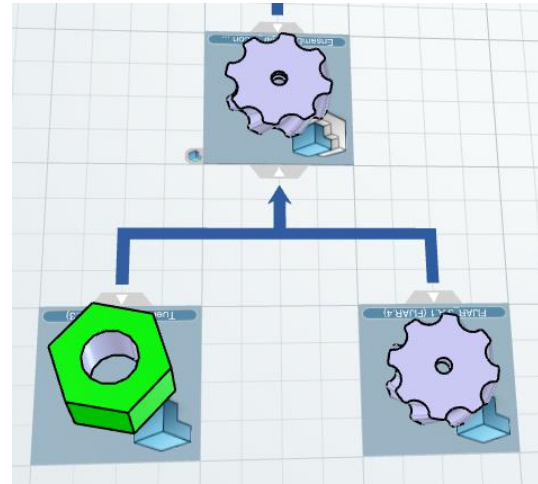


Figura 55. Ensamblar Fijador_3 con Tuerca.

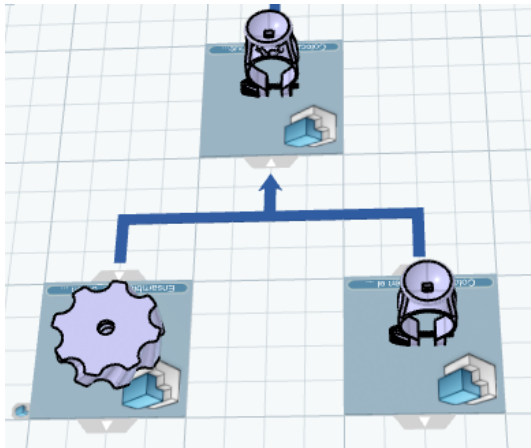


Figura 56. Insertar Fijador_3 en hueco de Sujeción Bici.

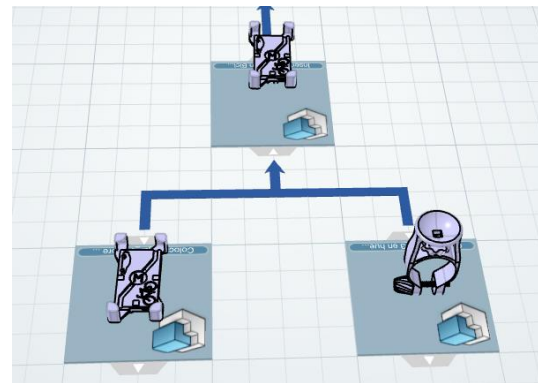


Figura 57. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijador_3.

Otra forma de asegurarse de que todas las piezas han sido asignadas a un Manufactured Item es mediante el uso de otra de las herramientas que incluye 3DEXperience llamada B.I. (Business Intelligence) Essentials. Esta herramienta permite realizar distintas verificaciones que son de utilidad a la hora de diseñar el proceso productivo.

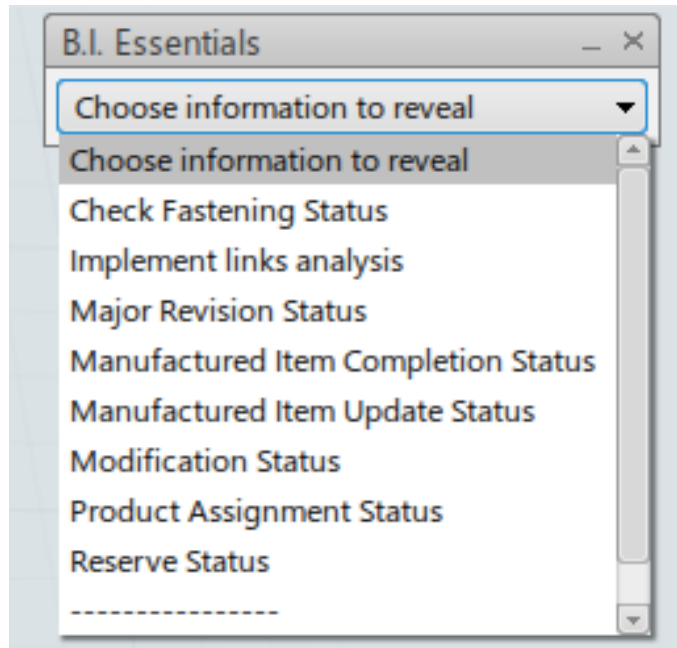


Figura 58. Herramienta B.I. Essentials.

Para asegurar que todas las piezas se han asignado correctamente, se utilizará la opción “Product Assignment Status”:

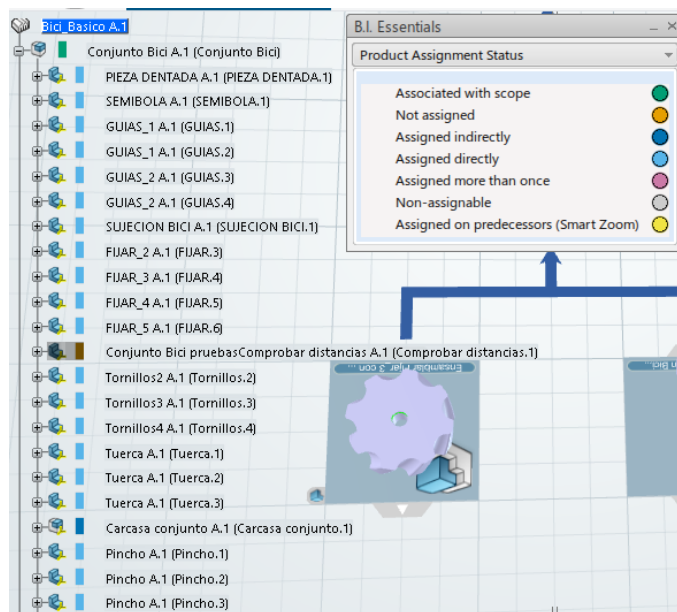


Figura 59. Product Assignment Status.

Como se puede observar en la Figura 59, la herramienta muestra una gama de colores que indica el estado de asignación en el que se encuentra cada una de las piezas. En este caso se observan cuatro colores distintos a la izquierda del nombre de las piezas en el árbol:

- **Color Azul claro**, las piezas que tienen este color a la izquierda son aquellas que se han asignado directamente y una sola vez a un Manufactured Item.
- **Color Azul oscuro**, corresponde a aquellas piezas que se han asignado de forma indirecta. En este caso, la Carcasa conjunto está formada por las Carcasas Superior e Inferior y, al haber asignado estas piezas de forma directa a un Manufactured Item cada una, el conjunto formado por estas dos piezas se encuentra totalmente asignado de forma indirecta.
- **Color Verde**, indica que el Product se encuentra asociado a un Scope. En este caso, se trata del Product general para el cual hay que construir un MBOM.
- **Color Naranja**, se trata de una pieza no asignada. En este caso, se trata de una comprobación de distancias que se encontraba insertado en el archivo Product pero que no influye en el montaje del producto ni en el proceso de fabricación, por lo que se ha ocultado y se ha dejado sin asignar.

Otro de los análisis que es interesante para este MBOM es el de “Manufactured Item Completion Status”, que muestra si la asignación en los diferentes Manufactured Items es completa o si se requiere alguna acción más sobre alguno de ellos por parte del usuario. En este caso, la verificación quedaría como se muestra en la Figura 60.

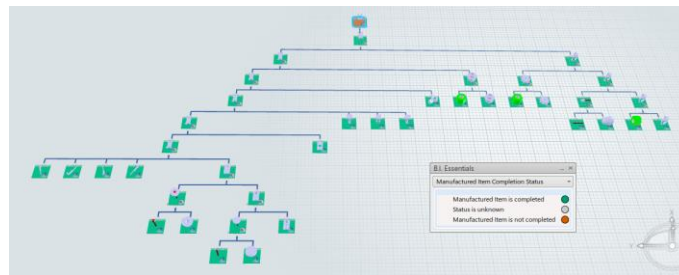


Figura 60. Manufactured Item Completion Status.

Como se puede comprobar mediante la paleta de colores, todos los Manufactured Items se han completado, a excepción del que corresponde al origen del MBOM, como este es el que tiene el Scope Asociado, no es necesario asignarle ninguna pieza.

Una vez que el MBOM para el Soporte de la bicicleta se ha completado y verificado, ha llegado el momento de usar la aplicación Process Planning, en la que se crearan las operaciones de montaje para el soporte.

En este caso, para crear el Process Planning, también es necesario crear un Scope pero con el MBOM en lugar del con el archivo Product. Visualmente será muy parecido al Scope en Manufactured Item Definition, se observará un azulejo con el Product semitransparente, no obstante, cuando se empiece a trabajar en el Process Planning insertando sistemas y operaciones en el sistema principal, se observará las piezas asignadas a cada azulejo y solo se acumularán si se establece un flujo de material entre los distintos azulejos.

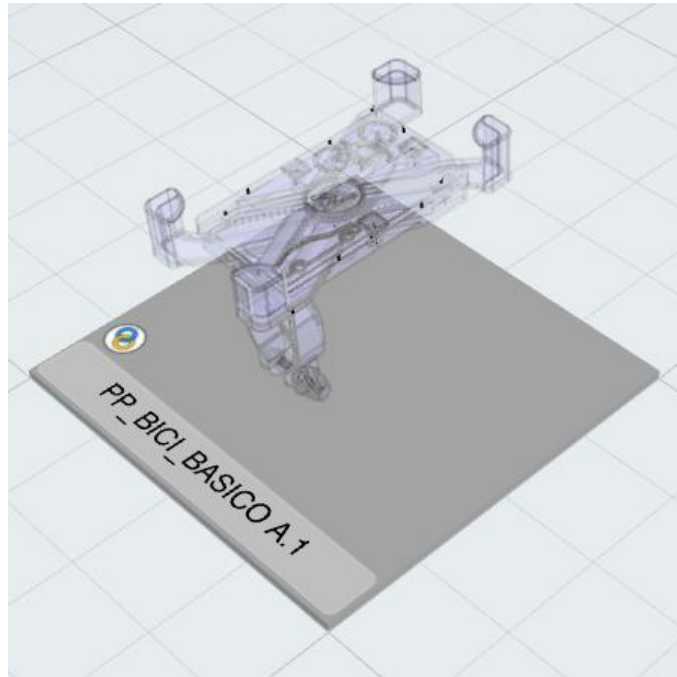


Figura 61. MBOM enlazado con Process Planning.

A partir de este momento, se puede comenzar a crear los sistemas y operaciones necesarios para conformar el proceso de fabricación. En este caso, como simplemente se va a analizar el montaje del soporte, solo se utilizarán operaciones generales y de carga de piezas al sistema.

Para realizar la primera operación de ensamblaje, se necesita cargar previamente la Rueda Dentada y el tornillo, para realizar la segunda, debe realizarse la primera operación y, además, cargar la carcasa inferior al proceso. Esta es la manera en la que se irán construyendo las operaciones de ensamblaje.

A la hora de asignar los Manufactured Items, se va a utilizar la herramienta de verificación que se vio con anterioridad: B.I. Essentials, en concreto su opción de Manufactured Item Assignment Status, con la que se puede comprobar en tiempo real las Manufactured Items que ya se han asignado a una operación y las que faltan por asignar.

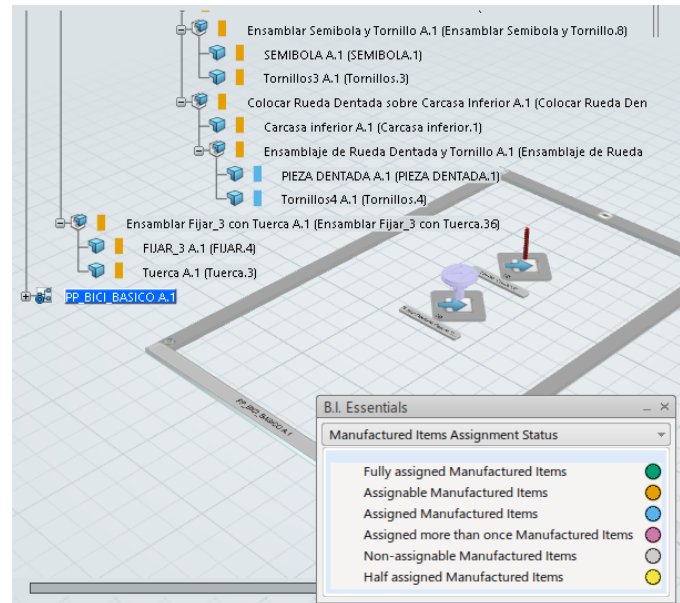


Figura 62. B.I. Manufactured Items Assignment status.

Como se puede comprobar en la Figura 63, la herramienta B.I. Essentials ofrece distintas opciones que se ajustan a la aplicación que se está utilizando.

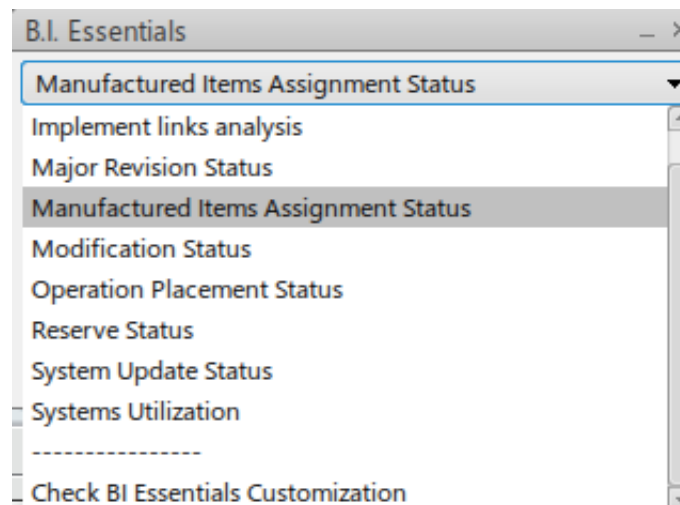


Figura 63. B.I. Essentials en Process Planning.

En el caso del Process Planning también existe la herramienta System Assignment Status la cual, mediante una representación en 3D, facilita la asignación de los Manufactured Item a cada una de las operaciones y sistemas. Como se puede observar en la Figura 64, a diferencia de B.I. Essentials, esta herramienta no se adapta de igual manera a la aplicación se está utilizando, ya que permite asignar las partes del Product, pero no permite asignar las operaciones de ensamblaje.

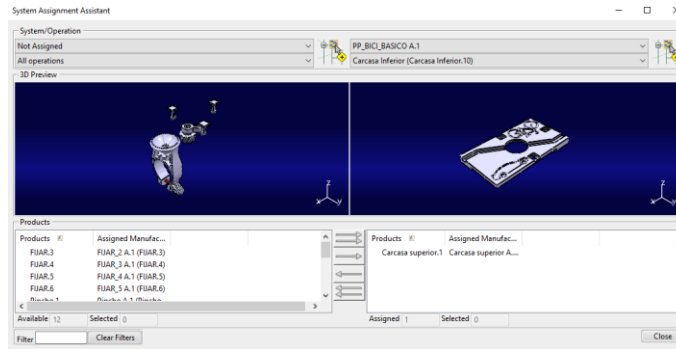


Figura 64. System Assignment Assistant en Process Planning.

Por tanto, para asignar estas operaciones se tendrá que utilizar el sistema “Drag and Drop”, es decir, arrastrar y soltar las operaciones desde el árbol directamente a la operación, o utilizar la herramienta “Assignment Assistant”, que es parecida a System Assignment Assistant pero menos intuitiva.

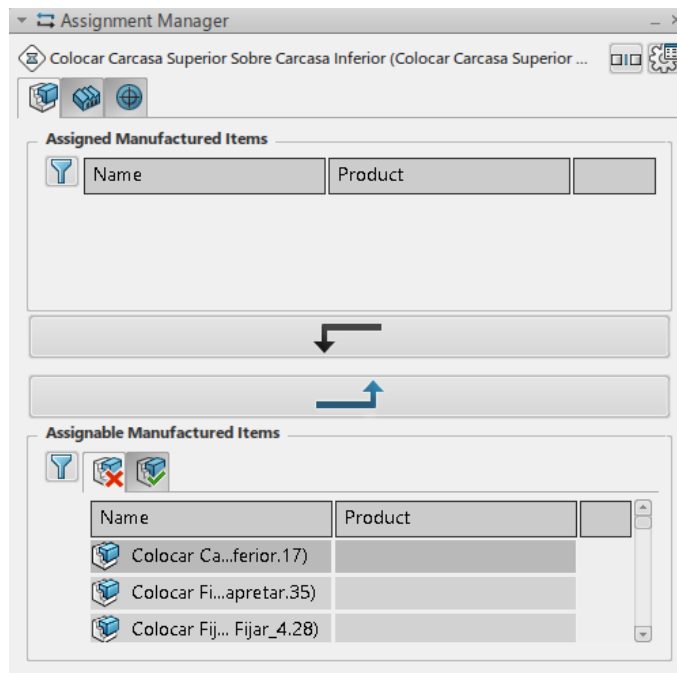


Figura 65. Assignment Manager en Process Planning.

A pesar de ser menos intuitiva, esta herramienta también es de utilidad, ya que permite filtrar los Manufactured Items de tal manera que solamente te muestre aquellos que aún se encuentran sin asignar. También puedes elegir que muestre los que ya están asignados o todos los Manufactured Items que conforman el MBOM. En esta herramienta, los Manufactured Items aparecen ordenados por orden alfabético, no por el orden de preferencia establecido en el MBOM.

El Process Planning para este análisis del montaje del Soporte para la Bicicleta queda como sigue:

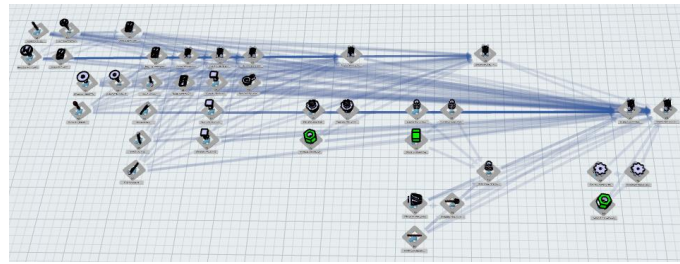


Figura 66. Process Planning para análisis del montaje del Soporte para Bicicleta.

Como se puede observar en la Figura 66, conforme se van asignando Manufactured Items a las operaciones, el programa genera de forma automática el flujo entre las operaciones, este flujo es generado en base al orden de precedencias que se ha programado en el MBOM. Esta opción es muy útil, ya que evita el tener que ir asignando un flujo a cada una de las operaciones, no obstante, es posible modificarlo si el proceso de fabricación así lo requiriera:

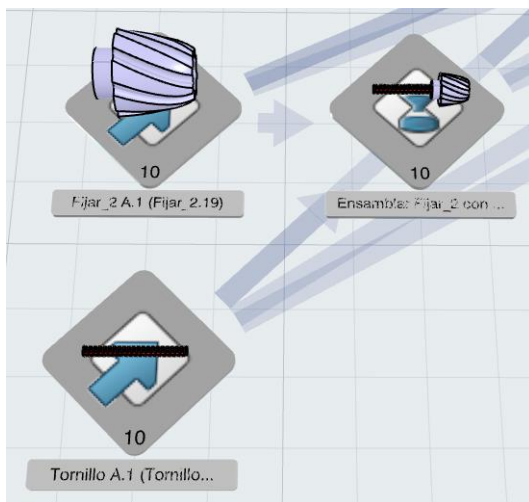


Figura 67. No se ha creado un flujo entre Fijar_2 y Tornillo de forma automática.

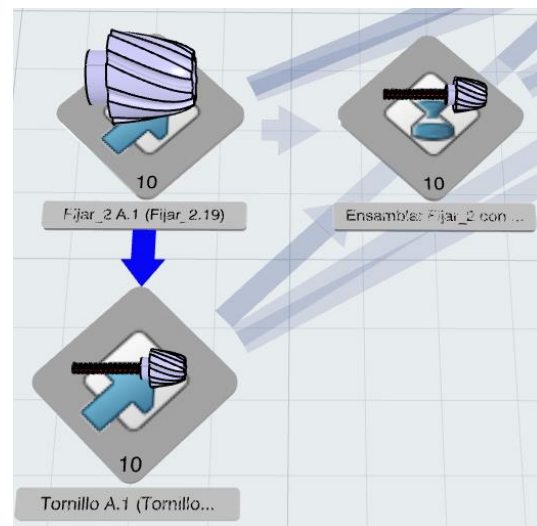


Figura 68. Creación manual de Flujo entre Fijar_2 y Tornillo.

Por otro lado, la aplicación importa el orden de precedencia del MBOM en forma de restricciones al Process Planning, por lo que si se estableciese un flujo inconsistente con estas restricciones, la aplicación impediría que se realizara esta acción.

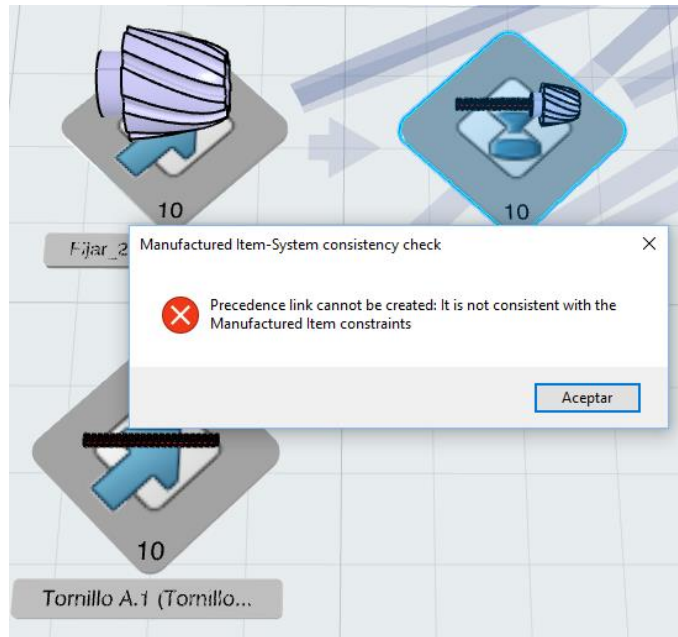


Figura 69. Resultado de creación de flujo manual entre operación de ensamblaje y operación previa de carga de pieza.

Estas son, por tanto, las operaciones necesarias para el montaje del soporte:

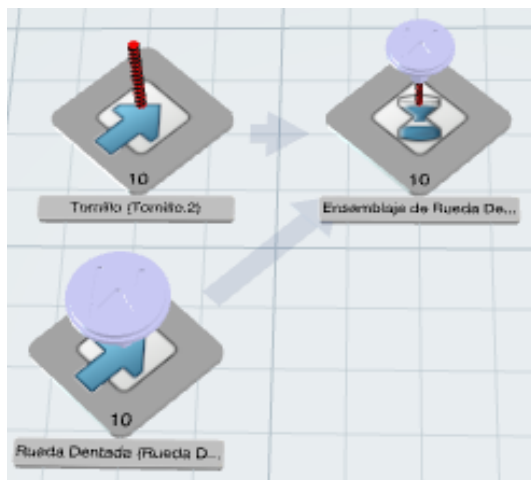


Figura 70. Ensamblar Rueda dentada con Tornillo.

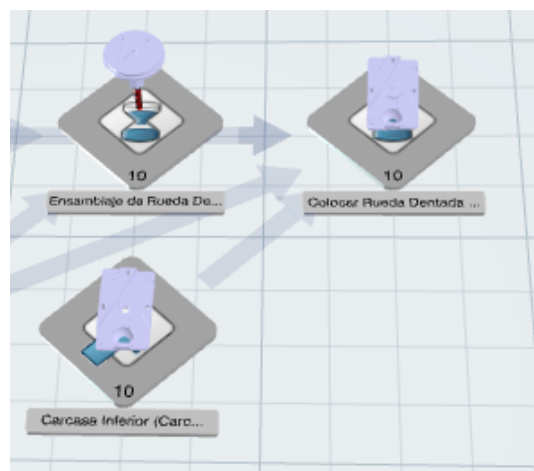


Figura 71. Colocar Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.

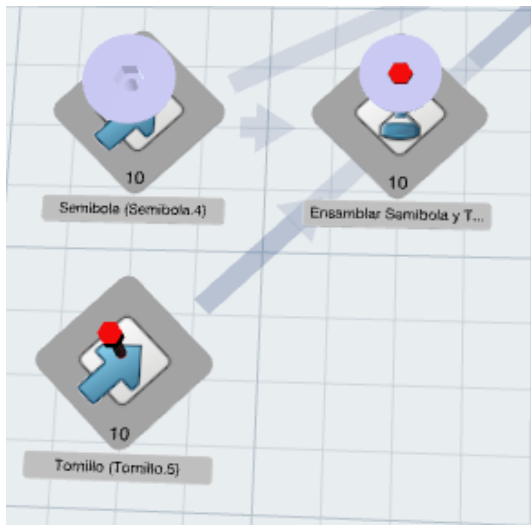


Figura 72. Ensamblar Semibola con Tornillo.

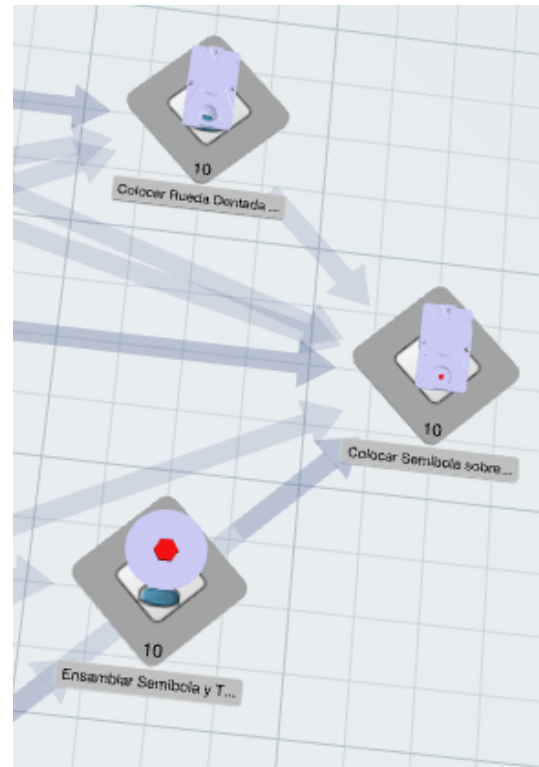


Figura 73. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.



Figura 74. Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior.

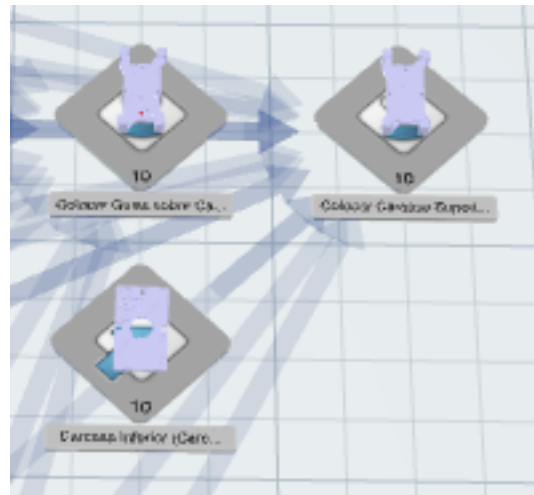


Figura 75. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.

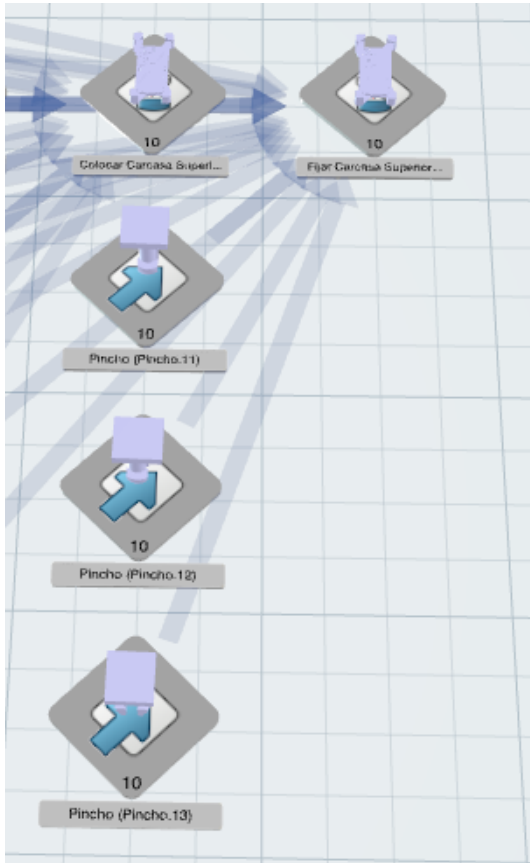


Figura 76. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.

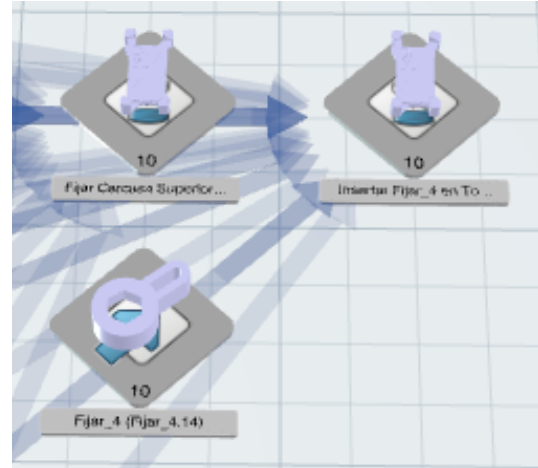


Figura 77. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.

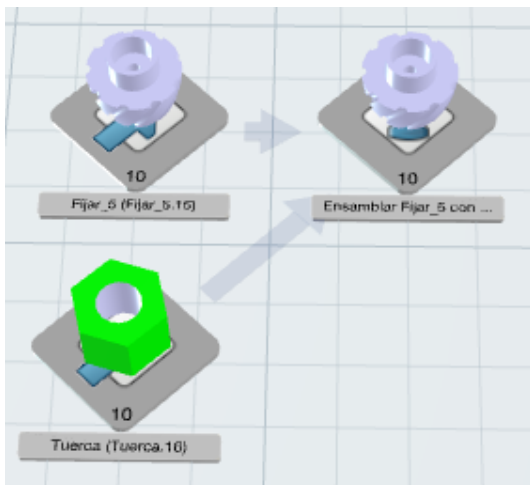


Figura 78. Ensamblar Fijar_5 con tuerca.

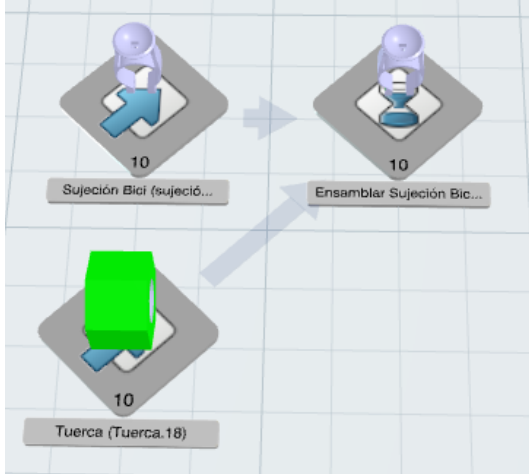


Figura 80. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.

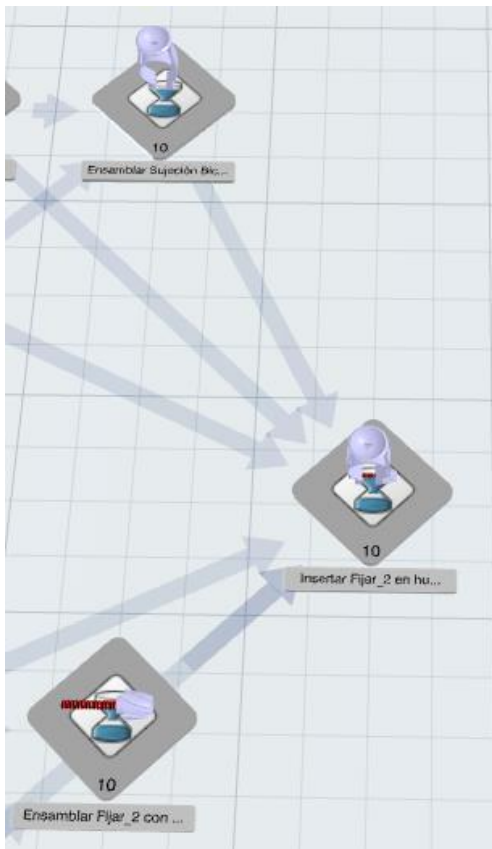


Figura 82. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

Figura 79. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar.

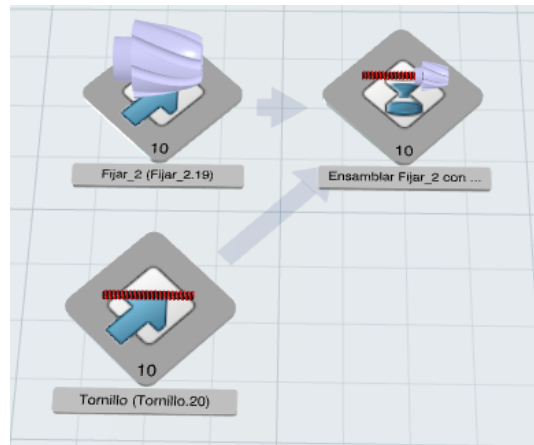


Figura 81. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.

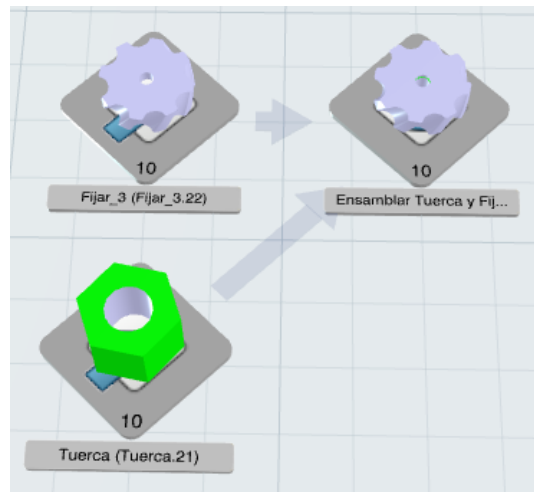


Figura 83. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.

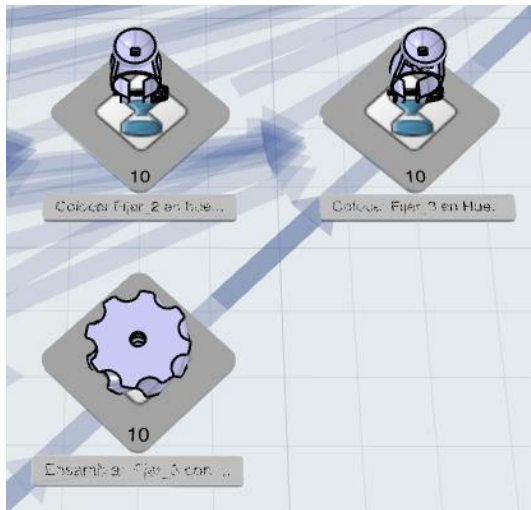


Figura 84. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.

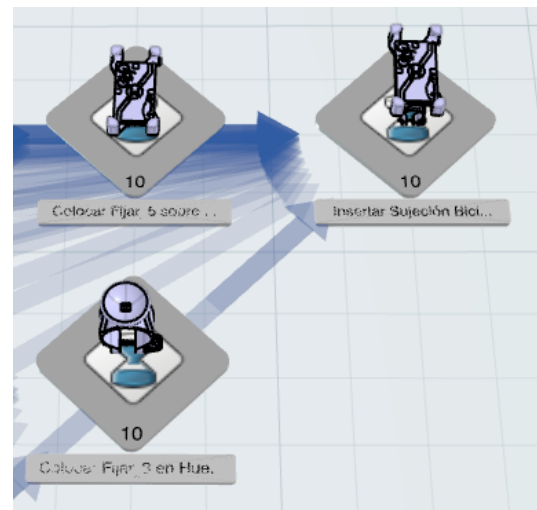


Figura 85. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.

Una vez creado el Process Planning para el Soporte de bicicleta, se va a comprobar que todos los Manufactured Items han sido asignados y que todas las operaciones se han completado de forma correcta mediante la herramienta B.I. Essentials:

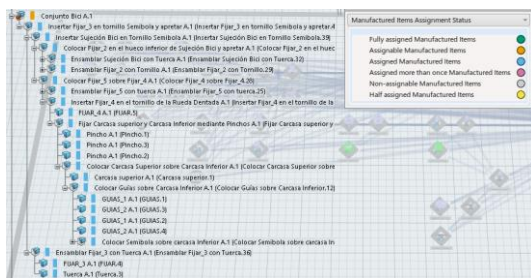


Figura 86. Manufactured Items Assignment Status en Process Planning.

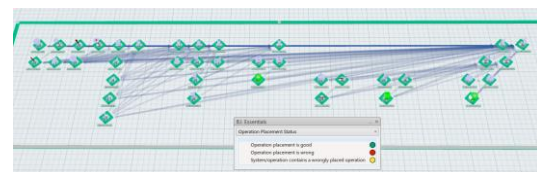


Figura 87. Operations Placement Status.

Como se puede observar en la Figura 86, todos los Manufactured Items se encuentran correctamente Asignados a excepción del llamado “Conjunto Bici” pero, como es el que contiene el Scope con el Process Planning, no es necesario asignarlo.

Por último, en la Figura 87, se puede observar como todas las operaciones se encuentran completamente asignadas, por lo que el Process Planning se encuentra correctamente ejecutado.

A continuación, se va a realizar la comprobación del montaje mediante la aplicación Assembly Evaluation, con esta aplicación se va a proceder a realizar “Tracks” o simulaciones de las operaciones de montaje, lo que permitirá evaluar si existe alguna incompatibilidad entre el proceso de montaje propuesto y el diseño del Soporte.

Para crear las distintas simulaciones, se seleccionará cada una de las operaciones realizadas en el Process Planning y se simularán los movimientos que son necesarios para el ensamblaje del producto. Estos movimientos pueden realizarse con ayuda de una herramienta llamada “Robot” o mediante el “Editor” de Tracks.

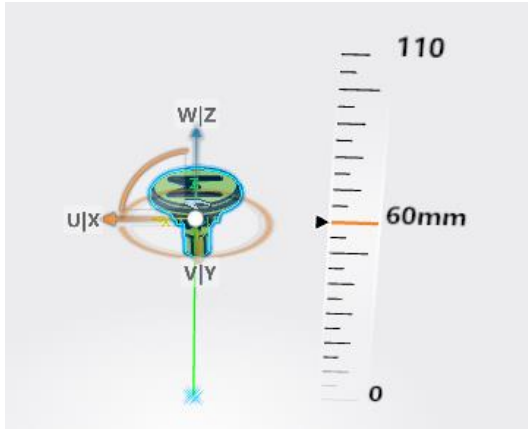


Figura 88. Movimientos realizados con ayuda del “Robot”.

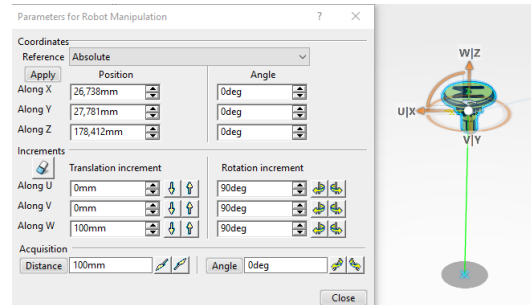


Figura 89. Movimientos realizados con la herramienta Editor de Tracks.

Una vez se han realizado los movimientos necesarios mediante una de estas dos herramientas, se procede a grabar el movimiento, con lo que la línea que describe el movimiento cambia su color de verde a Azul y pasa de ser una línea a un vector. Es importante asegurarse de que el sentido que se le ha asignado al vector es el deseado para el movimiento que se pretende generar, en caso de que el programa no haya asignado el sentido correctamente, simplemente haciendo Click sobre la flecha que determina el sentido del movimiento, se invierte el sentido.

Por último, es posible crear un único movimiento o una secuencia de movimientos, simplemente seleccionando grabar cada vez que se finalice uno de los movimientos de la secuencia. Cuando se haya obtenido el movimiento o la secuencia deseados, se selecciona Validar (El recuadro verde con el “Tic” que se observa a la derecha del comando grabar en la Figura 90)

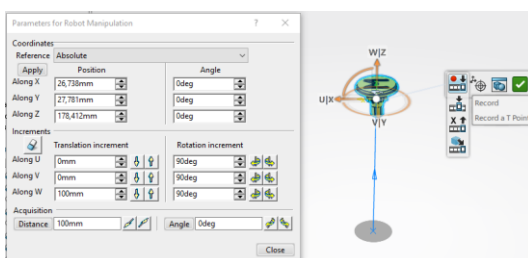


Figura 90. Grabar un movimiento.

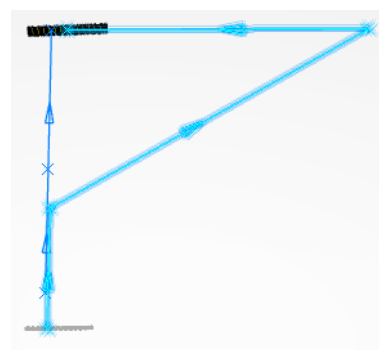


Figura 91. Grabar una secuencia de movimientos.

También es posible editar un Track que ya estaba validado seleccionando el Track en cuestión con el botón derecho, yendo a las opciones del Track y seleccionando “Definition”.

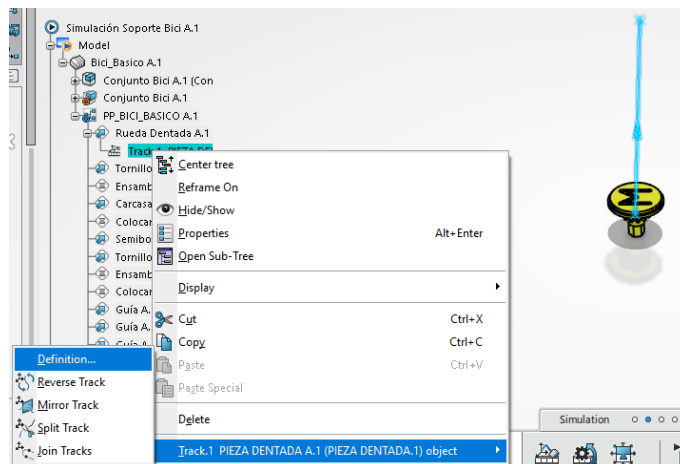


Figura 92. Edición de Tracks validados.

A la vez que se van realizando los Tracks, se puede elegir entre distintas opciones de visualización, esta herramienta permite que se visualice con distintos colores las piezas para las que se han realizado Tracks, visualizar la posición en la que quedará una pieza al finalizar el Track, visualizar sólo la pieza para la que se está realizando el Track o visualizar también las piezas para las cuales ya se ha realizado un Track, centrar la vista, destacar en el árbol la operación para la que se está realizando el Track, etc. además de diferentes opciones para asignar colores y transparencias.

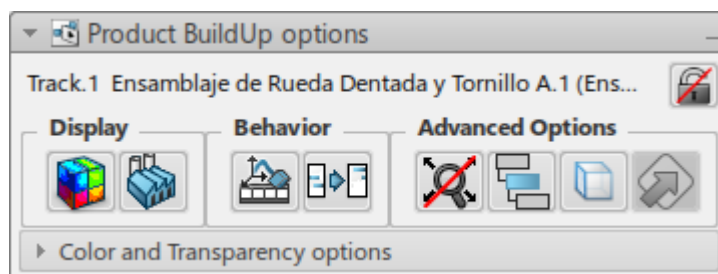


Figura 93. Product BuildUp Options.

Así es como quedarán, por tanto, los Tracks para el modelo propuesto:

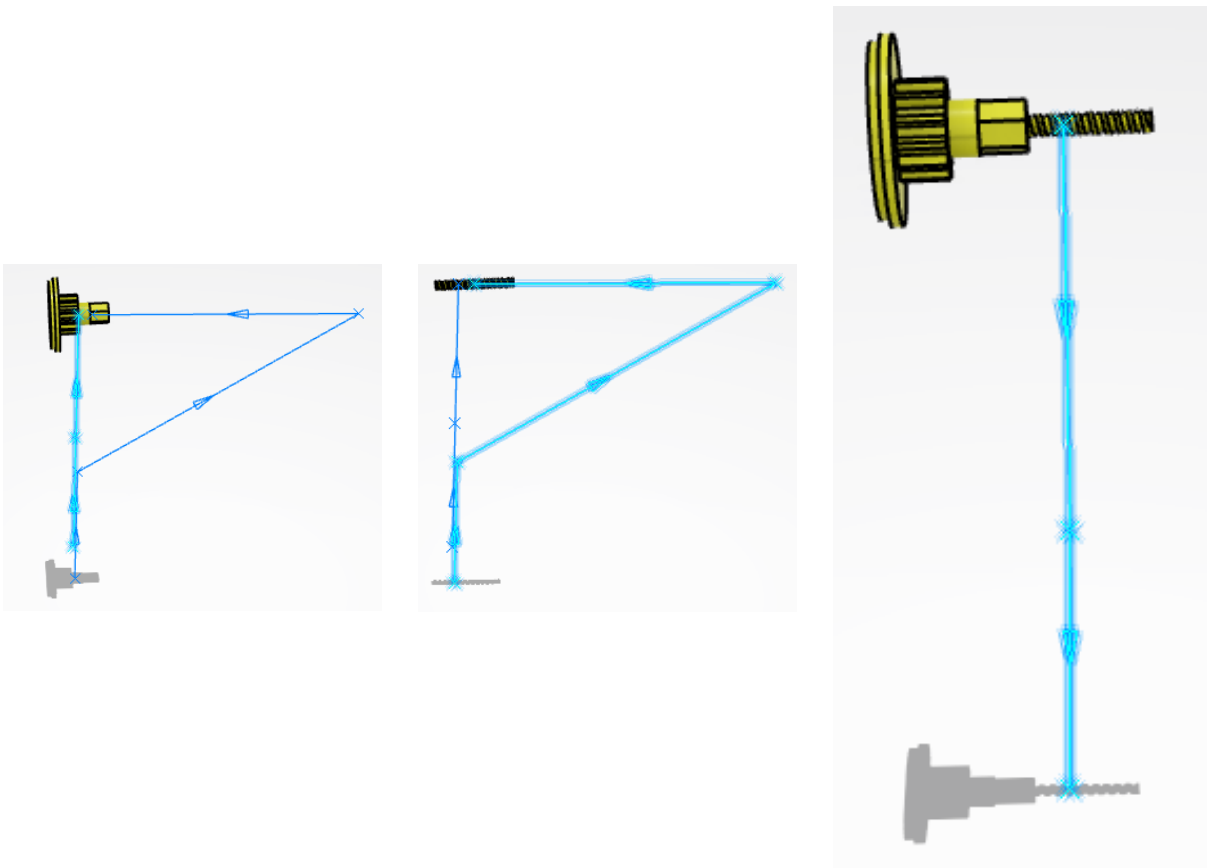


Figura 94. Ensamblaje de Rueda Dentada y Tornillo.

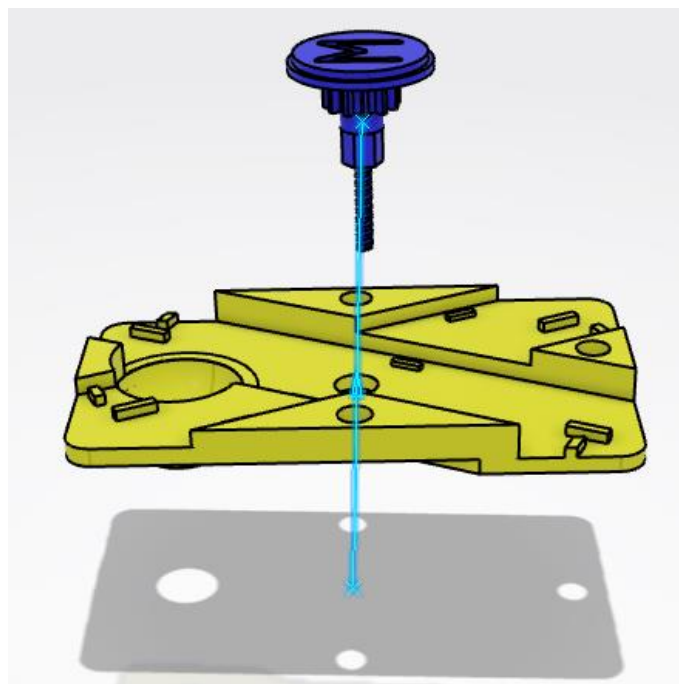


Figura 95. Colocar de la Rueda dentada sobre la Carcasa Inferior.

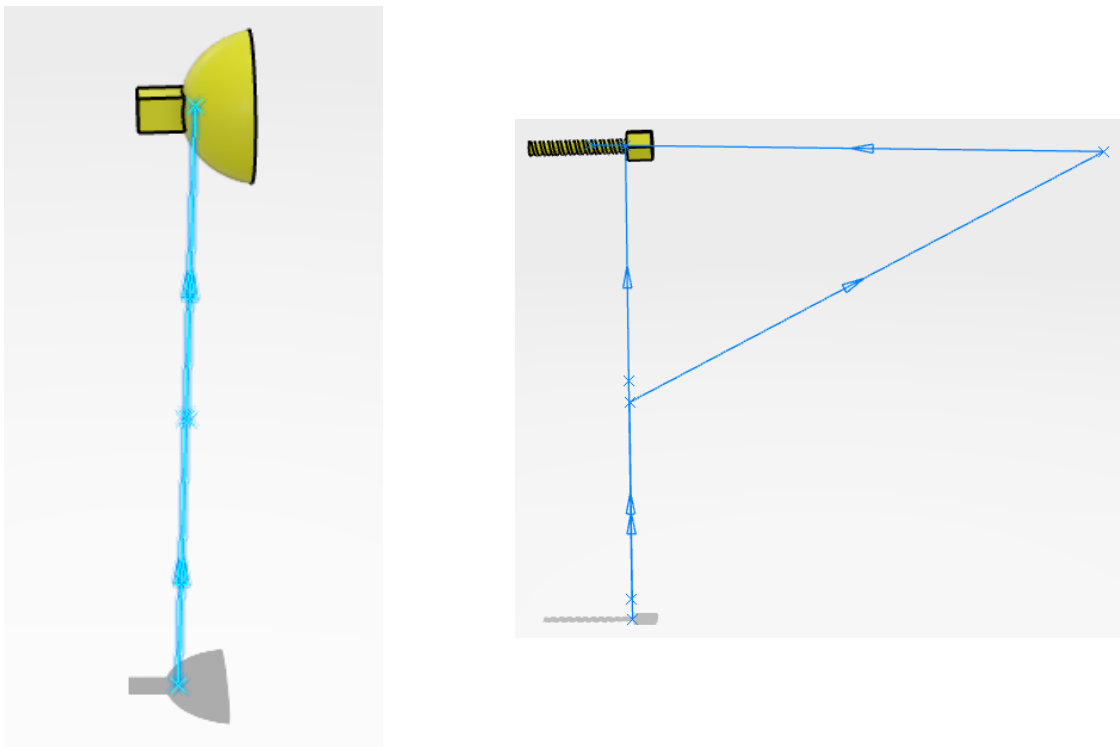


Figura 96. Ensamblar Semibola y Tornillo.

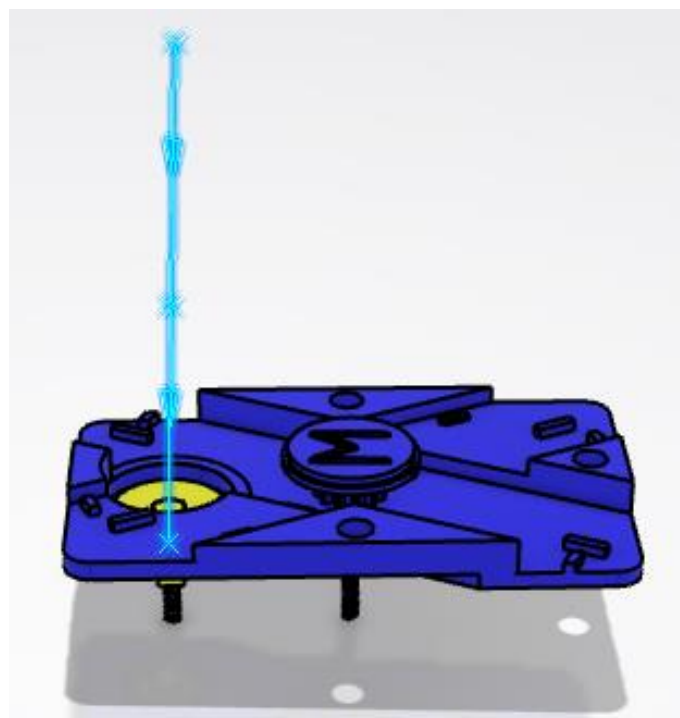


Figura 97. Colocar de la Semibola sobre la Carcasa Inferior.

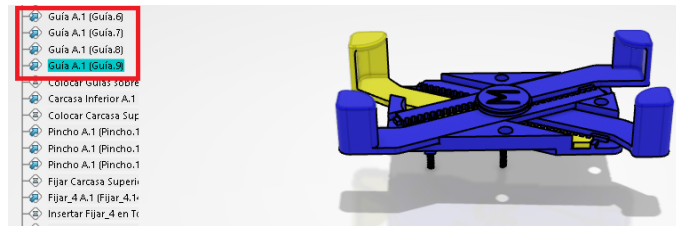


Figura 98. Incompatibilidad encontrada al colocar las Guías sobre la Carcasa Inferior.

Como se puede observar en la Figura 98, si se colocan las guías tal y como aparecen en el árbol importado del Process Planning, se produce una incompatibilidad debido a que existen dos guías que quedan por debajo de las otras dos y, tal y como están ordenadas las operaciones, una de las guías (en amarillo) que debe quedar en la parte de abajo se montaría después de las guías que quedan en la parte de arriba, por lo que es necesario reordenar las precedencias entre estas operaciones, de tal manera que se monten primero las guías que quedan debajo y después las guías que deben quedar en la parte superior. También se han renombrado estas guías conforme a la denominación de origen: Guías_1, las que van debajo y Guías_2, las que van arriba.

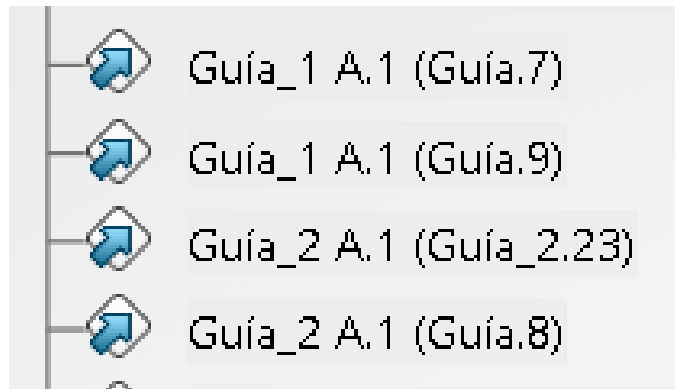


Figura 99. Reordenado y Renombrado de Guías.

Observando la Figura 99 se observa otra incompatibilidad: si se monta la Rueda Dentada antes que las Guías, se produciría un choque entre la parte Superior de la Rueda Dentada y las Guías. En este caso, para realizar este cambio en el montaje, es necesario llegar al nivel del MBOM y modificar las precedencias en el montaje. Para realizar este cambio, también es necesario tener en cuenta que la Semibola queda por debajo de las Guías, por lo que la reordenación del MBOM debe quedar de la siguiente manera:

1. Ensamblar Semibola y Tornillo.
2. Colocar Semibola en Carcasa Inferior.
3. Colocar Guías en carcasa Inferior.
4. Ensamblar Rueda Dentada.
5. Colocar Rueda Dentada en Carcasa Inferior.

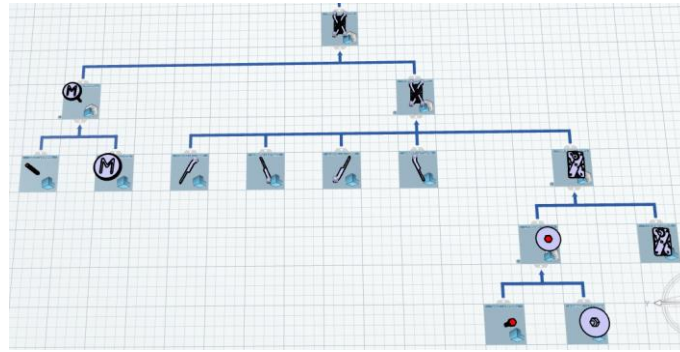


Figura 100. Reordenado de MBOM.

El reordenado del MBOM ha resultado sencillo, simplemente hay que arrastrar las operaciones que quieren cambiarse a su nueva ubicación. Además estas se moverán junto con todos los Manufactured Items que cuelgan de ellas.

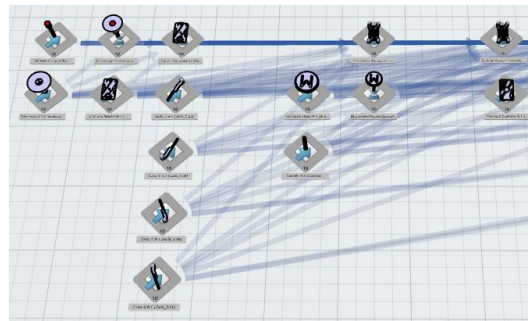


Figura 101. Reordenado del Process Planning.

Reordenar el Process Planning, sin embargo, no ha sido tan sencillo. El programa no es capaz de procesar los cambios en el MBOM ni de actualizar las restricciones por precedencias ni las asignaciones a Manufactured Items, por lo que ha sido necesario volver a hacer el Process Planning de nuevo. Esto es una deficiencia muy importante del programa, que Dassault debería corregir lo antes posible, ya que es muy fácil que haya que corregir MBOMs, tal y como se ha visto en este ejemplo.

Tras esta reorganización, se vuelve a simular el proceso:

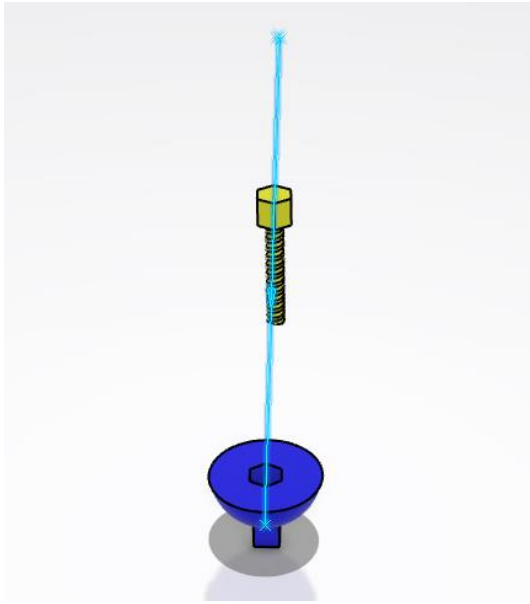


Figura 102. Ensamblar Semibola con Tornillo.

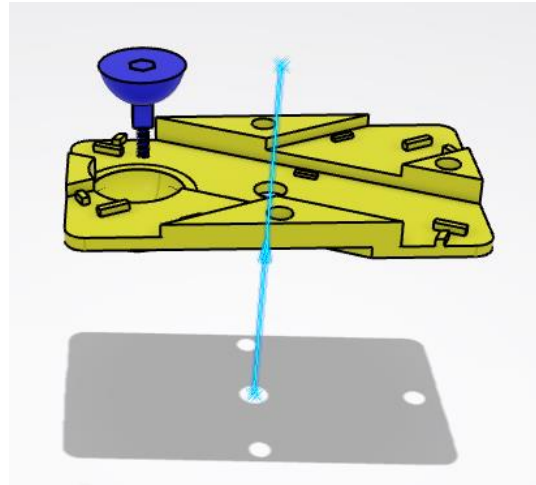


Figura 103. Colocar Semibola sobre la Carcasa Inferior.

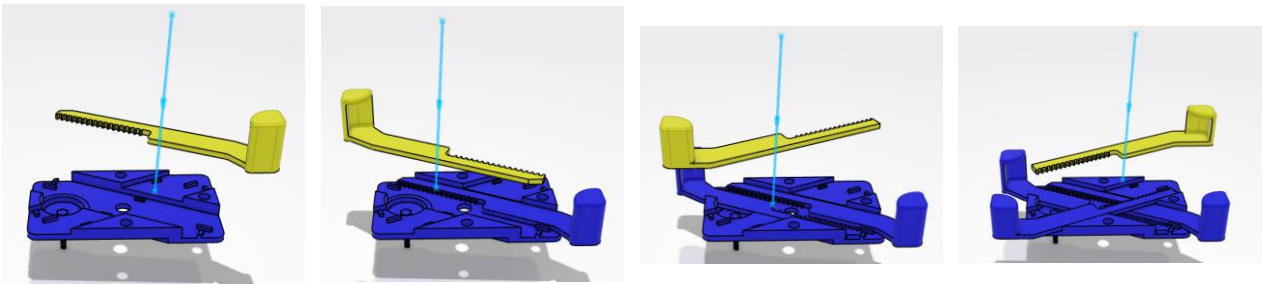


Figura 104. Guías sobre Carcasa Inferior.

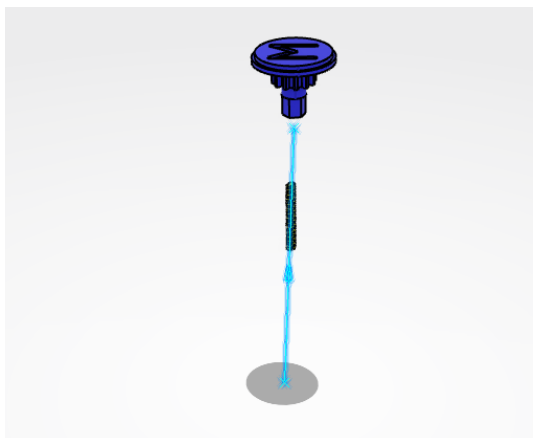


Figura 105. Ensamblar Rueda Dentada y Tornillo.

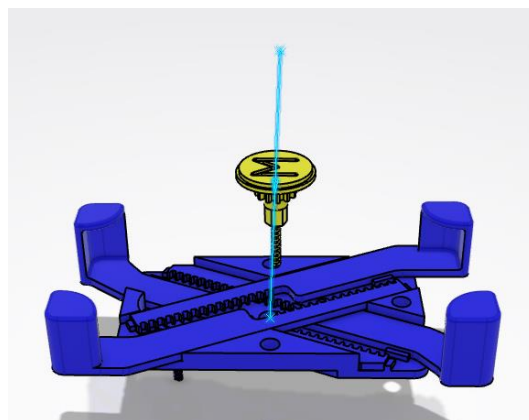


Figura 106. Colocar Rueda Dentada sobre Carcasa Inferior.

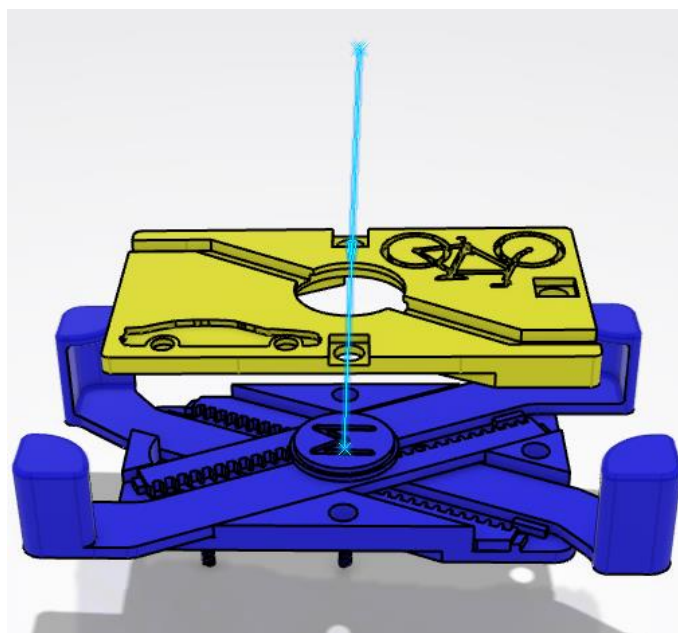


Figura 107. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.

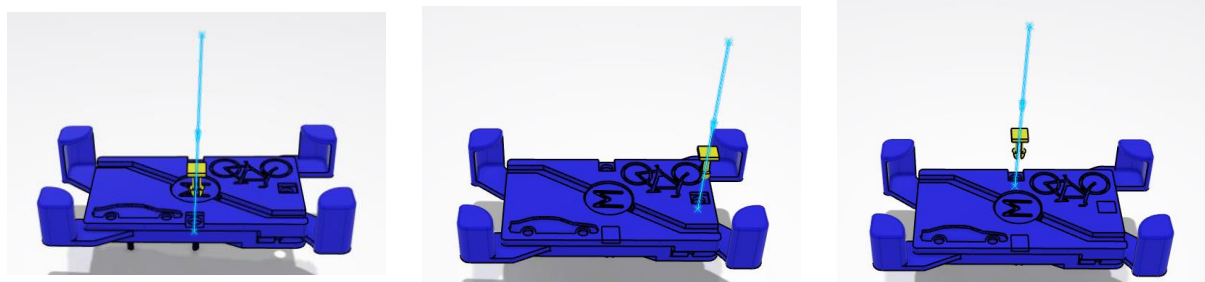


Figura 108. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.

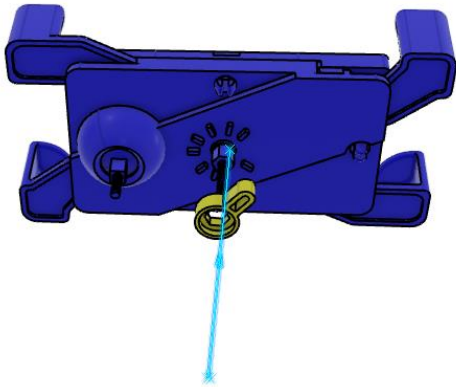


Figura 109. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.



Figura 110. Ensamblar Fijar_5 con Tuerca.

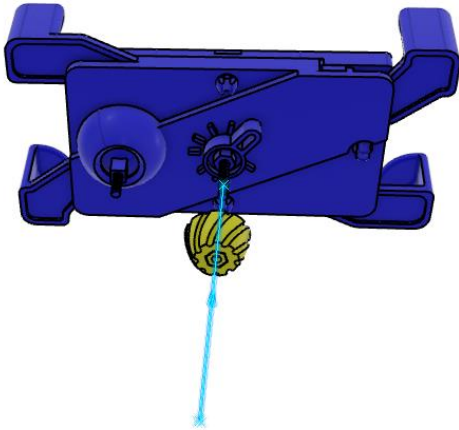


Figura 111. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar

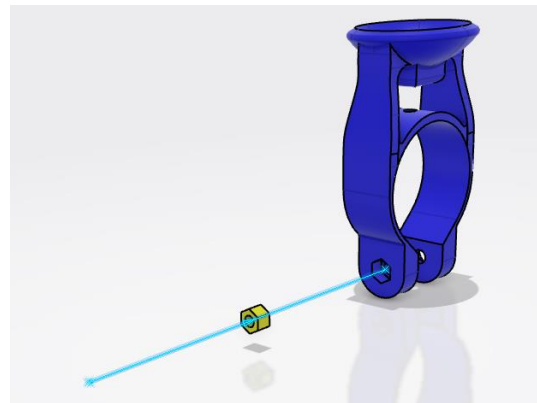


Figura 112. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.

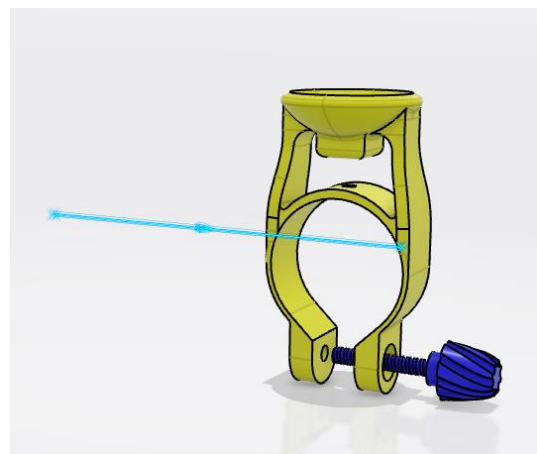
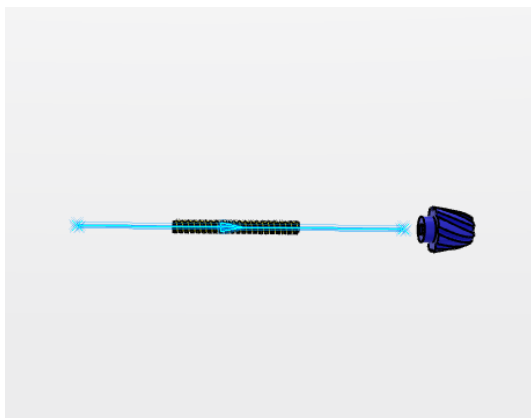


Figura 113. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.

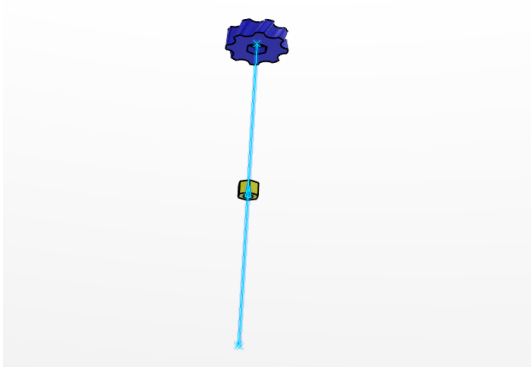


Figura 114. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

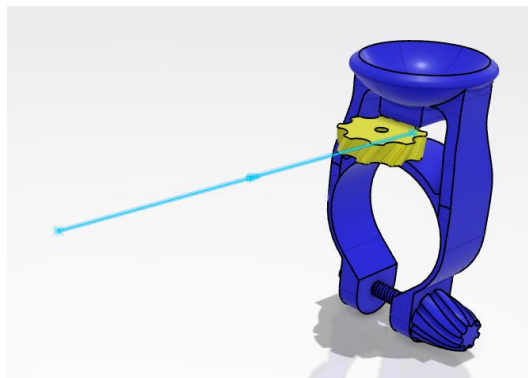


Figura 115. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.

Figura 116. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.

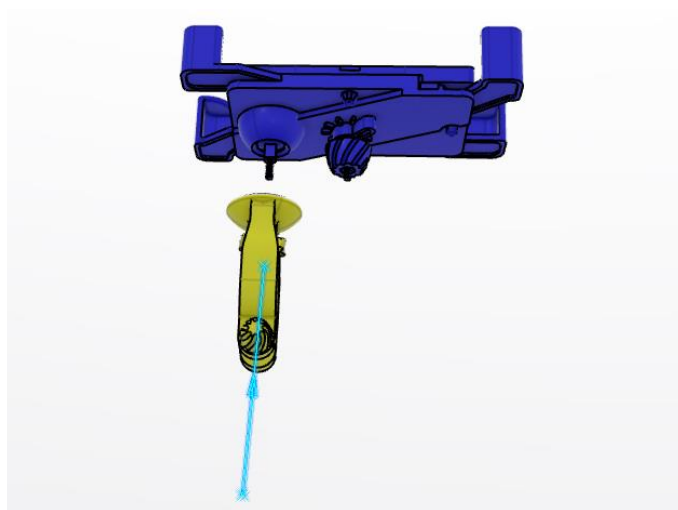


Figura 117. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.

Como se puede observar en la simulación del montaje, éste ya se encuentra totalmente definido y no existen choques ni incompatibilidades entre las operaciones de ensamblaje de las piezas.

Por último, antes de guardar los cambios en la aplicación, es necesario restaurar al diseño original, sino se hace se pierden los links a los Manufactured Items en la aplicación de Process Planning y en la de Manufactured Item Definition.

3.3.2 Soporte para coche

A continuación, se va a proceder a realizar el análisis para el montaje del Soporte para el Coche. Como se trata de un añadido al Soporte para Bici, se reutilizará el MBOM y las operaciones de montaje que ya se han verificado para el Soporte de la bicicleta.

3DExperience permite reutilizar el trabajo ya ejecutado en otros archivos de dos formas: mediante la creación de un catálogo, en el que se pueden incluir distintos capítulos como pueden ser el MBOM y el Process Planning; o directamente copiando y pegando los Manufactured Items o los Sistemas/ Operaciones directamente del árbol de uno de los archivos al árbol del otro archivo.

Si la reutilización del trabajo se realiza mediante un catálogo, los Manufactured Items y los Sistemas/ Operaciones aparecen contienen también los links al Product o MBOM al que estaban asociados previamente. Sin embargo, si la recuperación se realiza mediante el copiado y pegado de un árbol a otro, aparecerán los Manufactured Items y los Sistemas/ Operaciones con las mismas propiedades que tenían anteriormente, pero será necesario volver a realizar las asociaciones con los distintos elementos.

No obstante, como en este caso el Scope va a estar asociado con un archivo tipo Product distinto, la utilización de Catálogos no ofrece ninguna ventaja añadida, por lo que se copiarán y pegarán los componentes del MBOM y del Process Planning directamente de un árbol a otro y se asociarán los elementos pertinentes, con lo que el MBOM de partida quedará como se muestra en la Figura 118.

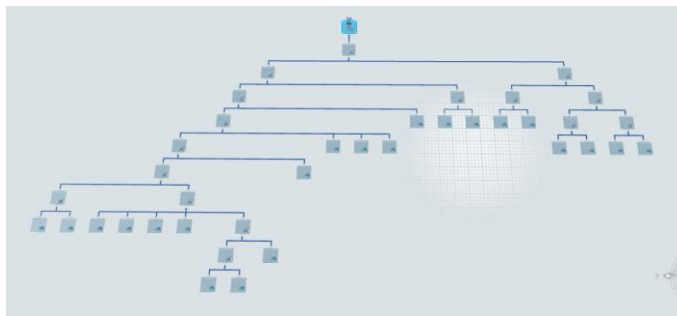


Figura 118. MBOM de partida para el Soporte del Coche.

A este MBOM se le van a añadir los Manufactured Items necesarios para configurar el Soporte para Coche. Las piezas extra que conforman este soporte se montarán por separado y, una vez montadas, se unirán al resto del soporte, en proceso de montaje anterior requerirá pequeñas variaciones en la zona en la que el Soporte para el Coche se une al Soporte para Bicicleta. Para efectuar estos cambios en el MBOM, se arrastrarán directamente los Manufactured Items necesarios hasta su nueva posición.

Las operaciones de ensamblaje para este soporte quedarán, por tanto, como sigue:

1. Ensamblar Semibola con Tornillo.
2. Colocar Semibola sobre Carcasa Inferior.
3. Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior.
4. Ensamblar Rueda Dentada con Tornillo.
5. Colocar Rueda Dentada sobre Carcasa Inferior.

6. Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior.
7. Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos.
8. Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada.
9. Ensamblar Fijar_5 con Tuerca.
10. Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar.
11. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.
12. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.
13. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.
14. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.
15. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.
16. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.
17. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.
18. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.
19. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.
20. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.
21. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.
22. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.
23. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.
24. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.

Tras asignar todas las partes a los Manufactured Items, se obtiene un MBOM como el de la Figura 119:

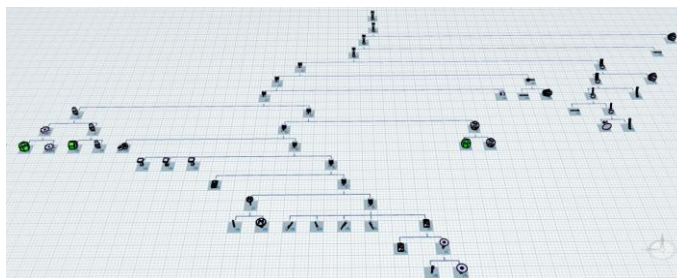


Figura 119. MBOM básico para Soporte de coche.

En él pueden observarse todas las operaciones de montaje descritas con anterioridad. En esta ocasión, con el fin de evitar redundancias, se mostrarán las operaciones de ensamblaje que varían respecto al caso anterior, es decir, a partir de la operación 11: Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca

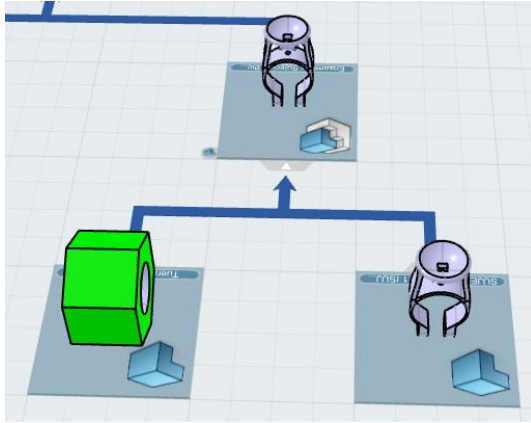


Figura 120. Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca.

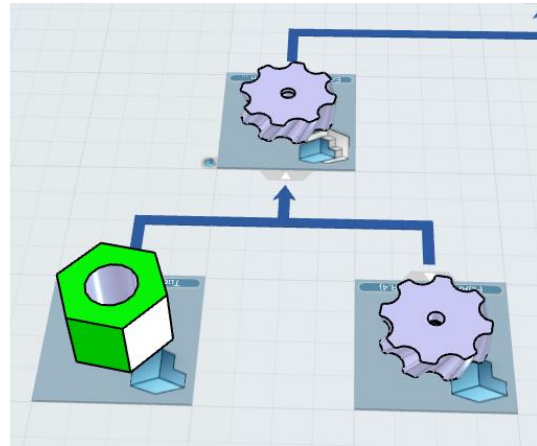


Figura 121. Ensamblar Fijar_3 con Tuerca.

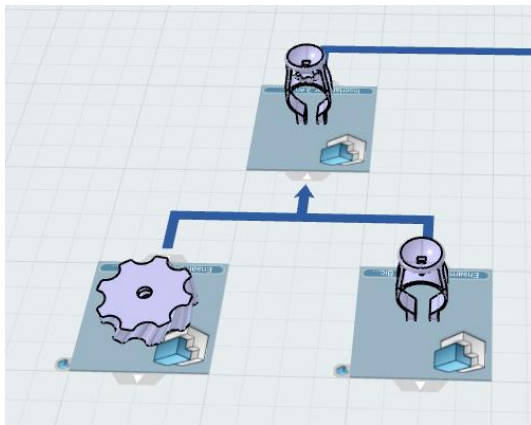


Figura 122. Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici.

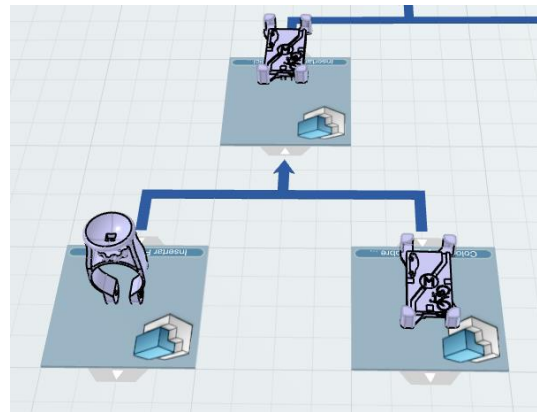


Figura 123. Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3.

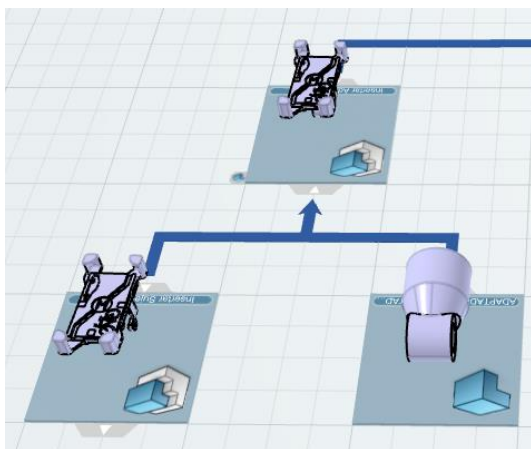


Figura 124. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.

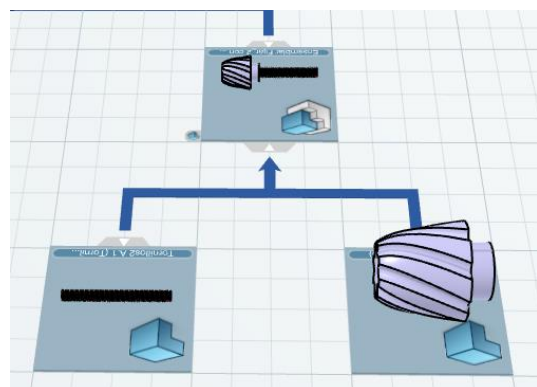


Figura 125. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.

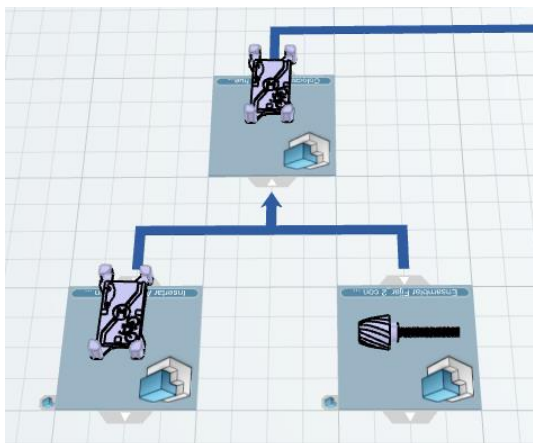


Figura 126. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

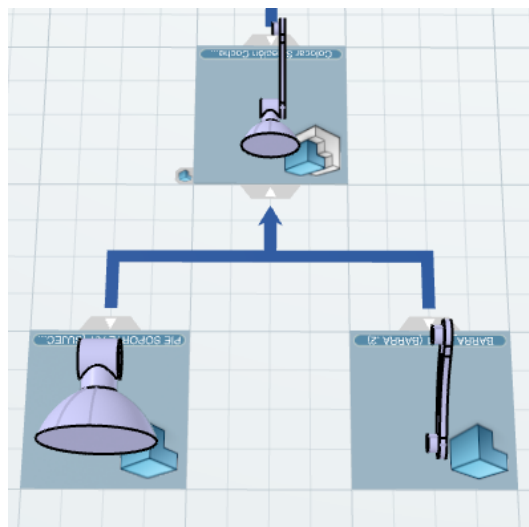


Figura 127. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.

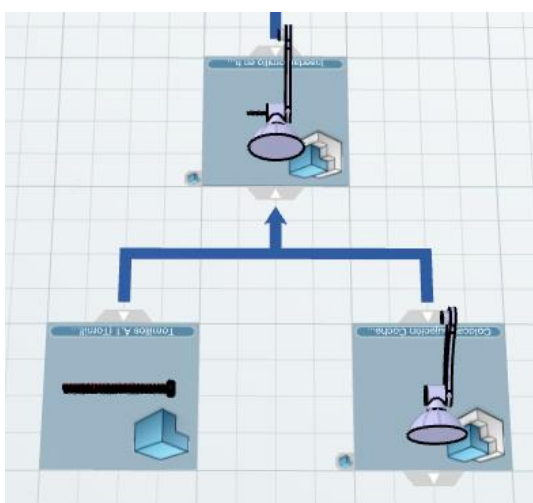


Figura 128. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.

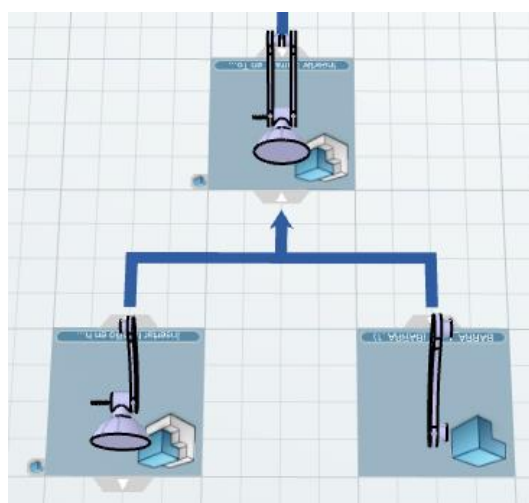


Figura 129. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.

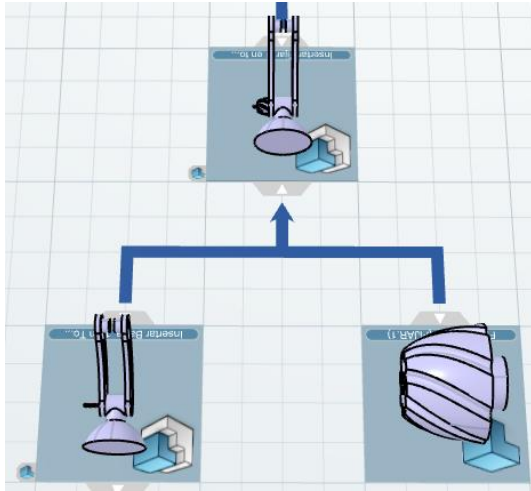


Figura 130. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.

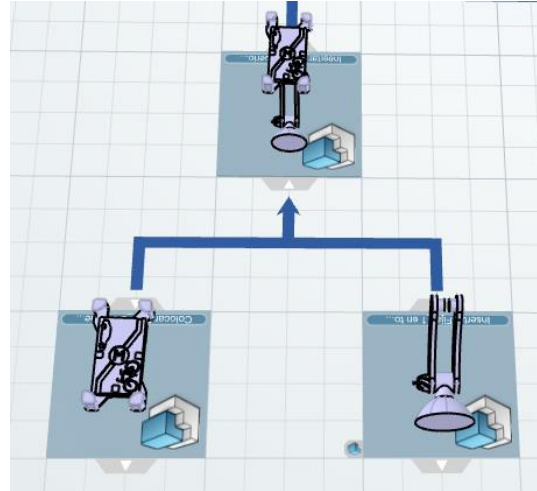


Figura 131. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.

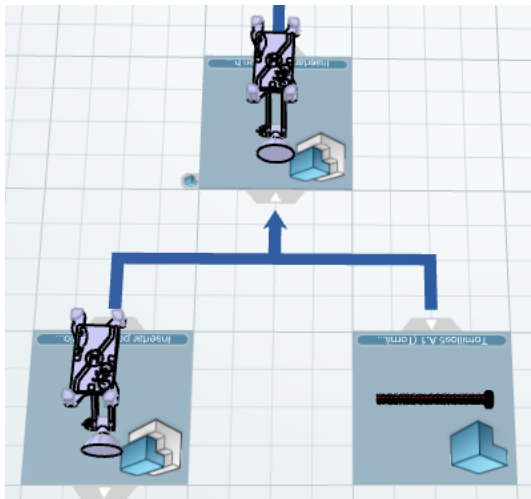


Figura 132. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.

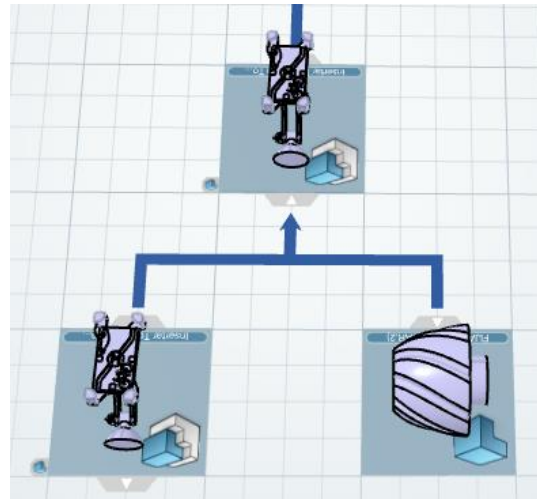


Figura 133. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.

Para finalizar con el MBOM, se procederá a realizar las verificaciones del mismo en cuanto a asignación del Product y estado de los Manufactured Items. En primer lugar se utilizará la herramienta “Product Assignment Status” para verificar que todas las piezas del Product se encuentran correctamente asignadas:

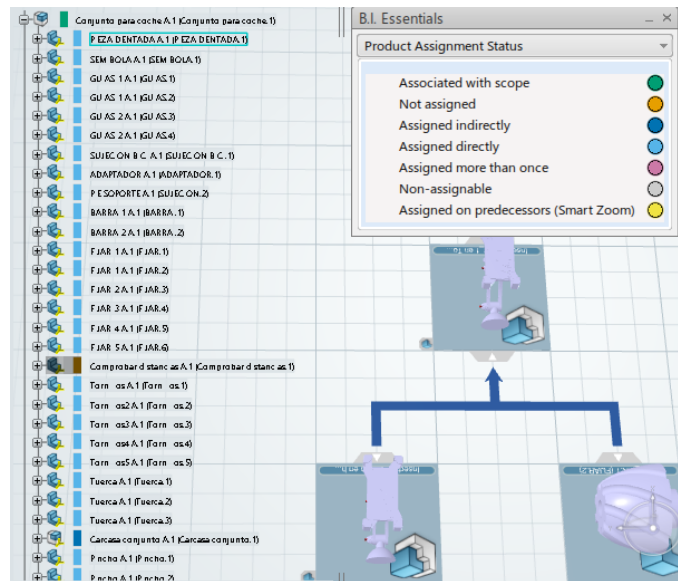


Figura 134. Product Assignment Status.

Como se puede observar en la Figura 134, todos los elementos se encuentran correctamente asignados, según el código de colores que provee la herramienta, a excepción de comprobar distancias, como ocurría en el caso anterior.

Para finalizar el MBOM, se va a proceder a analizar el estado de asignaciones en el MBOM, mediante la herramienta “Manufactured Item Completion Status”:

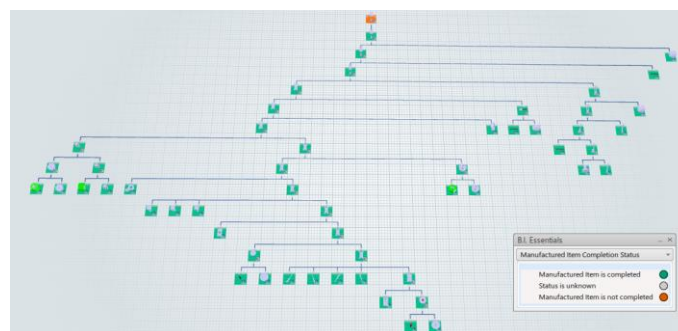


Figura 135. Manufactured Item Completion Status.

Como se puede comprobar mediante la paleta de colores, todos los Manufactured Items se han completado, a excepción del que corresponde al origen del MBOM, como este es el que tiene el Scope Asociado, no es necesario asignarle ninguna pieza.

Una vez que el MBOM para el Soporte del coche se ha completado y verificado, ha llegado el momento de usar la aplicación Process Planning, en la que se crean las operaciones de montaje.

Para la realización de este Process Planning, se va a proceder también a copiar las operaciones de un árbol a otro. Como se puede observar en la Figura 124 y, al contrario de lo que ocurría en el caso del MBOM, al copiar las operaciones de un árbol a otro no se mantiene la distribución, ni las relaciones de precedencia de las mismas, por lo que solo se copia el tipo de operación, sus propiedades y los Tracks realizados mediante la aplicación Assembly Evaluation. Las relaciones entre operaciones y con el MBOM es una característica que, sin duda, Dassault debe mejorar en próximas versiones del programa.

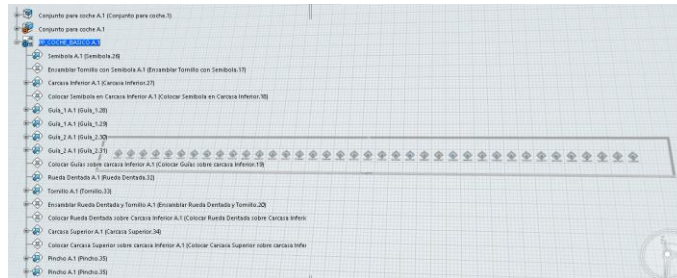


Figura 136. Estado del Process Planning tras el copiado de operaciones.

Tras copiar las operaciones, se va a proceder a la creación del Process Planning para este análisis del montaje del Soporte para el coche, que queda como sigue:

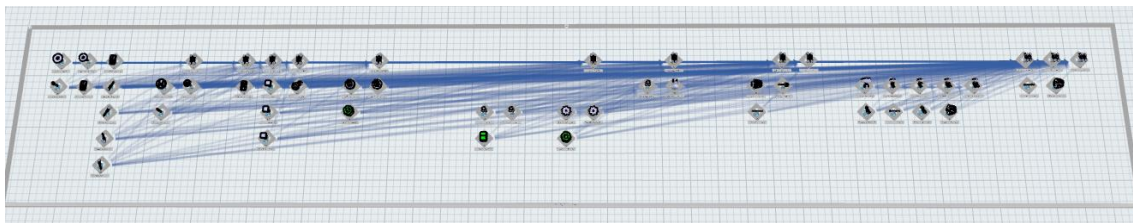


Figura 137. Process Planning para análisis del montaje del Soporte para Coche.

En este caso, como en el anterior, se mostrarán sólo aquellas operaciones que varían respecto al Soporte para bicicleta. Estas son, por tanto, las operaciones necesarias para el montaje:

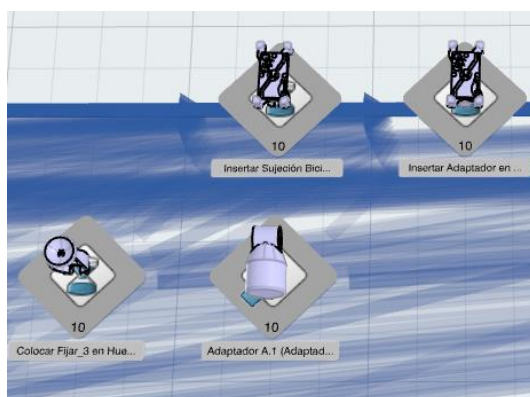


Figura 138. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.

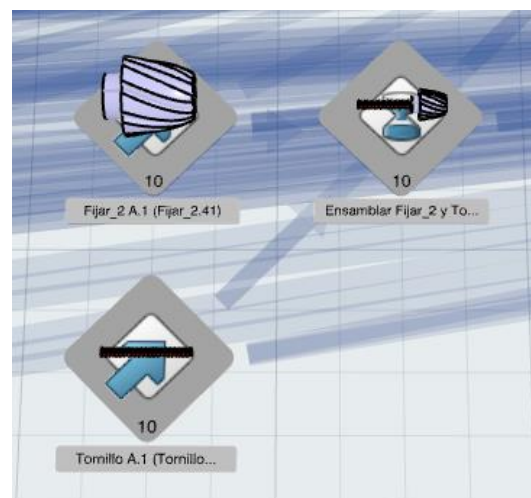


Figura 139. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.

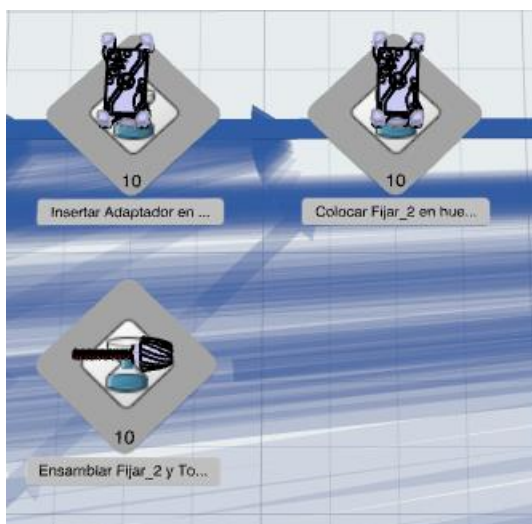


Figura 140. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

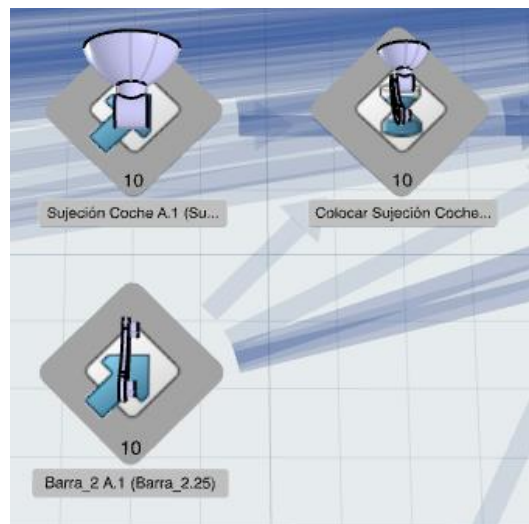


Figura 141. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.

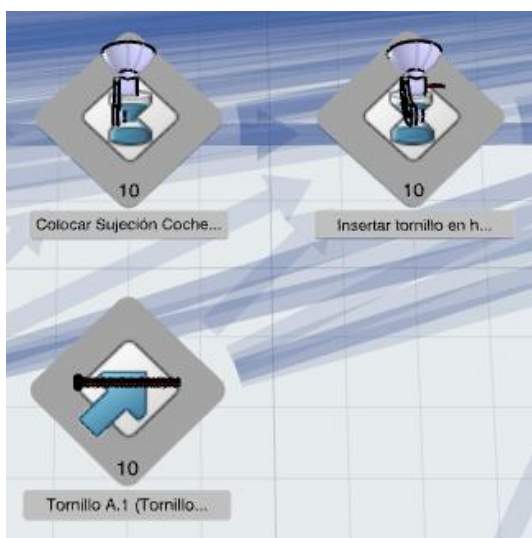


Figura 142. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.

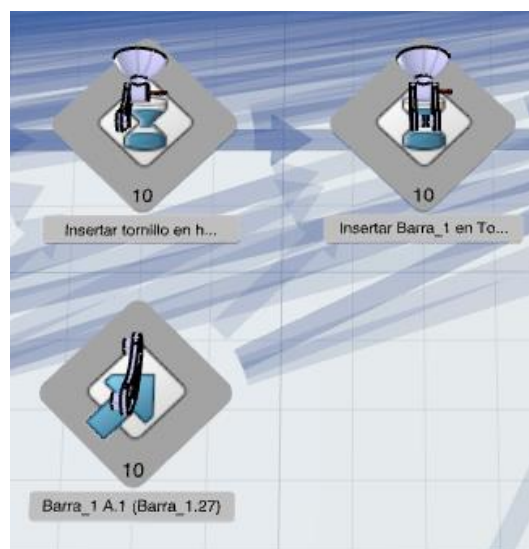


Figura 143. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.



Figura 144. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.

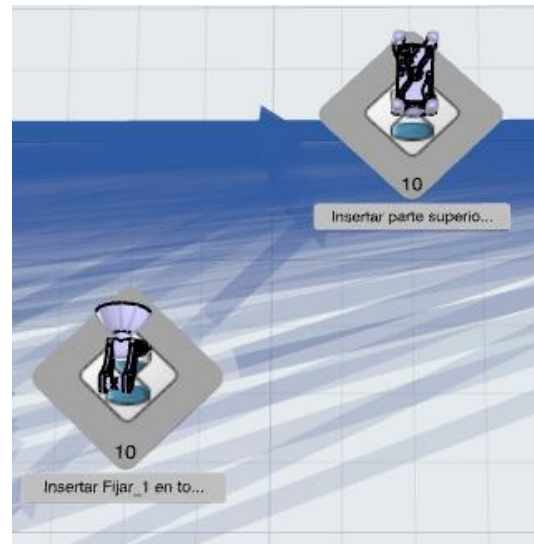


Figura 145. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.

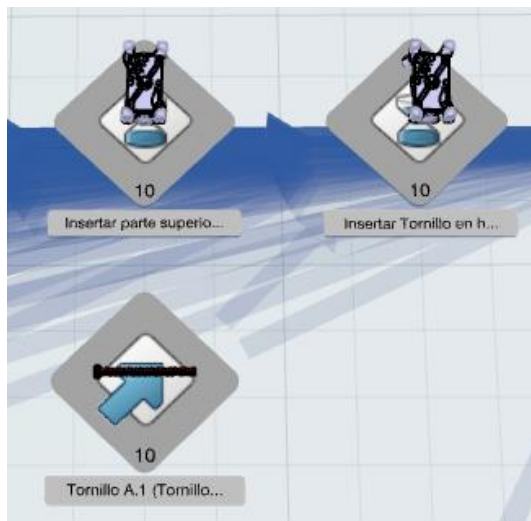


Figura 146. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.

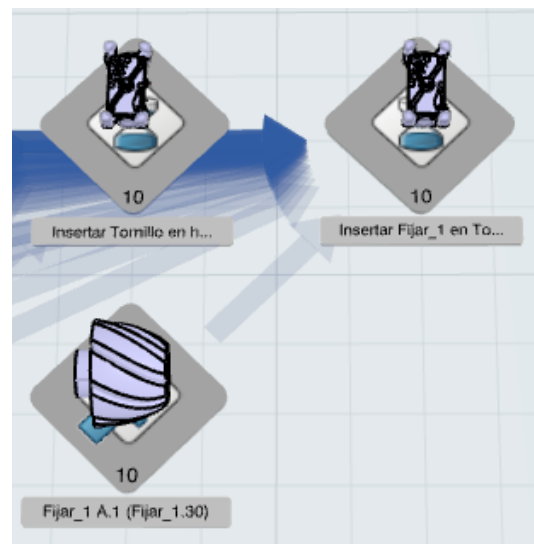


Figura 147. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.

Una vez creado el Process Planning para el Soporte del coche, se va a comprobar que todos los Manufactured Items han sido asignados y que todas las operaciones se han completado de forma correcta mediante la herramienta B.I. Essentials:

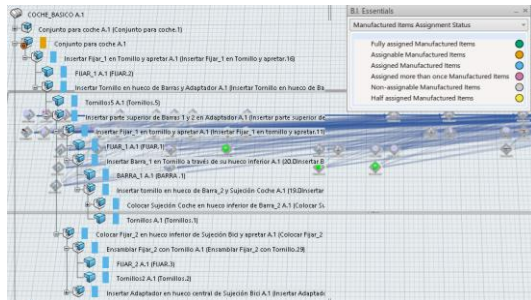


Figura 148. Manufactured Items Assignment Status en Process Planning.

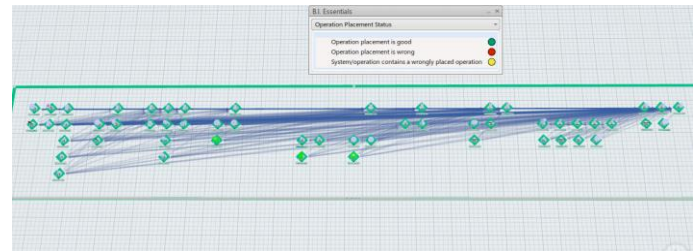


Figura 149. Operations Placement Status.

Como se puede observar en la Figura 148, todos los Manufactured Items se encuentran correctamente Asignados a excepción del llamado “Conjunto para coche” pero, como es el que contiene el Scope, no es necesario asignarlo en el Process Planning.

Por último, en la Figura 149, se puede observar como todas las operaciones se encuentran asignadas correctamente, por lo que el Process Planning se encuentra correctamente ejecutado.

A continuación, se va a realizar la comprobación del montaje mediante la aplicación Assembly Evaluation, con esta aplicación se va a proceder a realizar “Tracks” o simulaciones de las operaciones de montaje, lo que permitirá evaluar si existe alguna incompatibilidad entre el proceso de montaje propuesto y el diseño del Soporte.

Las operaciones de ensamblaje del Soporte para bicicleta ya se han verificado, por lo que se van a simular exclusivamente las operaciones extra necesarias para ensamblar el Soporte del coche:

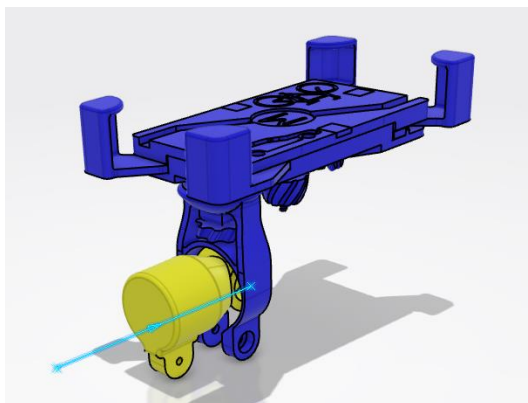


Figura 150. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.

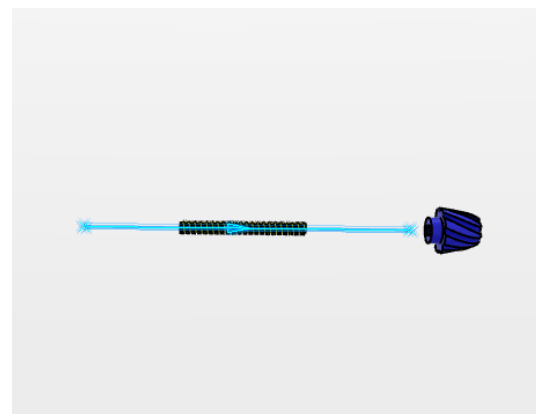


Figura 151. Ensamblar Fijar_2 con Tornillo.

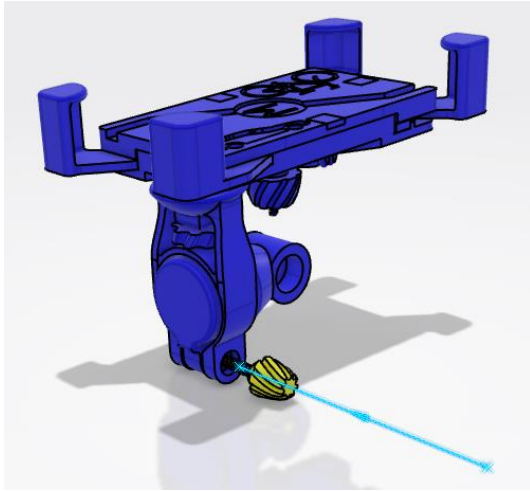


Figura 152. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

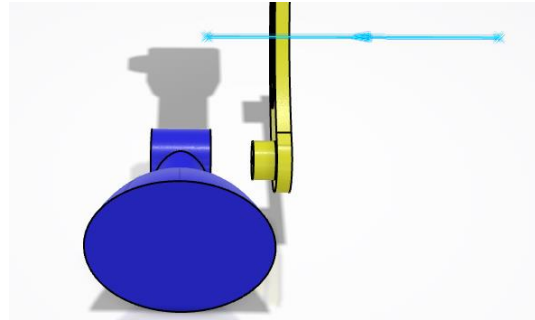


Figura 153. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.

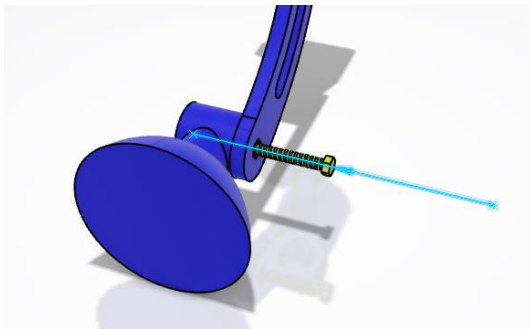


Figura 154. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.

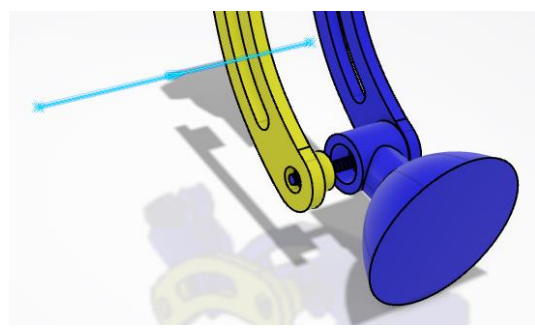


Figura 155. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.

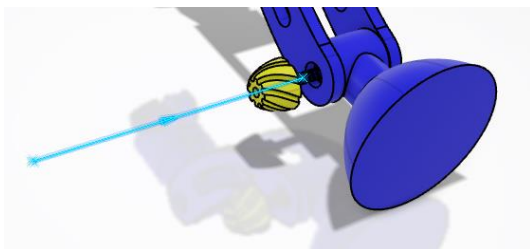


Figura 156. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.

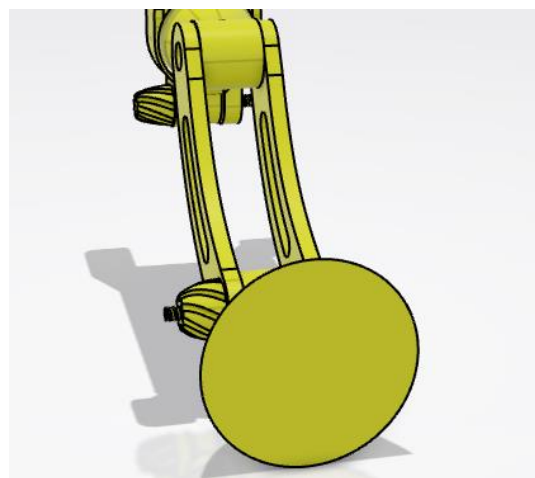


Figura 157. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.

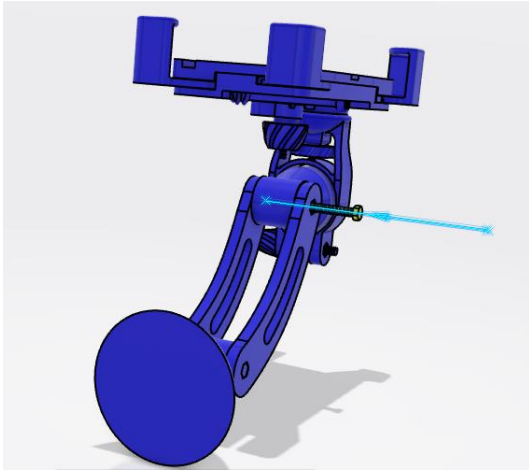


Figura 158. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.

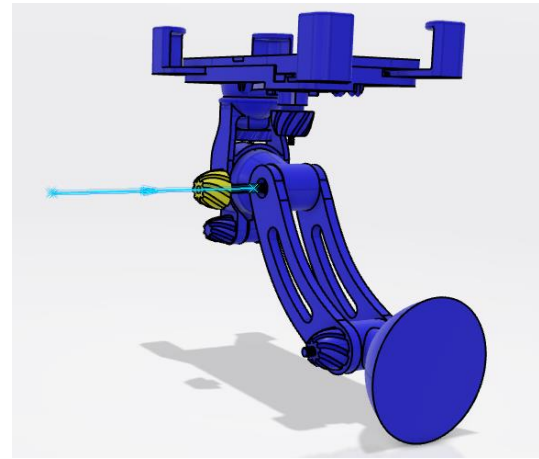


Figura 159. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.

Como se puede observar en la simulación del montaje, éste ya se encuentra totalmente definido y no existen choques ni incompatibilidades entre las operaciones de ensamblaje de las piezas.

4 PROCESO COMPLETO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL SOPORTE

4.1 Fabricación de componentes mediante impresión 3D

Tras haber analizado completamente el proceso de ensamblaje del Soporte, ha llegado el momento del diseño del proceso de fabricación completo del mismo. En este capítulo, se utilizarán las aplicaciones Manufacturing Item Definition y Process Planning.

La fabricación de la mayoría de las piezas del soporte se realizará mediante impresión 3D, por deposición fundida, a excepción de las tuercas y los tornillos que se fabrican de forma externa. El caso que se considerará para la fabricación de ambos soportes es la de un único operario que se encontrará montando el soporte y que trabajará durante un turno de ocho horas diarias, por lo que se calculará el número de impresoras que harán falta para que este operario nunca deje de producir en todo el turno. Las impresoras imprimirán durante veinticuatro horas seguidas de forma ininterrumpida.

El proceso de fabricación se dividirá, por tanto, en dos grandes bloques: la impresión de las piezas y el montaje del soporte.

Para el montaje del soporte se tendrán en cuenta varios factores:

- Existen piezas a las que es necesario retirarle el material de soporte antes de ensamblarlas. Estas piezas son: la Carcasa Inferior, los Pinchos y la Sujeción Bici, en el caso del Soporte para bicicleta y la Carcasa Inferior, los Pinchos, la Sujeción Bici y la Sujeción Coche para el caso del soporte del coche.
- Hay piezas que deben ensamblarse con tornillos y tuercas antes de montarlas en el soporte. Estas piezas son: la Rueda Dentada, la Semibola, la Sujeción Bici, Fijar_2 y Fijar_3. Este ensamblaje se realizará mediante aplicación de calor.
- El operario realizará un acopio de todas las piezas que necesita antes de comenzar con el montaje de un nuevo Soporte.

Así pues, el diagrama del proceso de fabricación quedará como sigue:

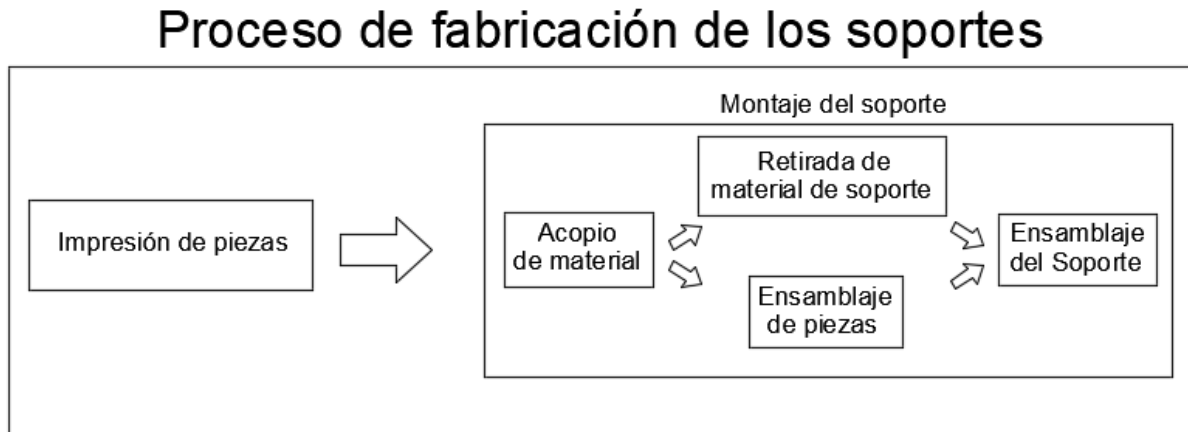


Figura 160. Diagrama del proceso de fabricación para los soportes.

En Process Planning, los sistemas se utilizan para representar los distintos puestos de trabajo, así como para diferenciar bloques de operaciones. Por tanto, el diagrama representado en la Figura 160 será el que se represente en la aplicación de Process Planning para cada uno de los soportes, representándose cada bloque como un sistema que contendrá las operaciones relacionadas con el mismo. Dentro del sistema de Impresión de piezas, podrán encontrarse también tantos sistemas como impresoras sean necesarias.

4.2 Tiempos de cada operación de fabricación y montaje

Los tiempos de fabricación y de montaje también vienen dados, siendo para el Soporte de la bicicleta los que siguen:

Tabla 1. Tiempos de Fabricación de piezas para Soporte de Bicicleta.

Denominación	Nº de piezas	Tiempo de fabricación por unidad
Carcasa Superior	1	1 h 59 min
Carcasa Inferior	1	2 h 39 min
Rueda Dentada	1	21 min
Semibola	1	15 min
Guía_1	2	42 min
Guía_2	2	40 min
Fijar_4	1	5 min
Fijar_5	1	17 min
Fijar_3	1	8 min
Sujeción Bici	1	1 h 23 min
Fijar_2	1	10 min
Pincho	3	6 min
Tornillo	3	-
Tuerca	3	-

El **tiempo total de impresión** de las piezas necesarias para el Soporte de la bicicleta es de **10 h 19 min**.

Los tiempos de montaje para el soporte de bicicleta son los que siguen:

Tabla 2. Tiempos de montaje para el Soporte de la Bicicleta

Operación de montaje	Tiempo
Acopio de Material	
Acopio de material	5 min
Retirada de material de soporte	
Carcasa Inferior	5 min
Sujeción Bici	5 min
Pinchos	9 min
Ensamblaje de piezas	
Ensamblar Semibola con Tornillo	30 s
Ensamblar Rueda Dentada con Tornillo	30 s
Ensamblar Fijar_5 con Tuerca	30 s
Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca	30 s
Ensamblar Fijar_3 con Tuerca	30 s
Ensamblar Fijar_2 con Tornillo	30 s
Ensamblaje del Soporte	
Colocar Semibola sobre Carcasa Inferior	2 s
Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior	60 s
Colocar Rueda Dentada sobre Carcasa Inferior	2 s
Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior	2 s
Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos	5 s
Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada	2 s
Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar	5 s
Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar	5 s
Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici	2 s
Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3	5 s

El **tiempo total de montaje** de las piezas necesario para completar el Soporte de la bicicleta es de **28 min 30 s**.

Por tanto, el número de soportes que será capaz de montar por jornada será:

$$\frac{\frac{8 h}{jornada} * \frac{3600 s}{1 h}}{\frac{28,5 \text{ min}}{\text{Soporte}} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}} \sim 16 \frac{\text{Soportes}}{\text{Jornada}} \quad [1]$$

Si a esto se le aplica un factor de seguridad de 0,8 por posibles averías o imprevistos, se tiene que el operario podrá fabricar **13 Soportes para Bicicleta al día**.

Por tanto, para poder fabricar 13 Soportes de Bicicleta al día, el tiempo máximo de fabricación debe ser:

$$\frac{\frac{24 h}{jornada} * \frac{3600 s}{1 h}}{\frac{13 \text{ Soportes}}{\text{Jornada}}} \sim \frac{1 h 50 \text{ min}}{\text{Soporte}} \quad [2]$$

Por tanto, el número de impresoras necesario será aquel que me permita repartir las piezas a imprimir entre ellas de tal manera que el **tiempo de impresión de cada una sea menor que 1 h 50 min**.

Llegados a este punto, encontramos el inconveniente de que tanto la Carcasa Superior como la Carcasa Inferior necesitan tiempos de impresión mayores que el tiempo máximo de impresión obtenido. Por tanto, estas dos piezas serán el cuello de botella para el proceso de fabricación.

Para solucionar este problema se duplicará el número de impresiones de la Carcasa Superior y de la Carcasa Inferior, de este modo, el tiempo equivalente de impresión se reducirá a la mitad.

El número de impresoras necesarias y la distribución de las piezas a imprimir quedará como sigue:

Tabla 3. Distribución de piezas en Impresora 1 (Soporte Bicicleta).

Impresora 1	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Superior	60 min
Guía_1	42 min
Tiempo total	1 h 42 min

Tabla 4. Distribución de piezas en Impresora 2 (Soporte Bicicleta).

Impresora 2	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Superior	60 min
Guía_1	42 min
Tiempo total	1 h 42 min

Tabla 5. Distribución de piezas en Impresora 3 (Soporte Bicicleta).

Impresora 3	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Inferior	80 min
Pincho	6 min
Pincho	6 min
Semibola	15 min
Tiempo total	1 h 47 min

Tabla 6. Distribución de piezas en Impresora 4 (Soporte Bicicleta).

Impresora 4	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Inferior	80 min
Fijar_2	10 min
Fijar_5	17 min
Tiempo total	1 h 47 min

Tabla 7. Distribución de piezas en Impresora 5 (Soporte Bicicleta).

Impresora 5	
Denominación	Tiempo de impresión
Sujeción Bici	83 min
Pieza Dentada	21 min
Tiempo total	1 h 44 min

Tabla 8. Distribución de piezas en Impresora 6 (Soporte Bicicleta).

Impresora 6	
Denominación	Tiempo de impresión
Guía_2	40 min
Guía_2	40 min
Fijar_4	5 min
Fijar_3	8 min
Pincho	6 min
Tiempo total	1 h 33 min

Harán falta, por tanto, **6 impresoras** para que el operario esté ensamblando de forma continua las 8 horas que dura su jornada laboral.

Para el caso de los Soportes para el coche, se tiene que los tiempos de fabricación son los siguientes:

Tabla 9. Tiempos de Fabricación de piezas para Soporte de Coche.

Denominación	Nº de piezas	Tiempo de fabricación por unidad
Carcasa Superior	1	1 h 59 min
Carcasa Inferior	1	2 h 39 min
Rueda Dentada	1	21 min
Semibola	1	15 min
Guía_1	2	42 min
Guía_2	2	40 min
Fijar_4	1	5 min
Fijar_5	1	17 min
Fijar_3	1	8 min
Sujeción Bici	1	1 h 23 min
Fijar_2	1	10 min
Pincho	3	6 min
Barra_1	1	47 min
Barra_2	1	46 min
Adaptador	1	1 h 6 min
Sujeción Coche	1	1 h 27 min
Tornillo	5	-
Tuerca	3	-

El **tiempo total de impresión** de las piezas necesarias para el Soporte de la bicicleta es de **14 h 25 min.**

Los tiempos de montaje para el soporte de bicicleta son los que siguen:

Tabla 10. Tiempos de montaje para el Soporte del Coche.

Operación de montaje	Tiempo
Acopio de Material	
Acopio de material	5 min
Retirada de material de soporte	
Carcasa Inferior	5 min
Sujeción Bici	5 min
Sujeción Coche	5 min
Pinchos	9 min
Ensamblaje de piezas	
Ensamblar Semibola con Tornillo	30 s
Ensamblar Rueda Dentada con Tornillo	30 s
Ensamblar Fijar_5 con Tuerca	30 s
Ensamblar Sujeción Bici con Tuerca	30 s
Ensamblar Fijar_3 con Tuerca	30 s
Ensamblar Fijar_2 con Tornillo	30 s
Ensamblaje del Soporte	
Colocar Semibola sobre Carcasa Inferior	2 s
Colocar Guías sobre la Carcasa Inferior	60 s
Colocar Rueda Dentada sobre Carcasa Inferior	2 s
Colocar Carcasa Superior sobre Carcasa Inferior	2 s
Fijar Carcasa Superior y Carcasa Inferior mediante Pinchos	5 s
Colocar Fijar_4 sobre la superficie inferior de la Carcasa Inferior, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada	2 s
Colocar Fijar_5 sobre Fijar_4, insertándolo en el tornillo de la Rueda dentada y apretar	5 s
Insertar Fijar_3 en hueco de Sujeción Bici	2 s
Insertar Sujeción Bici en el tornillo de la Semibola y apretar con Fijar_3	5 s

Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici	2 s
Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar	5 s
Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2	2 s
Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche	2 s
Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior	2 s
Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar	5 s
Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador	2 s
Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador	2 s
Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar	5 s

El **tiempo total de montaje** de las piezas necesario para completar el Soporte de la bicicleta es de **33 min 52 s**.

Por tanto, el número de soportes que será capaz de montar por jornada será:

$$\frac{\frac{8 h}{jornada} * \frac{3600 s}{1 h}}{\frac{33,87 \text{ min}}{\text{Soporte}} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}} \sim 14 \frac{\text{Soportes}}{\text{Jornada}} \quad [3]$$

Si a esto se le aplica un factor de seguridad de 0,8 por posibles averías o imprevistos, se tiene que el operario podrá fabricar **11 Soportes para Bicicleta al día**.

Por tanto, para poder fabricar 13 Soportes de Bicicleta al día, el tiempo máximo de fabricación debe ser:

$$\frac{\frac{24 h}{jornada} * \frac{3600 s}{1 h}}{\frac{13 \text{ Soportes}}{\text{Jornada}}} \sim \frac{2 h 11 \text{ min}}{\text{Soporte}} \quad [4]$$

Por tanto, el número de impresoras necesario será aquel que me permita repartir las piezas a imprimir entre ellas de tal manera que el **tiempo de impresión de cada una sea menor que 2 h 11 min**.

En este caso, encontramos el inconveniente de que la Carcasa Inferior necesita un tiempo de impresión mayor que el tiempo máximo de impresión obtenido. Por tanto, esta pieza será el cuello de botella para el proceso de fabricación.

Para solucionar este problema se duplicará el número de impresiones de la Carcasa Inferior, de este modo, el tiempo equivalente de impresión se reducirá a la mitad.

El número de impresoras necesarias y la distribución de las piezas a imprimir, quedará como sigue:

Tabla 11. Distribución de piezas en Impresora 1 (Soporte Coche).

Impresora 1	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Superior	119 min
Pincho	6 min
Pincho	6 min
Tiempo total	2 h 11 min

Tabla 12. Distribución de piezas en Impresora 2 (Soporte Coche).

Impresora 2	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Inferior	80 min
Guía_1	42 min
Tiempo total	2 h 2 min

Tabla 13. Distribución de piezas en Impresora 3 (Soporte Coche).

Impresora 3	
Denominación	Tiempo de impresión
Carcasa Inferior	80 min
Guía_1	42 min
Tiempo total	2 h 2 min

Tabla 14. Distribución de piezas en Impresora 4 (Soporte Coche).

Impresora 4	
Denominación	Tiempo de impresión
Barra_1	47 min
Semibola	15 min
Adaptador	66 min
Tiempo total	2 h 8 min

Tabla 15. Distribución de piezas en Impresora 5 (Soporte Coche).

Impresora 5	
Denominación	Tiempo de impresión
Sujeción Bici	83 min
Guía_2	40 min
Fijar_3	8 min
Tiempo total	2 h 11 min

Tabla 16. Distribución de piezas en Impresora 6 (Soporte Coche).

Impresora 6	
Denominación	Tiempo de impresión
Guía_2	40 min
Barra_2	46 min
Fijar_1	14 min
Fijar_2	10 min
Rueda Dentada	21 min
Tiempo total	2 h 11 min

Tabla 17. Distribución de piezas en Impresora 7 (Soporte Coche).

Impresora 7	
Denominación	Tiempo de impresión
Sujeción Coche	87 min
Barra_1	14 min
Fijar_5	17 min
Fijar_4	5 min
Tiempo total	2 h 3 min

Harán falta, por tanto, **7 impresoras** para que el operario esté ensamblando de forma continua las 8 horas que dura su jornada laboral.

4.3 Soporte para bicicleta

4.3.1 Definición del MBOM

Para conformar el MBOM del Soporte de la bicicleta, se va a utilizar el obtenido en el capítulo 3.3.1 y sobre ese, se realizarán las modificaciones pertinentes. En este caso, para la obtención de los datos, se va a utilizar la herramienta catálogo, ya que el Product Asociado es el mismo que para el caso presentado en el capítulo mencionado.

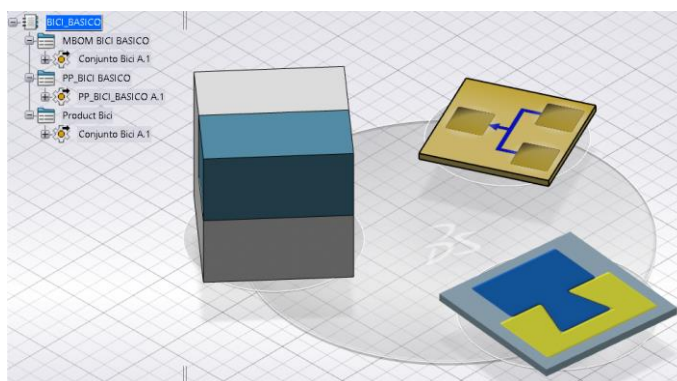


Figura 161. Catálogo con los datos del análisis del Montaje del Soporte para Bicicleta.

A la hora de configurar el MBOM para un proceso de fabricación, es necesario tener en cuenta que debe existir un Manufactured Item para cada operación del Process Planning, de otra manera éste último no se procesaría correctamente. Además de esto, también se deben tener en cuenta las características del proceso de fabricación, ya que pueden ser necesarias características extra que los General Assembly y los Provided Part no pueden aportar.

Para este caso, hay que tener en cuenta que existen piezas para las cuales hay que duplicar la fabricación (Carcasa Superior y Carcasa inferior); hay una operación, el acopio de material, para la que hay que asignar

todas las piezas y, por último, las operaciones de retirada de material requerirían también duplicar la asignación de Provided Parts. Todo esto tendría como consecuencia que el Process Planning no pudiese procesarse correctamente, ya que éste no permite asignar el mismo Manufactured Item a más de una operación y no sería capaz de computar la carga de trabajo completamente.

Con el fin de solucionar el problema con el tiempo de fabricación de las carcasas superior e inferior, se va a utilizar un tipo especial de Manufactured Item: el Manufactured Part. Este Manufactured Item se va a emplear para todas aquellas piezas que se van a imprimir mediante impresora 3D, esta elección se debe a que, a la hora de crear el Process Planning, éste reconoce que la pieza se está fabricando en nuestra planta, por lo que permite dividir los tiempos de fabricación para que éste quede finalmente equilibrado, como se comprobará posteriormente.

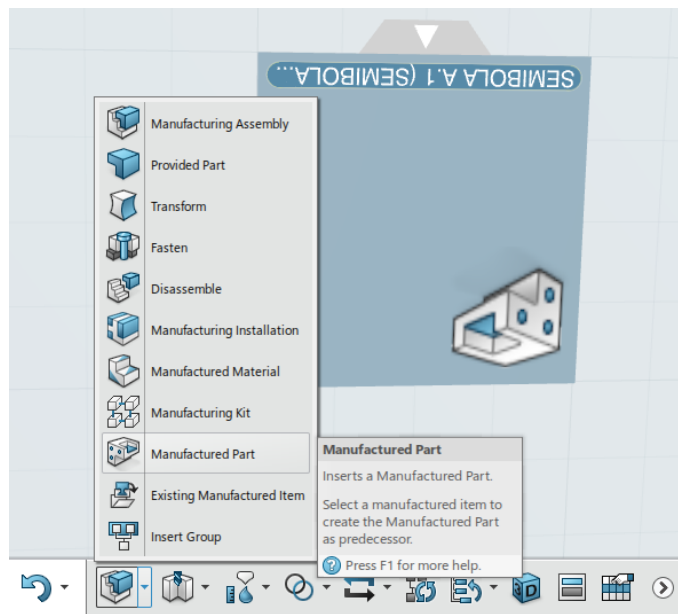


Figura 162. Manufactured Part.

Este tipo de Manufactured Items, no permite asignar las piezas directamente, por lo que para completarlo correctamente, es necesario hacerlo en dos pasos: establecer el producto resultante, que enlaza el Manufactured Item directamente con el archivo de diseño (archivo .Part) y establecer el Scope con la pieza del product, lo que aporta la información relativa a la posición final de la pieza en el producto.

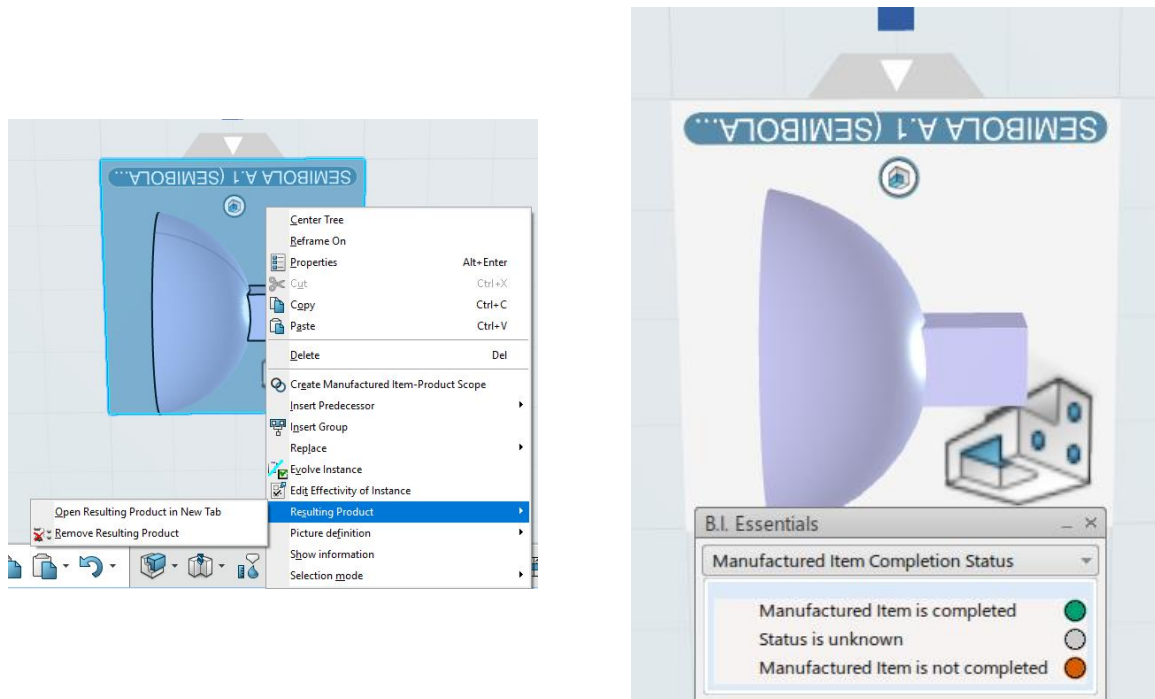


Figura 163. Asignación del producto resultante.



Figura 164. Scope link con pieza del Product.

Si solo se realizase el Scope link con la pieza, puede comprobarse que el Manufactured Item tampoco estaría completo:

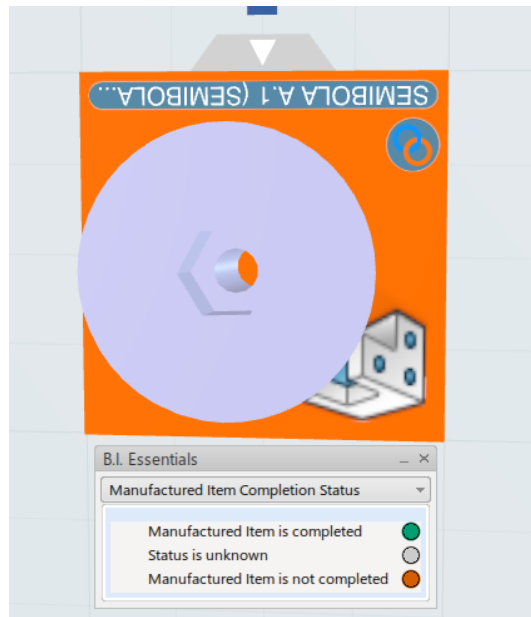


Figura 165. Scope link con pieza del Product.

Además, si no se realiza este doble paso, al comprobar el estado de asignación de las piezas, también aparece como no asignada.

Para el caso de la retirada de material, se van a utilizar un Dissassembly Step. Este Manufactured Item permite añadir un paso extra para una pieza sin tener que asignarla más de una vez. Para asignarlo, solo es necesario seleccionar los Manufactured Item origen y destino.

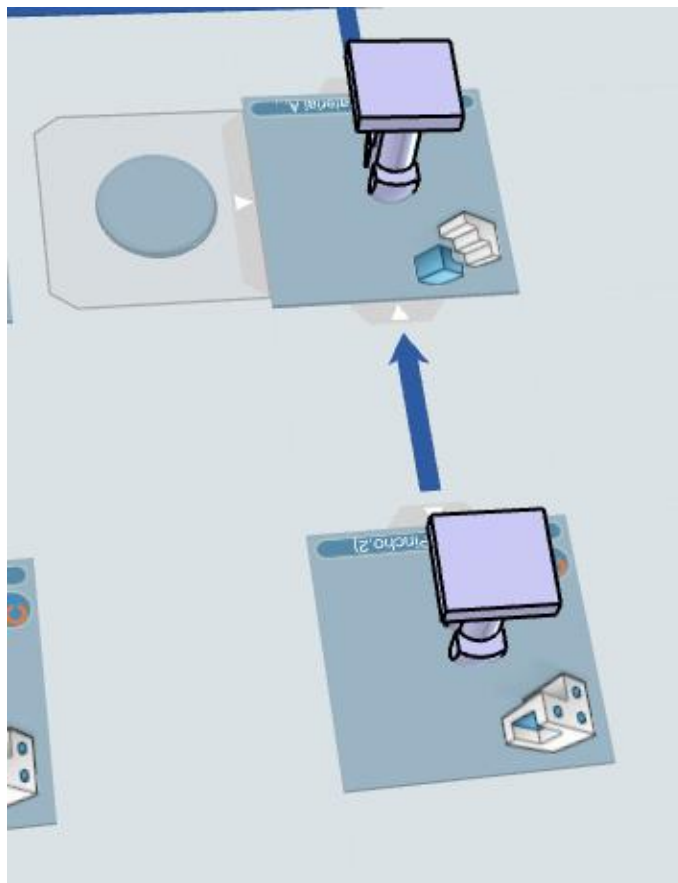


Figura 166. Dissassembly Manufactured Item.

Por último, para resolver el Acopio de material, se ha utilizado un Manufacturing Kit, este Manufactured Item permite crear un Scope con la pieza o conjunto de piezas que necesitan ser duplicadas, sin necesidad de volver a asignarlas. Por tanto, en este caso, se va a realizar un Scope con el Product, de este modo, el Manufacturing Kit contendrá todas las piezas del producto en un solo Manufactured Item.

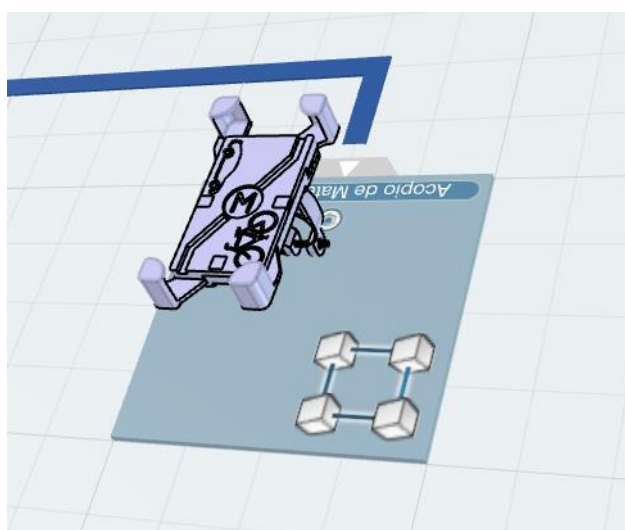


Figura 167. Manufacturing Kit.

Por último, también se consideró asignar los elementos de fijación tales como los pinchos, los tornillos o las tuercas a un Fasten Step. Este Manufactured Item aporta información extra al programa que permitiría que otras aplicaciones, como Physics Results, reconociera estas uniones e hiciera comprobaciones extra frente a cargas o condiciones específicas a las que pueda estar sometido el producto, en este caso por ejemplo, podría ser de utilidad comprobar el comportamiento de las uniones frente a vibraciones o impacto.

El problema que se encontró fue que, para poder considerar estos elementos como Fasteners, era necesario definirlos de esta manera desde el diseño. Esto sería otro aspecto muy importante que mejorar por parte de la compañía ya que, en numerosas ocasiones, el diseñador no es la misma persona que el planificador del proceso. Además, si hay que cambiar el diseño para poder definir los Fasteners, se requiere mucho tiempo si se está tratando con procesos de diseños complejos.

Por tanto, para el diseño del MBOM, las piezas quedarán repartidas de la siguiente manera:

- **Manufactured Items**, para todas aquellas piezas que van a imprimirse con las impresoras 3D.
- **Provided Parts**, para las tuercas y los tornillos.
- **Dissassemble Steps**, para las operaciones de retirada de material.
- **Manufacturing Kit**, para la operación de acopio de material.
- **General Assembly**, para las operaciones de ensamblaje.

Una vez definidos los distintos Manufactured Items que va a contener el MBOM, se va a proceder al diseño del mismo, quedando una estructura como la que se observa en la Figura 168:

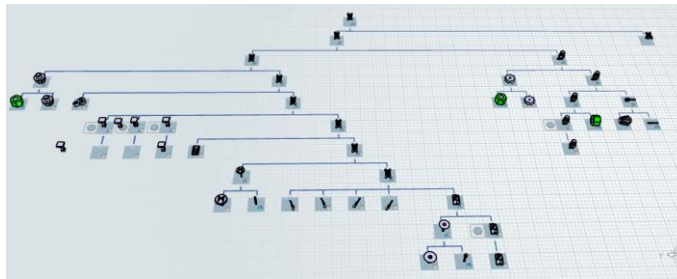


Figura 168. MBOM para el proceso de fabricación del Soporte de la Bicicleta.

Algunas de las piezas aparecen desplazadas en los Dissassemble Steps, esto se debe a una cierta incompatibilidad con la gráfica del ordenador.

Para verificar que todos los Manufactured Items se encuentran correctamente asignados, se utiliza la opción de Manufactured Item Completion Status de la herramienta B.I. Essentials:

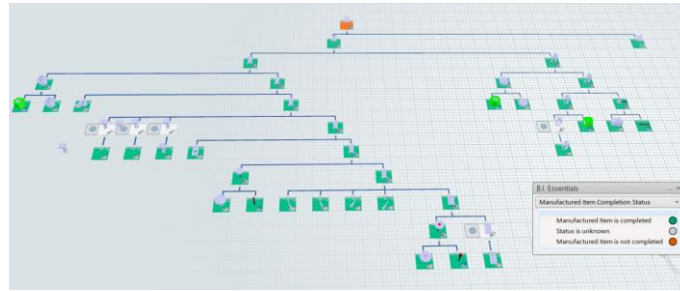


Figura 169. Manufactured Item Completion Status para el proceso de fabricación del Soporte de la Bicicleta.

A continuación, se procederá al análisis de los Manufactured Items que conforman el MBOM:

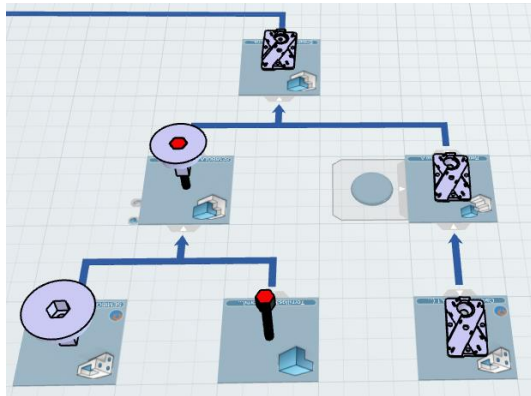


Figura 170. Ensamblaje de Semibola y su posterior colocación en la Carcasa Inferior.

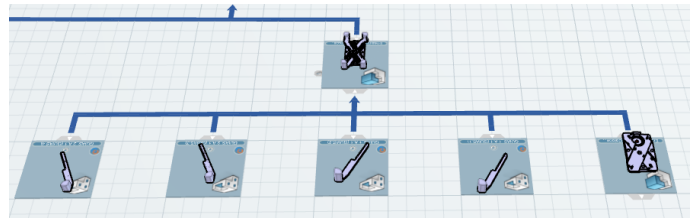


Figura 171. Fabricación de Guías y colocación en Carcasa Inferior.

En la Figura 170, aparecen representados la fabricación de la Semibola y de la Carcasa Inferior, a continuación, la Semibola se ensambla con el Tornillo y a la Carcasa Inferior se le retira el material de soporte. Por último, se instala la Semibola ya ensamblada en la Carcasa Inferior.

En la Figura 171, se aprecia la fabricación de las Guías que, posteriormente, se ensamblan en la Carcasa Inferior.

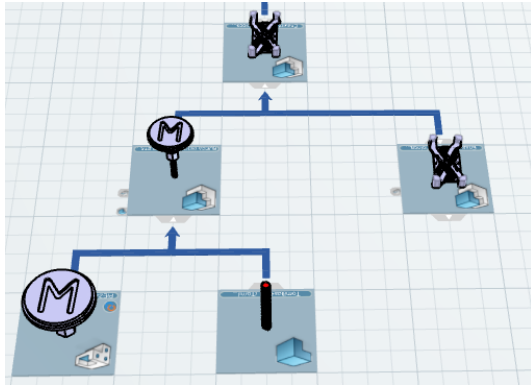


Figura 172. Fabricación, ensamblaje y colocación de la Rueda Dentada.

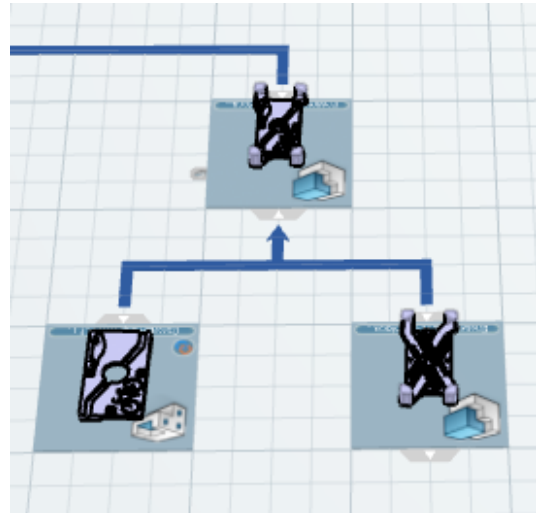


Figura 173. Fabricación y colocación de la Carcasa Superior.

En la Figura 172, se representa la fabricación de la Rueda Dentada que, posteriormente, se ensamblará con el Tornillo y se colocará en su posición en la Carcasa Inferior.

El proceso de fabricación y colocación de la Carcasa Superior aparece representado en la Figura 173.

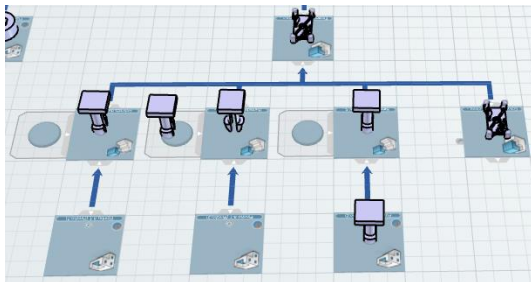


Figura 174. Fabricación, retirada de material y colocación de los Pinchos.

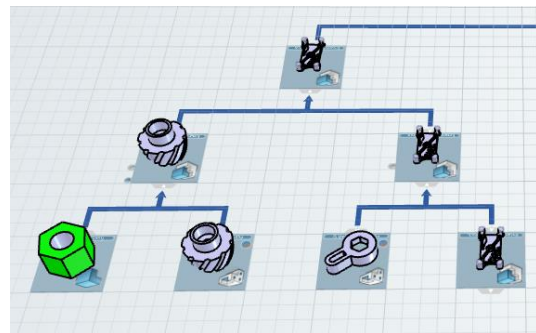


Figura 175. Fabricación, ensamblaje y colocación de Fijar_4 y Fijar_5.

En la Figura 174, se observa la fabricación de los Pinchos, a los que más adelante se les retirará el material sobrante y se colocarán de forma que la Carcasa Superior e Inferior queden fijas. Como se ha dicho con anterioridad, el desplazamiento de los Pichos se debe a un error con la tarjeta gráfica.

En la Figura 175, aparece la fabricación de Fijar_4 y Fijar_5. A continuación Fijar_4 se colocará sobre la superficie inferior de la carcasa Inferior, insertado en el tornillo de la Rueda Dentada, mientras que Fijar_5 se ensamblará con la tuerca y se insertará en el mismo tornillo, con el fin de que Fijar_4 quede totalmente fijo y la apertura de las guías quede perfectamente ajustada.

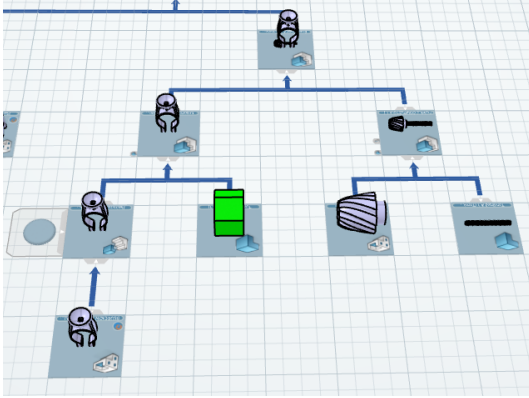


Figura 176. Fabricación, retirada de material, ensamblaje y colocación de los Sujeción Bici y Fijar_2.

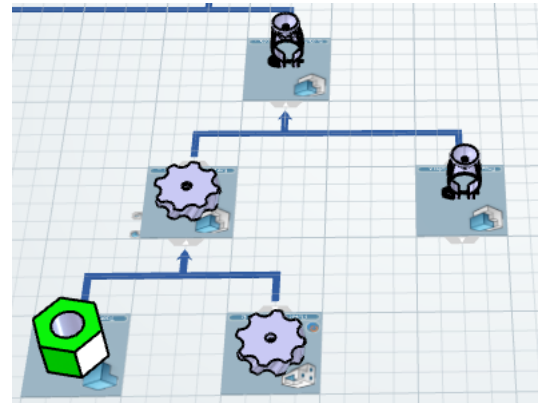


Figura 177. Fabricación, ensamblaje y colocación de Fijar_3.

En la Figura 176, se observa la fabricación de Sujeción Bici y Fijar_2. A la Sujeción Bici se le someterá a una retirada de material y se procederá a ensamblarlo con la tuerca. Por otro lado, Fijar_2 se ensamblará con un tornillo y, por último, se colocará en el hueco inferior de la Sujeción Bici.

En la Figura 177, aparece la fabricación de Fijar_3 que, a continuación, se ensamblará con la Tuerca y se colocará el hueco habilitado para ella de Sujeción Bici.

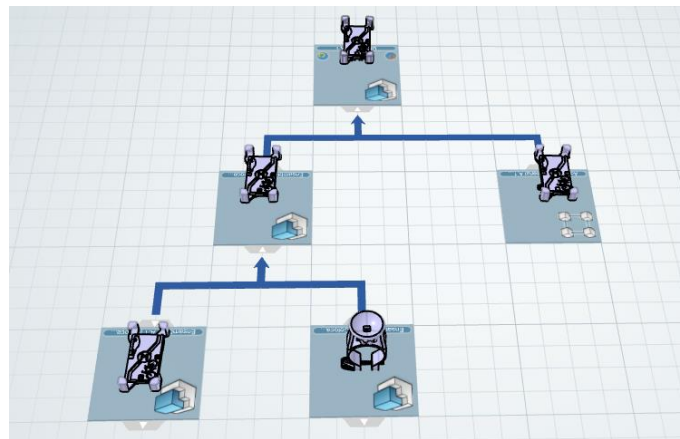


Figura 178. Ensamblaje de Sujeción Bici con el cuerpo de la Carcasa y acopio de material.

Por último, en la Figura 178, se tiene el ensamblaje entre el cuerpo de la carcasa y la Sujeción bici, que se fijarán enroscando Fijar_3 a lo largo del tornillo de la Semibola y, por otro lado, el Manufacturing Kit que contiene todas las piezas del Soporte y que se asignará a la operación de Acopio de Material.

4.3.2 Definición del plan del proceso

En el Process Planning se representará el Diagrama de fabricación que se elaboró en el Capítulo 4.1, creando un gran sistema para la impresión de piezas y otro gran sistema para el montaje.

El sistema de impresión contendrá a su vez un sistema por cada impresora, en este caso, como va a haber 6 impresoras, contendrá 6 sistemas.

El sistema de impresión se representará por un General System que contendrá 6 Transformation Systems. Éstos últimos se han elegido porque, al asignarles un Manufactured Part, permiten dividir la carga de trabajo con otros sistemas a los que están conectados, sin necesidad de crear más Manufactured Items o mayor número de operaciones. La distribución de estos sistemas se muestra en la Figura 179.

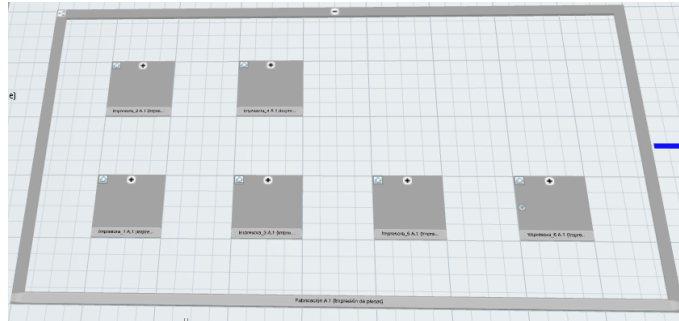


Figura 179. Distribución de Transformation Systems en el Process Planning del Soporte para Bicicleta.

Al asignar los Manufactured Items que definen la fabricación de las piezas y repartirlos entre las diferentes impresoras, tal y como se definió en el Capítulo 4.2, sin duplicar las operaciones de fabricación de las Carcasas Superior e Inferior, es decir, solo se asignarán a una de las impresoras, la distribución quedaría como sigue:

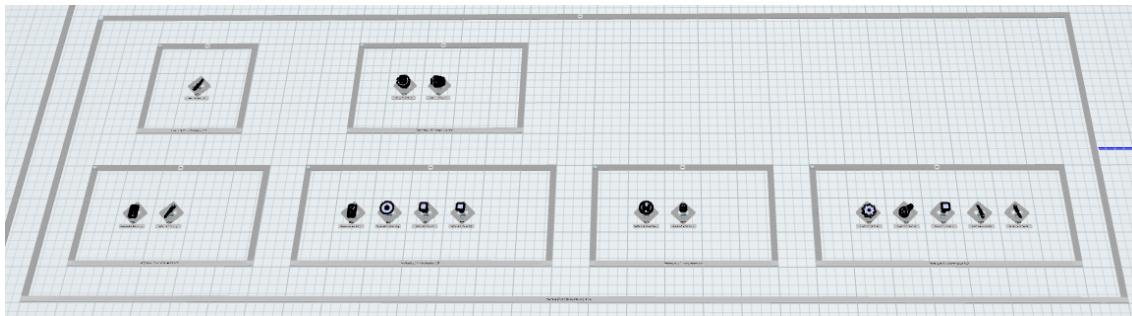


Figura 180. Distribución de los Manufactured Items entre las impresoras.

Se le ha asignado el tiempo de fabricación a cada una de las operaciones que contienen los sistemas de las impresoras y un tiempo de ciclo al General System de impresión. Este tiempo de ciclo es de 1 h 50 min. Si se comprueba la carga de trabajo para cada una de las impresoras en este punto, se obtiene el gráfico de la Figura 181.

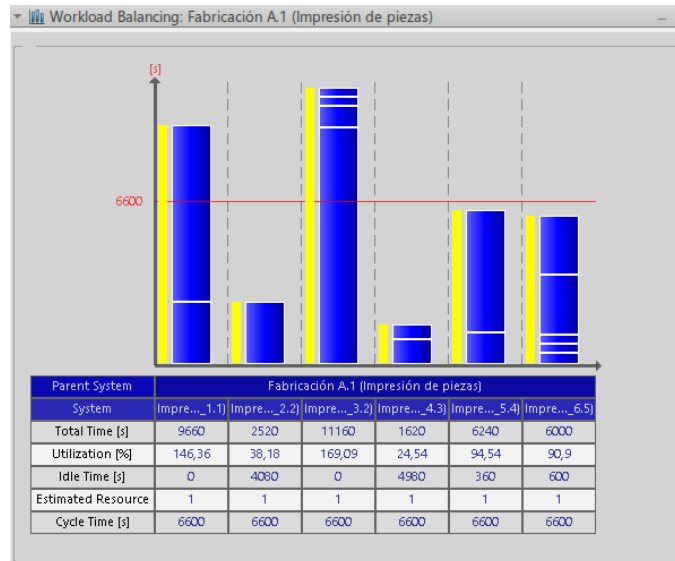


Figura 181. Carga de trabajo de las impresoras.

Como se puede observar, esta distribución para la impresión de piezas está muy descompensada y las impresoras 1 y 3 tienen un tiempo de impresión muy superior al tiempo máximo de impresión que se había calculado. Y si se analiza el porcentaje de utilización de cada una de las impresoras mediante la herramienta B.I. Essentials, con su opción de Systems Utilization, se obtiene que:

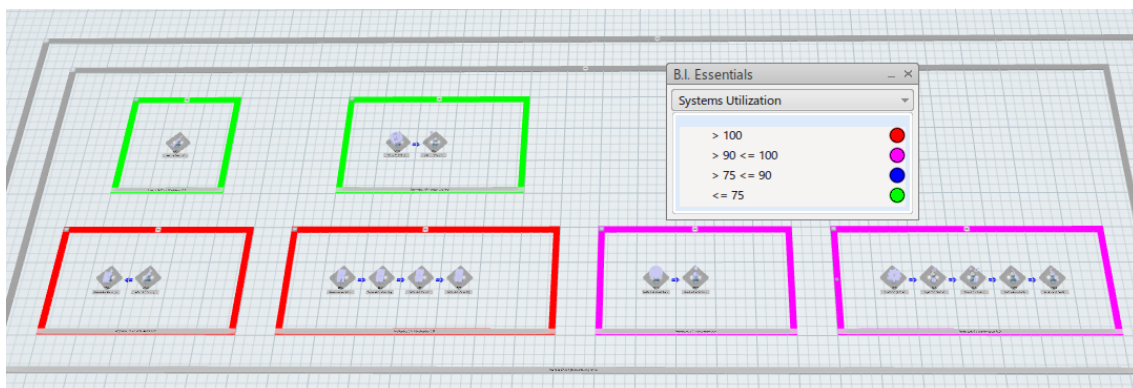


Figura 182. Porcentaje de utilización de cada una de las impresoras.

La utilización de las impresoras 1 y 3 superan el 100 %, mientras que las impresoras 2 y 4, no llegan al 75 % de su capacidad. Aquí es donde entran en juego las características adicionales que aportan los Transformation Systems y los Manufactured Parts, si en el diagrama de carga de trabajo se hace Click derecho y se habilita el campo Multi-Cycle para las impresoras que superan su capacidad y se establece un flujo entre éstas y las impresoras que se encuentran infrautilizadas, puede compartirse la carga de trabajo entre ambos sistemas.

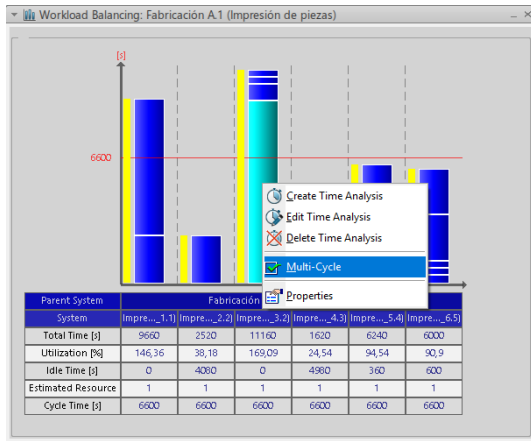


Figura 183. Habilitar Multi-Cycle en las impresoras.

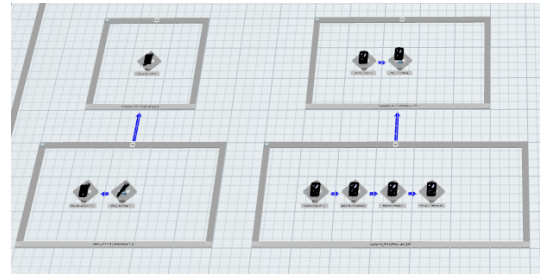


Figura 184. Establecer Flujo entre impresoras de mayor carga a menor carga.

Quedando la distribución de la carga de trabajo como sigue:

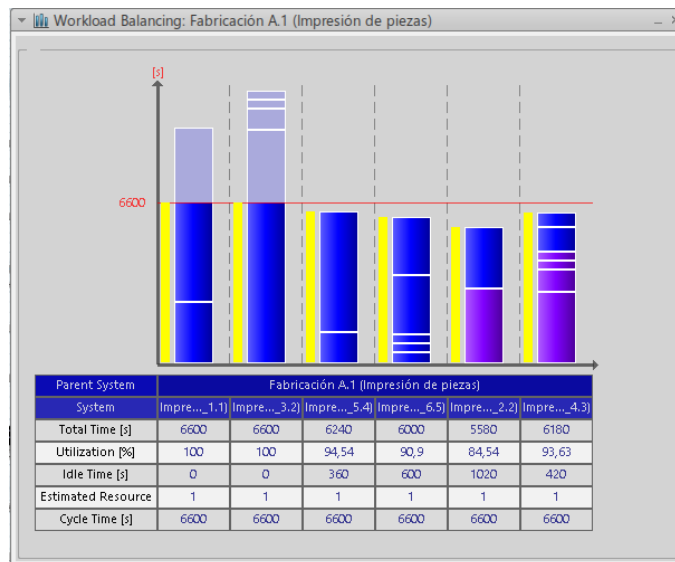


Figura 185. Redistribución del trabajo entre las impresoras.

En la Figura 185, se puede observar como se ha derivado parte del trabajo de las Impresoras 1 y 2 a las Impresoras 3 y 4, quedando una carga de trabajo mucho más equilibrada. No obstante, si se observa la redistribución en la Impresora 2, se puede comprobar que la carga de trabajo que ha derivado a la Impresora 4, incluye parte de la fabricación de la Carcasa Inferior pero, también, la fabricación del resto de piezas y, lo que interesaba en este caso era que se distribuyera el tiempo de fabricación de la Carcasa Inferior. Para solucionar esto, simplemente se arrastra la carga de trabajo equivalente a la Carcasa Inferior hasta colocarlo en la parte Superior de la gráfica. También pueden arrastrarse las operaciones de fabricación utilizando este método, de una impresora a otra, si se deseara.

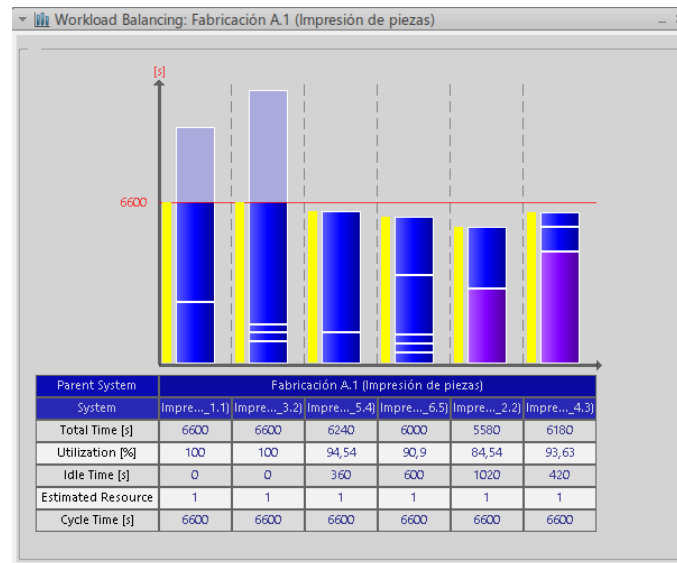


Figura 186. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.

Ahora la carga de trabajo entre impresoras está más equilibrada y se cumple el tiempo de ciclo. Esta es una representación del proceso de fabricación que equivaldría a la duplicación de fases, sin necesidad de redundar las operaciones en el Process Planning, ni los Manufactured Items en el MBOM.

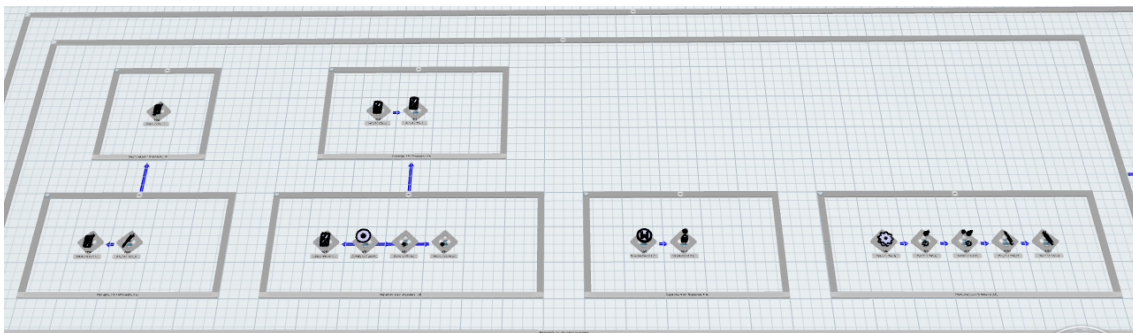


Figura 187. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.

Por último, como se observa en la Figura 187, al computar la carga de trabajo entre los sistemas, el software genera un flujo automático entre las distintas operaciones. Esto no debería suceder, porque no existen precedencias entre las operaciones dentro de una impresora ya que la impresión de todas las piezas comienza al mismo tiempo. Existe una opción llamada “Create a Start-Start Link” que permite establecer una restricción con la que las dos operaciones seleccionadas comenzarían al mismo tiempo y aparecerían representadas de esta forma en el Diagrama de Gantt del proceso de fabricación. No obstante, si se establecen este tipo de restricciones y se intenta computar la carga de trabajo, el Software no es capaz de hacerlo.

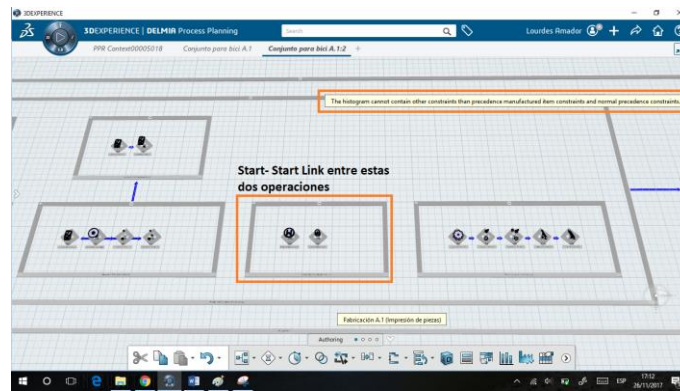


Figura 188. Error al establecer órdenes de inicio distintos de las precedencias.

Tras el análisis del proceso de impresión de las piezas, se va a proceder a analizar el proceso de montaje.

El sistema de montaje se representará por un General System que contendrá 2 Transformation Systems y 2 General Systems. La distribución de estos sistemas se muestra en la Figura 189.

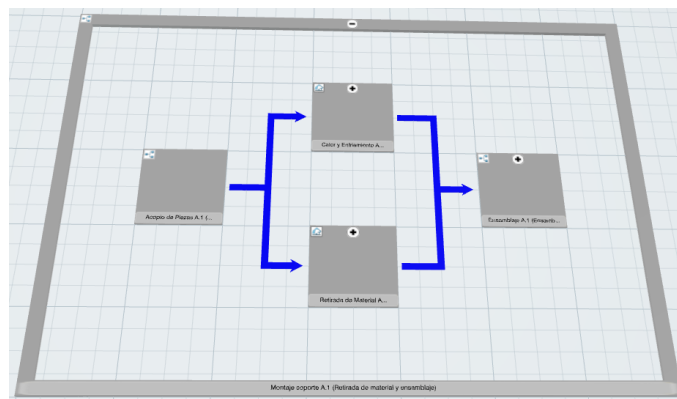


Figura 189. Distribución de sistemas para el montaje del Soporte de Bicicleta.

El sistema que conforma el acopio de material es el situado a la izquierda. En este sistema se asignará el Manufacturing Kit, la característica principal de este Manufactured Item es la de recopilar todas las piezas del soporte, aunque estas ya se hayan asignado a otros Manufactured Items, sin tener que duplicar el Product, ni el MBOM. De esta forma, se simplifica el diseño del proceso de fabricación para cualquier producto. Por tanto, se asignará el Manufacturing Kit y se cargará el tiempo que dura la operación.

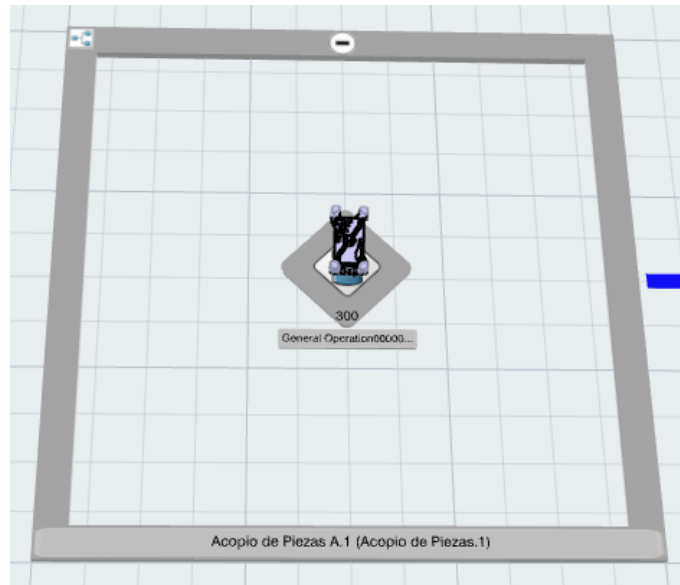


Figura 190. Sistema de montaje, acopio de material.

Para el caso de la retirada de material de material, se ha elegido un Transformation System, y se añadirán tantos Remove Material Operations como operaciones de retirada de material sean necesarias, también se añadirá el tiempo de cada una de las operaciones.

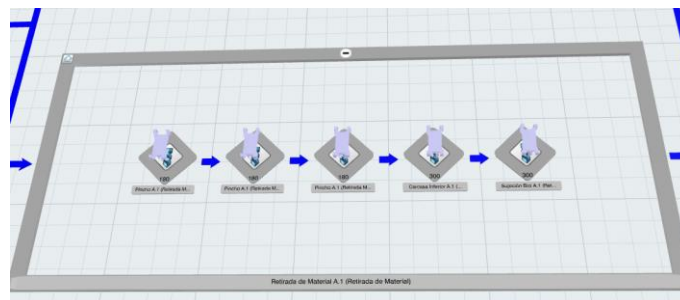


Figura 191. Operaciones de retirada de Material.

A continuación, se añadirán las operaciones de ensamblaje de las piezas con tornillos y tuercas y se añadirán los tiempos de ensamblaje, quedando como se muestra en la Figura 192.

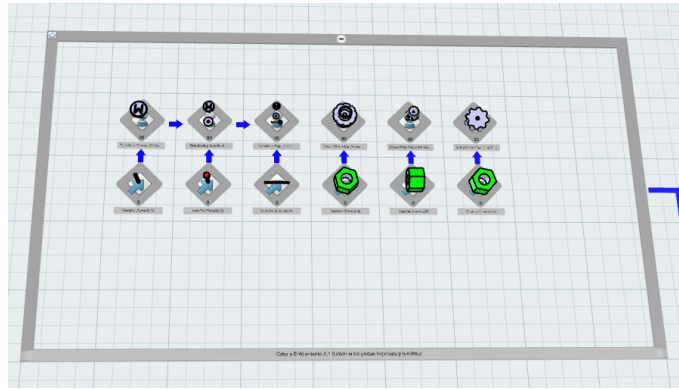


Figura 192. Operaciones de ensamblaje entre piezas y tuercas y tornillos.

Por último, se asignarán las operaciones de ensamblaje del soporte y se asignarán los tiempos, la distribución de las operaciones de montaje para el soporte quedará como sigue:

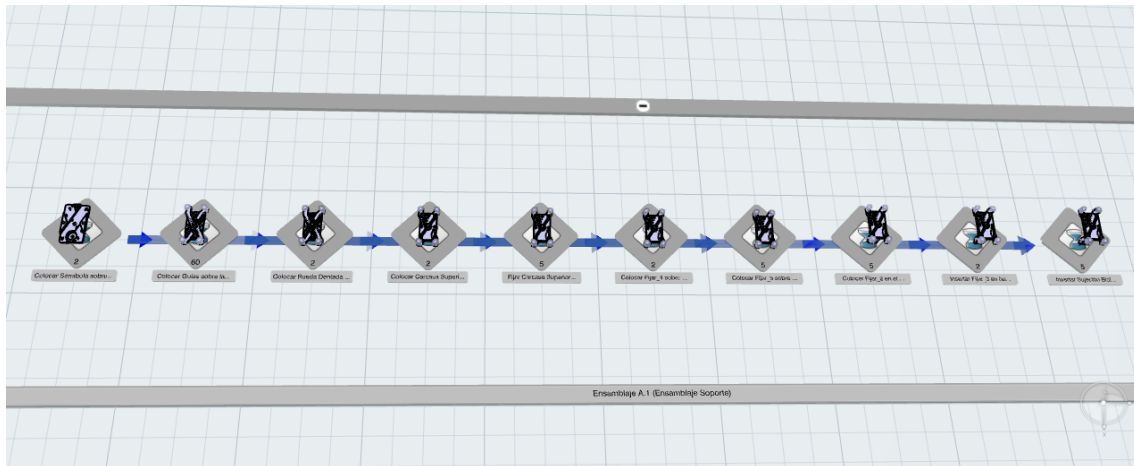


Figura 193. Redistribución del trabajo entre las impresoras.

La carga de trabajo de los sistemas que conforman el montaje del soporte de bicicleta se puede observar en la Figura 194.

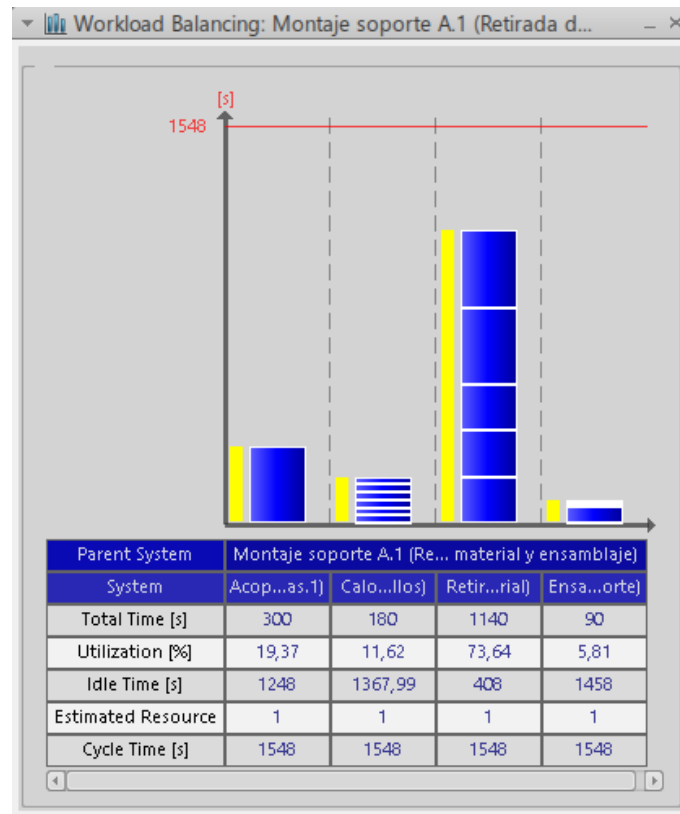


Figura 194. Carga de trabajo entre los sistemas de montaje del soporte.

Como puede observarse en la Figura 194, la carga de trabajo para el montaje no está equilibrada entre los distintos sistemas, siendo los sistemas de retirada de material y de acopio de material los que más tiempo requieren. Sin embargo, al haber un solo operario, no se pueden repartir las operaciones de montaje y así equilibrar los sistemas. No obstante, el cuello de botella para el proceso de fabricación es la impresión de las piezas, por lo que tampoco merecería la pena disminuir el tiempo de montaje si no se consiguen disminuir antes los tiempos de impresión.

La distribución de la carga de trabajo del proceso de fabricación para el Soporte de Bicicleta queda, por tanto, como sigue:

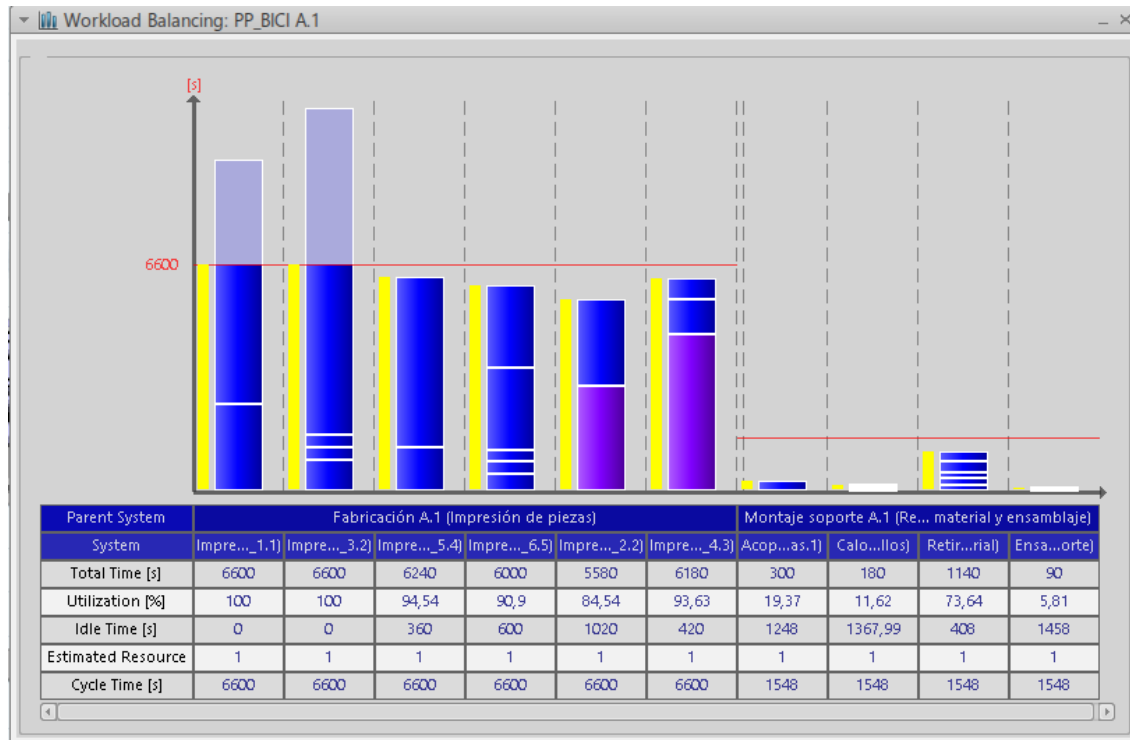


Figura 195. Distribución de la carga de trabajo en el proceso completo de fabricación.

Nótese, por último que, mientras que la estructura del Process Planning para el estudio básico del montaje era muy parecida a la estructura del MBOM, conforme se estudian sistemas más complejos, la estructura de ambos sistemas varía drásticamente.

4.4 Soporte para coche

4.4.1 Definición del MBOM

En este caso se utilizará el mismo tipo de Manufactured Items que en el caso anterior:

- **Manufactured Items**, para todas aquellas piezas que van a imprimirse con las impresoras 3D.
- **Provided Parts**, para las tuercas y los tornillos.
- **Dissassemble Steps**, para las operaciones de retirada de material.
- **Manufacturing Kit**, para la operación de acopio de material.
- **General Assembly**, para las operaciones de ensamblaje.

Una vez definidos los distintos Manufactured Items que va a contener el MBOM, se va a proceder al diseño del mismo, quedando una estructura como la que se observa en la Figura 196:

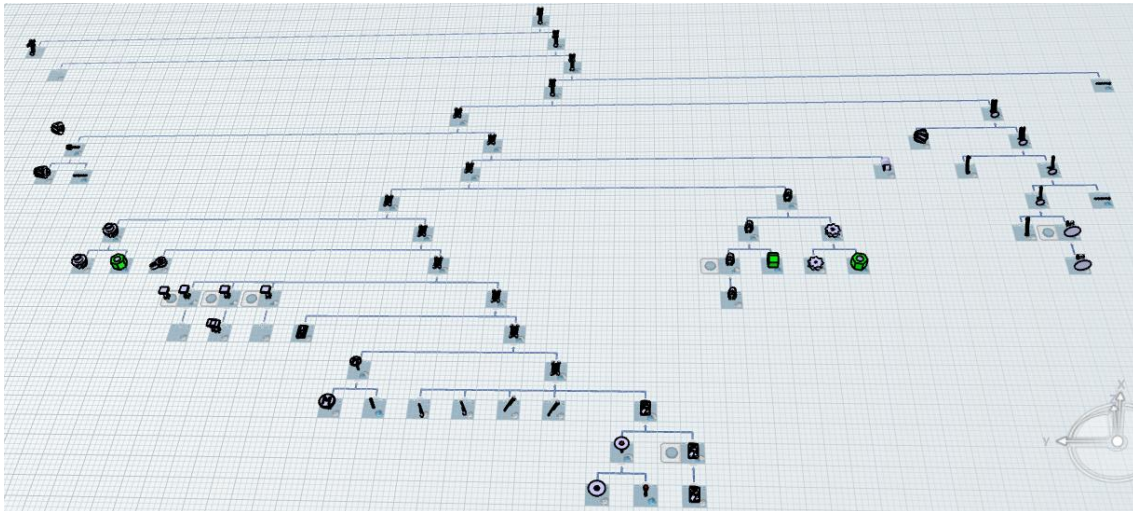


Figura 196. MBOM para el proceso de fabricación del Soporte del Coche.

Como en el caso anterior, algunas de las piezas aparecen desplazadas en los Dissassemble Steps y Provided Parts, esto se debe a una cierta incompatibilidad con la gráfica del ordenador.

Para verificar que todos los Manufactured Items se encuentran correctamente asignados, se utiliza la opción de Manufactured Item Completion Status de la herramienta B.I. Essentials:

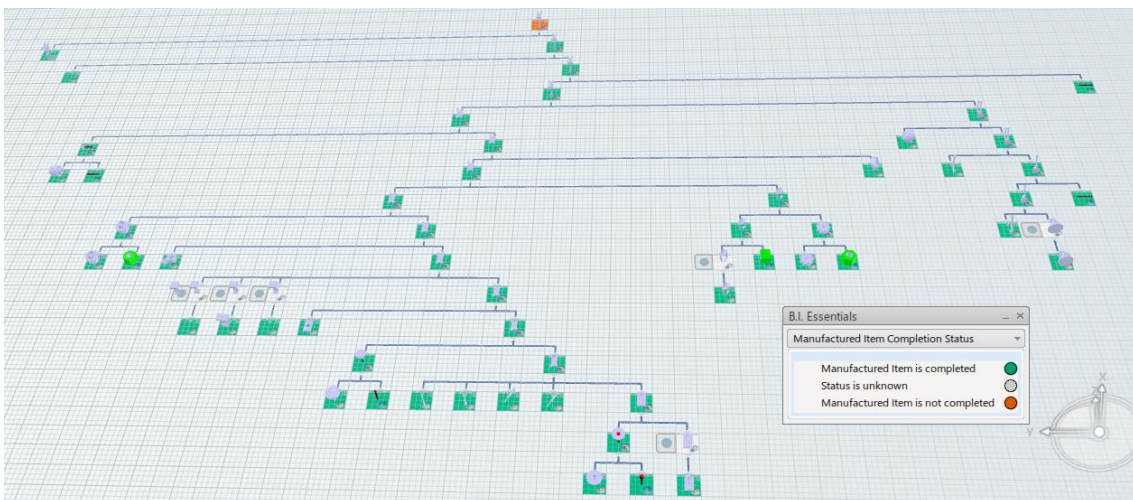


Figura 197. Manufactured Item Completion Status para el proceso de fabricación del Soporte de la Bicicleta.

A continuación, se procederá al análisis de los Manufactured Items que conforman el MBOM aunque, para evitar repetir las operaciones que ya se habían mostrado en el caso anterior, se van a mostrar únicamente aquellas que varían respecto al Soporte de la Bicicleta:

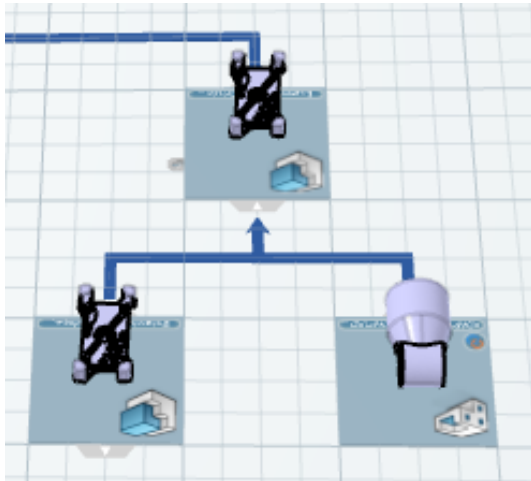


Figura 198. Insertar Adaptador en hueco central de Sujeción Bici.

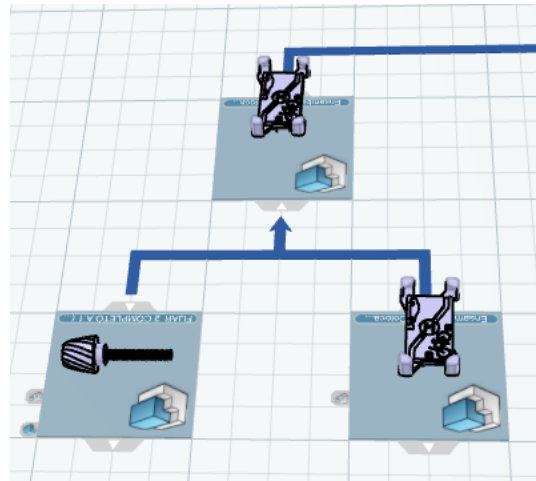


Figura 199. Colocar Fijar_2 en el hueco inferior de Sujeción Bici y apretar.

En la Figura 198, aparecen representados la fabricación del adaptador y su posterior ensamblaje en la Sujeción Bici.

Tras el ensamblaje de Fijar_2 con el tornillo, en la Figura 199, se aprecia la colocación de Fijar_2 en el hueco inferior de la Sujeción Bici y se procede al apriete.

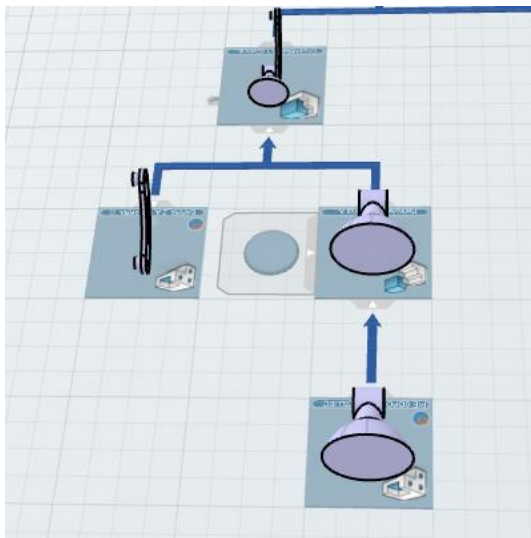


Figura 200. Colocar Sujeción Coche en hueco inferior de Barra_2.

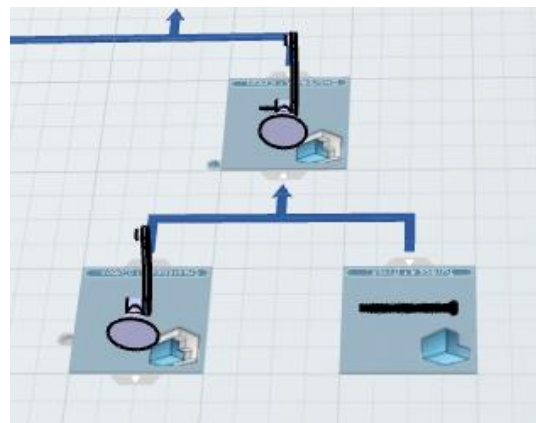


Figura 201. Insertar tornillo en hueco de Barra_2 y Sujeción Coche.

En la Figura 200, se representa la fabricación de la Sujeción Coche a la que, posteriormente, se le retira el material extra de soporte y, por último, se coloca sobre el hueco inferior de la Barra_2. También aparece representada la fabricación de la Barra_2.

La colocación del tornillo en el hueco de la Barra_2 y del Adaptador del coche aparece representada en la Figura 201.

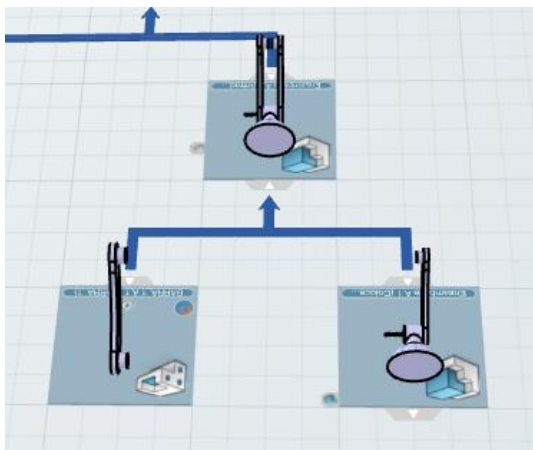


Figura 202. Insertar Barra_1 en Tornillo a través de su hueco inferior.

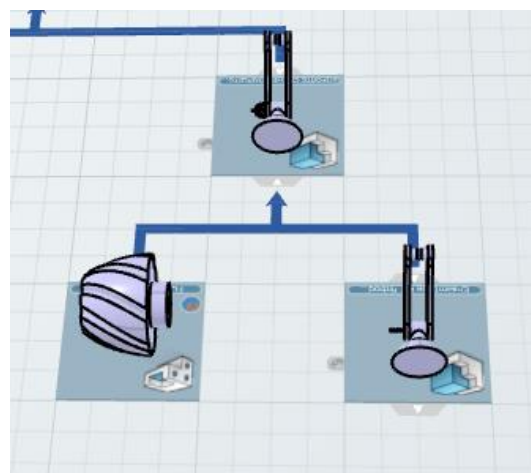


Figura 203. Insertar Fijar_1 en tornillo y apretar.

En la Figura 202, se observa la fabricación de la Barra_1, que se insertará a través de su hueco inferior en el tornillo.

En la Figura 203, aparece la fabricación de Fijar_1. A continuación, se insertará en el tornillo y se procederá al apriete.

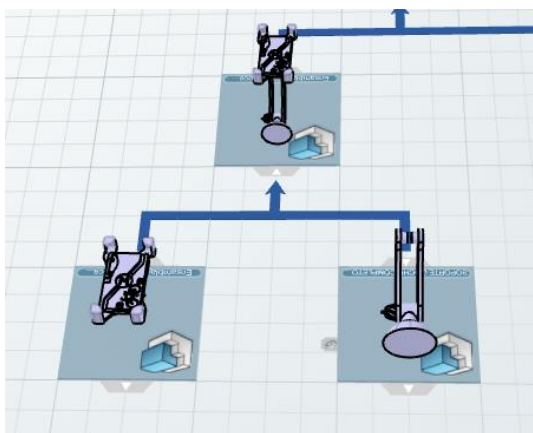


Figura 204. Insertar parte superior de Barras 1 y 2 en Adaptador.

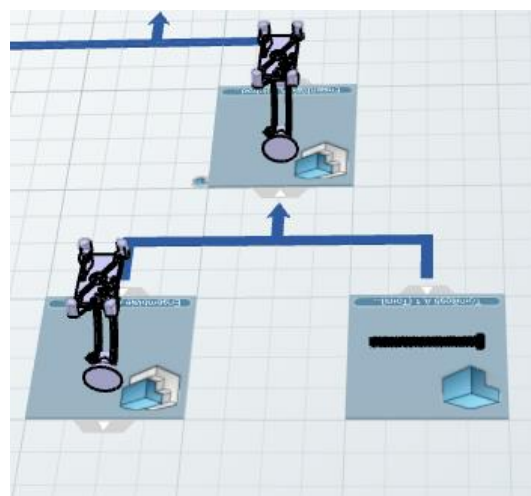


Figura 205. Insertar Tornillo en hueco de Barras y Adaptador.

En la Figura 204, se observa la colocación del soporte para el coche en el Adaptador a través del hueco superior de las Barras.

En la Figura 205, aparece la inserción del tornillo en el hueco superior de las barras y el hueco del adaptador.

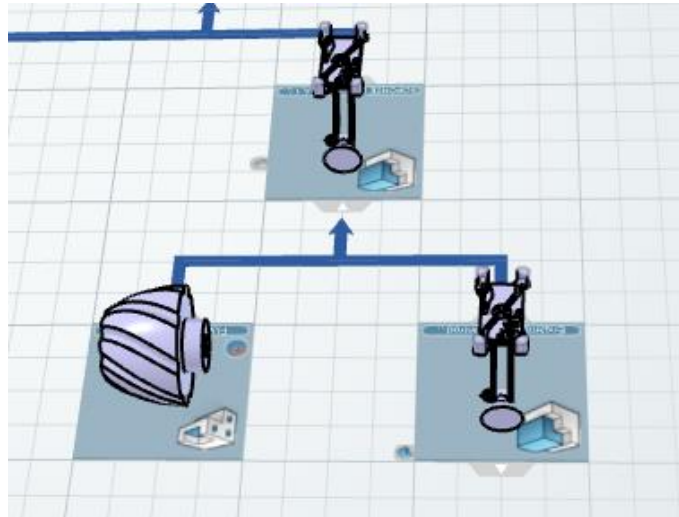


Figura 206. Insertar Fijar_1 en Tornillo y apretar.

Por último, en la Figura 206, aparece la fabricación de Fijar_1, su inserción en el tornillo y su apreté, de forma que el Soporte para el coche quede perfectamente fijado al Soporte de la Bicicleta.

4.4.2 Definición del plan del proceso

En el Process Planning se representará el Diagrama de fabricación que se elaboró en el Capítulo 4.1, creando un gran sistema para la impresión de piezas y otro gran sistema para el montaje.

El sistema de impresión contendrá a su vez un sistema por cada impresora, en este caso, como va a haber 7 impresoras, contendrá 7 sistemas.

El sistema de impresión se representará por un General System que contendrá 7 Transformation Systems. La distribución de estos sistemas se muestra en la Figura 207. Al asignar los Manufactured Items que definen la fabricación de las piezas y repartirlos entre las diferentes impresoras, tal y como se definió en el Capítulo 4.2, sin duplicar la operación de fabricación de la Carcasa Inferior, es decir, solo se asignará a una de las impresoras.

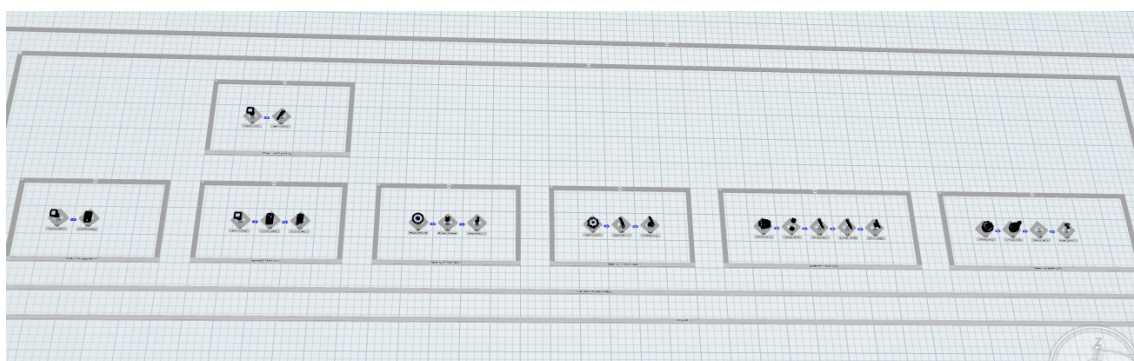


Figura 207. Distribución de Transformation Systems en el Process Planning del Soporte para Coche.

Se le ha asignado el tiempo de fabricación a cada una de las operaciones que contienen los sistemas de las impresoras y un tiempo de ciclo al General System de impresión. Este tiempo de ciclo es de 2 h 11 min. Si se comprueba la carga de trabajo para cada una de las impresoras en este punto, se obtiene el gráfico de la Figura 208.

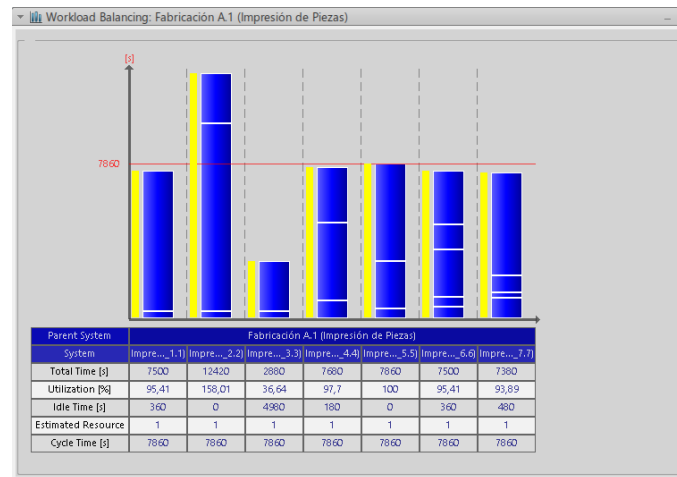


Figura 208. Carga de trabajo de las impresoras.

Como se puede observar, todas las Impresoras, a excepción de las Impresoras 2 y 3 se encuentran bastante equilibradas. Si se analiza el porcentaje de utilización de cada una de las impresoras mediante la herramienta B.I. Essentials, con su opción de Systems Utilization, se obtiene que:

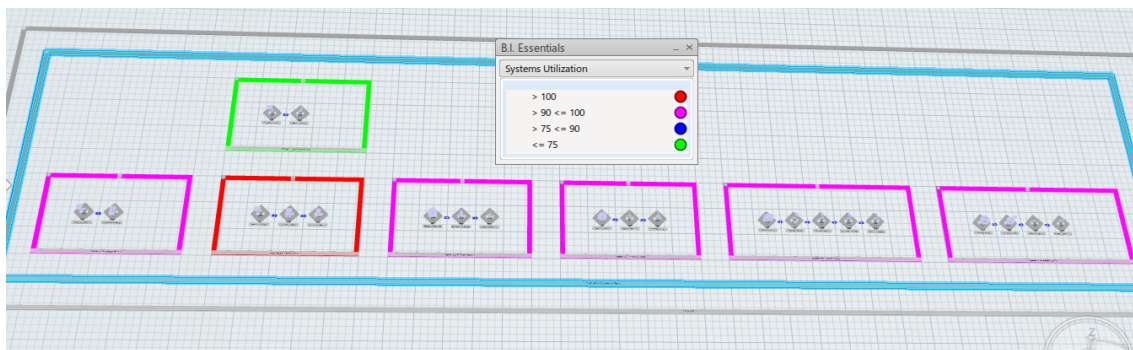


Figura 209. Porcentaje de utilización de cada una de las impresoras.

La utilización de todas las Impresoras, a excepción de la Impresora 2 y la Impresora 3, se encuentran entre el 90 y el 100 % de su capacidad. Por otro lado, la Impresora 2 tiene un tiempo de impresión mayor al tiempo máximo de fabricación calculado, mientras que en la Impresora 3 el tiempo de impresión se encuentra por debajo del 75 % del tiempo máximo de impresión calculado. Por tanto, se va a proceder a compartir la carga de la Impresora 2 con la Impresora 3. Quedando la distribución de la carga de trabajo como sigue:

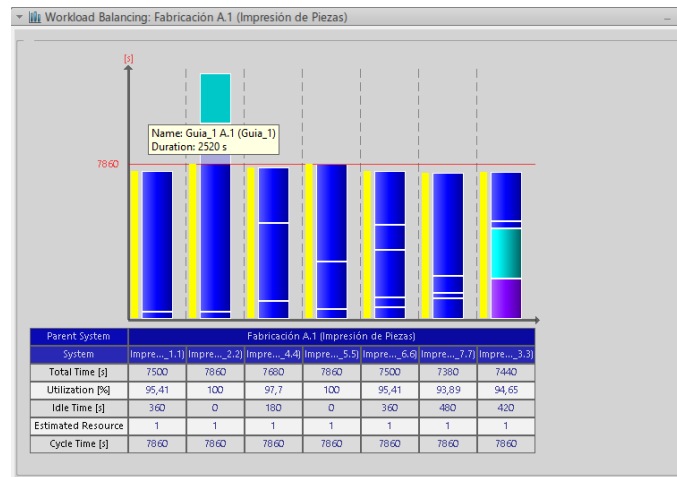


Figura 210. Redistribución del trabajo entre las impresoras.

Como se puede apreciar en la Figura 210, la redistribución automática ha pasado la impresión correspondiente a la Guía_1 a la Impresora 3. Como lo que interesa es que la carga de trabajo correspondiente a la impresión de la Carcasa Inferior sea la que pase a la Impresora 3, se va a reordenar el gráfico de carga de trabajo.

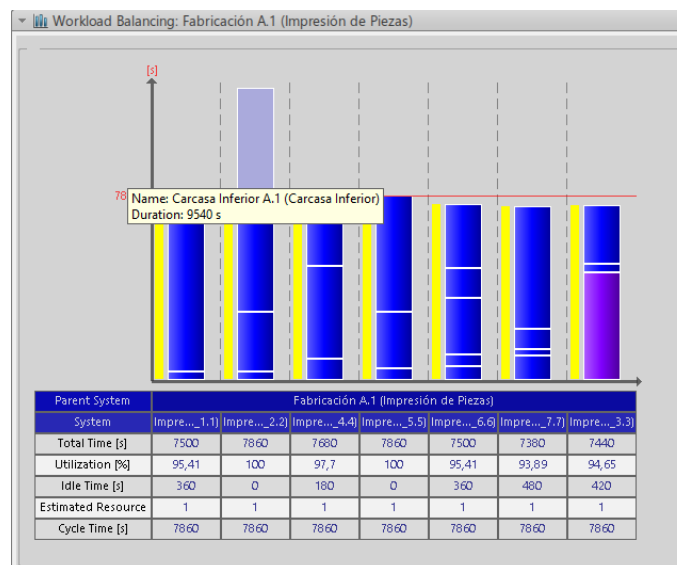


Figura 211. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.

Ahora la carga de trabajo entre impresoras está más equilibrada y se cumple el tiempo de ciclo. Esta es una representación del proceso de fabricación que equivaldría a la duplicación de fases, sin necesidad de redundar las operaciones en el Process Planning, ni los Manufactured Items en el MBOM.

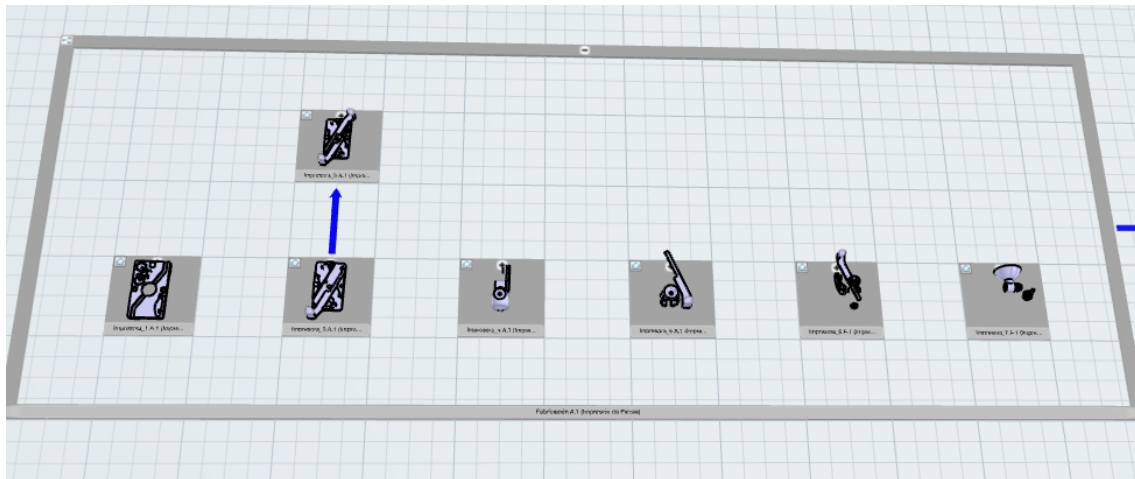


Figura 212. Modificación a la redistribución automática del trabajo entre las impresoras.

Tras el análisis del proceso de impresión de las piezas, se va a proceder a analizar el proceso de montaje.

El sistema de montaje se representará por un General System que contendrá 2 Transformation Systems y 2 General Systems, al igual que en el caso del Soporte para Bicicleta. La distribución de estos sistemas se muestra en la Figura 213.

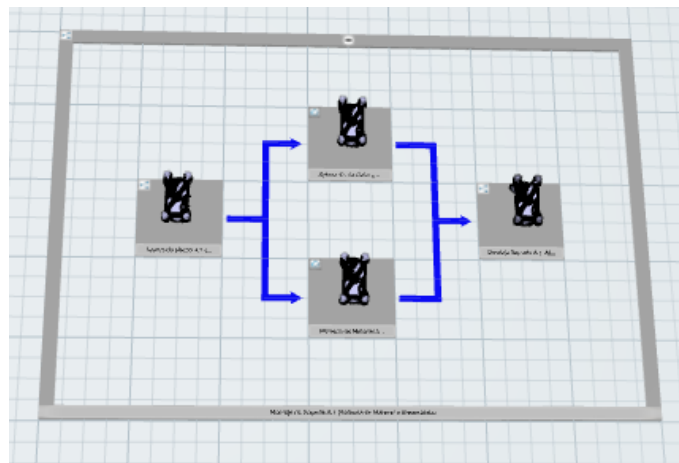


Figura 213. Distribución de sistemas para el montaje del Soporte de Bicicleta.

El sistema que conforma el acopio de material es el situado a la izquierda. En este sistema se asignará el Manufacturing Kit. Por tanto, se asignará el Manufacturing Kit y se cargará el tiempo que dura la operación.

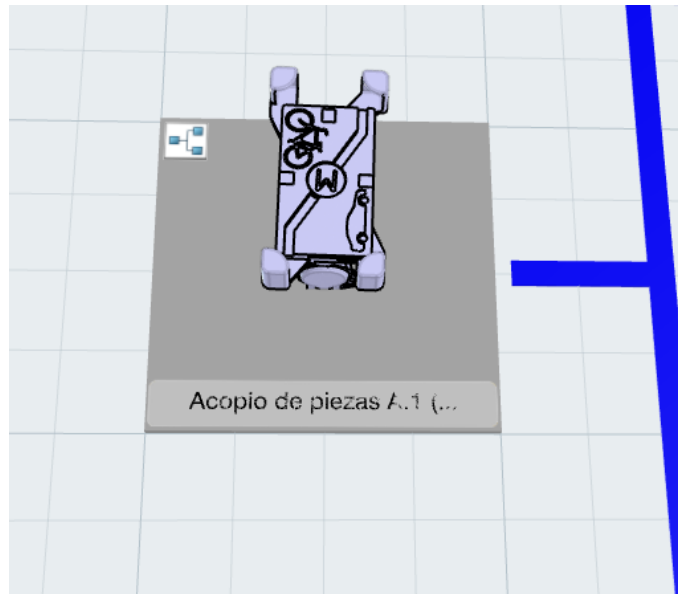


Figura 214. Sistema de montaje, acopio de material.

Para el caso de la retirada de material de material, se ha elegido un Transformation System, y se añadirán tantos Remove Material Operations como operaciones de retirada de material sean necesarias, también se añadirá el tiempo de cada una de las operaciones.

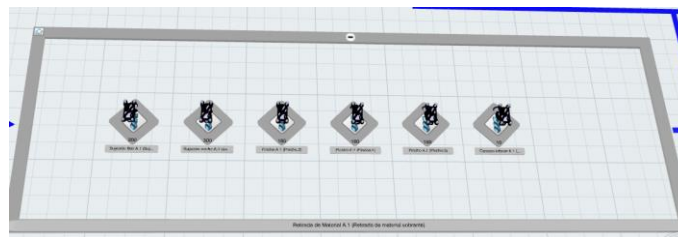


Figura 215. Operaciones de retirada de Material.

A continuación, se añadirán las operaciones de ensamblaje de las piezas con tornillos y tuercas y se añadirán los tiempos de ensamblaje, quedando como se muestra en la Figura 216.



Figura 216. Operaciones de ensamblaje entre piezas y tuercas y tornillos.

Por último, se asignarán las operaciones de ensamblaje del soporte y se asignarán los tiempos, la distribución de las operaciones de montaje para el soporte quedará como sigue:

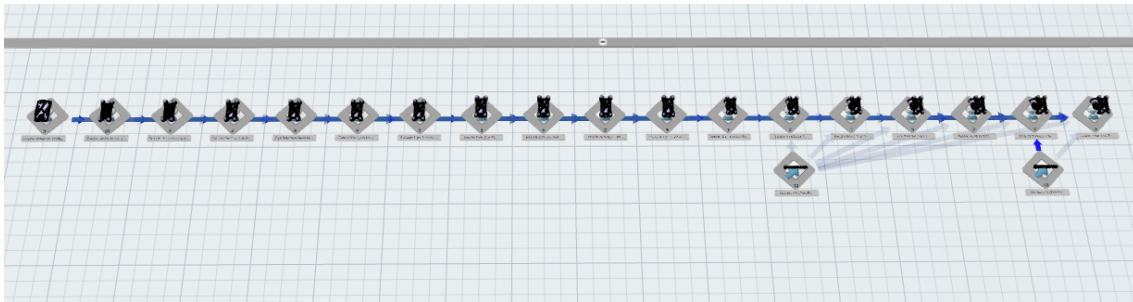


Figura 217. Redistribución del trabajo entre las impresoras.

La carga de trabajo de los sistemas que conforman el montaje del soporte de bicicleta se puede observar en la Figura 218.

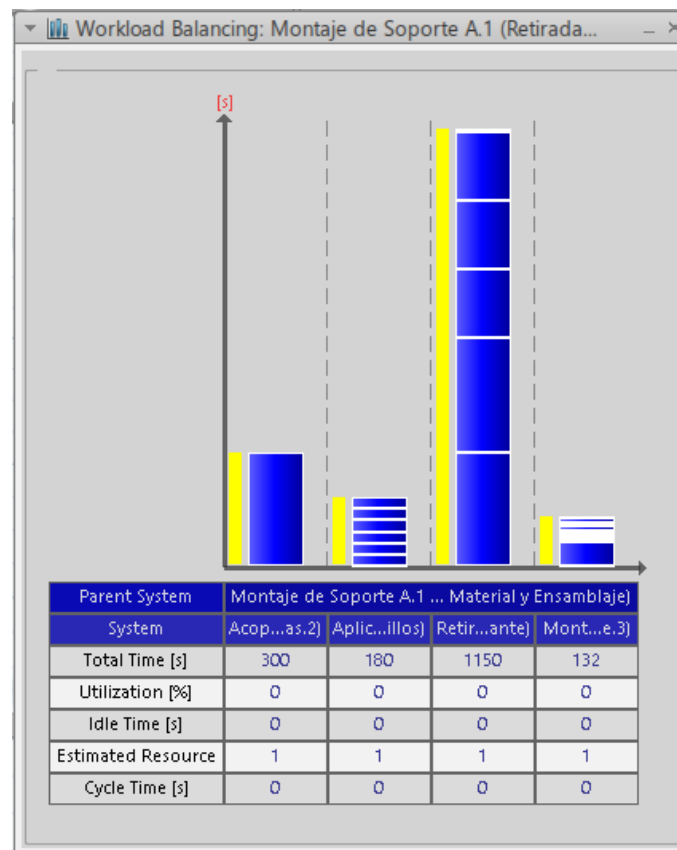


Figura 218. Carga de trabajo entre los sistemas de montaje del soporte.

Como puede observarse en la Figura 218, la carga de trabajo para el montaje no está equilibrada entre los distintos sistemas, siendo los sistemas de retirada de material y de acopio de material los que más tiempo requieren. Sin embargo, al haber un solo operario, no se pueden repartir las operaciones de montaje y así equilibrar los sistemas. No obstante, el cuello de botella para el proceso de fabricación es la impresión de las

piezas, por lo que tampoco merecería la pena disminuir el tiempo de montaje si no se consiguen disminuir antes los tiempos de impresión.

La distribución de la carga de trabajo del proceso de fabricación para el Soporte de Bicicleta queda, por tanto, como sigue:

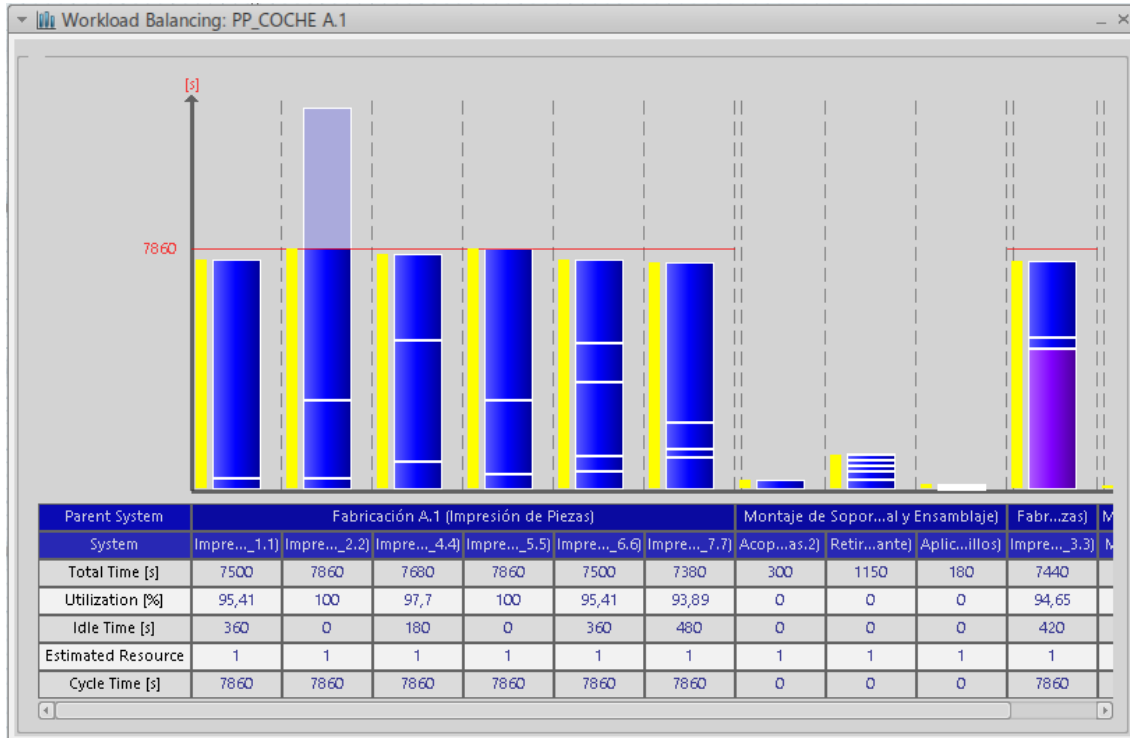


Figura 219. Distribución de la carga de trabajo en el proceso completo de fabricación.

4.5 Propuesta de mejora

Tras el estudio de este caso, se ha observado que el cuello de botella para este proceso es el tiempo de impresión de las piezas. Por tanto, una de las posibles mejoras a este proceso sería cambiar el tipo de impresora por una de sinterizado de polvo, como la 3D HP Jet Fusion. Esta impresora tiene una velocidad de impresión de 4500 cm³/h y un cubo de impresión de dimensiones 406 x 305 x 406 mm.

Se han calculado los tiempos de impresión que se conseguirían mediante el empleo de una impresora de estas características:

Tabla 18. Tiempos de impresión con impresora 3D de polvo.

Denominación	Nº de piezas	Volumen [cm ³]	Tiempo de impresión [s]
Carcasa Superior	1	26,58	20,8
Carcasa Inferior	1	23,79	21,6
Pincho	3	0,27	0,9
Pieza Dentada	1	2,45	2
Guía_1	2	5,83	9,14
Guía_2	2	5,66	9
Semibola	1	2,19	1,8
Sujeción Bici	1	9,87	7,9
Adaptador	1	30,40	24,3
Barra_1	1	11,17	9
Barra_2	1	11,45	9,2
Sujeción Coche	1	47,91	38,4
Fijar_1	2	2,12	3,4
Fijar_2	1	1,21	1
Fijar_3	1	1,19	1
Fijar_4	1	0,74	0,6
Fijar_5	1	2,64	2,2
Total:			2,8 min

Como se puede observar, los tiempos de fabricación se reducirían drásticamente. Además, las dimensiones de la mesa de impresión permitirían imprimir 3 soportes a la vez en el plano horizontal y, por la altura del cubo, sería posible imprimir, a su vez, varias capas en una misma tirada, por lo que la producción se multiplicaría.

No obstante, el objetivo de este trabajo era analizar las posibilidades del módulo de DELMIA en la plataforma 3DExperience aplicándolo a un modelo teórico, por lo que la simulación de este caso escaparía al alcance de este proyecto. A pesar de esto, sería una mejora considerable del proceso, que convendría tener en cuenta.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Conclusiones

5.1.1 Sobre la plataforma 3DExperience

Desde el punto de vista tecnológico, se puede considerar que, con esta plataforma, Dassault Systèmes ha dado un salto cualitativo hacia el futuro, ya que, si observamos la tendencia, hoy en día la tecnología se encuentra cada vez más orientada hacia la apertura y la filosofía de compartir. Por tanto, en este sentido, a pesar de que la plataforma esté orientada exclusivamente a los usuarios de licencias de 3DExperience, se ha dado un gran paso en este sentido al permitir a los usuarios, no solo realizar su trabajo, sino colaborar y compartir conocimientos y experiencias aprendidas mientras lo realiza.

La posibilidad de desarrollar un proyecto que escape a los conocimientos o a los recursos de los usuarios se multiplica ya que, al ser una plataforma global, puedes encontrar expertos en cualquier parte del mundo con los que asociarse y completar, o incluso fabricar, proyectos o productos que se ajusten a las necesidades del usuario.

Esto también funciona para las grandes empresas, este tipo de plataforma aplicada a grandes empresas multinacionales, facilita el desarrollo de los proyectos de forma colaborativa en tiempo real, evitando los inconvenientes que suponen que haya varias personas a la vez trabajando sobre un modelo y a grandes distancias.

Por otro lado, la gran limitación deriva de que se trata de un entorno cerrado, al que solo tienen acceso los usuarios que hayan adquirido licencias previamente. No obstante, el número de licencias de las aplicaciones de Dassault Systèmes es suficientemente amplio como para tener una variedad suficiente de recursos.

Otra de las grandes limitaciones de esta plataforma es que presenta una serie de variaciones en la utilización normal de los programas a las que los usuarios no están del todo dispuestos a adaptarse. Teniendo en cuenta que la mayoría de usuarios han desarrollado una forma de trabajar totalmente adaptada a los sistemas antiguos, la idea de invertir tiempo y dinero en acostumbrarse a una nueva forma de trabajar y, al mismo tiempo seguir obteniendo resultados, no les es del todo atractiva. A pesar de esto, al final los usuarios tendrán que hacer el esfuerzo y adaptarse a esta nueva forma de trabajo, ya que la empresa está volcando toda su estrategia en el desarrollo de la plataforma.

Por último, otra de las limitaciones que he encontrado al utilizar la plataforma ha sido que, al estar un tiempo prolongado utilizando la aplicación sin actualizar la página, se pierde la conexión con el servidor y el programa empieza a tener comportamientos extraños. Cuando te percatas de éste comportamiento, simplemente hay que volver a iniciar sesión en la plataforma.

5.1.2 Sobre el plan de montaje del soporte

Tras la realización del proyecto, se ha concluido que los módulos de Assembly Evaluation, Manufactured Item y Process Planning, reúnen unas características únicas que, combinadas entre sí, facilitan enormemente el análisis del proceso de ensamblaje del producto.

Las herramientas de explosionado y simulación de la aplicación Assembly Evaluation han sido, sobre todo, de gran utilidad a la hora de identificar todas las piezas que conformaban el soporte y encontrar las incompatibilidades entre el ensamblaje propuesto y el diseño del producto.

Por otro lado, se ha observado, que para conseguir un buen explosionado del producto, éste debe encontrarse perfectamente acotado y restringido, lo cual es un problema, porque el diseño no suele estar perfecto a la primera y el diseñador y el planificador de procesos no suelen ser la misma persona.

Otra de las limitaciones encontradas en la aplicación Assembly Evaluation, fue que, si el usuario no recuerda restaurar el diseño a origen al finalizar con las simulaciones, se pierden la mayoría de los links en el MBOM y Process Planning, así como algunos Manufactured Items e, incluso, operaciones. Por lo que prácticamente hay que rehacer el MBOM y Process Planning de nuevo.

Por último, a la hora de realizar correcciones en el proceso de ensamblaje, se ha observado que la aplicación Manufactured Item acepta los cambios de una manera natural y sencilla, mientras que la aplicación de Process Planning, pierde numerosos links con el MBOM, por lo que, cada vez que se hace un cambio, es necesario volver a asignar los Manufactured Items.

5.1.3 Sobre el plan completo de fabricación y montaje

Tras la realización del diseño del proceso de fabricación, se ha demostrado la utilidad de algunos de los tipos de Manufactured Assemblies y de sistemas que aparecen en las aplicaciones de Manufactured Item Definition y Process Planning, respectivamente.

También se ha observado la sencillez con la que pueden comprobarse y modificarse la carga de trabajo entre los distintos sistemas, así como la herramienta de comprobación de la utilización de los distintos sistemas.

Por último, destacar una limitación que se ha encontrado al software en el desarrollo de este apartado. Como el tiempo de fabricación y el tiempo de trabajo del operario son distintos, hubiera sido interesante representar la carga de trabajo de forma repetitiva hasta completar un día completo de trabajo, de tal forma que pudiera comprobarse que, finalmente, la carga de trabajo entre el sistema de fabricación y montaje quedan equilibrados.

5.2 Desarrollos futuros

Para terminar con el desarrollo de este estudio, convendría destacar algunos de los posibles proyectos que podrían derivar de este trabajo:

- En primer lugar, uno de los proyectos que podría derivar del presente documento, sería la continuación del diseño del proceso de fabricación, asignando recursos, desarrollando el layout, para proceder al análisis y la evaluación del comportamiento de la línea de montaje.
- También podría modificarse el diseño del soporte, de tal manera que los elementos de fijación se introdujeran como Fasteners, para comprobar las mejoras que esto introduciría en el diseño del proyecto, así como utilizar el módulo de evaluación de uniones para comprobar la resistencia de las mismas.
- Sobre la planta ya diseñada, podrían estudiarse posibles mejoras al proceso productivo, implementarse los cambios y observar el comportamiento de las mejoras introducidas.

- Por último, podría desarrollarse el proceso de fabricación para la mejora del proceso propuesta, cambiando las impresoras por deposición fundida por una impresora de sinterización de polvo como la de HP, repartiendo las operaciones de montaje entre distintos operarios y calculando el número óptimo de operarios que serían necesarios para que la producción y el montaje sean máximos.

REFERENCIAS

- [1] Dassault Systèmes, «Nuestra Visión,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/acerca-de-3ds/nuestra-vision/>. [Último acceso: 08 11 2017].
- [2] Dassault Systèmes, «Historia,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/acerca-de-3ds/historia/2007-2014/>. [Último acceso: 08 11 2017].
- [3] Grupo Solitium, «Solución de impresión 3D HP Jet Fusion,» 2017.
- [4] M. García, Diseño e impresión 3D por deposición de fundido de un soporte ajustable para Smartphone, Sevilla, 2017.
- [5] A. Gómez, Fabricación de un elemento aeronáutico, Madrid, 2017.
- [6] J. A. Guillén, Aplicación de la Metodología Digital Factory a la definición de procesos de montaje aeronáutico, Sevilla, 2010.
- [7] V. M. Olmos, Maqueta Digital de Fabricación para la simulación de procesos de industrialización, Madrid, 2013.
- [8] A. Pulido, Definición y simulación de procesos de montaje aeronáuticos como parte de la maqueta digital industrial en un entorno PLM Colaborativo, Sevilla, 2015.
- [9] E. Bernéus, Simulation with 3DEXPERIENCE, Gothenburg, 2016.
- [10] J. Pérez, Diseño e implementación en una herramienta PLM de un prototipo de proyecto aeronáutico, Sevilla, 2016.
- [11] Dassault Systèmes, «3DEXperience para Industrias,» Dassault Systèmes, 2013. [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/industrias/>. [Último acceso: 08 11 2017].
- [12] A. Patel, «Importance of Manufacturing Bill of Materials (MBOM),» Engineering Exchange, 28 04 2015. [En línea]. Available: <http://www.engineeringexchange.com/profiles/blogs/importance-of-manufacturing-bill-of-materials-mbom>. [Último acceso: 25 11 2017].

