



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño y Simulación Computacional a Escala Real de
Vehículos Industriales basados en los Modelos LTm
42097-1 y LTm 42128-1

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: González Sánchez, Álvaro

Tutor/a: Oliver Herrero, José Luís

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño y Simulación Computacional a Escala Real de Vehículos Industriales
basados en los Modelos LTm 42097-1 y LTm 42128-1

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR: González Sánchez, Álvaro

Tutor: Oliver Herrero, José Luís

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

ÍNDICE

1. RESUMEN Y OBJETIVO DEL PROYECTO	9
2. INTRODUCCIÓN	10
2.1. HISTORIA Y ORÍGENES DE LEGO TECHNIC©	10
2.2. MODELO TECHNIC VIRTUAL	11
2.3. COMPONENTES LEGO© TECHNIC	12
2.4. COMPARACIÓN MÁQUINAS REALES Y MODELOS LEGO© TECHNIC.....	12
2.5. ISOGAWA YOSHIHITO Y SUS MODELOS	13
3. ENSAMBLAJE	14
3.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	14
3.2. CONCEPTOS PREVIOS	14
3.3. NOMENCLATURA	16
3.4. PROCEDIMIENTO	17
3.5. MODELOS ENSAMBLADOS GUIADOS	28
4. COMPACTACIÓN.....	32
5. CREACIÓN MODELO CINEMÁTICO AUTO-ALINEADO	33
5.1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS	33
5.2. CONCEPTOS PREVIOS	33
5.3. TIPOS DE MECANISMOS SEGÚN LA MOVILIDAD	38
5.4. IMPORTANCIA MECANISMOS AUTO-ALINEADOS.....	38
5.5. AUTO ALINEACIÓN DE LOS MODELOS Y SIMULACIÓN.....	39
6. MODELOS LIBRES	55
6.1. MODELO LEGO© TECHNIC 42062-1	55
6.2. MODELO LEGO© TECHNIC 42039-1	58
6.3. MODELO LEGO© TECHNIC 42097-1.....	60
6.4. MODELO LEGO© TECHNIC 42128-1	62
7. CONCLUSIONES.....	65
8. BIBLIOGRAFÍA.....	66
1. INTRODUCCIÓN	67
1.2. Hardware.....	68
1.3. Modelado virtual	69
2. RESUMEN.....	70
1. ANEXO. Modelo Lego Technic 8862-1	71
2. ANEXO. Modelo Lego Technic 42062-1	82
3. ANEXO. Modelo Lego Technic 42039-1	92

4. ANEXO. Modelo Lego Technic 8047-1	101
5. ANEXO. Modelo Lego Technic 8294-1	107
6. ANEXO. Modelo Lego Technic 42097-1	112
7. ANEXO. Modelo Lego Technic 42128-1	126

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Figura 1 Ejemplo Lego Technic© (Fuente: Google imágenes).....	10
Figura 2 Modelo 8862 Virtual	11
Figura 3 Ejemplo componentes virtuales	12
Figura 4 Ejemplo motor Lego Technic (Fuente: Google imágenes).....	12
Figura 5 Equivalencia con mecanismo real (Fuente: Google imágenes)	12
Figura 6 Isogawa Yoshihito (Fuente: Google imágenes).....	13
Figura 7 Libro del autor Isogawa Yoshihito (Fuente: Google imágenes).....	13
Figura 8 Componentes modelo vLTm_ev3-0069_2023.....	14
Figura 9 Trozo 1 del modelo	15
Figura 10 Trozo 2 del modelo	15
Figura 11 Piezas 1,2,3 y 4 del modelo.....	15
Figura 12 Modelo final.....	16
Figura 13 Lista de componentes ejemplo	17
Figura 14 Relaciones de posición estándar SolidWorks 2007.....	18
Figura 15 Relación de posición coincidente.....	19
Figura 16 Relación de posición paralela.....	19
Figura 17 Relación de posición perpendicular	19
Figura 18 Relación de posición concéntrica.....	20
Figura 19 Relación de posición tangente.....	20
Figura 20 Relación de posición de distancia	20
Figura 21 Relación de posición ángulo	21
Figura 22 Relaciones de posición avanzadas SolidWorks 2007	21
Figura 23 Relación de posición de engranaje	22
Figura 24 Relación de posición de cremallera.....	22
Figura 25 Ejemplo de uso de geometría de referencia	23
Figura 26 Creación puntos y croquis 3D.....	24
Figura 27 Creación componente flexible.....	24
Figura 28 Opción de barrido.....	25
Figura 29 Plano medio de rueda dentada.....	25
Figura 30 Croquis simulando la forma de la cadena	26
Figura 31 Geometría de referencia eslabón.....	26
Figura 32 Coincidencia del punto del eslabón con trayectoria.....	27
Figura 33 Función matriz de cadena.....	27
Figura 34 Cadena, resultado final.....	27
Figura 35 Modelos 002 y 008 de Isogawa.....	28
Figura 36 Modelos 009 y 013 de Isogawa.....	28
Figura 37 Modelos 026 y 037 de Isogawa.....	29
Figura 38 Modelos 040 y 051 de Isogawa.....	29
Figura 39 Modelos 059 y 062 de Isogawa.....	29
Figura 40 Modelos 093 y 098 de Isogawa.....	30
Figura 41 Modelos 102 y 107 de Isogawa.....	30
Figura 42 Modelos ev3 0024 y 0050 Isogawa.....	30
Figura 43 Modelos ev3 0053 y 0069 Isogawa.....	31
Figura 44 Modelo ev3 0134 Isogawa	31
Figura 45 Modelo Lego Technic 8862-1	31

Figura 46 Modelo Lego Technic 8047-1	32
Figura 47 Tipos de pares cinemáticos (Fuente: L. Reshetov, Self-aligning mechanisms, Mir (1982))	33
Figura 48 Par fijo CosmosMotion y Recurdyn.....	34
Figura 49 Par giratorio CosmosMotion y Recurdyn	34
Figura 50 Par giratorio CosmosMotion y Recurdyn	34
Figura 51 Par cilíndrico CosmosMotion y Recurdyn.....	35
Figura 52 Par esférico CosmosMotion y Recurdyn.....	35
Figura 53 Par In line CosmosMotion y Recurdyn.....	35
Figura 54 Par In plane CosmosMotion y Recurdyn	36
Figura 55 Diagrama cinemático 2D.....	37
Figura 56 Diagrama cinemático 3D.....	37
Figura 57 Entorno de Cosmos Motion	39
Figura 58 Creación de Joints en Cosmos Motion.....	40
Figura 59 Definición del Joint	40
Figura 60 Ejemplo cálculo de movilidad.....	41
Figura 61 Ejemplo de acoplamiento.....	42
Figura 62 Tipo de movimiento a definir.....	43
Figura 63 Tipo de función constant.....	43
Figura 64 Tipo de función Step	43
Figura 65 Tipo de función Expression	44
Figura 66 Modelo motion auto alineado.....	44
Figura 67 Extrusión para ruedas.....	45
Figura 68 Modelo Lego Technic 8816-1	46
Figura 69 Modelo Lego Technic 8459-2.....	46
Figura 70 Modelo Lego Technic 8862-1 para simulación.....	47
Figura 71 Pestaña Professional Recurdyn	48
Figura 72 Ejemplo de acoplamiento Recurdyn	48
Figura 73 Opciones de análisis	49
Figura 74 Análisis de mecanismo.....	49
Figura 75 Pestaña simulación Recurdyn	50
Figura 76 Definir movimiento en Joints.....	50
Figura 77 Opciones de movimiento Recurdyn	51
Figura 78 Expresión para definir movimientos Recurdyn.....	51
Figura 79 Toolkit de cadenas Recurdyn	51
Figura 80 Pestaña Track(LM)	52
Figura 81 Markers Catalinas	52
Figura 82 Creación de catalinas	52
Figura 83 Creación de cadenas.....	53
Figura 84 Relación de contacto entre cadenas y base.....	54
Figura 85 Modelo semi guiado Lego Technic 8047-1.....	54
Figura 86 Modelo semi guiado Lego Technic 8294-1.....	55
Figura 87 Modelo Lego Technic 42062-1 (fuente lego.com).....	56
Figura 88 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1.....	56
Figura 89 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1 mcv.....	57
Figura 90 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1 motion-base.....	57
Figura 91 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1 simulación.....	58
Figura 92 Modelo Lego Technic 42039-1 (fuente lego.com).....	58
Figura 93 Modelo Virtual Lego Technic 42039-1.....	59
Figura 94 Modelo Virtual Lego Technic 42039-1 mcv.....	59
Figura 95 Modelo Virtual Lego Technic 42039-1 motion-base.....	60
Figura 96 Modelo Lego Technic 42097-1 (fuente lego.com).....	60
Figura 97 Modelo Virtual Lego Technic 42097-1.....	61
Figura 98 Modelo Virtual Lego Technic 42097-1 mcv.....	61

Figura 99 Modelo Virtual Lego Technic 42097-1 motion-base.....	62
Figura 100 Modelo Lego Technic 42128-1 (fuente lego.com).....	62
Figura 101 Modelo Virtual Lego Technic 42128-1.....	63
Figura 102 Modelo Virtual Lego Technic 42128-1 mcv.....	63
Figura 103 Modelo Virtual Lego Technic 42128-1 motion-base.....	64
Figura 104 Modelo 8862-1 mecanismo 2D dirección de giro.....	71
Figura 105 Diagrama cinemático mecanismo 2D dirección de giro.....	71
Figura 106 Cálculo de movilidad 2D mecanismo dirección de giro.....	72
Figura 107 Modelo 8862-1 mecanismo 2D pala retroexcavadora.....	72
Figura 108 Diagrama cinemático mecanismo 2D pala retroexcavadora.....	72
Figura 109 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora I.....	73
Figura 110 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora II.....	73
Figura 111 Modelo 8862-1 mecanismo 2D pala retroexcavadora trasera.....	73
Figura 112 Diagrama cinemático mecanismo 2D pala retroexcavadora trasera.....	74
Figura 113 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora trasera I.....	74
Figura 114 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora trasera II.....	74
Figura 115 Diagrama cinemático 3D mecanismo dirección de giro.....	75
Figura 116 Cálculo de movilidad 3D mecanismo dirección de giro.....	75
Figura 117 Diagrama cinemático 3D mecanismo patas sujeción.....	76
Figura 118 Cálculo de movilidad 3D mecanismo patas sujeción.....	76
Figura 119 Diagrama cinemático 3D mecanismo pala retroexcavadora.....	77
Figura 120 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora I.....	77
Figura 121 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora II.....	78
Figura 122 Diagrama cinemático 3D mecanismo pala retroexcavadora trasera.....	78
Figura 123 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora trasera I.....	79
Figura 124 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora trasera II.....	79
Figura 125 Modelo 8862-1 simulación I.....	80
Figura 126 Modelo 8862-1 simulación II.....	81
Figura 127 Modelo 42062-1 mecanismo 2D dirección de giro.....	82
Figura 128 Diagrama cinemático mecanismo 2D dirección de giro.....	82
Figura 129 Cálculo de movilidad 2D mecanismo dirección de giro.....	82
Figura 130 Modelo 42062-1 mecanismo 2D elevación pinza.....	83
Figura 131 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación pinza.....	83
Figura 132 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación pinza.....	83
Figura 133 Modelo 42062-1 mecanismo 2D pinza.....	84
Figura 134 Diagrama cinemático mecanismo 2D pinza.....	84
Figura 135 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pinza.....	84
Figura 136 Modelo 42062-1 mecanismo 2D elevación grúa.....	85
Figura 137 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación grúa.....	85
Figura 138 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación grúa.....	85
Figura 139 Diagrama cinemático 3D mecanismo cambio de dirección de giro.....	86
Figura 140 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección de giro.....	86
Figura 141 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación pinza.....	87
Figura 142 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación pinza.....	87
Figura 143 Diagrama cinemático 3D mecanismo pinza.....	88
Figura 144 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pinza I.....	88
Figura 145 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pinza II.....	88
Figura 146 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación grúa.....	89
Figura 147 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación grúa.....	89
Figura 148 Modelo 42062-1 simulación I.....	90
Figura 149 Modelo 42062-1 simulación II.....	91
Figura 150 Modelo 42039-1 mecanismo 2D elevación de parte trasera.....	92
Figura 151 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación de parte trasera.....	92

Figura 152 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación de parte trasera.....	92
Figura 153 Modelo 42039-1 mecanismo 2D elevación puertas laterales.....	93
Figura 154 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación puertas laterales	93
Figura 155 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación puertas laterales	93
Figura 156 Modelo 42039-1 mecanismo 2D cambio de dirección.....	94
Figura 157 Diagrama cinemático mecanismo 2D cambio de dirección	94
Figura 158 Cálculo de movilidad 2D mecanismo cambio de dirección	94
Figura 159 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación de parte trasera.....	95
Figura 160 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación de parte trasera.....	95
Figura 161 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación puertas laterales	96
Figura 162 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación puertas laterales	96
Figura 163 Diagrama cinemático 3D mecanismo cambio de dirección	97
Figura 164 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección I.....	97
Figura 165 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección II	98
Figura 166 Modelo 42039-1 simulación I.....	99
Figura 167 Modelo 42039-1 simulación II.....	100
Figura 168 Modelo 42039-1 simulación III	101
Figura 169 Modelo 8047-1 mecanismo 2D pala retroexcavadora.....	101
Figura 170 Diagrama cinemático mecanismo 2D pala retroexcavadora	102
Figura 171 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora.....	102
Figura 172 Modelo 8047-1 mecanismo 2D elevación pala	102
Figura 173 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación pala	103
Figura 174 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación pala	103
Figura 175 Diagrama cinemático 3D mecanismo pala retroexcavadora	103
Figura 176 Cálculo 3D mecanismo pala retroexcavadora.....	104
Figura 177 Cálculo 3D mecanismo elevación pala	104
Figura 178 Cálculo 3D mecanismo elevación pala	105
Figura 179 Modelo 8047-1 simulación I.....	105
Figura 180 Modelo 8047-1 simulación II.....	106
Figura 181 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación pala	107
Figura 182 Cálculo 3D mecanismo elevación pala	107
Figura 183 Diagrama cinemático 3D mecanismo extensión pala	108
Figura 184 Cálculo 3D mecanismo extensión pala I.....	108
Figura 185 Cálculo 3D mecanismo extensión pala II.....	108
Figura 186 Modelo 8294-1 simulación I.....	109
Figura 187 Modelo 8294-1 simulación II.....	110
Figura 188 Modelo 8294-1 simulación III	111
Figura 189 Modelo 42097-1 mecanismo 2D movimiento partes sujeción grúa.....	112
Figura 190 Diagrama cinemático mecanismo 2D movimiento partes sujeción grúa	112
Figura 191 Cálculo de movilidad 2D mecanismo movimiento partes sujeción grúa	112
Figura 192 Modelo 42097-1 mecanismo 2D cadenas	113
Figura 193 Diagrama cinemático mecanismo 2D cadenas.....	113
Figura 194 Cálculo de movilidad 2D mecanismo cadenas.....	113
Figura 195 Modelo 42097-1 mecanismo 2D elevación grúa.....	114
Figura 196 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación grúa	114
Figura 197 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación grúa.....	114
Figura 198 Modelo 42097-1 mecanismo 2D neumático grúa	115
Figura 199 Diagrama cinemático mecanismo 2D neumático grúa.....	115
Figura 200 Cálculo de movilidad 2D mecanismo neumático grúa.....	115
Figura 201 Modelo 42097-1 mecanismo 2D extensión grúa.....	116
Figura 202 Diagrama cinemático mecanismo 2D extensión grúa	116
Figura 203 Cálculo de movilidad 2D mecanismo extensión grúa.....	116
Figura 204 Diagrama cinemático 3D mecanismo partes sujeción grúa	117

Figura 205 Cálculo movilidad 3D mecanismo partes sujeción grúa	117
Figura 206 Diagrama cinemático 3D mecanismo cadenas	117
Figura 207 Cálculo movilidad 3D mecanismo cadenas	118
Figura 208 Diagrama cinemático 3D elevación grúa	118
Figura 209 Cálculo movilidad 3D elevación grúa	119
Figura 210 Diagrama cinemático 3D neumático grúa	119
Figura 211 Cálculo movilidad 3D neumático grúa	119
Figura 212 Diagrama cinemático 3D extensión grúa	120
Figura 213 Cálculo movilidad 3D extensión grúa	120
Figura 214 Modelo 42097-1 simulación I	121
Figura 215 Modelo 42097-1 simulación II	122
Figura 216 Modelo 42097-1 simulación III	123
Figura 217 Modelo 42097-1 simulación IV	124
Figura 218 Modelo 42097-1 simulación V	125
Figura 219 Modelo 42128-1 mecanismo 2D elevación rueda auxiliar	126
Figura 220 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación rueda auxiliar	126
Figura 221 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación rueda auxiliar	126
Figura 222 Modelo 42128-1 mecanismo 2D elevación enganche trasero	127
Figura 223 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación enganche trasero	127
Figura 224 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación enganche trasero	127
Figura 225 Modelo 42128-1 mecanismo 2D neumático enganche trasero	128
Figura 226 Diagrama cinemático mecanismo 2D neumático enganche trasero	128
Figura 227 Cálculo de movilidad 2D mecanismo neumático enganche trasero	128
Figura 228 Modelo 42128-1 mecanismo 2D soportes traseros	129
Figura 229 Diagrama cinemático mecanismo 2D soportes traseros	129
Figura 230 Cálculo de movilidad 2D mecanismo soportes traseros	129
Figura 231 Modelo 42128-1 mecanismo 2D soportes laterales	130
Figura 232 Diagrama cinemático mecanismo 2D soportes laterales	130
Figura 233 Cálculo de movilidad 2D mecanismo soportes laterales	130
Figura 234 Modelo 42128-1 mecanismo 2D elevación grúa	131
Figura 235 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación grúa	131
Figura 236 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación grúa	131
Figura 237 Modelo 42128-1 mecanismo 2D extensión grúa	132
Figura 238 Diagrama cinemático mecanismo 2D extensión grúa	132
Figura 239 Cálculo de movilidad 2D mecanismo extensión grúa	132
Figura 240 Modelo 42128-1 mecanismo 2D cambio de dirección	133
Figura 241 Diagrama cinemático mecanismo 2D cambio de dirección	133
Figura 242 Cálculo de movilidad 2D mecanismo cambio de dirección	133
Figura 243 Diagrama cinemático 3D elevación rueda auxiliar	134
Figura 244 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación rueda auxiliar	134
Figura 245 Diagrama cinemático mecanismo 3D elevación enganche trasero	135
Figura 246 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación enganche trasero	135
Figura 247 Diagrama cinemático mecanismo 3D neumático enganche trasero	136
Figura 248 Cálculo de movilidad 3D mecanismo neumático enganche trasero	136
Figura 249 Diagrama cinemático mecanismo 3D soportes traseros	137
Figura 250 Cálculo de movilidad 3D mecanismo soportes traseros	137
Figura 251 Diagrama cinemático mecanismo 3D soportes laterales	138
Figura 252 Cálculo de movilidad 3D mecanismo soportes laterales	138
Figura 253 Diagrama cinemático mecanismo 3D elevación grúa	139
Figura 254 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación grúa	139
Figura 255 Diagrama cinemático mecanismo 3D extensión grúa	140
Figura 256 Cálculo de movilidad 3D mecanismo extensión grúa	140
Figura 257 Diagrama cinemático mecanismo 3D cambio de dirección	141

Figura 258 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección	141
Figura 259 Modelo 42128-1 simulación I.....	142
Figura 260 Modelo 42128-1 simulación II.....	143
Figura 261 Modelo 42128-1 simulación III	144

1. RESUMEN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como objetivo crear y simular dinámicamente maquinaria real en un entorno virtual, utilizando un programa de Diseño y Dibujo Asistido por Ordenador (CAD) para el montaje y un programa de Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) para la simulación. El fin es observar y aprender el funcionamiento de los mecanismos contenidos en estas máquinas.

Se han seleccionado modelos Lego© como material base, debido a su sistema de construcción modular y su notable complejidad técnica. Específicamente, se utilizarán los modelos de la línea Lego© Technic muestran una representación de máquinas reales a escala, con una sofisticación considerable en su diseño. Estos modelos emplean una variedad de mecanismos, como engranajes, cremalleras, ejes, cuadriláteros articulados y juntas esféricas, entre otros.

En este proyecto se busca automatizar el proceso de alineación de los mecanismos para mejorar la vida útil de las máquinas y reducir los costos de mantenimiento.

El proyecto se divide en dos fases:

- **Fase guiada:** Los alumnos siguen videos grabados por el profesor para aprender el uso de los programas y la metodología para el trabajo. Se realizan modelos de referencia que servirán para la siguiente fase.
- **Fase no guiada:** Con los conocimientos adquiridos, los alumnos proceden a crear y simular los modelos de forma autónoma.

La metodología consta de cuatro fases:

1. **Ensamblaje de los distintos modelos Lego:** Se monta el modelo seleccionado previamente ensamblado físicamente y se procede a hacer lo mismo en los programas de Solidworks 2007 y los últimos modelos en una versión actual del mismo. Cada parte del modelo se considera una pieza y se ensamblan en grupos de hasta 10 componentes.
2. **Compactación de los modelos virtuales:** Las piezas ensambladas se compactan para reducir la carga computacional en la fase de simulación.
3. **Creación de modelo cinemático auto-alineado:** Se unen las piezas que tienen movimiento relativo en el modelo entre ellas y se utilizan los programas "CosmosMotion" y "Recurdyn" para auto-alinear el modelo, determinando los cojinetes necesarios para prolongar su vida útil.
4. **Simulación del modelo virtual:** Se simula el movimiento del modelo en la vida real para crear movimientos iguales.

Desde un enfoque profesional, el proyecto también se aplica para clientes que desean construir prototipos de máquinas, pudiendo de esta manera tener modelos auto-alineados alargando la vida útil de los mismos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. HISTORIA Y ORÍGENES DE LEGO TECHNIC©

Legó Technic, una línea de productos de construcción de Legó se originó en 1977 con la introducción de los sets "Expert Builder". Estos sets fueron diseñados para proporcionar una experiencia de construcción más avanzada que los conjuntos de Legó tradicionales, incorporando elementos como engranajes, ejes y poleas para permitir la creación de modelos más complejos y realistas. La idea detrás de Legó Technic era ofrecer a los constructores más experimentados la oportunidad de explorar los principios de la ingeniería mecánica y la tecnología de una manera divertida y educativa.

Con el tiempo, Legó Technic evolucionó para incluir una amplia gama de conjuntos que representan vehículos, máquinas y dispositivos mecánicos de la vida real. Estos sets se han convertido en una herramienta popular para enseñar conceptos de ingeniería y mecánica a personas de todas las edades, desde niños hasta adultos. La línea Legó Technic ha continuado expandiéndose y mejorándose con el tiempo, incorporando nuevas características y tecnologías para mantenerse al día con los avances en el mundo de la ingeniería y el diseño de productos.

Los orígenes de Legó Technic se basan en la visión de proporcionar una experiencia de construcción más desafiante y educativa, que fomentara la creatividad, el pensamiento crítico y el aprendizaje práctico. A lo largo de los años, ha demostrado ser una plataforma versátil y duradera para la exploración de conceptos técnicos y mecánicos, y sigue siendo una parte integral del legado de Legó como una de sus líneas de productos más exitosas y queridas.



Figura 1 Ejemplo Legó Technic© (Fuente: Google imágenes)

2.2. MODELO TECHNIC VIRTUAL

Con los modelos virtuales, se pretende desarrollar el aprendizaje y el uso de las aplicaciones de CAD para el diseño y simulación de sistemas mecánicos y de esta forma poder aplicarlo a modelos reales. Del mismo modo que con los modelos reales, tendremos los mismos componentes de forma virtual que utilizaremos para ensamblar de forma correcta el modelo virtual final.

En este caso no nos limitaremos a seguir las instrucciones paso a paso que proporciona la propia marca Lego, si no que deberemos tener en cuenta los distintos movimientos que debe realizar cada componente, para que en el ensamblaje final del modelo se pueda simular dicho movimiento.

Por ello para estos modelos es importante realizar la tarea previa de montaje físico, ya que nos ayudará a comprender la forma en que funcionan los mecanismos.

Estos modelos virtuales son de gran ayuda para realizar todas las pruebas posibles para conseguir la alineación final y nos ahorra costes al no tener que realizar dichos procedimientos con los modelos reales.

Para ello deberemos disponer de todos los componentes virtuales, y de los conocimientos necesarios de los programas a utilizar tanto CAD como CAE, que serán SolidWorks, CosmosMotion y Recurdyn.

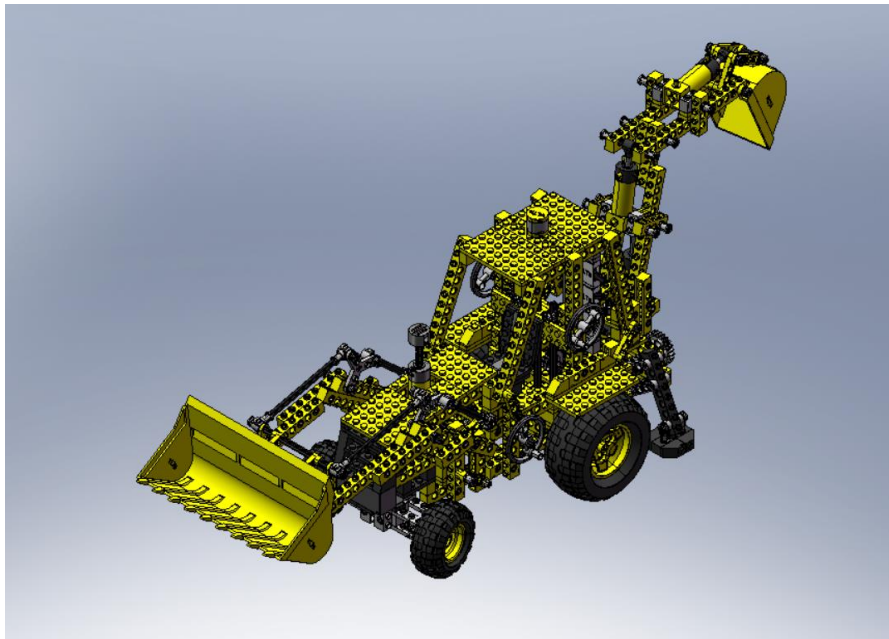


Figura 2 Modelo 8862 Virtual

2.3. COMPONENTES LEGO® TECHNIC

Los componentes de Lego Technic son elementos diseñados para ofrecer una funcionalidad más avanzada en los modelos. Estos componentes incluyen una variedad de piezas que permiten la creación de mecanismos y sistemas mecánicos más complejos en comparación con los conjuntos de Lego de la línea clásica. Algunos ejemplos de componentes de Lego Technic incluyen engranajes, ejes, poleas, ruedas dentadas, cadenas, amortiguadores, motores, y elementos de suspensión.

Cada componente de Lego Technic tiene una función específica en el modelo construido y puede ser utilizado para simular el funcionamiento de sistemas mecánicos reales.

En resumen, los componentes de Lego Technic son elementos clave que permiten la construcción de modelos más avanzados con funcionalidades mecánicas realistas.

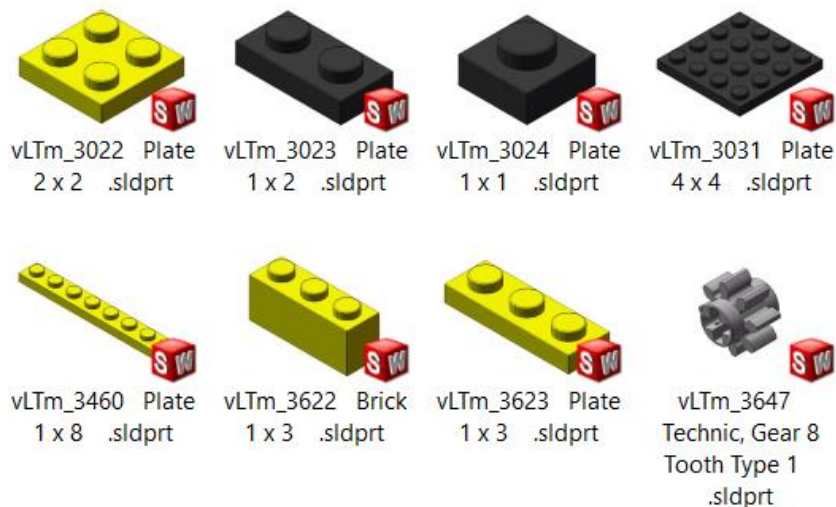


Figura 3 Ejemplo componentes virtuales

2.4. COMPARACIÓN MÁQUINAS REALES Y MODELOS LEGO® TECHNIC

Es fácil encontrar máquinas reales y equivalencias con mecanismos de los modelos Lego Technic y de los mecanismos que poseen los mismos, y que precisamente nos ayudan a realizar los estudios necesarios en cuanto a los mecanismos y su funcionamiento.



Figura 4 Ejemplo motor Lego Technic (Fuente: Google imágenes)



Figura 5 Equivalencia con mecanismo real (Fuente: Google imágenes)

2.5. ISOGAWA YOSHIHITO Y SUS MODELOS

Isogawa Yoshihito es un reconocido diseñador y autor japonés de libros sobre modelos de LEGO. Ha creado numerosos modelos y ha compartido sus creaciones y técnicas a través de sus libros.

Tiene una gran importancia en este trabajo ya que ha publicado libros como "The LEGO Technic Idea Book" y "The LEGO Power Functions Idea Book" en los que detalla como crear mecanismos con los componentes de Lego Technic y cuya base utilizamos para trabajar con los mismos componentes.

En resumen, Isogawa Yoshihito es un experto en la creación de modelos de LEGO y sus libros son recursos valiosos para aquellos interesados en mejorar sus habilidades de construcción con LEGO y explorar nuevas técnicas de diseño.



Figura 6 Isogawa Yoshihito (Fuente: Google imágenes)

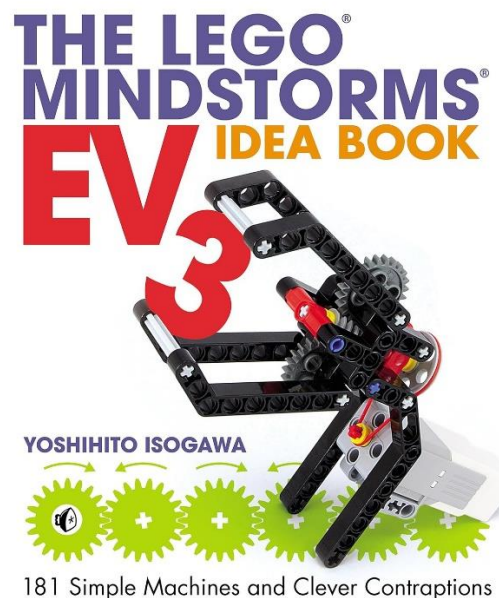


Figura 7 Libro del autor Isogawa Yoshihito (Fuente: Google imágenes)

3.2.2. TROZO

Están formados por componentes con un límite de estos de 10 y entre los cuales no existe movimiento relativo. Con estos trozos construimos posteriormente las piezas.

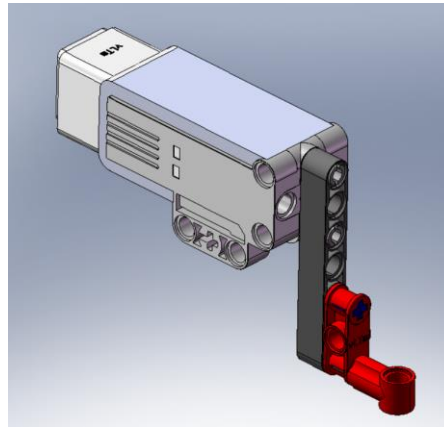


Figura 9 Trozo 1 del modelo

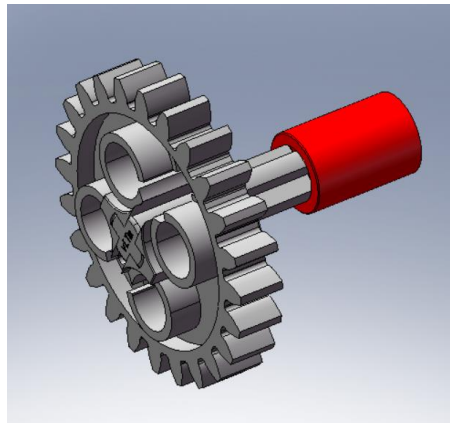


Figura 10 Trozo 2 del modelo

3.2.3. PIEZA

Se trata también de un conjunto de componentes de como máximo 10 de estos, si para crear la pieza es necesario crearla con más de 10 componentes, se dividirá entonces en trozos, cuyo máximo será de 10 componentes, que estarán unidos y sin movimiento relativo entre ellos.

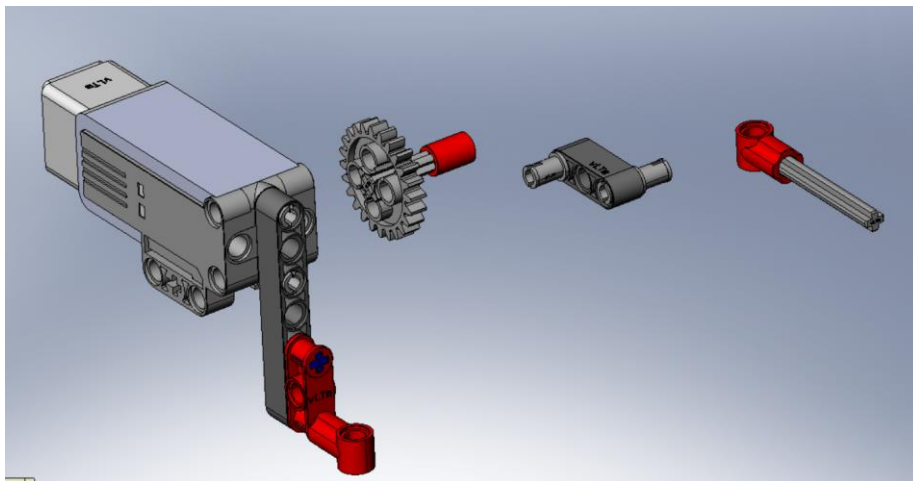


Figura 11 Piezas 1,2,3 y 4 del modelo

3.2.4. MODELO

Se trata del conjunto final de piezas unidas entre sí en el que se debe visualizar todos los movimientos relativos entre ellas.

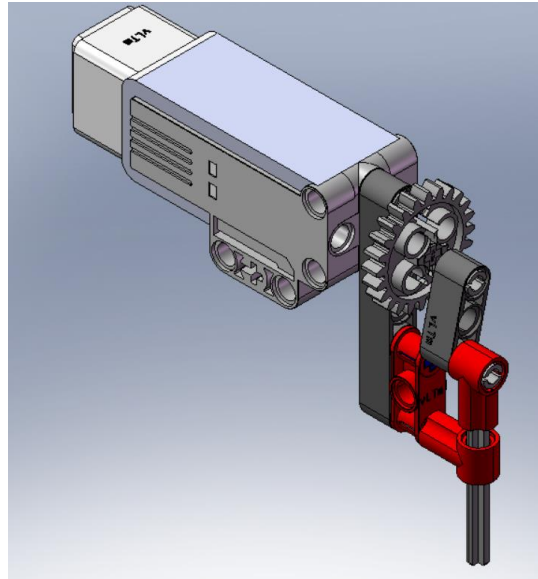


Figura 12 Modelo final

3.3. NOMENCLATURA

Utilizaremos una nomenclatura específica de como llamar a cada componente, trozos, piezas y modelo final para tener presente en todo momento y de forma clarificada con que elementos estamos trabajando.

La nomenclatura en este caso será la siguiente:

- Componente: *vLTm_ "A"*.
- Trozo: *vLTm_ "B" _part- "xxxxy" _ "aaaa"*
- Pieza: *vLTm_ "B" _part- "xxx00" _ "aaaa"*
- Modelo: *vLTm_ "B" _ "aaaa"* Siendo:

Siendo:

- vLTm: Siglas de "Virtual Lego© Technic Models".
- A: Nomenclatura del elemento establecida por Lego©.
- B: Código del modelo comercial.
- xxx: Número de la pieza dentro del modelo.
- yy: Número del trozo dentro de la pieza.
- aaaa: Año de creación del modelo virtual.

3.4. PROCEDIMIENTO

A continuación, procederemos a explicar la metodología a usar en todos los modelos que crearemos y utilizaremos en todos los ensamblajes.

3.4.1. MODELOS QUE REALIZAR

La selección de modelos fue por parte del tutor, en esta sección podemos hablar de modelos propios de la asignatura y después de los modelos estudiados, guiados y no guiados. Entre los guiados y no guiados finalmente hemos realizado un total de 16 actividades correspondientes a la creación de modelos virtuales y auto lineados.

3.4.2. SELECCIÓN COMPONENTES

Para cada modelo tendremos una selección de componentes virtuales facilitados por el tutor, que del mismo modo podemos encontrar en la página web de BrickLink, <http://www.bricklink.com/>, donde se detalla para cada modelo los componentes de este. Esta información la utilizamos para cambiar el color de los componentes para que se asemejen al modelo real, ya que se nos facilitan sin color alguno.

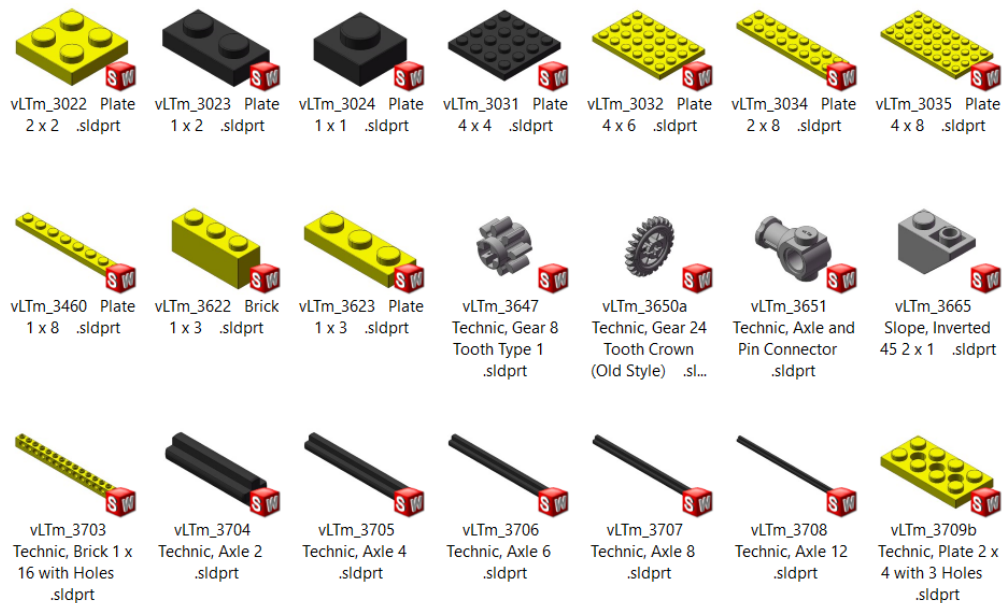


Figura 13 Lista de componentes ejemplo

Podemos cambiar el color al principio, y en el caso de que el componente se utilice repetidamente, pero necesitando un color distinto, podemos cambiarlo directamente en el trozo o pieza donde lo vayamos a insertar, haciendo que el componente original no cambie de color y no modifique otros componentes que hayamos utilizado.

3.4.3. PROCESO DE ENSAMBLAJE

El ensamblaje se realizará en los trozos, en las piezas y en el modelo final como se ha mencionado previamente, este proceso se hará tanto en la versión SolidWorks 2007 como en SolidWorks 2021, donde no cambiarán las funciones más que en la interfaz del sistema.

Dentro de este proceso tiene mucha importancia el tener los modelos a realizar en físico ya que tenemos una idea de los movimientos relativos que tiene que haber entre componentes a la hora de ensamblarlos.

En cada parte de este proceso, el primer componente que colocamos se queda fijado en el origen, lo que significa que es inmóvil y a partir del cual ensamblamos los demás componentes, trozos o piezas.

En el modelo final es importante que la primera pieza, que denominamos chasis, quede fija de tal forma que cuando utilicemos la opción de visualización isométrica, este chasis pueda visualizarse correctamente, por lo que, si es necesario, pasaremos el chasis a ser flotante y lo colocaremos de forma correcta antes de volver a fijarlo de nuevo.

Definiremos a continuación todas las relaciones de posición a utilizar, que en trozos y piezas deberemos hacer que los componentes entre sí no tengan movimientos relativos, por los que queden totalmente definidos.

En el modelo final se definirán las relaciones de posición necesarias para que se den los movimientos relativos entre piezas del modelo.

3.4.3.1. RELACIONES DE POSICIÓN

Las relaciones de posición en SolidWorks son una restricción que se utiliza para definir la ubicación relativa entre dos elementos geométricos. Estas restricciones son las que usaremos para establecer la posición de los componentes, trozos y piezas en el proceso de ensamblaje.

Podemos distinguir entre relaciones de posición estándar y avanzadas.

Relaciones de posición estándar: Las utilizamos para restringir el movimiento relativo entre componentes.

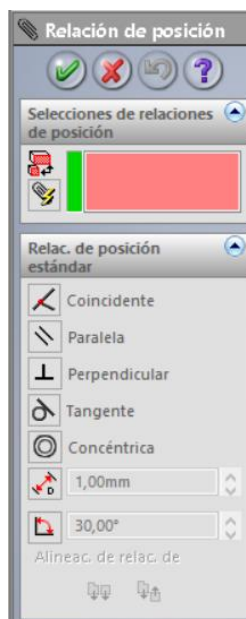


Figura 14 Relaciones de posición estándar SolidWorks 2007

- **Coincidente:** Se utiliza para hacer que dos elementos geométricos pasen a contenerse el uno al otro. Lo utilizaremos mayormente para alinear las caras de distintos componentes.

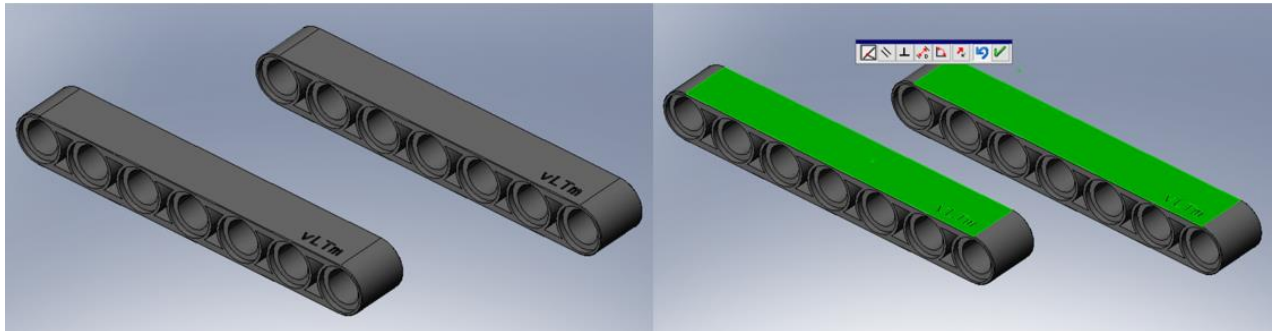


Figura 15 Relación de posición coincidente

- **Paralela:** Relación que hace que los planos de distintas superficies sean paralelos entre sí.

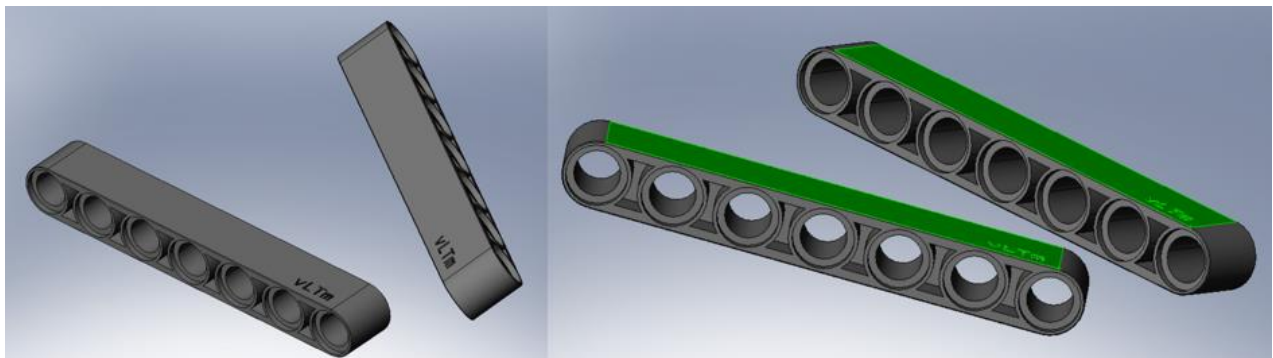


Figura 16 Relación de posición paralela

- **Perpendicular:** Relación que hace que los planos de distintas superficies sean perpendiculares.

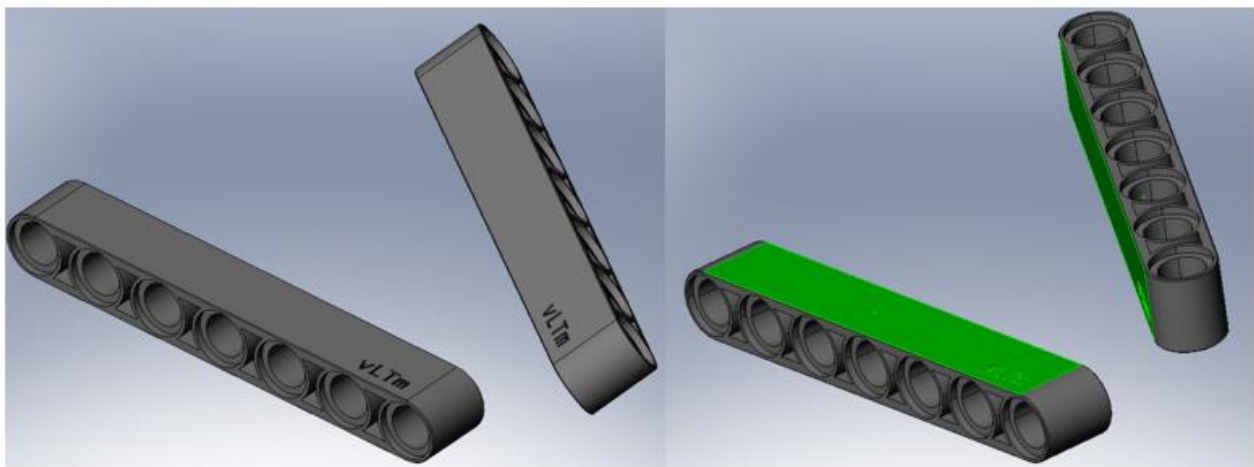


Figura 17 Relación de posición perpendicular

- **Concéntrica:** Restricción que hace coincidentes los centros de curvatura.

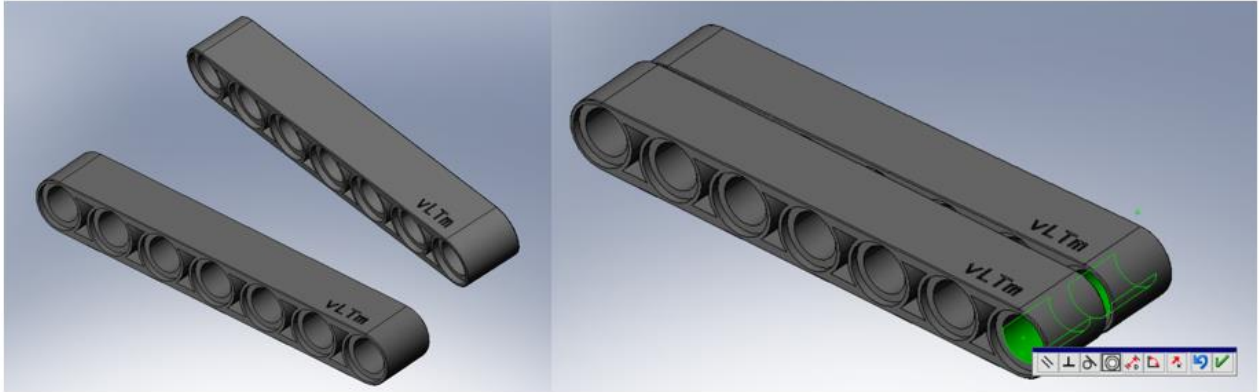


Figura 18 Relación de posición concéntrica

- **Tangente:** Relación entre dos superficies en la que se establece una tangencia.

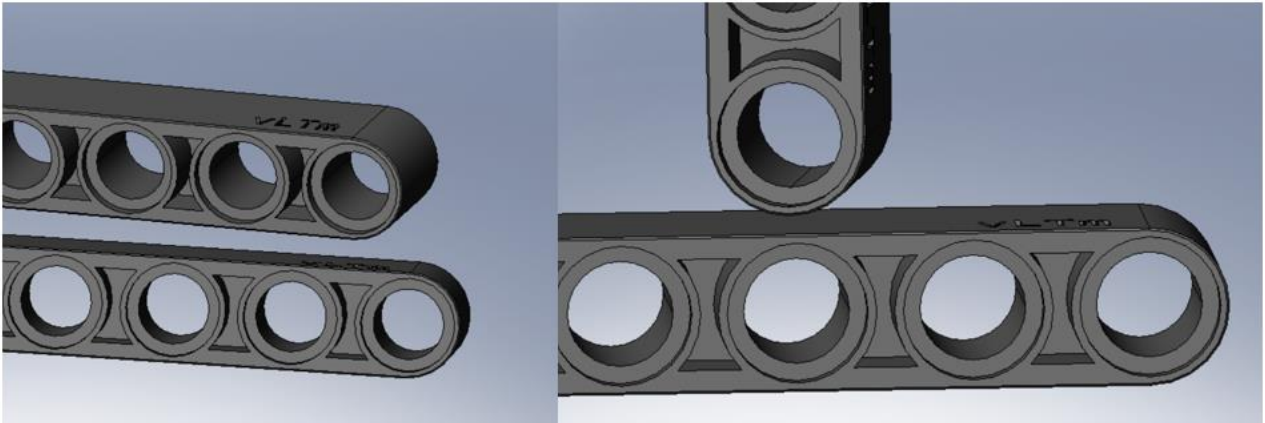


Figura 19 Relación de posición tangente

- **Distancia:** Establece la distancia seleccionada entre dos componentes.



Figura 20 Relación de posición de distancia

- **Ángulo:** Establece un ángulo seleccionado entre dos componentes.

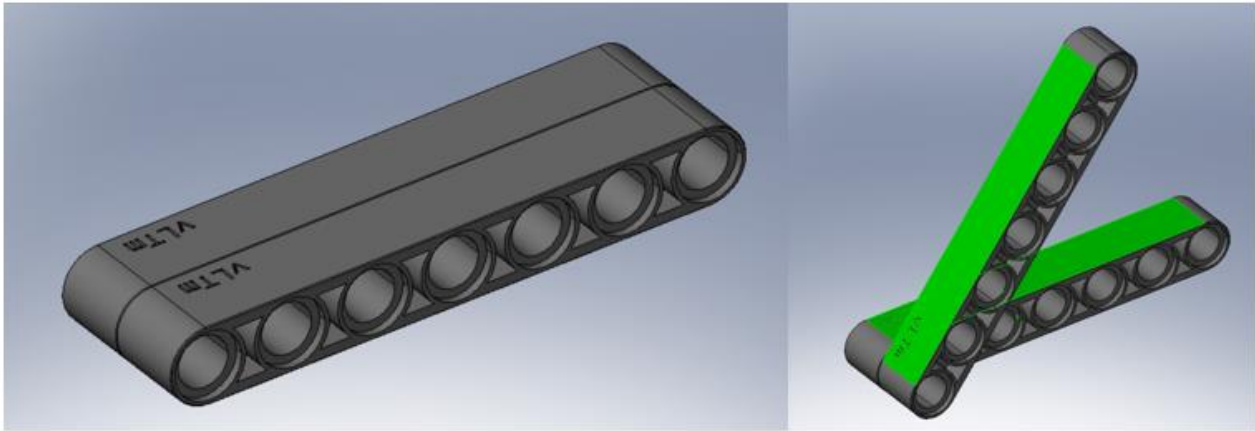


Figura 21 Relación de posición ángulo

Relaciones de posición avanzadas: Las utilizaremos para establecer los movimientos relativos entre los distintos componentes.

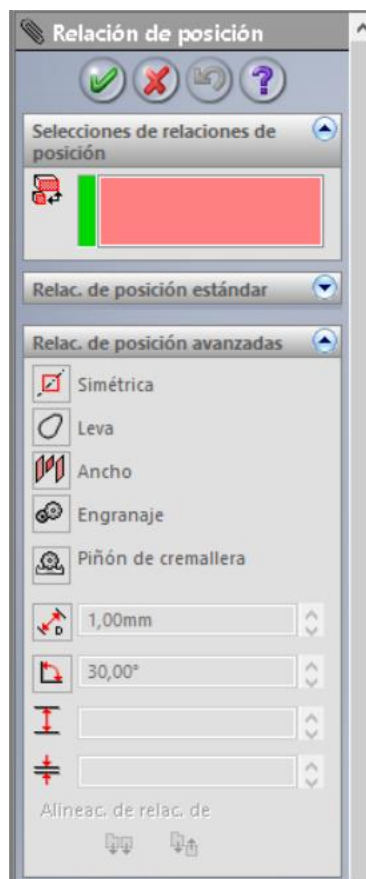


Figura 22 Relaciones de posición avanzadas SolidWorks 2007

- Engranaje:** Nos permite establecer la relación entre el giro de un eje respecto a otro, ya sea por el numero de dientes de cada uno o por los diámetros de las ruedas. No se utiliza únicamente en engranajes si no que en este proceso también lo utilizaremos con tornillos sin fin.

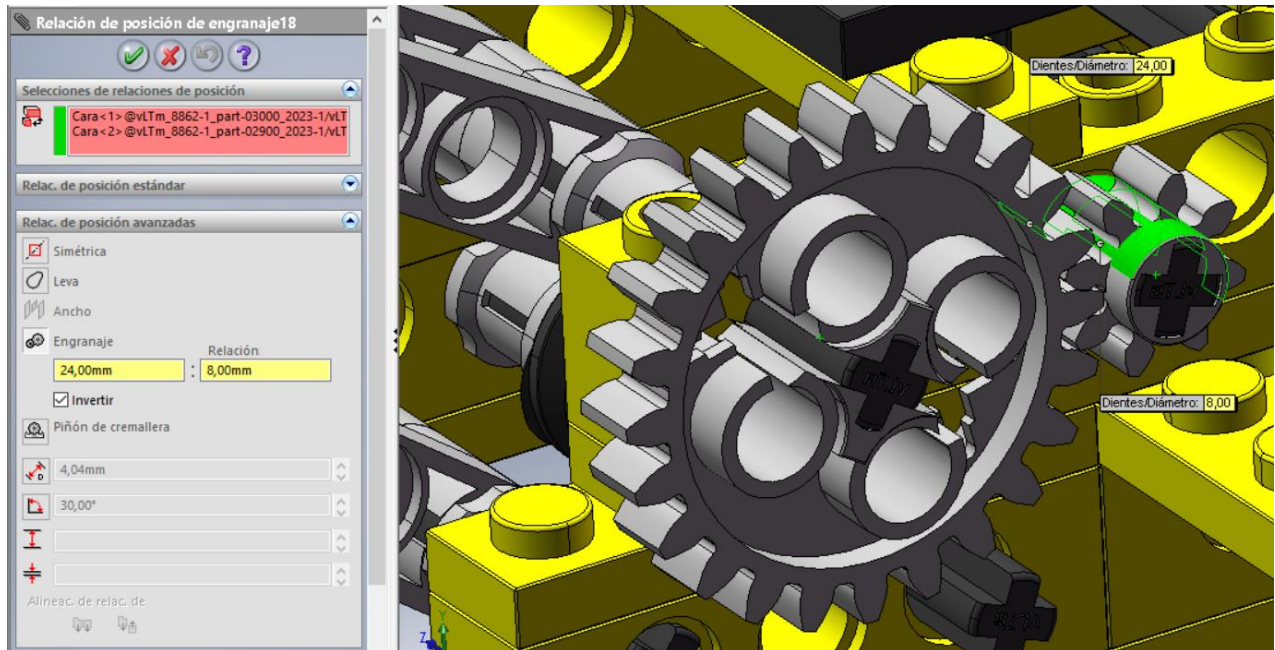


Figura 23 Relación de posición de engranaje

- Piñón de cremallera:** La utilizamos para definir el desplazamiento de una superficie con el giro de un eje o engranaje. Para definirlo se utiliza la longitud que avanza la cremallera por cada revolución del eje. Este valor se calculado multiplicando la distancia entre los dientes de la cremallera por el número de dientes que contenga el engranaje.

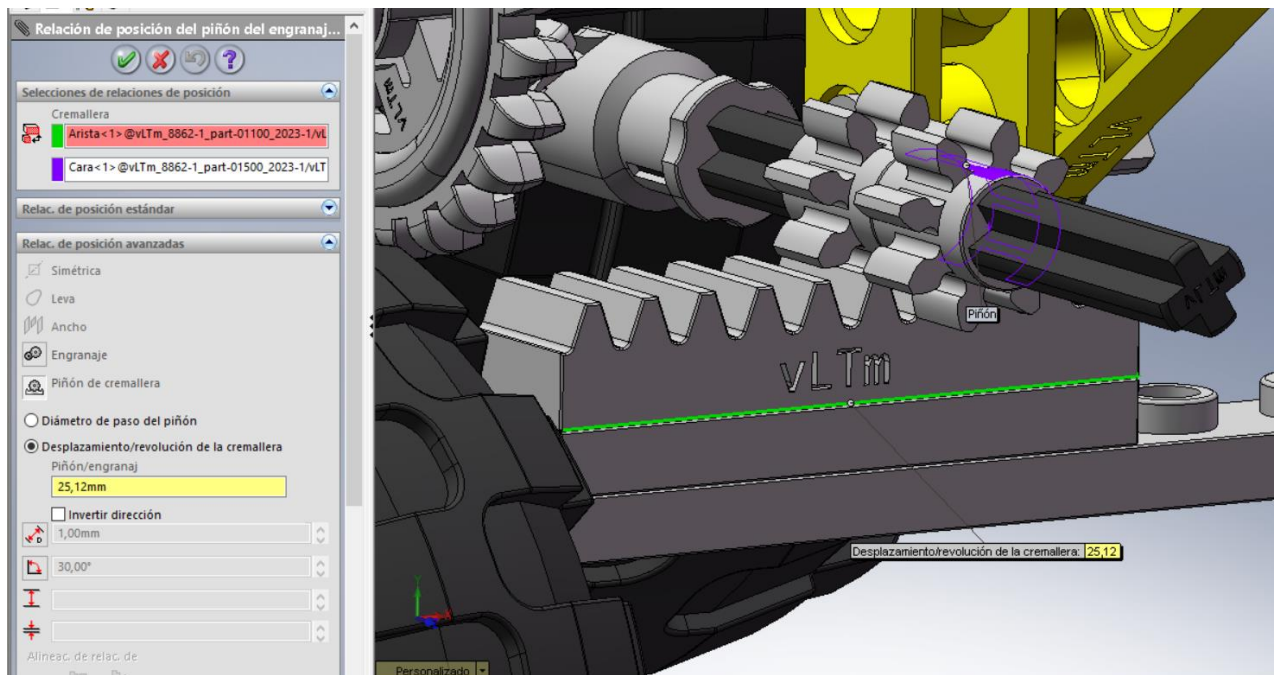
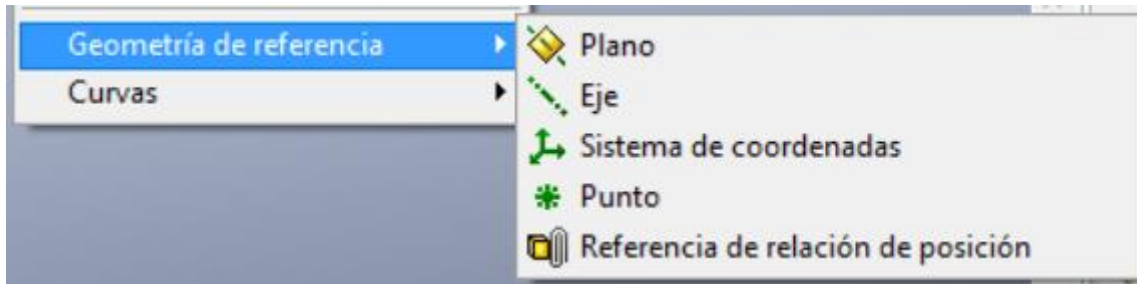


Figura 24 Relación de posición de cremallera

3.4.3.2. GEOMETRÍA DE REFERENCIA

Denominamos geometría de referencia a las funciones de crear un plano, eje o puntos directamente en un componente que nos ayuda a realizar el ensamblaje posterior utilizando estos para las distintas relaciones de posición a definir.



Nos ayuda en situaciones en las que debemos centrar dos componentes y utilizamos el plano medio de ambos, o en el caso de colocar un componente esférico donde utilizamos la definición de puntos para hacerlos coincidentes.

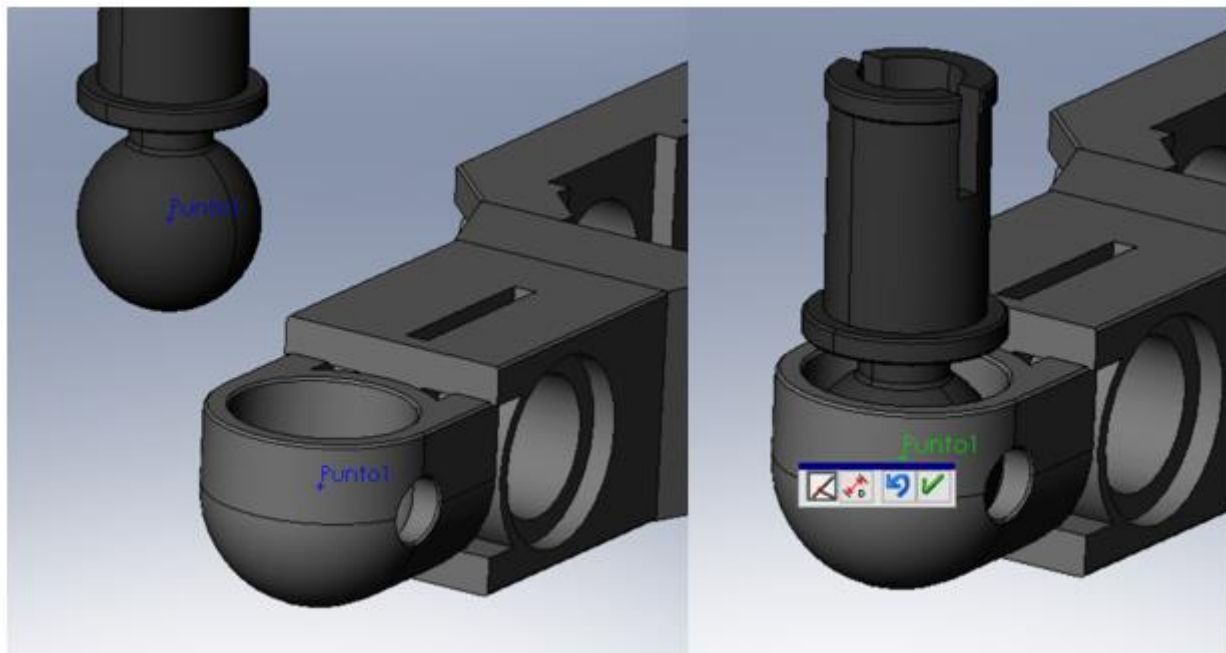


Figura 25 Ejemplo de uso de geometría de referencia

3.4.3.3. COMPONENTES FLEXIBLES

Podemos encontrarnos en los modelos Technic que en algunas ocasiones se usan componentes que denominamos flexibles ya que nosotros le damos forma a estos componentes para poder ensamblarlos en el modelo físico, no solo son decorativos, si no que a veces tienen funciones, como tubos flexibles que ejercen presión hidráulica con aire en su interior.

A la hora de realizar estos componentes de forma virtual se nos presenta un problema ya que en SolidWorks solo trabajamos con elementos rígidos. De forma que para la creación de estos componentes hemos seguido el siguiente modelo de creación:

- Debemos definir los puntos por los que el componente flexible vaya a pasar.

- A partir de dichos puntos crearemos un croquis 3D y con el comando spline crearemos una línea que pase por los puntos previamente definidos.
- Posteriormente, procedemos a crear un nuevo archivo con este croquis, donde volveremos a crear un croquis en uno de sus extremos representando el diámetro del componente que queremos crear.
- Con este croquis haremos un barrido extruyendo el componente a lo largo de todo el croquis 3D que nos dará resultante el componente deseado al cual ya podemos cambiar de color e insertar en el modelo.

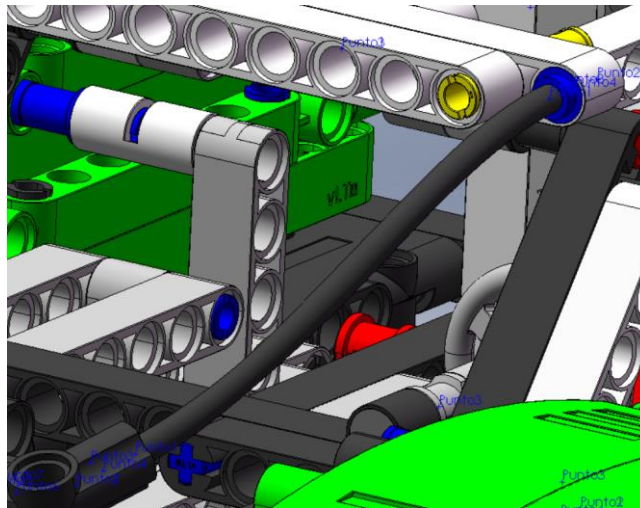


Figura 26 Creación puntos y croquis 3D

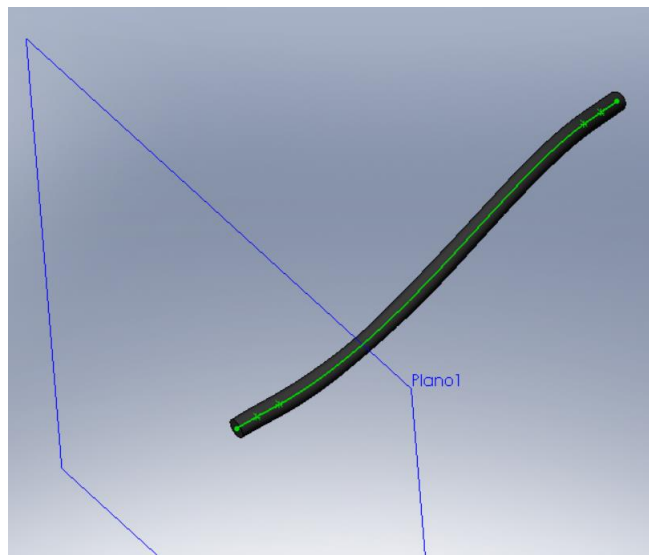


Figura 27 Creación componente flexible

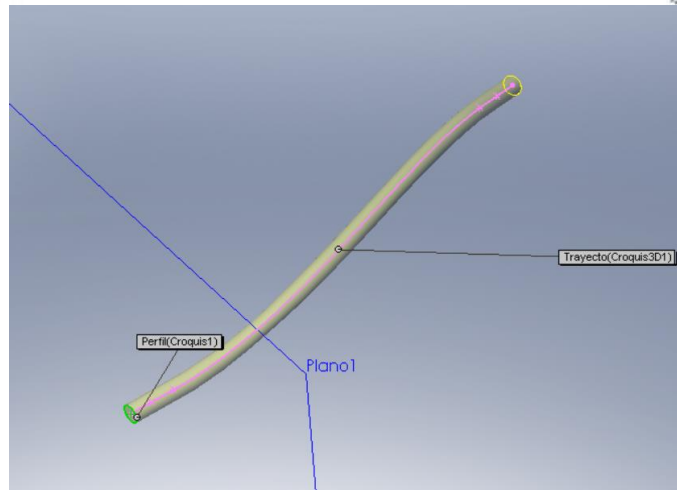


Figura 28 Opción de barrido

3.4.3.4. CADENAS

Nos enfrentamos en algunos modelos a tener que realizar cadenas que sirven para ejecutar el contacto con el suelo y que el modelo se pueda mover por él, en estos casos no hay una secuencia definida de las cadenas en el modelo, ya que en el modelo real actúa la gravedad para dar la forma final de las mismas.

Por ello tendremos que realizar también un modelo de ensamblaje a seguir para poder simular estos componentes de la forma más realista posible en los modelos finales.

En este caso, se plantea un problema a la hora de realizar las cadenas, ya que para los modelos en los que hemos tenido que realizar este ensamblaje no hemos podido seguir la premisa de tener cada pieza un nombre distinto, ya que con la opción que nos facilita el programa para hacer dicho ensamblaje como veremos solo nos replica la pieza con el mismo nombre y posteriormente no es posible cambiar el nombre.

Para realizar el proceso deberemos:

- Definiremos un plano medio de la rueda dentada donde descansen y tengan contacto los eslabones a colocar.

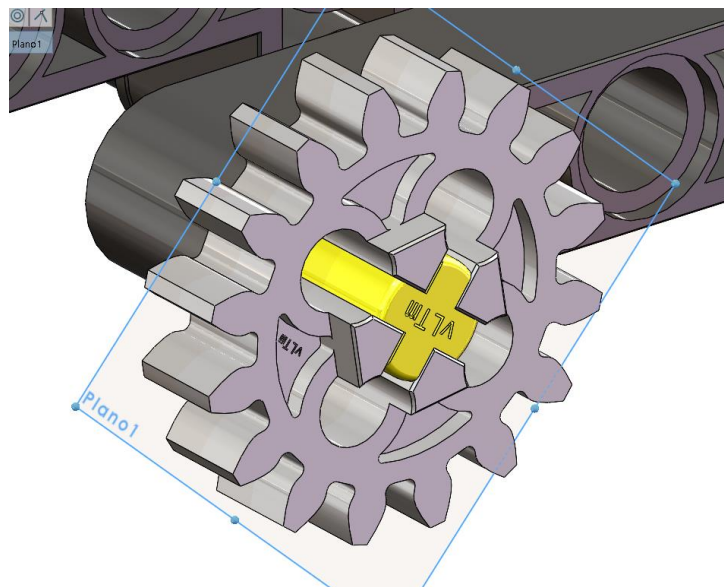


Figura 29 Plano medio de rueda dentada

- Debemos crear a continuación un croquis en el modelo que simule de la forma más aproximada posible la forma de la cadena en el modelo real.

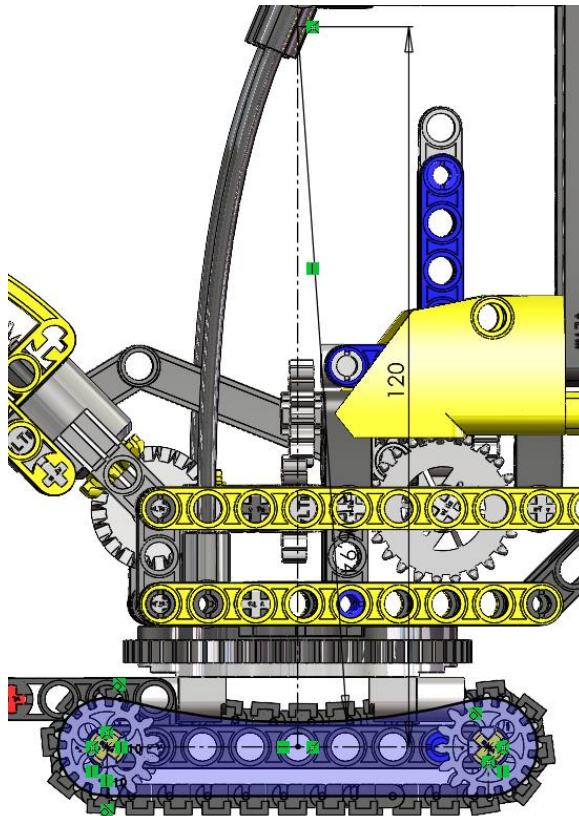


Figura 30 Croquis simulando la forma de la cadena

- El siguiente paso será utilizar y crear geometrías de referencia en el eslabón a utilizar para poder crear la cadena.

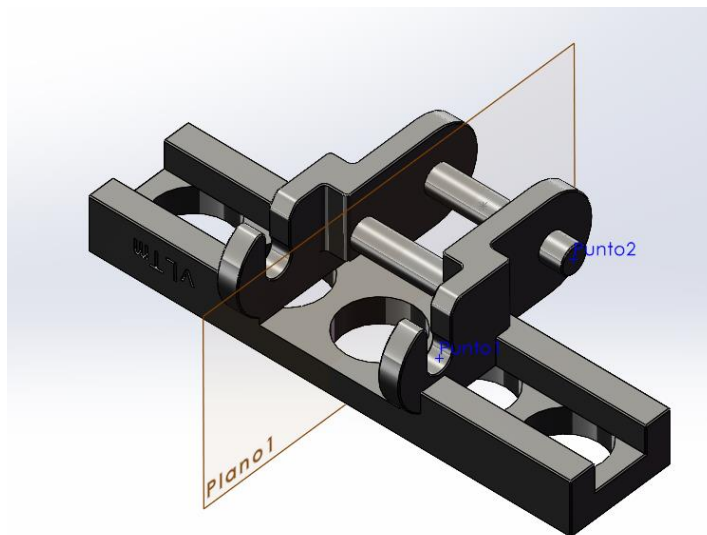


Figura 31 Geometría de referencia eslabón

- Establecemos las relaciones de posición del eslabón con el modelo, haciendo coincidente el punto medio que hemos definido en su enganche con la trayectoria del croquis, lo que nos permitirá que el movimiento siga esa trayectoria y haciendo coincidir el plano medio con el plano del croquis.

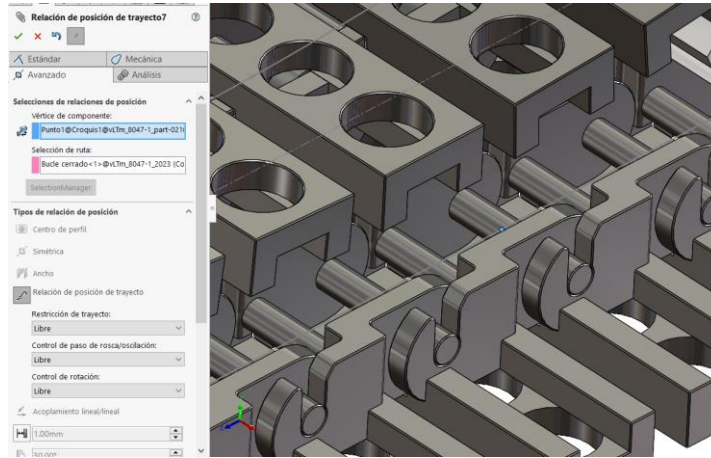


Figura 32 Coincidencia del punto del eslabón con trayectoria

- El último paso será crear una cadena a partir de este eslabón con la función de matriz de cadena, escogiendo el plano medio del eslabón, la trayectoria del croquis y definiendo los puntos de unión de la cadena respecto al eslabón.

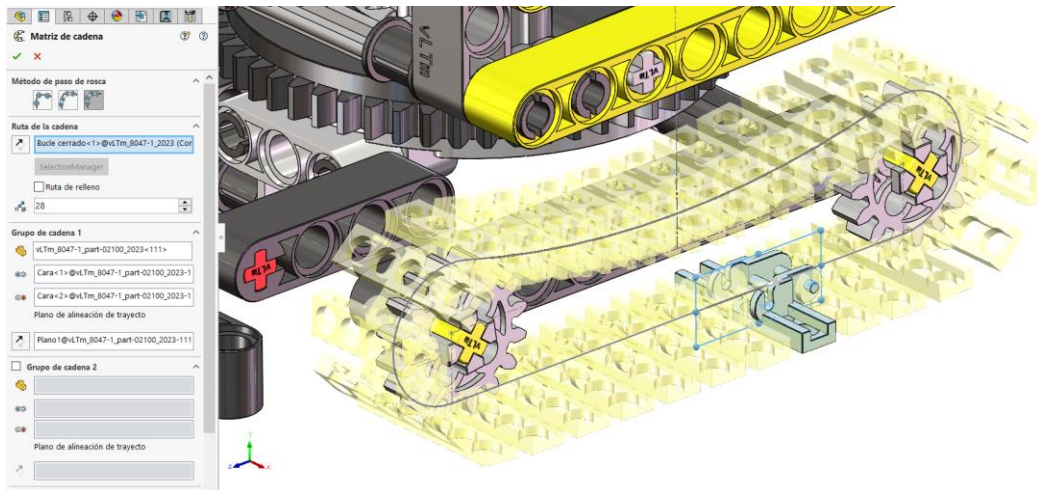


Figura 33 Función matriz de cadena

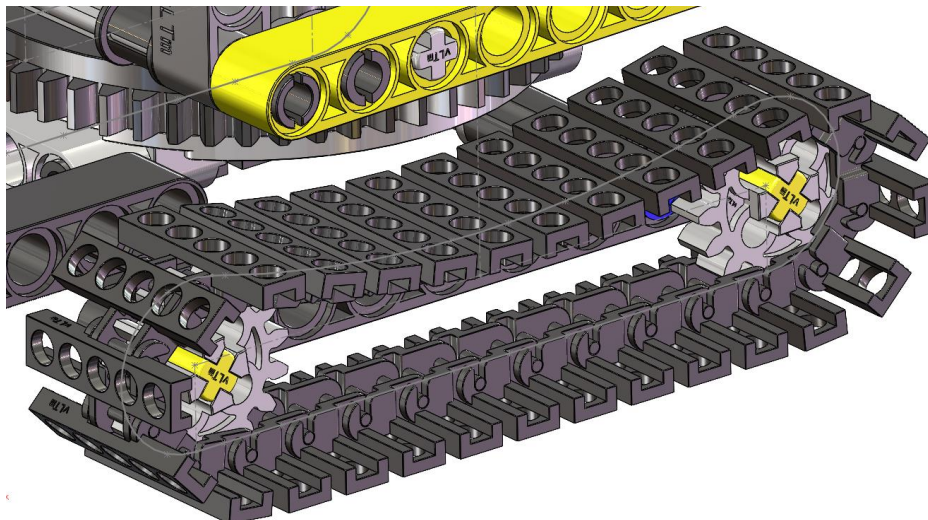


Figura 34 Cadena, resultado final

3.4.3.5. COMPROBACIÓN

Una vez tengamos el modelo final ensamblado, deberemos comprobar visualmente que todo está ensamblado de forma correcta, incluso comparando con el modelo físico original, posteriormente deberemos comprobar que todos los movimientos se pueden reproducir con las relaciones de posición que hemos definido.

Esta es una parte importante, ya que en las fases posteriores un posible fallo de diseño o ensamblaje no podrá ser corregido.

3.5. MODELOS ENSAMBLADOS GUIADOS

Previamente a realizar los modelos seleccionados para estudiar hemos utilizado distintos modelos guiados para poder ir aprendiendo las distintas técnicas de ensamblaje para poder aplicarlas posteriormente. Los denominamos guiados porque nos ayudamos de una secuencia de videos para poder realizarlos

3.5.1. MODELOS SIMPLES CON ENGRANAJES ISOGAWA

Se han realizado 16 modelos del autor Isogawa que nos permite tener un primer contacto con el programa SolidWorks y con los procedimientos a realizar.

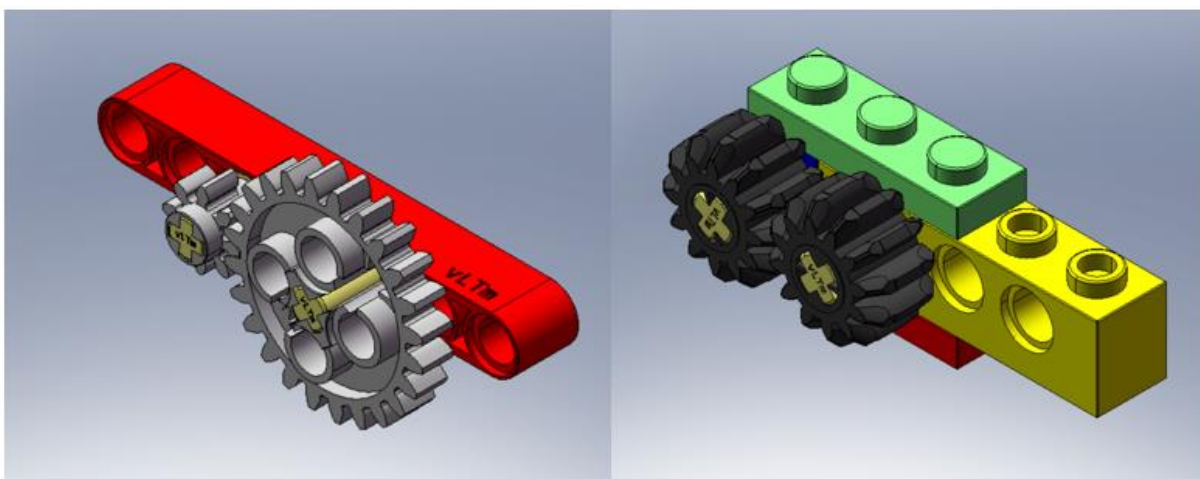


Figura 35 Modelos 002 y 008 de Isogawa

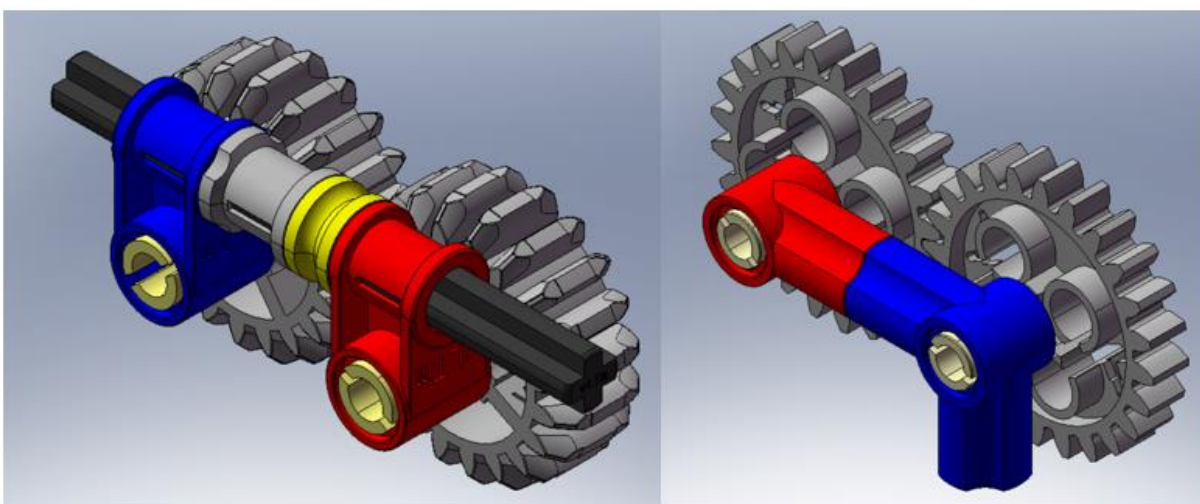


Figura 36 Modelos 009 y 013 de Isogawa

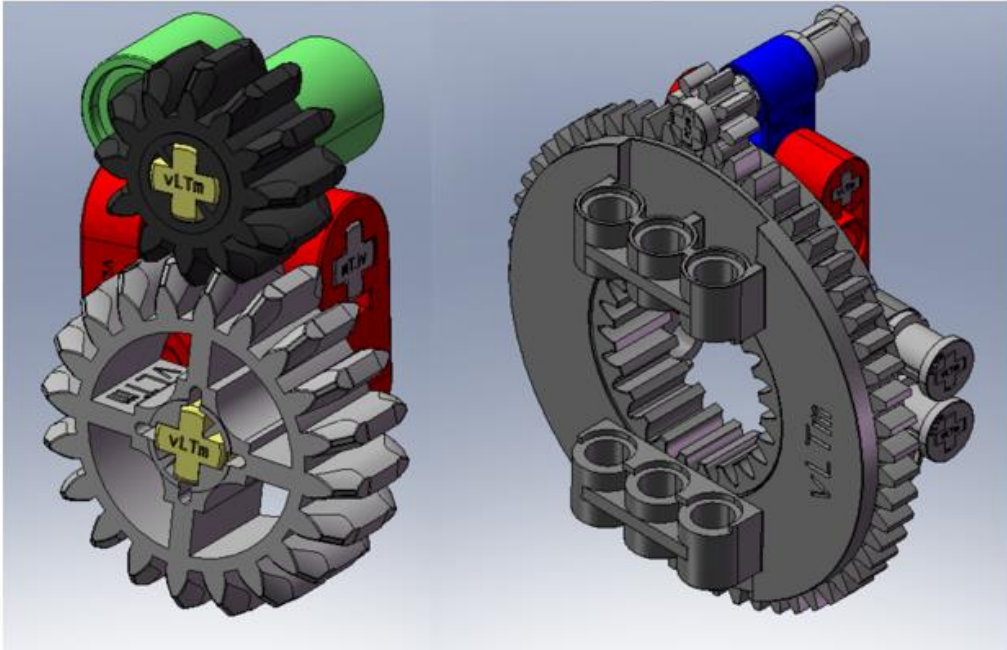


Figura 37 Modelos 026 y 037 de Isogawa

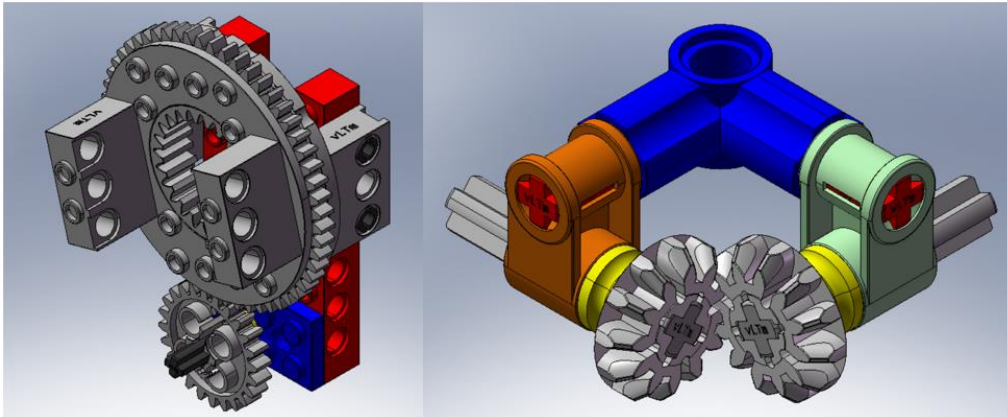


Figura 38 Modelos 040 y 051 de Isogawa

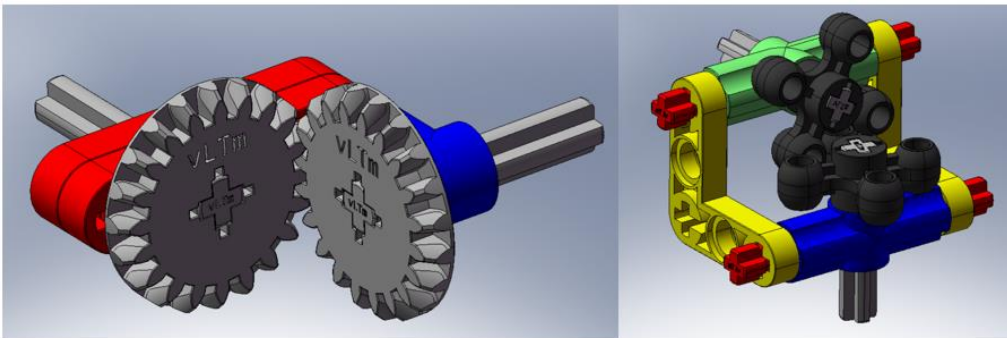


Figura 39 Modelos 059 y 062 de Isogawa

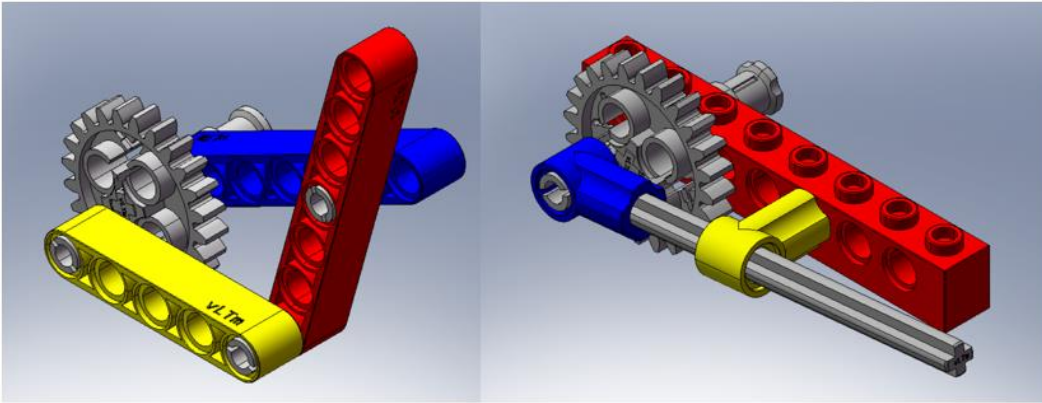


Figura 40 Modelos 093 y 098 de Isogawa

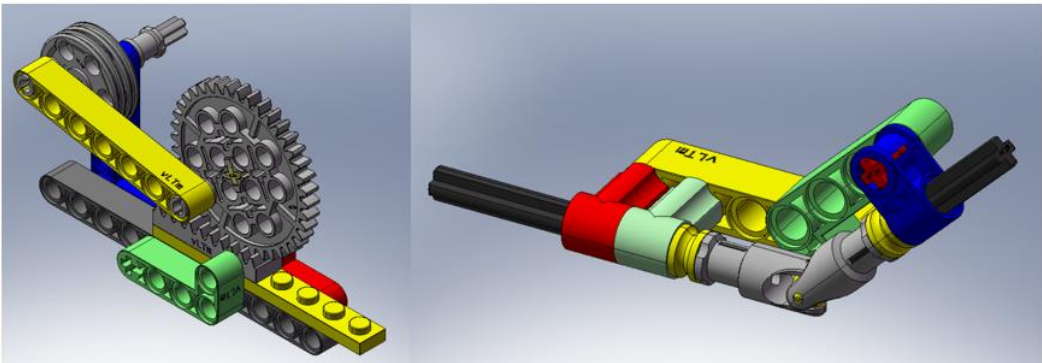


Figura 41 Modelos 102 y 107 de Isogawa

3.5.2. MODELOS ISOGAWA SERIE EV3 DE LEGO©

Estos modelos también se corresponden al autor Isogawa, pero en este caso añaden un grado mayor de complejidad.

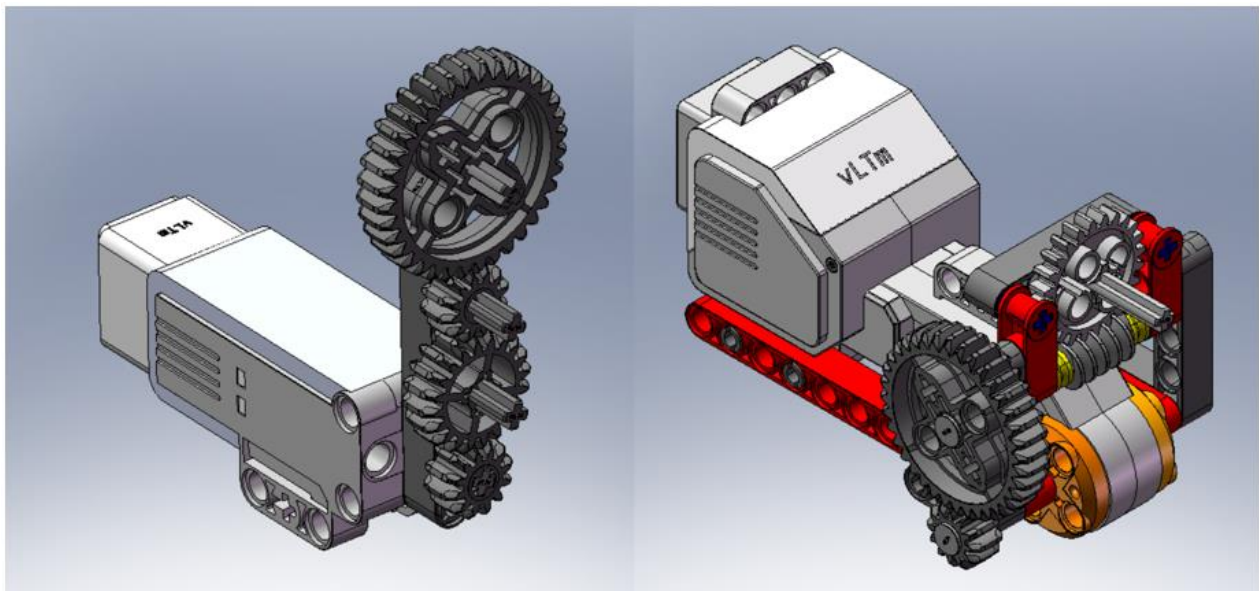


Figura 42 Modelos ev3 0024 y 0050 Isogawa

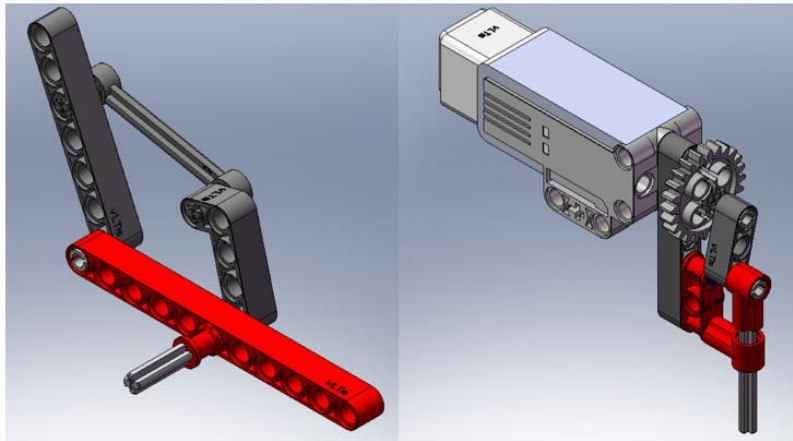


Figura 43 Modelos ev3 0053 y 0069 Isogawa

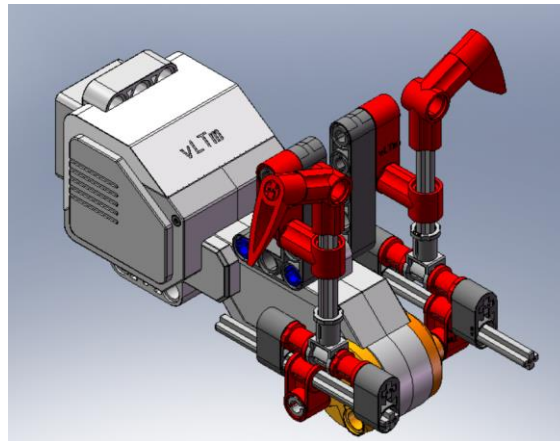


Figura 44 Modelo ev3 0134 Isogawa

3.5.3. MODELO LEGO TECHNIC 8862-1

Se trata del primer modelo de la serie de Lego Technic en SolidWorks 2007. Nos sirve para poner en pràctica todas las tÈcnicas aprendidas y nos vuelve a guiar en el proceso de hacer un ensamblaje en un modelo màs complejo y con mayor nùmero de componentes que los anteriores, pero a la vez se trata de un modelo màs sencillo que los posteriores no guiados.

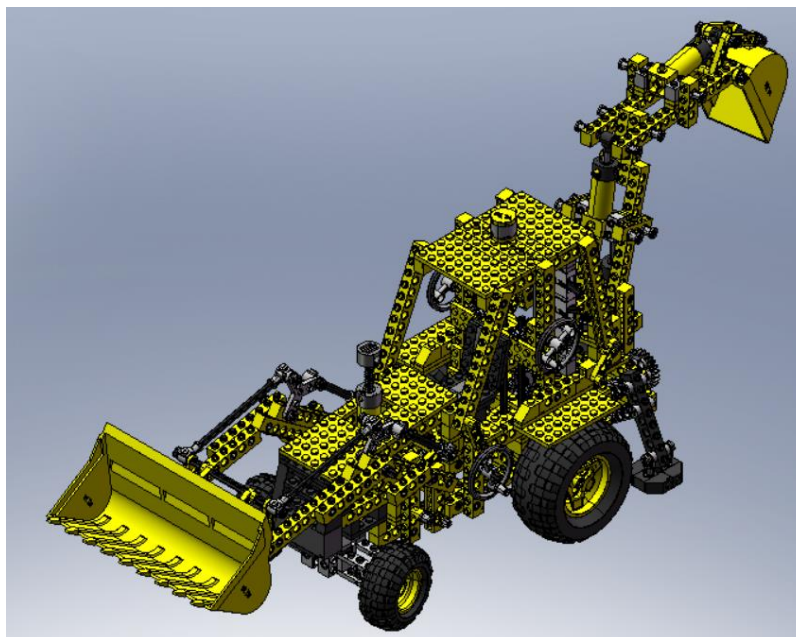


Figura 45 Modelo Lego Technic 8862-1

3.5.4. MODELO LEGO© TECHNIC 8047-1

Se trata del primer modelo de la serie de Lego Technic en SolidWorks 2021. En este caso también se ha elegido un modelo más simple que los posteriores, y la única parte guiada para este modelo era la creación de las cadenas, ya que el objetivo de este modelo es poner en práctica los conocimientos para crear las cadenas.

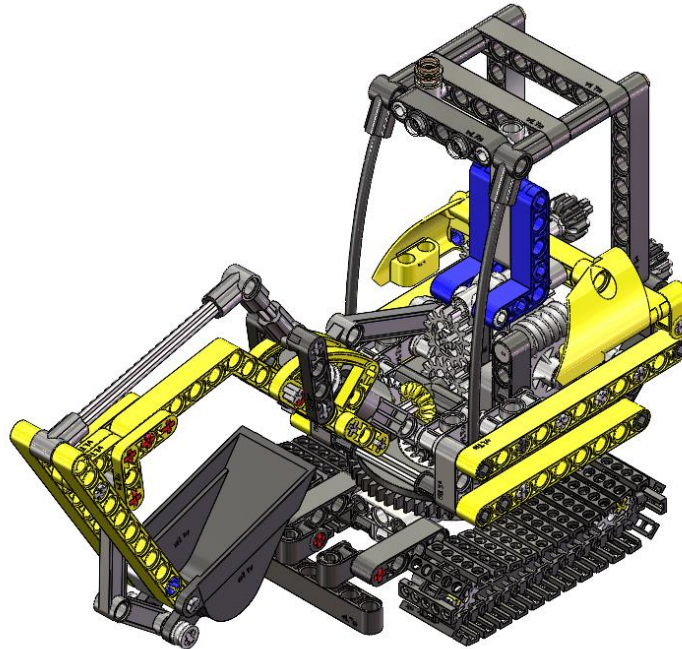


Figura 46 Modelo Lego Technic 8047-1

4. COMPACTACIÓN

Al completar el proceso de ensamblaje, se genera un modelo virtual compuesto por numerosas piezas, cada una de las cuales está compuesta por varios trozos o componentes. Esto implica una gran cantidad de relaciones de posición dentro del modelo y requiere una carga computacional significativa, por lo que es necesario compactar el modelo.

Para hacer el proceso de compactación las piezas se simplifican para que adquieran el mismo comportamiento que los componentes individuales, es decir, tenemos como resultado un modelo final formado por todas las piezas, pero dichas piezas no son ensamblajes a su vez, y todas las piezas pasan a estar fijadas en vez de tener relaciones de posición entre sí, todo ello para rebajar la carga computacional.

Posteriormente, deberemos establecer de nuevo las relaciones de posición para trabajar de nuevo con el modelo, pero en este caso el proceso es más rápido, ya que ya lo hemos realizado previamente y tenemos el ensamblaje original para revisar las relaciones de posición si surgiera alguna duda.

Una cuestión importante a tener en cuenta es escalar previamente los modelos destinados a ser simulados en Recurdyn que serán los modelos de SolidWorks 2021 para que se asemejen en tamaño a las máquinas reales, lo que mejora el realismo de las simulaciones. En el caso de modelos con cadenas, el escalado se ajusta para que el tamaño de las catalinas impulsoras coincida con el tamaño predeterminado de las catalinas del módulo de Toolkit de cadenas de Recurdyn, que explicaremos posteriormente.

5. CREACIÓN MODELO CINEMÁTICO AUTO-ALINEADO

5.1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

En esta etapa, se procede a la creación de modelos virtuales auto alineados, se definen como auto alineados los modelos que tienen mecanismos donde no se exceden las restricciones que aplicamos en el movimiento de estos y tenemos como resultado modelos que conseguimos alargar su vida útil.

Realizaremos este procedimiento con dos programas diferentes, el primero será el módulo CosmosMotion de SolidWorks 2007, que nos permite trabajar directamente con el formato de SolidWorks. El segundo se trata del programa Recurdyn empleado para auto alinear los modelos ensamblados con SolidWorks 2021 y tendremos que exportar el archivo desde el formato SolidWorks al formato propio del programa.

5.2. CONCEPTOS PREVIOS

5.2.1. PAR CINEMÁTICO

Podemos definir un par cinemático como la unión entre dos componentes de un mecanismo, y se pueden clasificar en distintos tipos según el movimiento relativo que permiten dentro del mecanismo. Crearemos las restricciones de movimiento según los grados de libertad que el par limite.

También es necesario definir, que, por el contrario, la movilidad del par será los movimientos relativos que sí se pueden realizar en el par cinemático.

Podemos observar la distinción entre las restricciones y la movilidad de cada tipo de par en la siguiente tabla:

Clase	1	2	3	4	5	Movilidad	
I		<i>Puntiforme</i> u_x, u_y, u_z	<i>De hilo</i> u_x, u_z	<i>De cinta</i> u_x, u_z	<i>(De área)</i> u_x, u_z	<i>(Lineal)</i> u_x, u_y, u_z	5
II		<i>Lineal</i> u_x, u_z, M_x, M_y	<i>Anular</i> u_x, u_z	<i>(Anular)</i> u_x, u_z	<i>(De banda)</i> u_x, u_z, M_y		4
III'		<i>Esferico</i> u_x, u_y, u_z		<i>(Esferico)</i> u_x, u_y, u_z	<i>(Helicoidal)</i> $u_x, u_z, M_y = f(u_y)$		3
III''		<i>Plano</i> u_z, M_x, M_y	<i>Anular con espiga</i> u_x, u_z, M_y	<i>(Anular)</i> u_x, u_z, M_y	<i>(Estriado)</i> u_x, u_z, M_y		3
IV		<i>Cilindrico</i> u_x, u_z, M_x, M_z	<i>Esferico con espiga</i> u_x, u_y, u_z, M_y	<i>De cadena</i> u_x, u_y, u_z, M_y	<i>(Estria con tope)</i> u_x, u_z, M_y		2
V		<i>Giratorio</i> u_x, u_y, u_z, M_x, M_z	<i>De traslacion</i> u_x, u_z, M_x, M_y, M_z	<i>Helicoidal</i> $u_x, u_z, M_x, M_z, M_y = f(u_y)$	<i>Espirial</i> $u_x, u_z, M_x, M_z, M_y = f(u_y)$		1

Figura 47 Tipos de pares cinemáticos (Fuente: L. Reshetov, Self-aligning mechanisms, Mir (1982))

Procedemos ahora a explicar los pares cinemáticos que usaremos a la hora de auto alinear los mecanismos de los modelos virtuales:

- **Fijo:** No permite ningún tipo de movimiento relativo, la utilizamos para restringir el movimiento entre piezas.

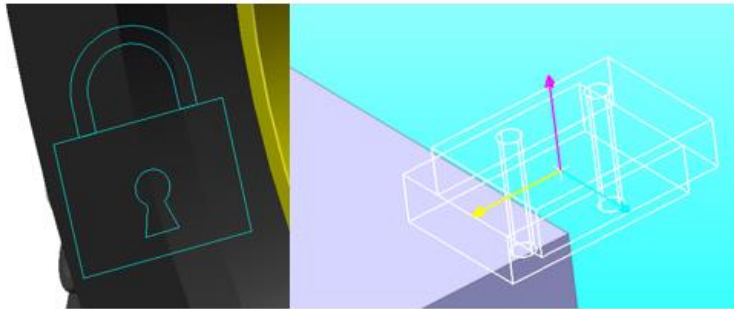


Figura 48 Par fijo CosmosMotion y Recurdyn

- **Giratorio (R):** Este par permite tanto el giro como la traslación alrededor del eje, mientras elimina la traslación y la rotación alrededor de los otros ejes. Conectividad 2; Restricciones 4.

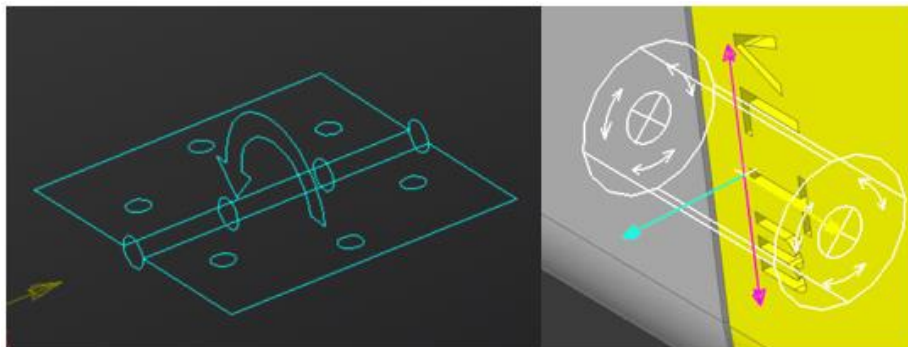


Figura 49 Par giratorio CosmosMotion y Recurdyn

- **Prismático (P):** Permite el desplazamiento de traslación entre dos cuerpos en la dirección de un eje. Elimina tres giros y dos desplazamientos. Conectividad 1; Restricciones 5.

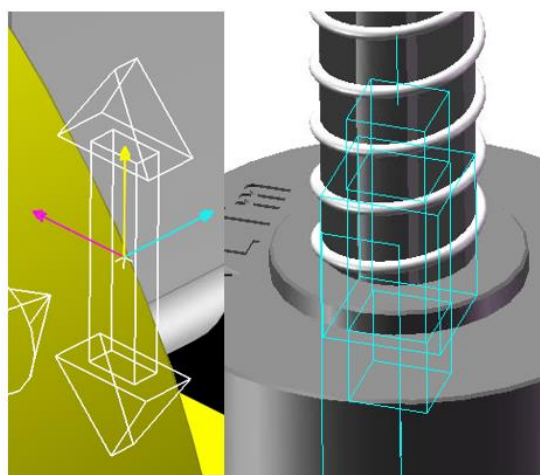


Figura 50 Par giratorio CosmosMotion y Recurdyn

- **Cilíndrico (C):** Permite el giro y la traslación alrededor del mismo eje. Elimina la traslación y la rotación alrededor de los otros ejes. Conectividad 2; Restricciones 4.

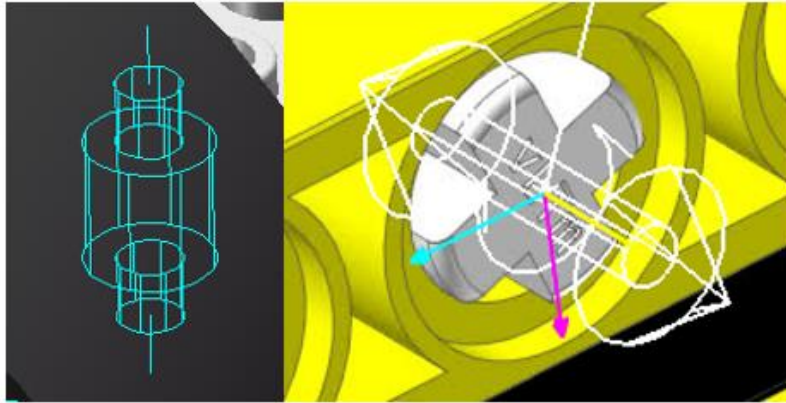


Figura 51 Par cilíndrico CosmosMotion y Recurdyn

- **Esférico (S):** Permite el giro alrededor de sus tres ejes. Elimina la traslación en los tres ejes. Conectividad 3; Restricciones 3.

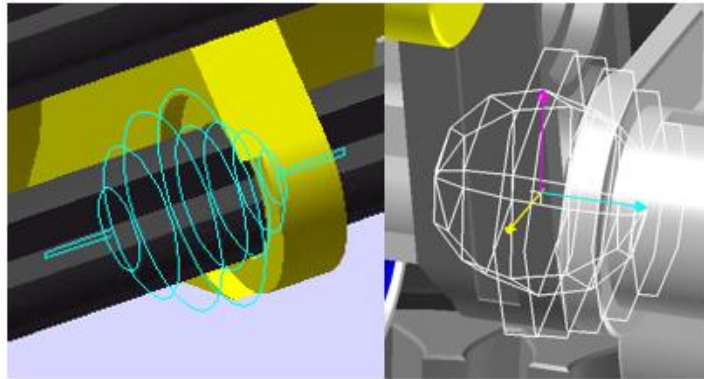


Figura 52 Par esférico CosmosMotion y Recurdyn

- **In line (IL):** Permite el movimiento de rotación alrededor de tres ejes y el de traslación alrededor de uno. Elimina el movimiento de traslación alrededor de dos ejes. Conectividad 4; Restricciones 2.

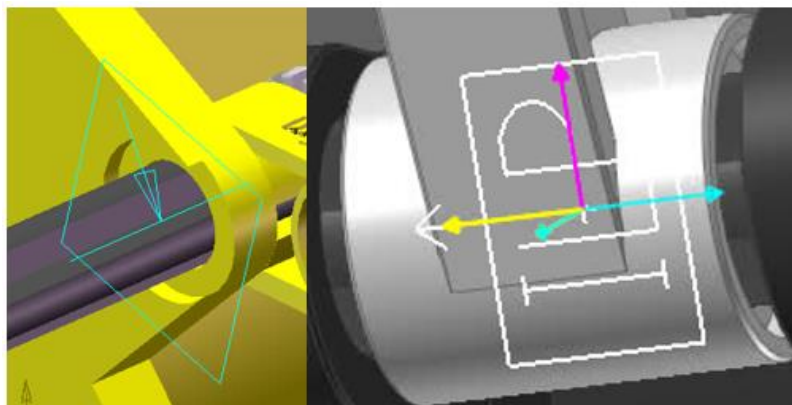


Figura 53 Par In line CosmosMotion y Recurdyn

- **In plane (IP):** Permite el movimiento de rotación alrededor de tres ejes y uno de traslación alrededor de dos. Elimina el movimiento de traslación alrededor de uno. Conectividad 5; Restricciones 1.

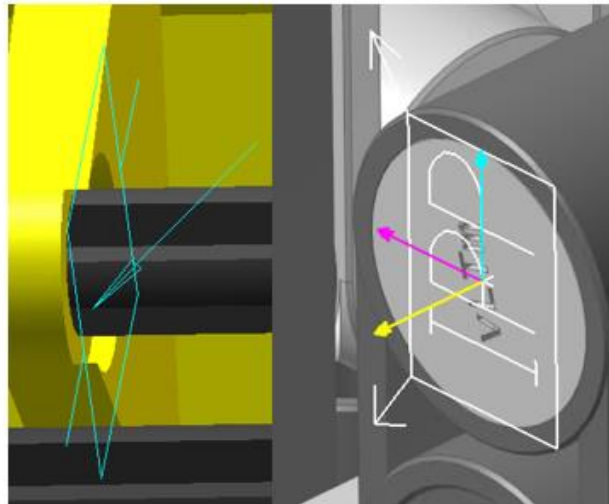


Figura 54 Par In plane CosmosMotion y Recurdyn

5.2.2. GRADOS DE LIBERTAD

El número de grados de libertad (GDL) de un sólido o cuerpo lo podemos definir como el número de coordenadas independientes necesarias para poder definir la posición del cuerpo respecto de un sistema de referencia dado.

Este concepto de grados de libertad será utilizado de hasta tres formas distintas entre sí dependiendo de la definición. Nos podemos encontrar como ya hemos definido anteriormente la primera de ellas, la segunda sería para definir los grados de libertad de un par cinemático, y la tercera se utilizará para definir la movilidad de un mecanismo.

5.2.3. CÁLCULO MOVILIDAD DE UN MECANISMO

Para definir los grados de libertad de un mecanismo lo definiremos como la movilidad del propio mecanismo.

Previamente podemos distinguir entre mecanismos planos y espaciales. Se define un mecanismo como plano cuando todos los cuerpos que lo componen se mueven en un plano o en planos paralelos, y por otro lado se define un mecanismo espacial cuando los cuerpos poseen movimiento con seis grados de libertad en lugar de tres.

Partiendo de esta distinción podemos encontrar dos fórmulas distintas para calcular los grados de libertad de cada tipo de mecanismos.

- En el caso de mecanismos planos se calcula la denominada movilidad 2D, con la fórmula Grübler:

$$M_{2D} = 3 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

- En el caso de mecanismos espaciales calculamos la movilidad 3D de la siguiente forma:

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Siendo:

- N: número de cuerpos del mecanismo
- P: número de pares del mecanismo
- f: la conectividad de los pares

La comprobación de este cálculo la realizamos con la movilidad aparente del mecanismo, que nosotros

mismos deducimos al visualizar el movimiento o movimientos que produce el mecanismo, posteriormente de deducir esta movilidad dibujamos el diagrama cinemático para poder hacer el cálculo.

5.2.4. DIAGRAMA CINEMÁTICO

Como se ha mencionado en el apartado anterior, es común utilizar un esquema en papel de los mecanismos que estamos estudiando para poder realizar el diagrama cinemático (DC) y de esta forma poder aplicar las fórmulas de Grübler.

Con este diagrama cinemático podemos distinguir de una mejor forma los componentes y los pares existente siguiendo los siguientes criterios:

- Dibujaremos los cuerpos y las conexiones con los otros cuerpos con colores distintos para realizar una distinción entre ellos, numerándolos para posteriormente obtener fácilmente la variable N.
- En cada par crearemos una pequeña tabla cerca de ellos que obtendrá tres columnas en las que pondremos primero el número de par, en la segunda columna pondremos el símbolo que identifica el tipo de par que encontramos, así como su conectividad, y en la última columna colocaremos los números de cuerpos que está conectando ese par.

A continuación, podemos ver ejemplos de un diagrama cinemático 2D y 3D:

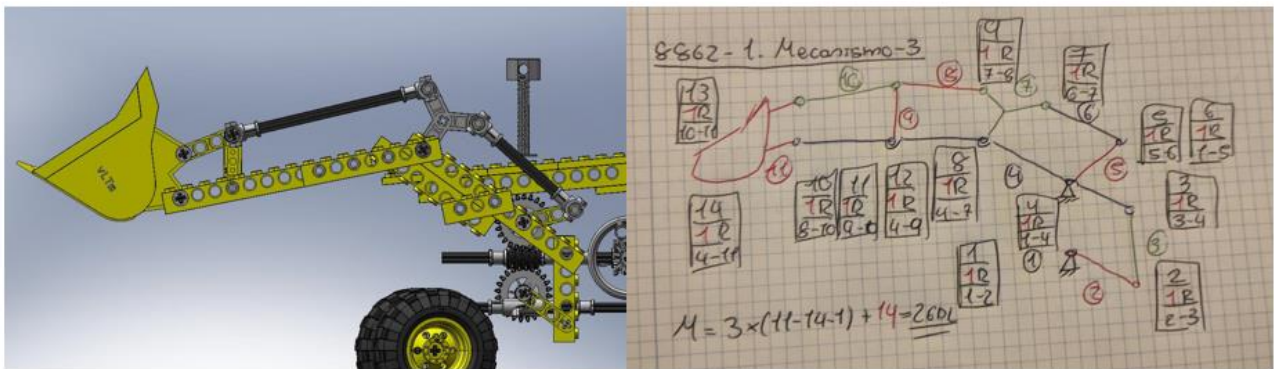


Figura 55 Diagrama cinemático 2D

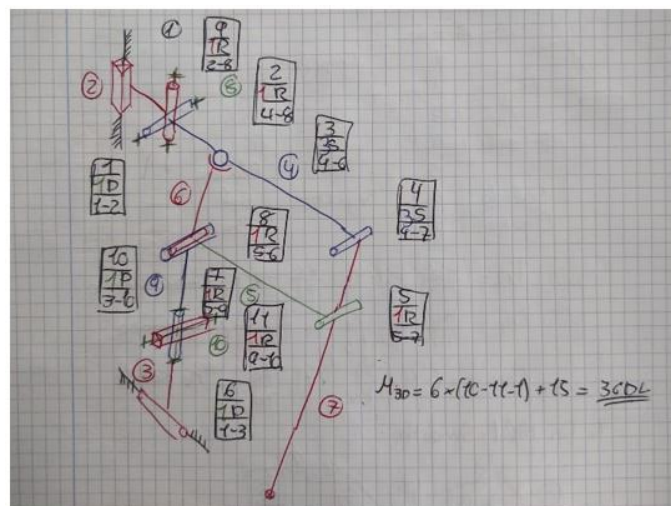


Figura 56 Diagrama cinemático 3D

5.3. TIPOS DE MECANISMOS SEGÚN LA MOVILIDAD

Con las fórmulas previamente explicadas, ahora podemos hacer una distinción de mecanismos según el resultado que dichas fórmulas nos den. También nos servirá la movilidad aparente para poder hacer la clasificación de los mecanismos.

Se pueden presentar los siguientes casos:

- **$M = 0$:** El mecanismo se considera una estructura y no presenta ningún tipo de movimiento.
- **$M \geq 0$:** El mecanismo se considera un mecanismo isostático, en este caso deberemos comparar la movilidad aparente con la que hemos calculado.

$$M_i = M_{3D} - M_a$$

Siendo:

- M_i , movilidad interna, la diferencia entre movilidad calculada y la aparente.
- M_{3D} , la movilidad calculada del mecanismo.
- M_a , la movilidad aparente del mecanismo.

Haciendo esta comparación podemos diferenciar entre:

- $M_{3D} > M_a$, en este caso podemos apreciar que en el proceso de realizar la auto alineación del mecanismo se han utilizado pares cinemáticos con conectividad mayor a la necesaria, se ha de intentar modificar los pares para que no ocurra esto.
- $M_a = M_{3D}$, en este caso se trata de un mecanismo auto alineado, este es nuestro objetivo en los modelos que realizamos en este proyecto y cuyas ventajas comentaremos más adelante.
- **$M < 0$:** El mecanismo se considera un mecanismo hiperestático, esto significa que nos encontramos con restricciones en exceso y deberemos modificar del mismo modo los pares cinemáticos aumentando su conectividad, para poder tener el mecanismo auto alineado y eliminar esas restricciones en exceso. El número de restricciones en exceso (NRE) lo podemos calcular:

$$NRE = M_a - M_{3D}$$

5.4. IMPORTANCIA MECANISMOS AUTO-ALINEADOS

Para poder hablar de los mecanismos auto alineados debemos mencionar al autor del libro “Mecanismos Autoalineadores”, el profesor L. Reshetov. En este libro se destaca la importancia de conseguir que los mecanismos sean determinados estáticamente, con el objetivo de aumentar el ciclo de vida de estos.

Al realizar los mecanismos auto alineados, podemos construir un modelo o máquina a su vez auto alineado, que presentan más ventajas que los modelos no auto alineados.

Entre las ventajas podemos destacar que a los modelos auto alineados podemos variar las dimensiones de los componentes sin ningún tipo de problemas, que en los mecanismos no auto alineados se pueden provocar por un mal montaje o desgaste de los componentes, también provocados por un mal funcionamiento de los propios mecanismos.

Por lo tanto, podemos apreciar la importancia de auto alinear los mecanismos pues finalmente alarga la vida útil y ahorra posibles reparaciones de los componentes.

5.5. AUTO ALINEACIÓN DE LOS MODELOS Y SIMULACIÓN

Ya hemos estudiado la definición de los mecanismos auto alineados, ahora procederemos a estudiar el proceso para conseguir estos mecanismos auto alineados en los modelos virtuales que estudiaremos, el proceso será el mismo, pero variará la interfaz y la forma de conseguirlos en los dos diferentes programas que utilizaremos para ello, Cosmos Motion y Recurdyn.

5.5.1. PRIMER SOFTWARE: COSMOS MOTION

El primer software que utilizaremos para simular y autoalinear los modelos será el módulo Cosmos Motion de la versión de 2007 del programa SolidWorks.

A continuación, definiremos el entorno y los procedimientos a seguir en este software para el objetivo.

5.5.1.1. DEFINICIÓN DE JOINTS Y GRADOS DE LIBERTAD

En este apartado definiremos los pares cinemáticos previamente explicados, que poseerán sus nombres propios en el software, a partir de aquí procedemos a explicar el procedimiento tomando de ejemplo el modelo guiado 8862-1.

El entorno de Cosmos Motion en realidad es el mismo que el de SolidWorks ya que encontramos el módulo dentro del programa, simplemente nos iremos a la pestaña de Motion donde se denomina como Motion Model y tendremos que designar la función de todas las piezas del modelo.

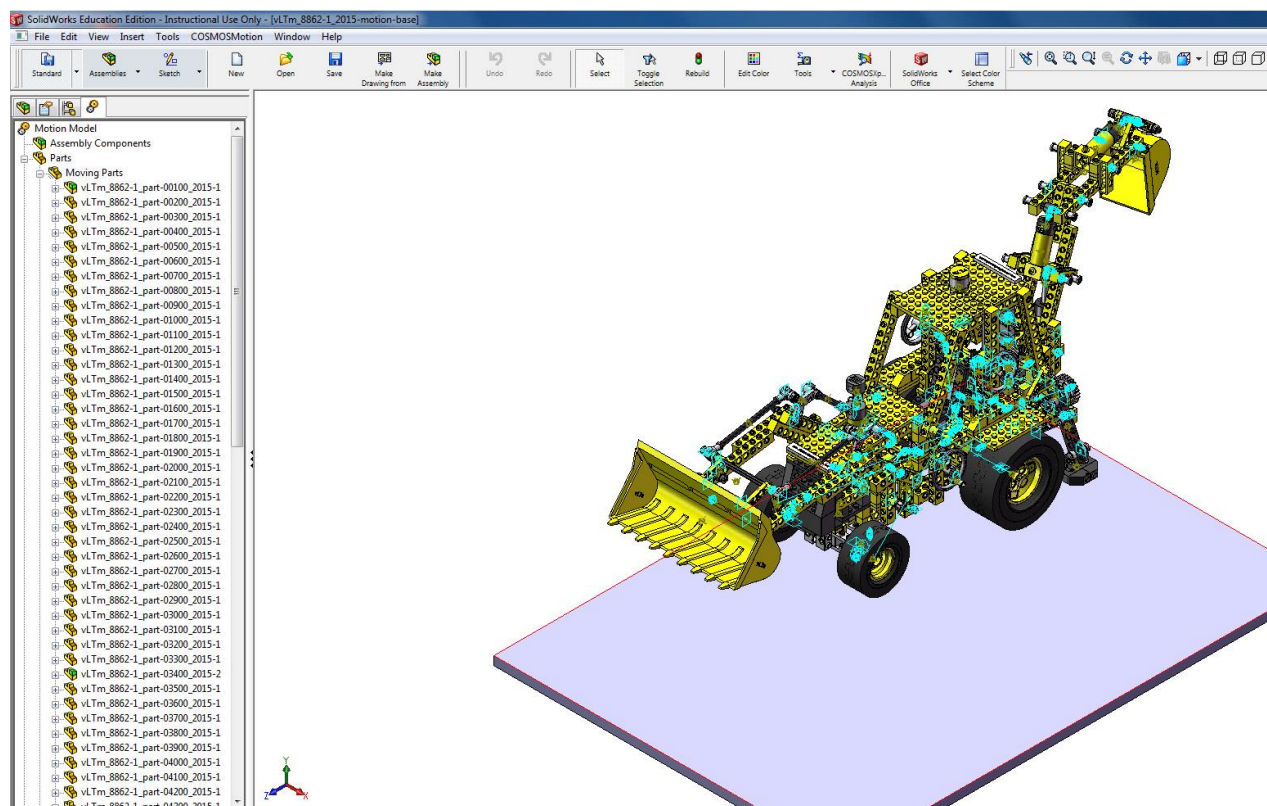


Figura 57 Entorno de Cosmos Motion

Los primeros pasos serán designar las piezas fijas y las piezas móviles, denominadas en el programa como “Ground Parts” y “Moving Parts”, previamente a esto, debemos mencionar que primero se hace un modelo denominado “vLTm-xxxx-x-x-2023-motion” que destacará por tener como parte fija la pieza número uno que denominamos chasis, y en el que establecemos todos los movimientos de las partes móviles respecto de ese chasis. Posteriormente a tener todos estos componentes y movimientos establecidos, es cuando introducimos la base sobre la que se va a desplazar el modelo, a la que llamaremos “vLTm-xxxx-x-x-2023-motion-base”, y en donde ya definiremos todo el movimiento sobre la base y la simulación final que queremos realizar.

Una vez explicada esta diferenciación entre designar las partes fijas en cada tipo de archivo, procedemos a explicar el proceso para ir introduciendo las partes móviles. La forma más eficiente de ir haciendo esto es crear los joints necesarios para cada pieza respecto del chasis, ya que el programa crea joints automáticamente según las relaciones de posición creadas previamente, estos joints no nos sirven ya que no podemos modificarlos, y a la hora de auto alinear los modelos no sería posible, de este modo es necesario eliminarlos y crearlos de nuevo nosotros definiendo el tipo de par cinemático necesario.

Podríamos denominar a la misma vez todos los componentes como móviles, y eliminar los joints creados automáticamente, pero de esta forma no llevaríamos un seguimiento claro de las partes que ya hemos definido y sería más laborioso comprobar los movimientos con las simulaciones.

En el programa podemos definir los joints, yéndonos en el botón “Joints” y pulsando “Add xxxx Joint”, siendo “xxxx” el nombre del joint que queremos definir.

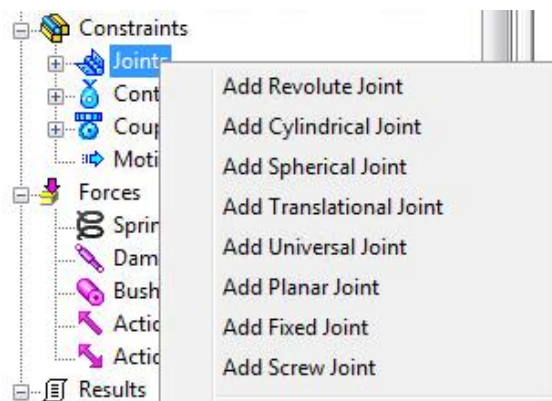


Figura 58 Creación de Joints en Cosmos Motion

Es importante definir del mismo modo la localización del joint que queremos crear y la dirección de este ya que afectará al movimiento final que queramos crear.

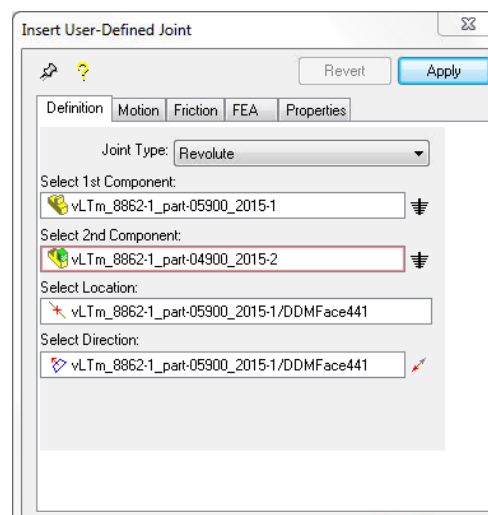


Figura 59 Definición del Joint

El proceso que utilizamos para auto alinear los mecanismos que nos encontramos es definiendo en una primera instancia los pares cinemáticos que cumplen con la función básica que buscamos entre los componentes, como puede ser un par giratorio.

Una vez hemos definido todos los pares de un lazo cinemático es cuando estudiamos la movilidad de este, el exceso de restricciones que tiene en ese momento y los grados de libertad que presenta comparándolo a lo que buscamos en ese mecanismo.

Esto lo hacemos una vez se cierra el lazo cinemático, es decir, cuando empezando a definir los pares pasamos por ciertos componentes que hacen que volvamos al punto inicial, en el programa nos iremos a la pestaña de “COSMOSMotion”, donde buscaremos la opción de “Show Simulation Panel” y aquí finalmente es donde podremos calcular la movilidad utilizando la opción “Calculate”.

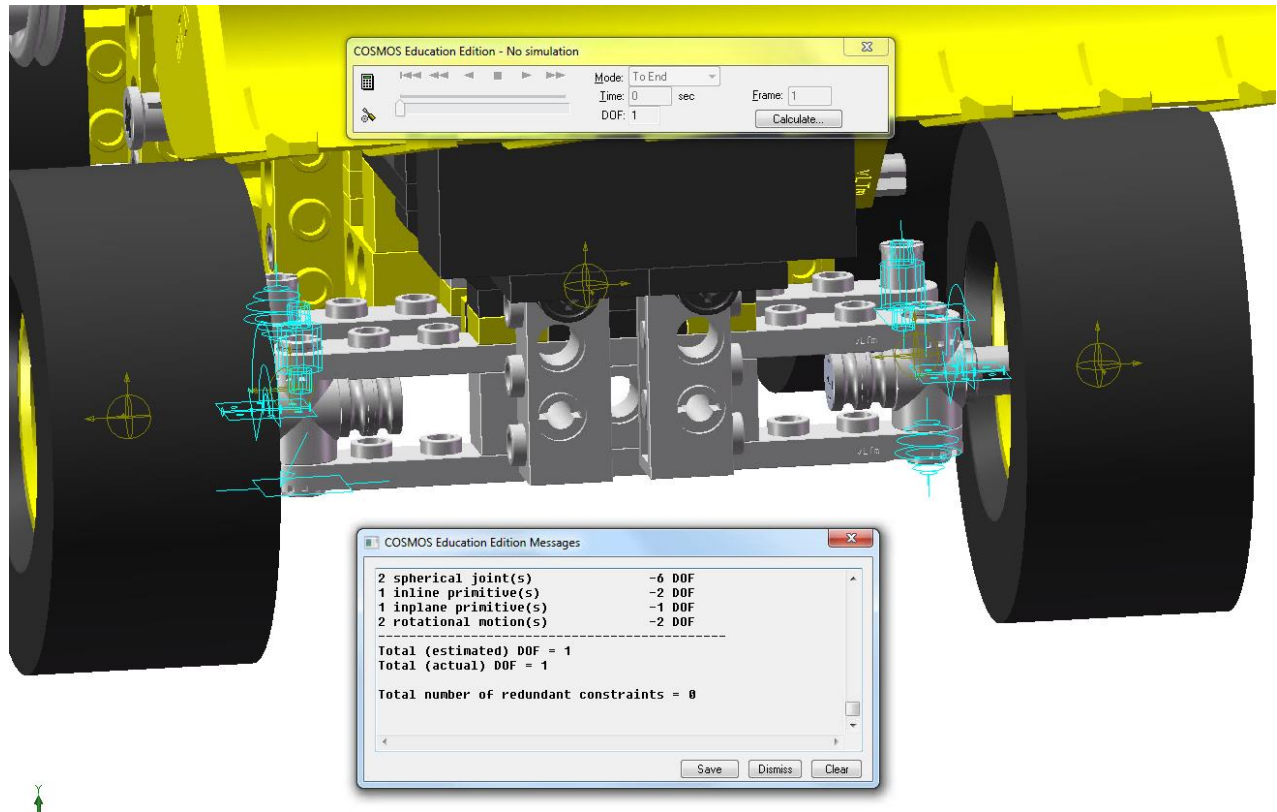


Figura 60 Ejemplo cálculo de movilidad

En esta ventana emergente encontramos los grados de libertad estimados, “Total (estimated) Degree Of Freedom” y la movilidad actual del mecanismo, y posteriormente nos muestra las restricciones en exceso que tenemos, en el ejemplo ya se ha optimizado a lo que sería un lazo auto alineado, podemos ver que presenta solo un grado de libertad ya que hemos impuesto velocidad a los componentes de las ruedas y por lo tanto hemos nosotros establecido esos movimientos y el programa solo tiene en cuenta el grado de libertad que tenemos para que el sistema de giro sea posible.

Cuando tenemos un lazo cinemático definido únicamente con los pares básicos, nos encontraremos con restricciones redundantes a eliminar, esto lo hacemos cambiando normalmente un par giratorio por un cilíndrico aportando un grado de libertad, y comprobando la movilidad después de cada cambio que realizamos hasta llegar al punto deseado.

Este procedimiento lo deberemos realizar con cada lazo cinemático que vayamos introduciendo en el modelo final hasta que tengamos todos componentes incluidos en este modelo cinemático.

También es importante destacar que cabe la posibilidad de que haya restricciones en exceso que no se puedan modificar por la propia geometría de los componentes Lego que no nos permiten variar ciertos pares cinemáticos.

5.5.1.2. ACOPLAMIENTOS

Para poder simular los movimientos que se dan por contacto entre dos componentes (como pueden ser los movimientos accionados por engranajes, ruedas dentadas, etc.), se podría directamente utilizar la relación de sólidos que nos proporciona el programa, pero esto elevaría mucho la carga computacional del modelo.

Como solución alternativa a esto, podemos definir “Coupler” o acoplamientos que nos permitirá establecer la relación en base a los giros de los componentes, para ello solo podemos elegir los joints que son giratorios, prismáticos o traslacionales, aunque lo más común será hacerlo con los giratorios o prismáticos.

Deberemos elegir entonces los joints o pares cinemáticos con los que definiremos el acoplamiento, seleccionando si se trata de rotación o de traslación. El sentido en el que girarán no se sabe previamente, por ello se debe comprobar con la simulación para poder a justar al movimiento correcto de los componentes.

Al definir el acoplamiento también es necesario definir los grados de giro en cada caso, que por ejemplo en los engranajes serán los números de dientes de cada uno.

Por último, hay que destacar que al definir un acoplamiento se está eliminado un grado de libertad del sistema.

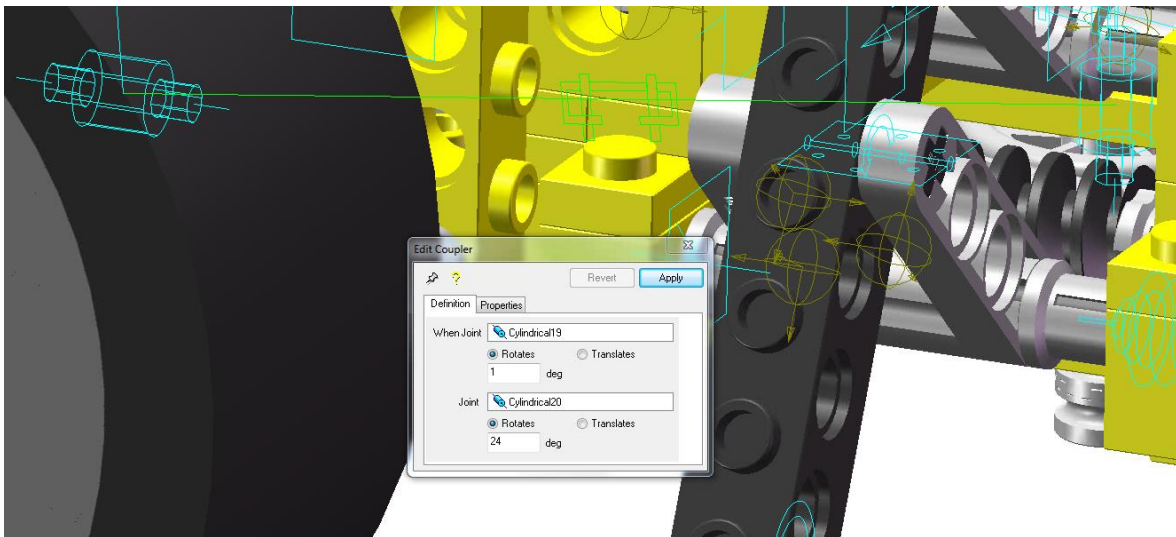


Figura 61 Ejemplo de acoplamiento

5.5.1.3. MOVIMIENTOS

Una vez se ha definido correctamente todos los pares cinemáticos correspondientes, es la hora de definir los movimientos que van a hacer que nuestro modelo pueda funcionar de forma correcta y puedan accionar los distintos mecanismos del modelo.

El movimiento lo definimos directamente en las propiedades de los joints creados, al hacer esto elimina los grados de libertad ya que estamos imponiendo el movimiento, siendo el joint el conductor del movimiento. Es importante este paso, ya que si no definimos este tipo de acciones la simulación solo será respecto a la gravedad.

En este apartado también nos sirve visualizar el modelo físico para saber y conocer desde donde se acciona el movimiento y poder aplicarlo a los mecanismos virtuales y poder definir que joint va a ser el que accione todo el mecanismo.

Para poder definir el movimiento nos vamos a las propiedades del joint, y dentro de este nos vamos a la pestaña de “Motion”, en “Motion ON” podemos distinguir entre rotacional o traslacional si el par lo permite.

Después elegimos el tipo de movimiento que queremos definir, podremos encontrar entre desplazamiento, velocidad o aceleración.

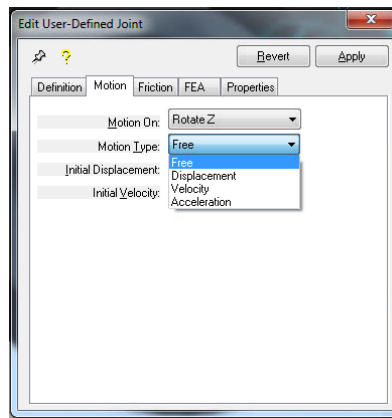


Figura 62 Tipo de movimiento a definir

En este proyecto solo utilizaremos el desplazamiento y la velocidad, y dentro de estos tipos utilizaremos principalmente tres funciones:

- Constant: se utiliza para mantener un movimiento constante, si lo hacemos con un movimiento de velocidad giratorio poniendo 360 deg/sec significará que tendrá esa velocidad mantenida en el tiempo.

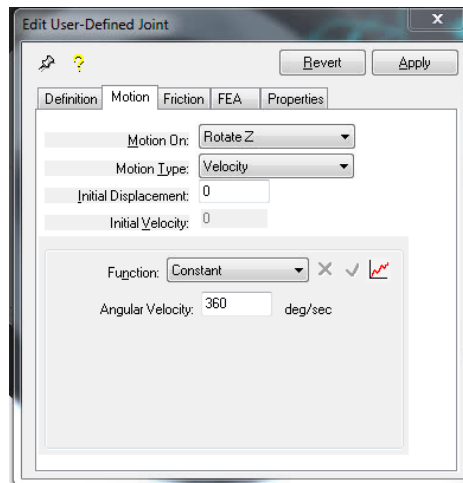


Figura 63 Tipo de función constant

- Step: lo utilizamos para definir el movimiento entre dos instantes de tiempo, definiendo una posición o velocidad final y una final.

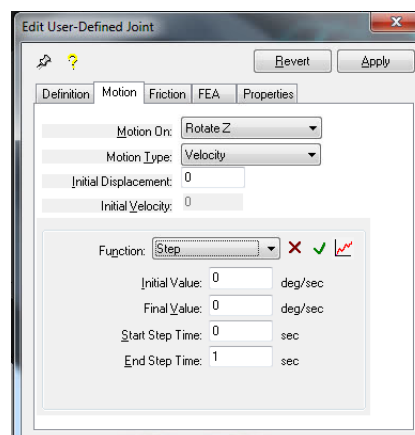


Figura 64 Tipo de función Step

- Expression: esta la consideramos un paso siguiente al step, ya que podemos definir nosotros mismos la expresión o fórmula que queremos darle al movimiento, normalmente la utilizamos para definir

un movimiento más complejo con diferentes steps dentro del movimiento para realizar una simulación final.

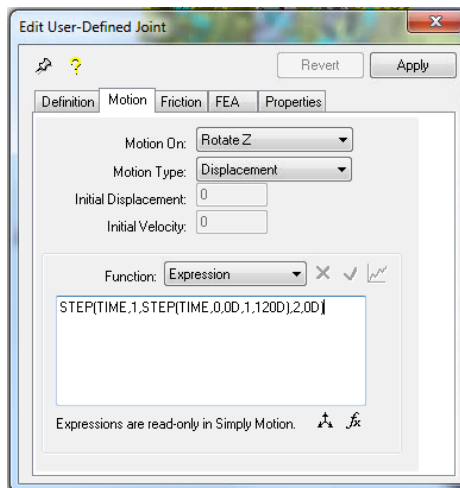


Figura 65 Tipo de función Expression

En este caso utilizamos la expresión STEP (TIME, 0, 0D, 1, 120D), es un comando step donde definimos las posiciones iniciales y finales tanto de tiempo como de grados en este caso, primero ponemos el tiempo final, seguidamente la posición inicial, y a continuación lo mismo con las posiciones finales.

Una vez que tenemos el modelo final auto alineado deberemos reducir los grados de libertad a cero, ya que deberemos conducir los movimientos para realizar la simulación final.

Antes de incluir la base y definir exactamente toda la simulación que queremos hacer respecto de ella, guardamos este archivo con la terminación -motion para designar este archivo como el auto alineado pero con el chasis fijo.

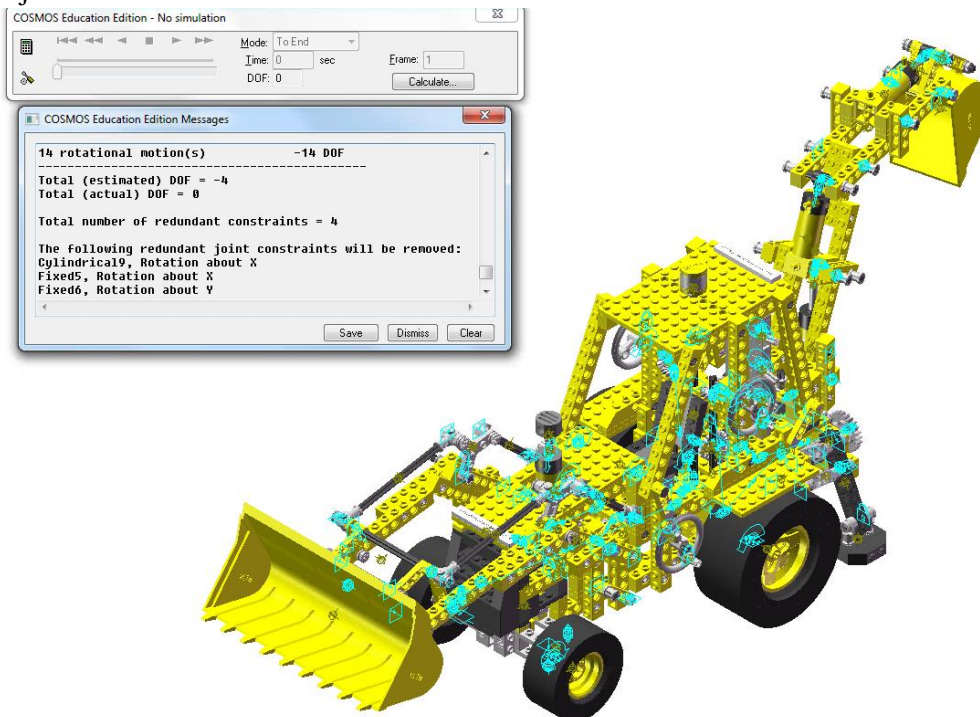


Figura 66 Modelo motion auto alineado

5.5.1.5. SIMULACIÓN FINAL

En esta simulación final o cinemática es en la que crearemos la simulación sobre una base, esta la hacemos partiendo del archivo base anterior que hemos denominado -motion, ahora lo denominaremos -motion-base, y seguiremos los siguientes pasos hasta tener la simulación final:

- Añadiremos la base al modelo, haciéndola como fija y en una posición cercana a las ruedas del modelo.
- Cambiaremos el chasis de fijo a móvil. Es necesario hacer una captura a los joints actuales, ya que al hacer este cambio se crearán automáticamente de nuevo muchos joints no deseados y perderíamos mucho tiempo de trabajo buscando uno a uno para eliminarlos, de este modo haremos una comparación y podremos eliminar los nuevos.
- Deberemos modificar las ruedas para evitar dejar la geometría compleja que tienen y que elevarían la carga computacional al calcular el contacto de sólidos entre las ruedas y la base.

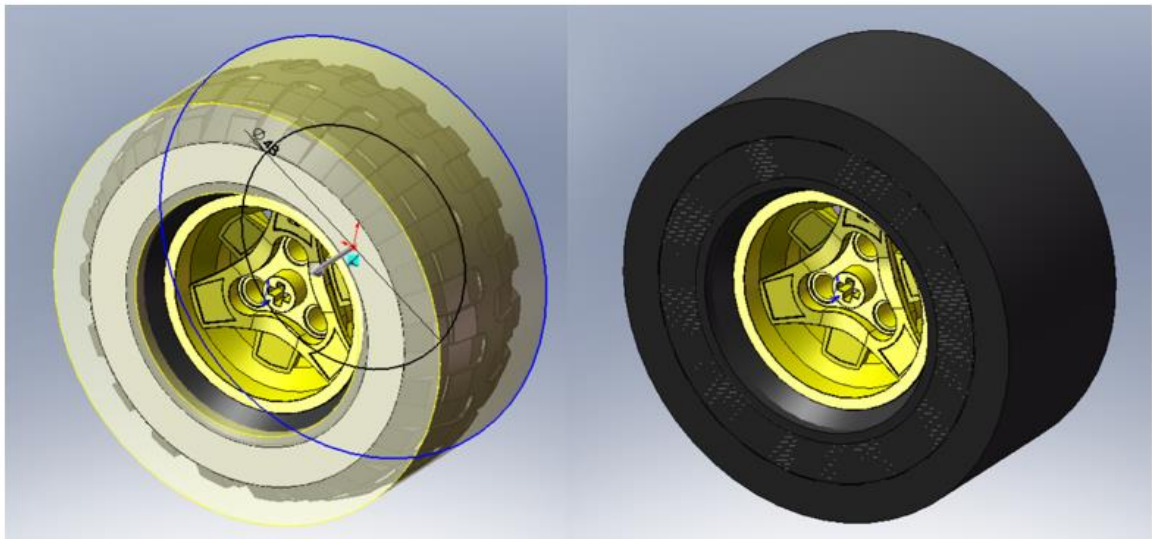


Figura 67 Extrusión para ruedas

Para ello deberemos realizar una extrusión que simule el neumático con un diámetro exterior algo mayor que el diámetro de la rueda.

- Ahora ya podremos definir el contacto entre la base y las ruedas que haremos mediante la función de contacto 3D.
- Solo deberemos tener definidos los movimientos de dos ruedas, ya que las otras dos al haber establecido el contacto con la base seguirán la velocidad que imponamos en las ruedas restantes.
- Por último, solo quedará establecer los movimientos con el tiempo respectivos necesarios para mostrar el accionamiento de los mecanismos con orden y que no pueda causar posibles errores en la simulación.

Una vez realizados estos pasos solo queda pasarlo a un programa de SolidWorks más reciente para poder crear un archivo eDrawings del mismo y donde podamos exportar de forma correcta la simulación para poder tener el vídeo de la misma.

5.5.1.6. MODELOS SIMULADOS GUIADOS

En esta fase de utilizar el módulo de Cosmos Motion hemos tenido dos modelos guiados para poder aprender de ellos y aplicarlo a nuestros modelos.

5.5.1.5.1. MODELO LEGO® TECHNIC 8816-1

Es el primer modelo al que realizamos una simulación con Cosmos Motion, se trata de un modelo con una cantidad pequeña de componentes.

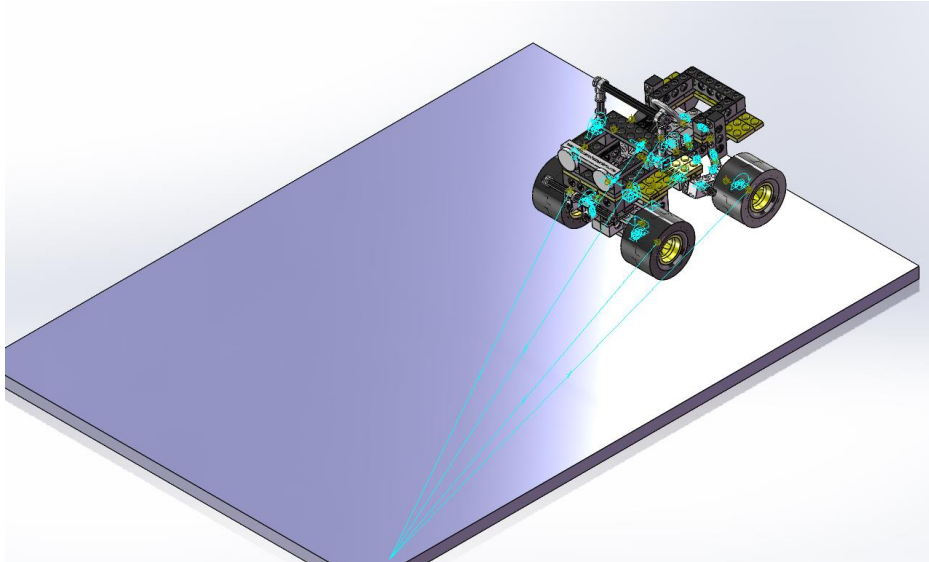


Figura 68 Modelo Lego Technic 8816-1

5.5.1.5.2. MODELO LEGO® TECHNIC 8459-2

El segundo modelo ya posee una mayor cantidad de componentes y con mecanismos algo más complejos.

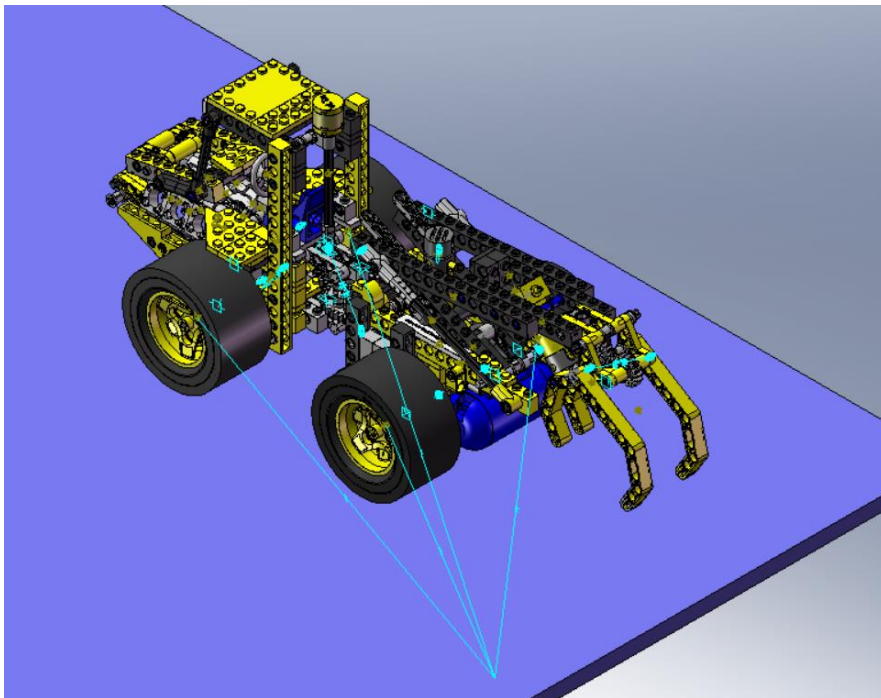


Figura 69 Modelo Lego Technic 8459-2

5.5.1.5.3. MODELO LEGO® TECHNIC 8862-1

El último modelo guiado de Cosmos Motion es el modelo 8862-1 que previamente hemos visto y hemos utilizado de ejemplo para explicar los distintos procedimientos tanto para el auto alineado como para la simulación.

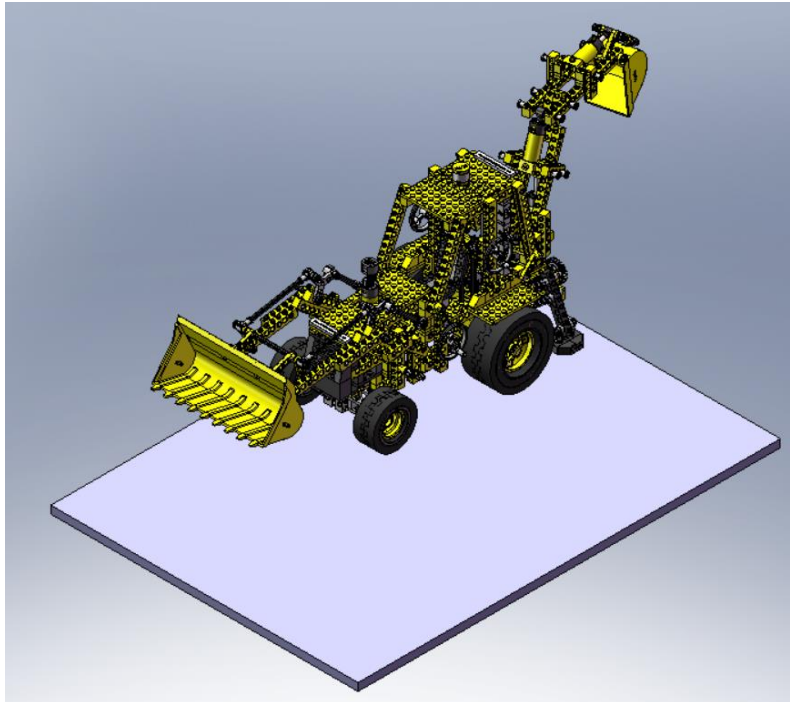


Figura 70 Modelo Lego Technic 8862-1 para simulación

5.5.2. SEGUNDO SOFTWARE: RECURDYN

El segundo software que utilizaremos para simular es Recurdyn, al no ser este un módulo de Solid Works, deberemos realizar unos pasos previos para poder exportar y utilizar los modelos ensamblados en la versión más reciente de Solid Works.

Primero deberemos coger el modelo compactado de la versión de Solid Works 2021 y guardarlo en el formato Parasolid (*.x_t;*.x_b).

A continuación procederemos a abrir el software Recurdyn en el que abriremos un nuevo modelo al que llamaremos vLTm_”B”_”aaaa”-motion con el nombre correspondiente del modelo compactado, ahora importaremos el archivo Parasolid.

En este momento deberemos seguir el mismo procedimiento que con el primer software, teniendo en cuenta los cambios en la interfaz y en algunos procesos.

Al introducir el modelo, por defecto caerán por gravedad, por ello es importante establecer como fija la base o el chasis con el que vamos a trabajar.

En este software también podemos encontrarnos con procesos diferentes, ya que podemos importar de cero el modelo entero con todos los componentes, pero posteriormente esto puede producirnos problemas a la hora de trabajar y poder establecer todos los pares necesarios, por ello existe la posibilidad de ir exportando a formato Parasolid los componentes necesarios e insertarlos de nuevo.

5.5.2.1. JOINTS Y ACOPLAMIENTOS

En este software la opción para añadir los pares lo encontraremos en la pestaña de “Professional”.



Figura 71 Pestaña Professional Recurdyn

Al usar estos joints, deberemos elegir la opción de definirlo mediante la opción de “body, body, point, direction”, que nos permitirá elegir los dos cuerpos involucrados, el punto donde localizaremos el joint y la dirección de este.

Con la opción “Coupler” podremos definir los acoplamientos, que funcionará de la misma forma que cuando lo explicamos para el primer software, definiendo los joints que están involucrados, definiendo los pasos o dientes de cada uno correctamente y comprobando posteriormente el movimiento que hemos definido.

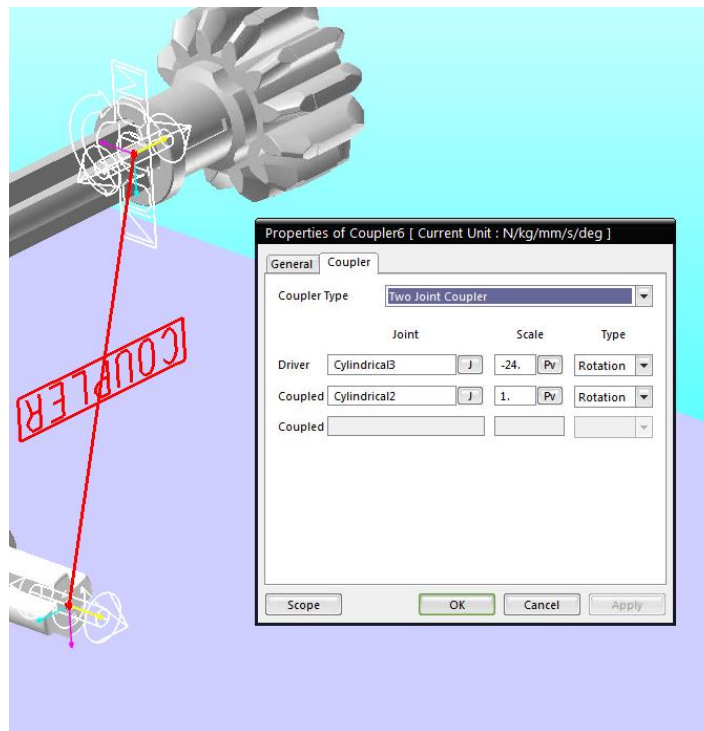


Figura 72 Ejemplo de acoplamiento Recurdyn

5.5.2.2. GRADOS DE LIBERTAD Y RESTRICCIONES EN EXCESO

El proceso de comprobación de los grados de libertad y de las restricciones en exceso que debemos eliminar lo haremos mediante dos pestañas del programa, una será la opción “Pre” en la pestaña del programa “Analysis” que nos hará un preanálisis calculando la movilidad del modelo, y con la opción “Dyn/Kin” que nos hará ese mismo cálculo, pero complementándolo con una simulación del modelo.

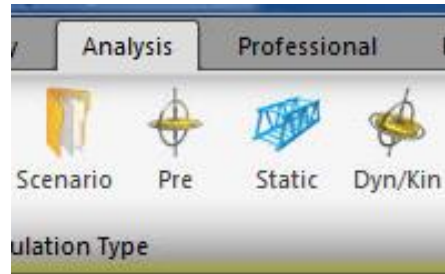


Figura 73 Opciones de análisis

El número de grados de libertad lo podremos ver en la sección de “Kynematic Degree Of Freedom”, que en el siguiente ejemplo serán 64, y las restricciones en exceso que deberemos intentar eliminar lo podremos ver en la sección de “Redundant Constraint Information”, que en el ejemplo no aparecerá ninguno ya que nos muestra el mensaje de “There is no redundant constraint”.

```

System Configuration Information
  No. of Generalized Coordinate      = 91
  No. of Generalized Velocity        = 91
  No. of Rigid Body                  = 81
  No. of Solid to Solid Contact      = 112

Kinematic Degree of Freedom          = 64

Total array size                     = 45816979
Total memory size for array          = 371 MB

Success Process: Array Structure Construction

Redundant Constraint Information
  There is no redundant constraint

RecurDyn/SOLVER Information
  DLL type Solver for Windows 64 Bit
  No. of CPU Thread = 4
  C:\Program Files\FunctionBay, Inc\RecurDyn V8R5\Bin\IFSolver\SlvC
  C:\Program Files\FunctionBay, Inc\RecurDyn V8R5\Bin\IFSolver\Cuse

Analysis Information
  Pre Analysis
  End Time                          = 0.0000000000000000
  Step                               = 1
  Plot Multiplier Step Factor        = 1
  Maximum Time Step                  = 1.0E-002
  Initial Time Step                  = 1.0E-006
  Error Tolerance                    = 5.0E-003

Analysis Time Information
  Starting Time/Date                 = 19:7:23 / 2024.5.20
  Ending Time/Date                   = 19:7:23 / 2024.5.20
  CPU Time = 0.0 Second (0 hr. 0 min 0.0 sec.)

Analysis is accomplished successfully
  
```

Figura 74 Análisis de mecanismo

A la hora de poder realizar la simulación deberemos elegir el tiempo de simulación, que pondremos en la casilla de “End Time” y seleccionar el botón de “Display Animation” para poder simular el modelo y

visualizar los movimientos definidos.

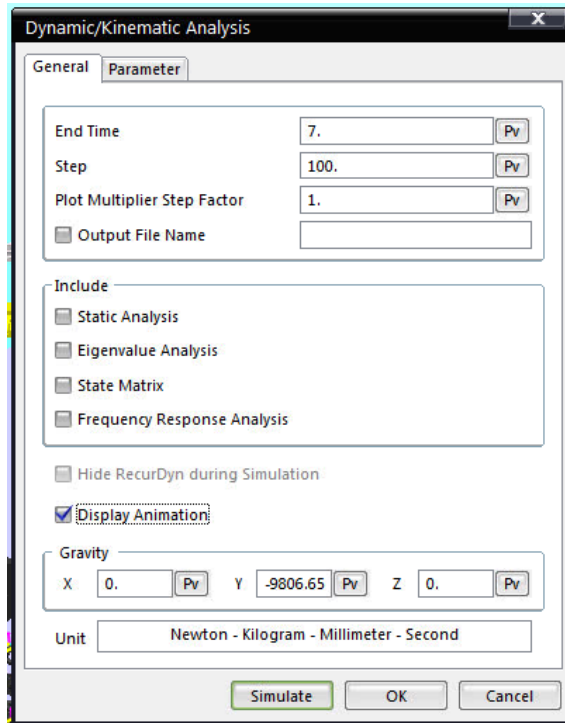


Figura 75 Pestaña simulación Recurdyn

5.5.2.3. MOVIMIENTOS

Al igual que en el primer Software de simulación, deberemos definir movimientos en ciertos joints para eliminar grados de libertad y poder conducir los diferentes mecanismos del modelo, esto lo haremos yendo directamente a las propiedades del joint que deseamos y seleccionando la opción de incluir movimiento en el botón de “Include Rotational Motion” o “Translational” si es el caso.

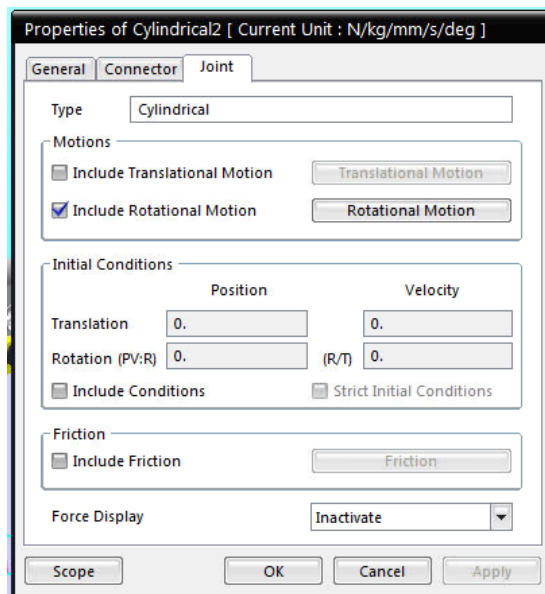


Figura 76 Definir movimiento en Joints

Solo podremos definir movimiento en los joints giratorio, prismático y cilíndrico.

Una vez que queremos definir el movimiento en el joint, nos encontraremos con las mismas opciones que en Cosmos Motion de elegir entre desplazamiento, velocidad o aceleración.

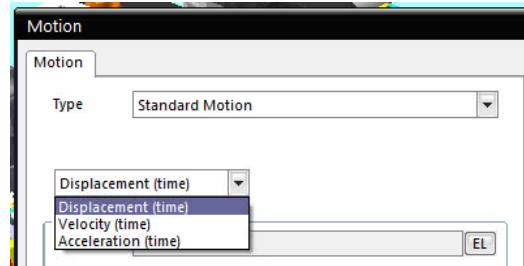


Figura 77 Opciones de movimiento Recurdyn

Aunque en este software no podremos encontrar el mismo formato para los movimientos como eran los formatos constant o step. Debemos definir los movimientos con las expresiones de la misma forma que lo hacíamos en Cosmos Motion, con el formato Step(Time).

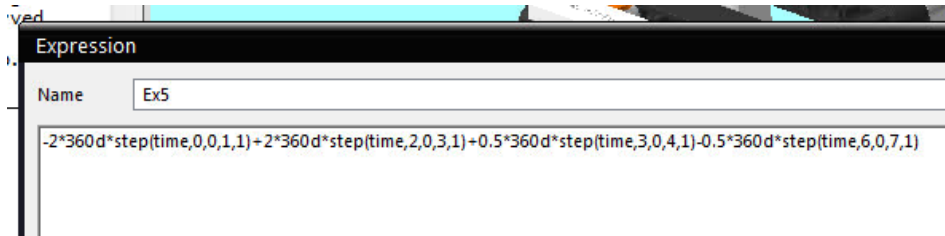


Figura 78 Expresión para definir movimientos Recurdyn

5.5.2.4. CADENAS

Como hemos mencionado anteriormente, estamos usando este software para poder realizar simulaciones con archivos de SolidWorks con una versión reciente, pero también para poder simular elementos como las cadenas formadas por eslabones.

Utilizaremos el “ToolKit” que nos proporciona Recurdyn para ello, ya que si lo hiciéramos con Cosmos Motion la carga computacional sería muy elevada.

5.5.2.4.1. ESCALADO DEL MODELO

Debemos escalar previamente los componentes del modelo para que de este modo las catalinas que creemos en Recurdyn puedan coincidir con el tamaño de los componentes y que estas puedan funcionar de forma correcta en la simulación.

5.5.2.4.2. CREACIÓN CADENAS

Como utilizamos el software Recurdyn para crear y simular las cadenas, deberemos eliminar los eslabones del modelo antes de importarlo.

Antes de importar el modelo deberemos seleccionar la pestaña “ToolKit” del programa y abrir la opción “Track(LM)”.

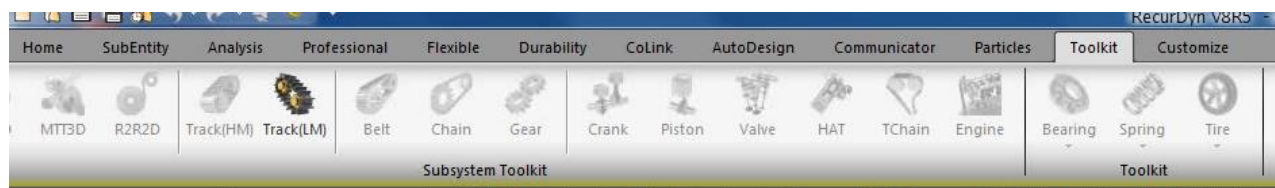


Figura 79 Toolkit de cadenas Recurdyn

Aquí encontraremos las diferentes opciones que tendremos para poder crear y simular las cadenas.



Figura 80 Pestaña Track(LM)

El proceso para crear las cadenas es el siguiente:

- Crearemos “markers” que nos servirá para utilizarlos como localización de las catalinas, y los situaremos en el centro de los componentes que funcionan como las catalinas del modelo. Aquí aparecen ya fijados también los componentes de las catalinas ya que el movimiento será mientras las catalinas que creamos.

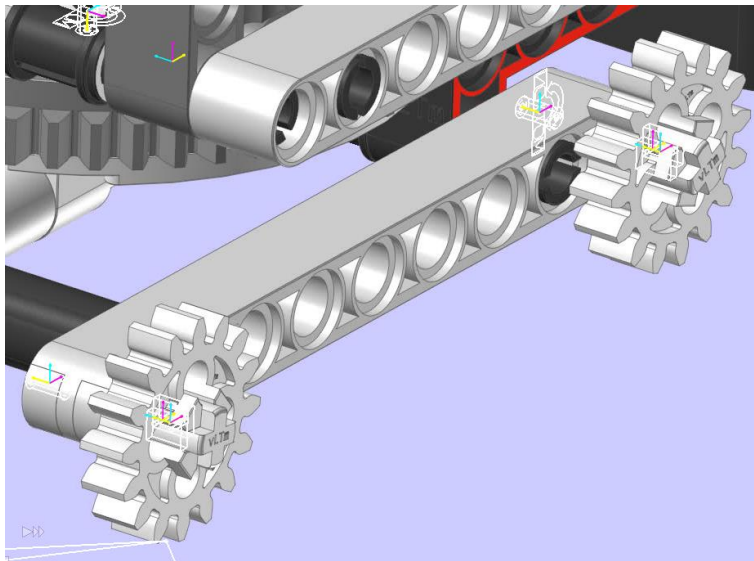


Figura 81 Markers Catalinas

- Colocaremos un eslabón en cualquier parte del modelo y seguidamente lo eliminamos mediante la pestaña de “Link”. Esto lo hacemos para que el programa establezca los eslabones que vamos a utilizar, el siguiente paso es definir un plano de trabajo de las catalinas donde vamos a trabajar.
- Seguidamente crearemos una catalina mediante la pestaña “Sprocket”, localizándolas en los markers previamente creados.

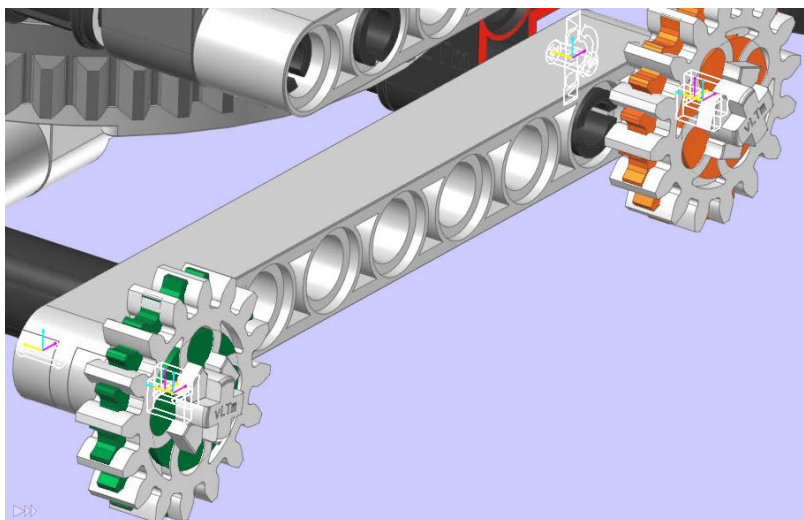


Figura 82 Creación de catalinas

- En el caso de que tengamos roldanas en el modelo, tendremos que utilizar la pestaña “Single”, para poder aplicarlo a modelos siguientes tendremos que medir previamente el diámetro de los componentes que funcionarán como tales.
- El último paso será utilizar la pestaña “Assembly” para definir el recorrido de las cadenas, marcando nosotros el recorrido entre catalinas y entre roldanas en el caso que hayan.

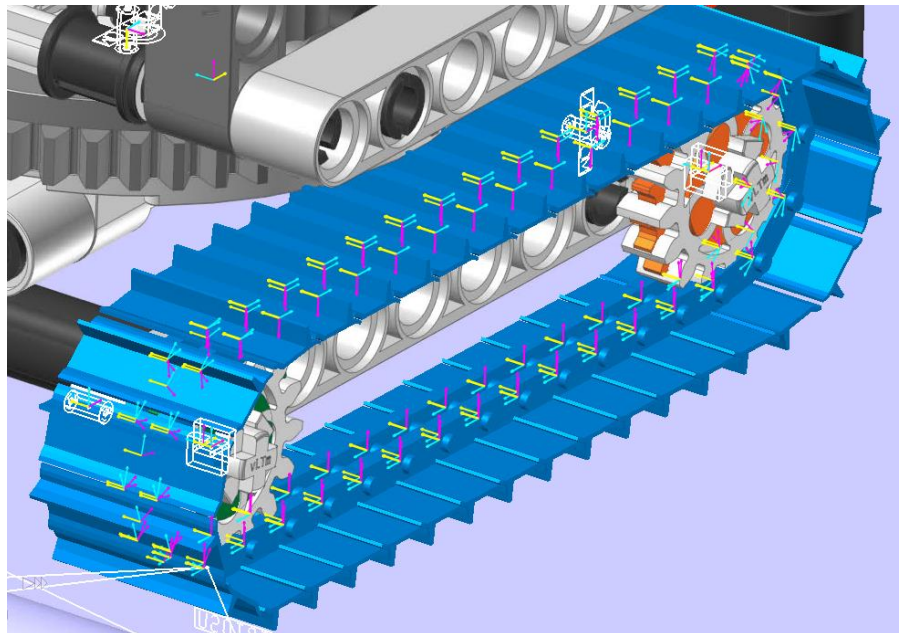


Figura 83 Creación de cadenas

- Por último, ocultaremos las catalinas de cara a la simulación que realizaremos.

5.5.2.5. SIMULACIÓN DINÁMICA

Al igual que en Cosmos Motion, primero definiremos los movimientos de todas las piezas respecto del chasis que estará fijo, y a continuación procederemos a insertar la base y realizar la simulación sobre ella.

En este caso podremos desactivar el joint fijo entre el chasis y el “ground”, y se lo aplicaremos a la base, a diferencia del Cosmos Motion, al hacer este paso no se crearán joints automáticamente ya que lo definiremos todo nosotros desde un primer momento.

Deberemos definir el contacto entre las cadenas y la base, en este caso, deberemos tener en cuenta que el programa tiene tres superficies diferentes al poseer la base dos elementos que actúan como baches, esto lo haremos definiendo con la pestaña “Solid” entre el sólido y cada superficie de la base.

En el caso de ser cadenas, tendremos que utilizar la pestaña dentro del “ToolKit” de “Track To Surface”.

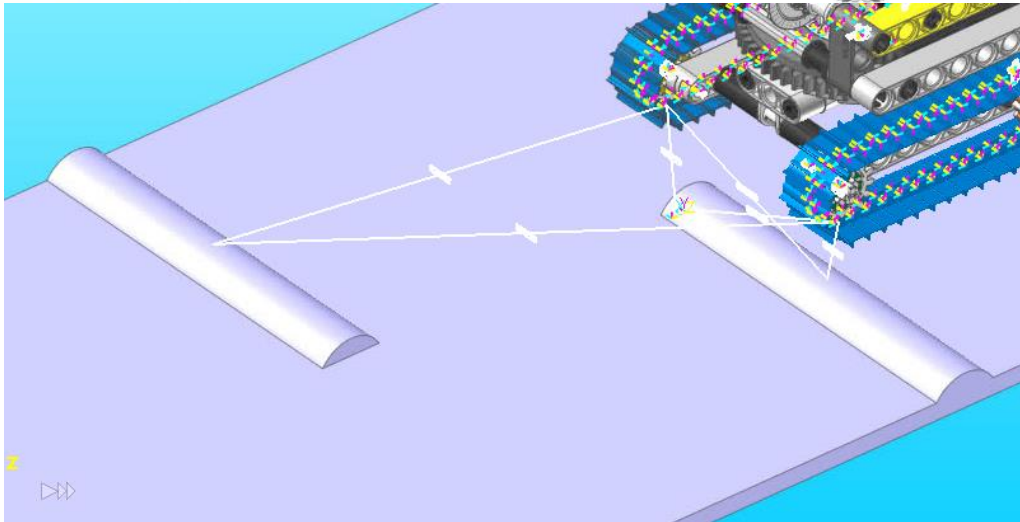


Figura 84 Relación de contacto entre cadenas y base

En estas relaciones de contactos que hemos definido deberemos definir el coeficiente de rozamiento que habrá para que se pueda realizar la simulación correctamente y el modelo pueda avanzar sobre la base.

El nombre de los modelos será “vLTm_”B”_”aaa”-mcv” y “vLTm_”B”_”aaa”-base”.

5.5.2.6. MODELOS SIMULADOS GUIADOS

Para practicar y aprender las técnicas de auto alineación con Recurdyn hemos realizado dos modelos de lego con menos componentes que los modelos físicos a los que aplicaremos los procesos aprendidos.

5.5.2.6.1. MODELO LEGO® TECHNIC 8047-1

Es el modelo que hemos utilizado como ejemplo para las explicaciones anteriores, se trata de un modelo semi guiado ya que hay partes que hemos realizado por cuenta propia y otras siguiendo los vídeo tutoriales facilitados por el profesor.

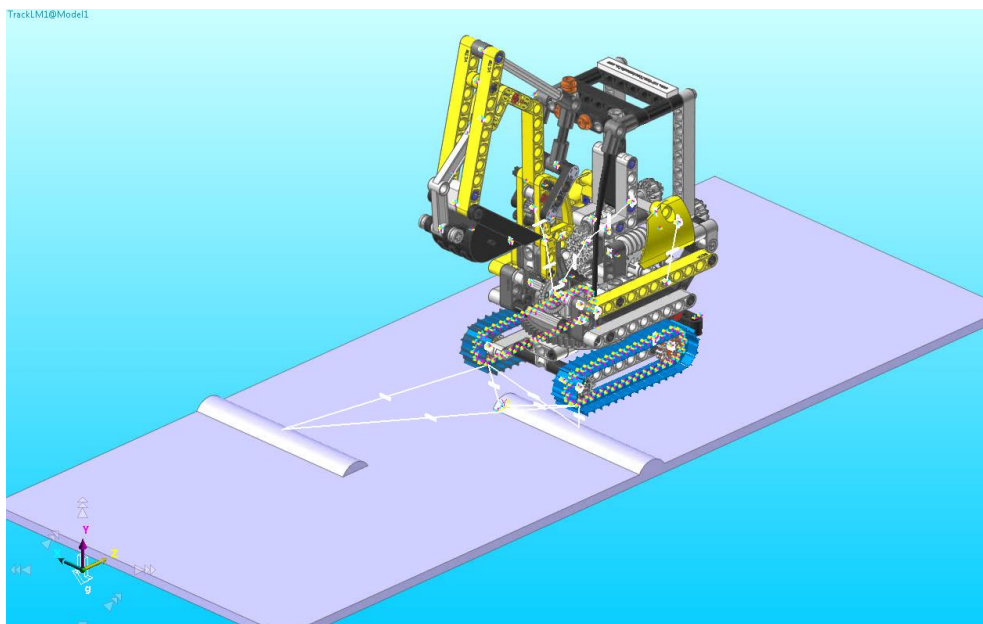


Figura 85 Modelo semi guiado Lego Technic 8047-1

5.5.2.6.2. MODELO LEGO© TECHNIC 8294-1

El otro modelo semi guiado será el modelo 8294-1, que se trata de otra retroexcavadora, pero ahora presenta elementos nuevos en el proceso guiado de las cadenas ya que posee roldanas.

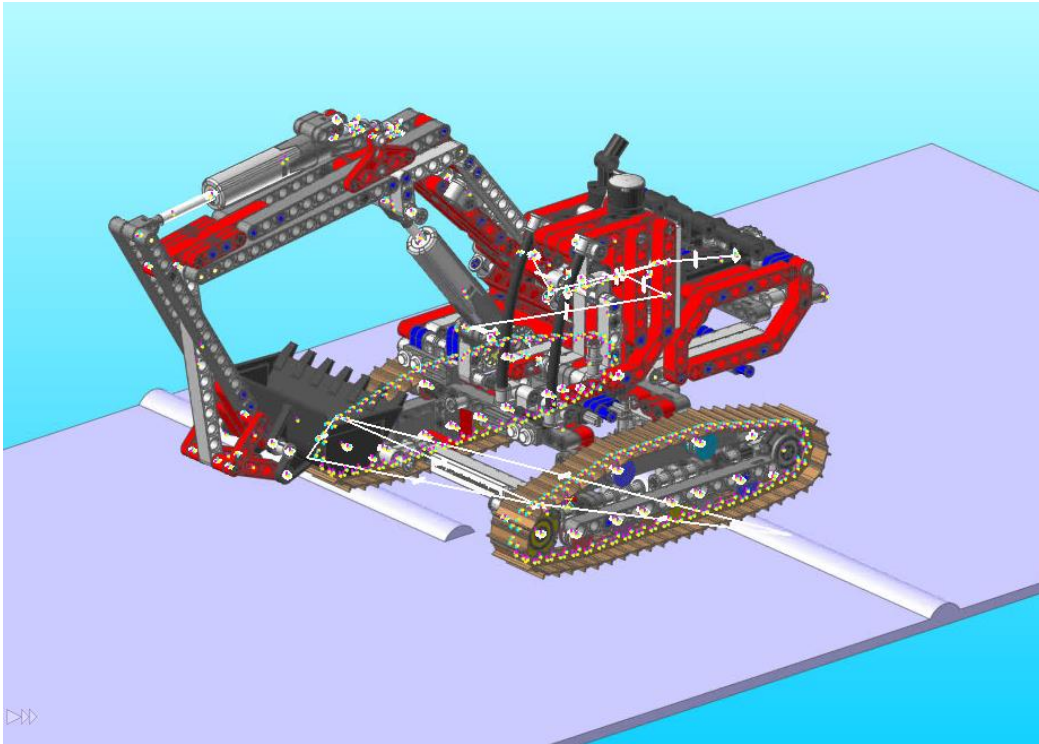


Figura 86 Modelo semi guiado Lego Technic 8294-1

6. MODELOS LIBRES

Partiendo de todos los métodos aprendidos con los modelos guiados, hemos realizado un total de cuatro modelos Lego Technic que ha sido por cuenta propia y creando un orden personal para el montaje y la simulación.

También ha sido importante montar físicamente los modelos ya que ha sido de gran ayuda a la hora de detectar los movimientos, el montaje del mismo para virtualizarlo y la comprensión de los libros de instrucciones para saber que posteriormente lo hemos realizado de forma correcta.

6.1. MODELO LEGO© TECHNIC 42062-1

El primer modelo que se ha realizado se trata del modelo de Lego Technic 42062-1 Container Yard. Nos encontramos con un camión que posee cambio de dirección y un cargador de contenedores que posee tanto el mecanismo para el cambio de dirección de este como un brazo extensible con mecanismo para sujetar y soltar contenedores.

En este caso, es el modelo que posee menos componentes en el modelo físico y que hemos construido virtualmente con un total de 39 piezas en la versión de 2007 de SolidWorks.

Se trata del primer modelo libre que se ha auto alineado en el módulo de Cosmos Motion en SolidWorks.



Figura 87 Modelo Lego Technic 42062-1 (fuente lego.com)

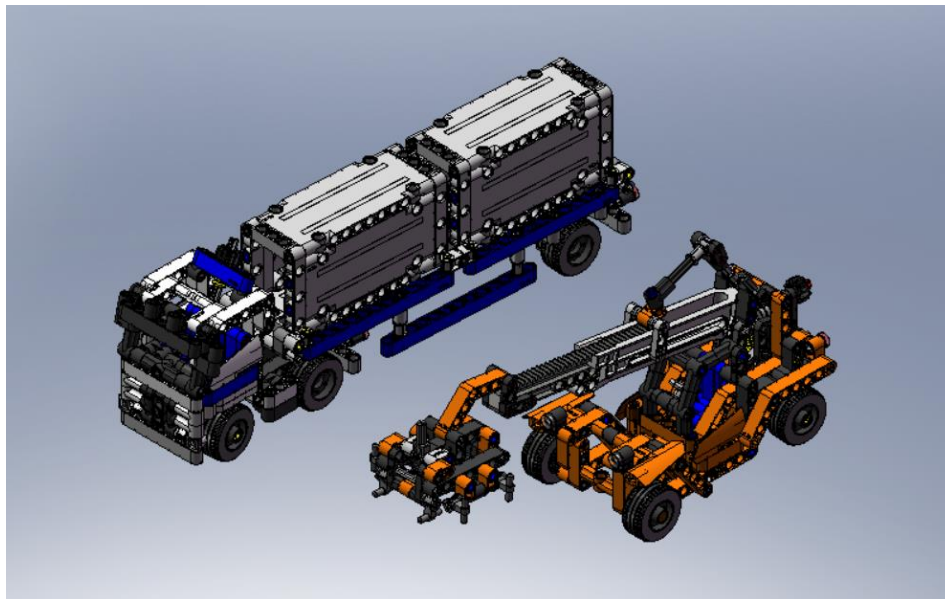


Figura 88 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1

En este caso se ha conseguido auto alinear el modelo sin ninguna restricción en exceso, y sin grados de libertad, ya que en este modelo auto alineado se han impuesto los movimientos necesarios para ello.

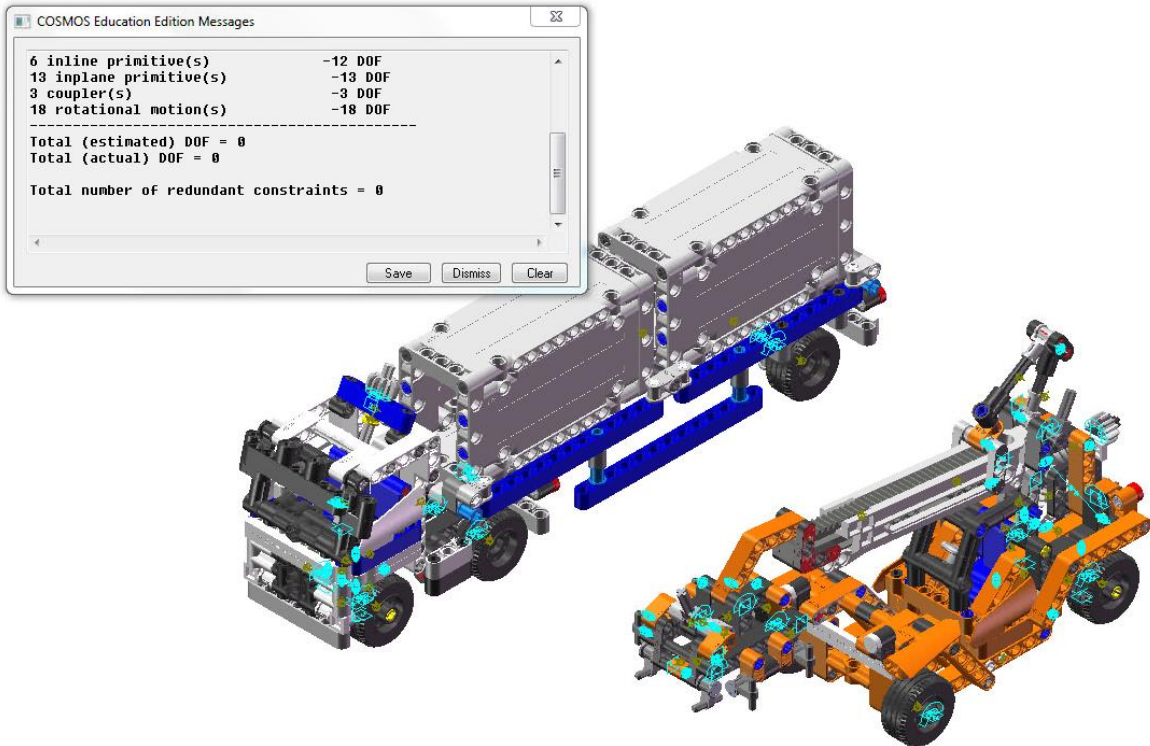


Figura 89 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1 mcv

Cuando insertamos la base y definimos todas las relaciones y establecemos los movimientos necesarios para realizar la simulación, tenemos un total de 18 grados de libertad en el modelo, 12 de ellos corresponden a los respectivos 6 grados de libertad del camión y del cargador de contenedores, ya que ahora pueden moverse libremente en el espacio, los 6 restantes corresponden a la eliminación de movimiento conducido de las ruedas que no forman parte de la activación de movimiento de los modelos, estas simplemente serán conducidas por el movimiento de otras ruedas y por haber establecido contacto entre la base y las ruedas.

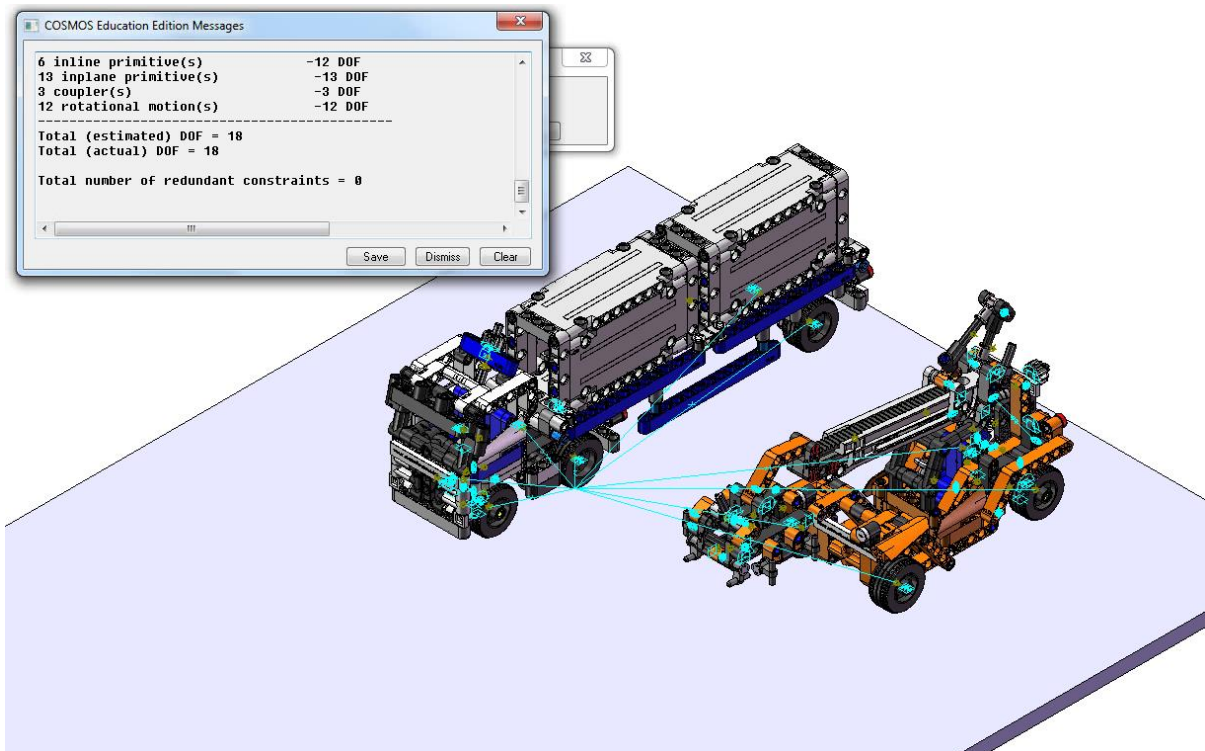


Figura 90 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1 motion-base

En este primer modelo hemos realizado la simulación más básica debido al bajo número de mecanismos y

debido a que se trataba del primer modelo que realizábam, se ha realizado una simulación de un total de 8 segundos recorriendo la base y activando los diferentes mecanismos.

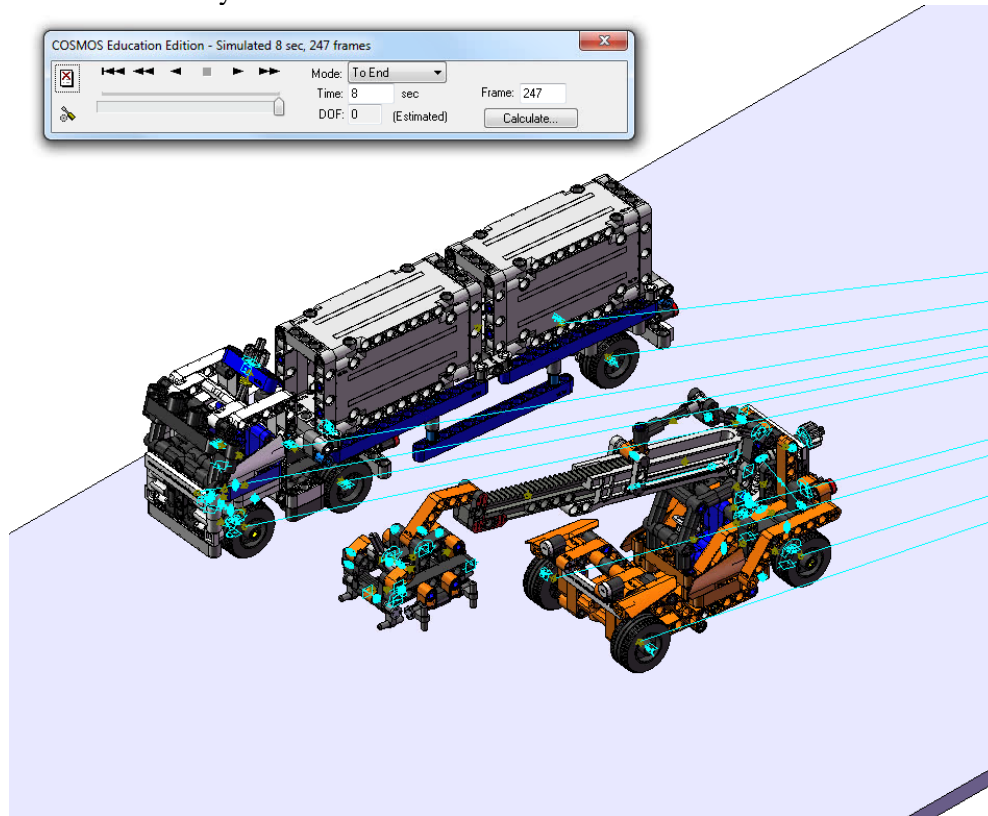


Figura 91 Modelo Virtual Lego Technic 42062-1 simulación

6.2. MODELO LEGO© TECHNIC 42039-1

El segundo modelo que se ha realizado es el modelo Lego Technic 42039-1 24 Hours Race Car. Se trata de un modelo de coche de carreras, que contiene un motor V8, puertas abatibles, suspensión incluida. La parte trasera del coche se puede abrir para visualizar también el sistema de suspensión y de activación del motor mediante la rotación de las ruedas.



Figura 92 Modelo Lego Technic 42039-1 (fuente lego.com)

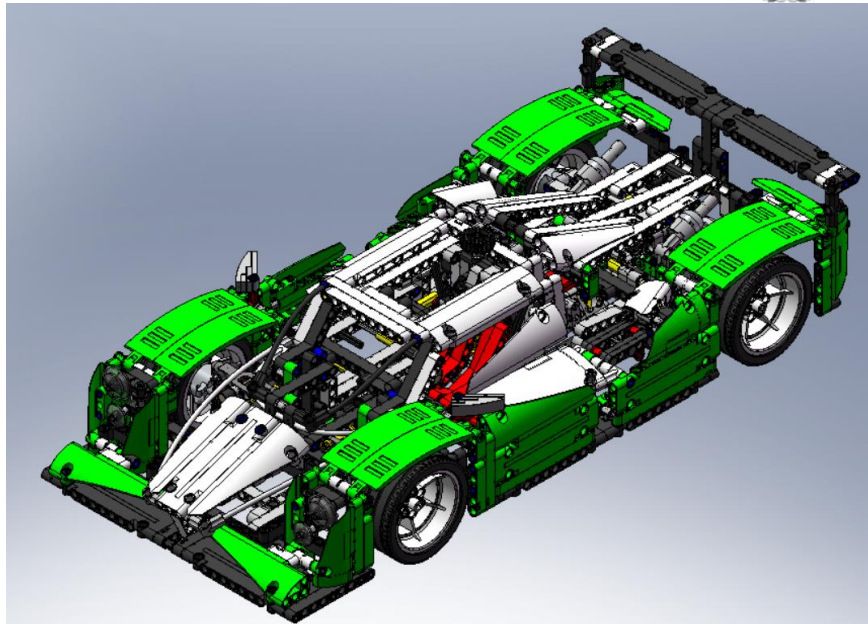


Figura 93 Modelo Virtual Lego Technic 42039-1

En este caso, se trata de un modelo más complejo que el anterior y un número mayor de piezas y que hemos construido virtualmente con un total de 99 piezas en la versión de 2007 de SolidWorks.

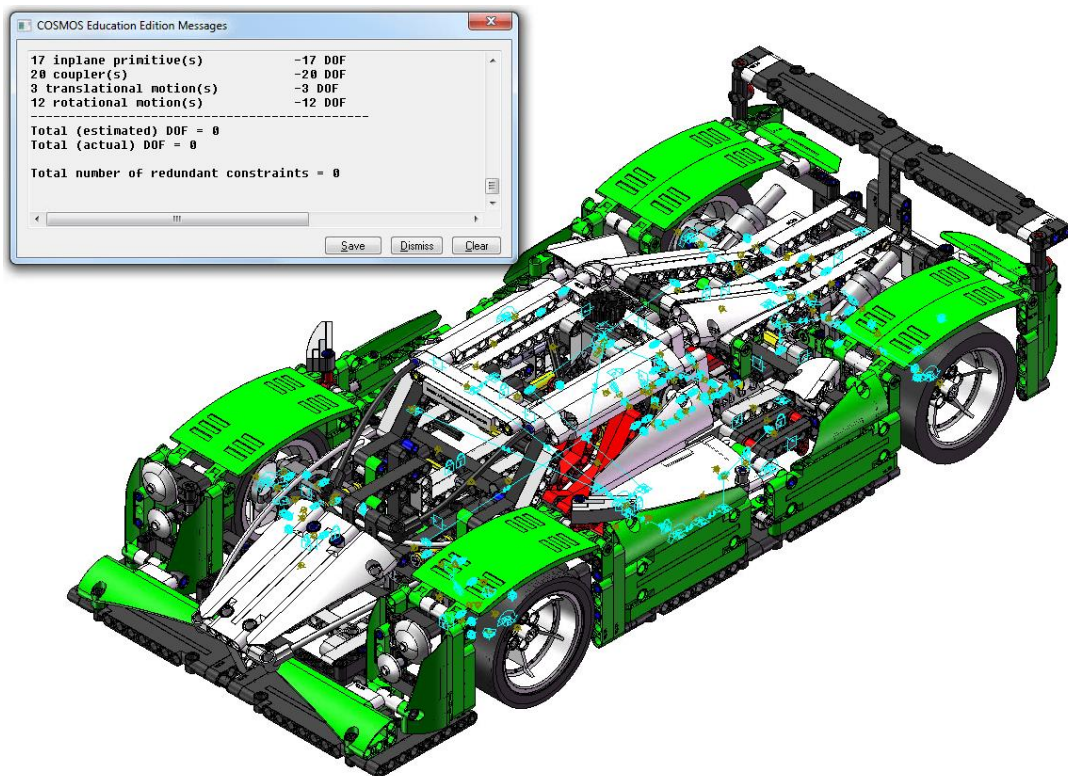


Figura 94 Modelo Virtual Lego Technic 42039-1 mcv

Al igual que en el modelo anterior, hemos conseguido auto alinear el modelo sin ninguna restricción en exceso, y con cero grados de libertad definiendo los movimientos libres que actuarán en la simulación.

Sim embargo, a la hora de realizar la simulación con la base no hemos podido auto alinear el modelo, ya que la definición de joints que hemos realizado no nos permitía crear la simulación de forma correcta, por ello hemos tenido que redefinir algunos de ellos para poder realizar la simulación respecto a la base. Por ello nos encontramos con 6 grados de libertad debido a los grados de libertad que se presentan ahora por haber pasado el chasis a móvil, y tenemos 5 restricciones en exceso que no hemos podido eliminar.

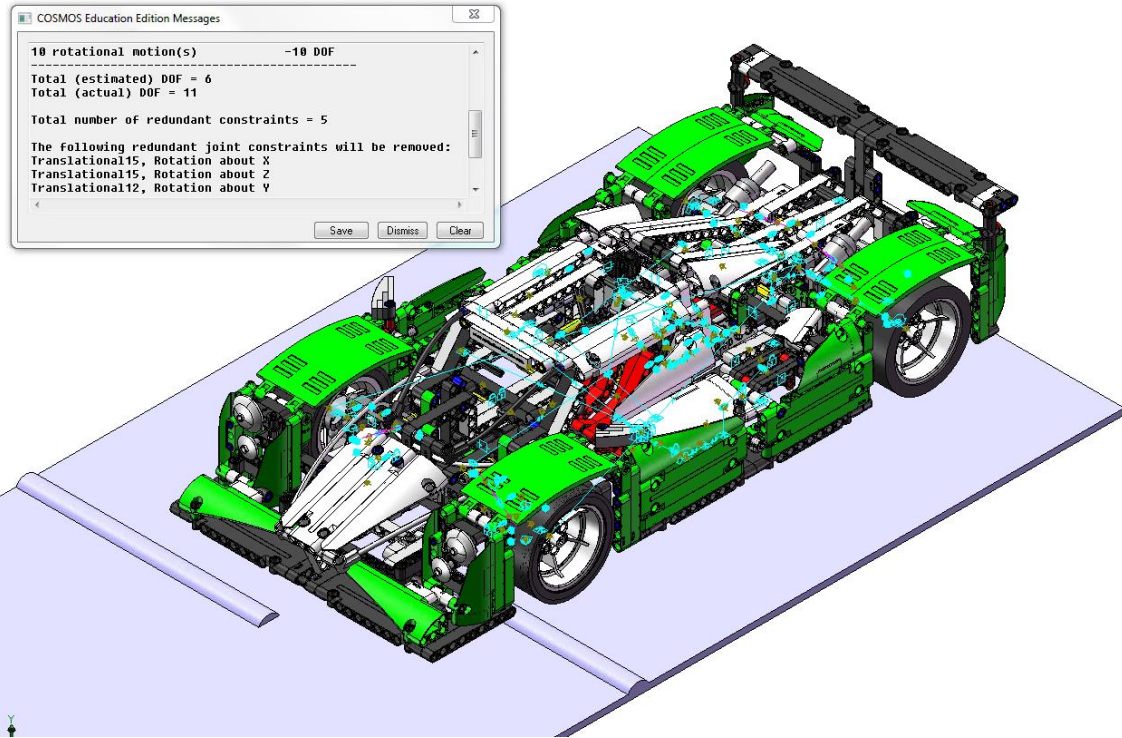


Figura 95 Modelo Virtual Lego Technic 42039-1 motion-base

6.3. MODELO LEGO© TECHNIC 42097-1

El tercer modelo se trata del modelo Lego Technic 42097-1 Compact Crawler Crane. Se trata de una grúa extensible, que posee de cuatro cuerpos también extensibles que funcionan como estabilizadores de la grúa, además cuenta con los mecanismos de cadenas que le permiten poder moverse por la superficie.



Figura 96 Modelo Lego Technic 42097-1 (fuente lego.com)

En este modelo se presentan los nuevos mecanismos como son las cadenas, en este caso se ha virtualizado el modelo con una versión más reciente del programa SolidWorks, en concreto la versión de 2021. Se han utilizado un total de 83 piezas.

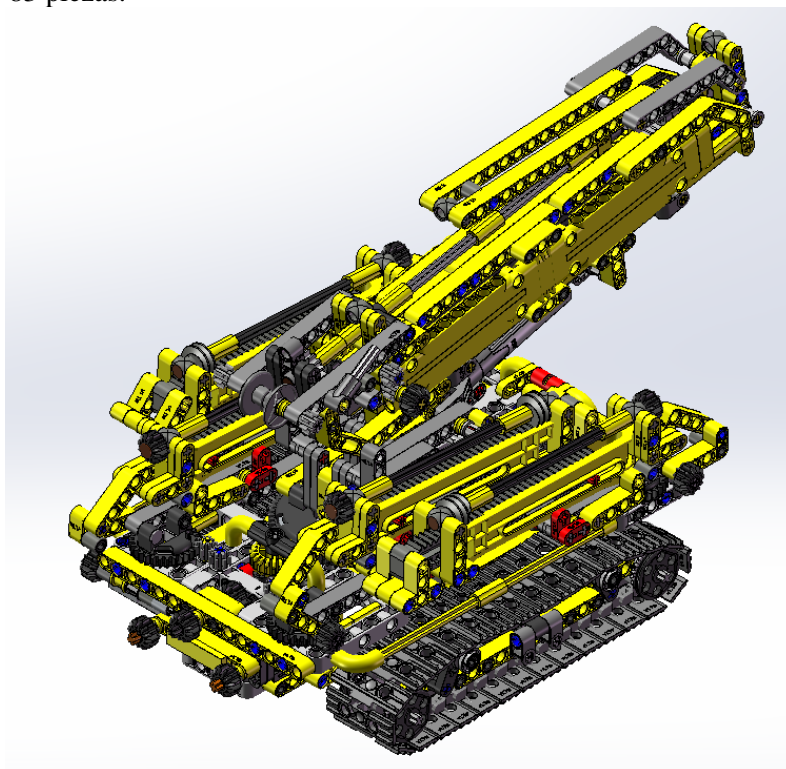


Figura 97 Modelo Virtual Lego Technic 42097-1

Este modelo se trata del primer modelo que debemos auto alinear con el software Recurdyn, lo hemos conseguido auto alinear, pero no ha sido posible eliminar 4 restricciones en exceso.

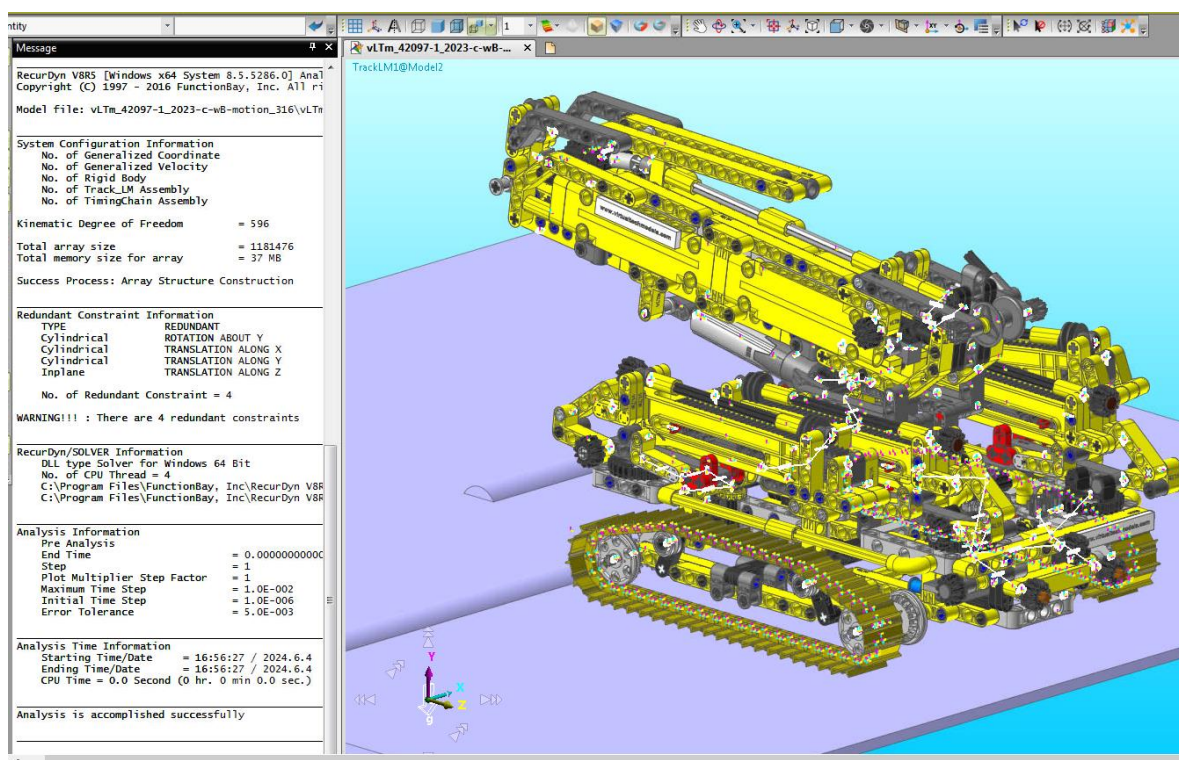


Figura 98 Modelo Virtual Lego Technic 42097-1 mcv

Podemos observar que nos encontramos con 596 grados de libertad, pero esto se debe a introducir los eslabones de las propias cadenas, además posteriormente al relacionar estas cadenas con la base estableciendo

los contactos pertinentes, más el hecho de definir solo el movimiento de dos catalinas nos hará que los grados de libertad aumenten hasta 600.

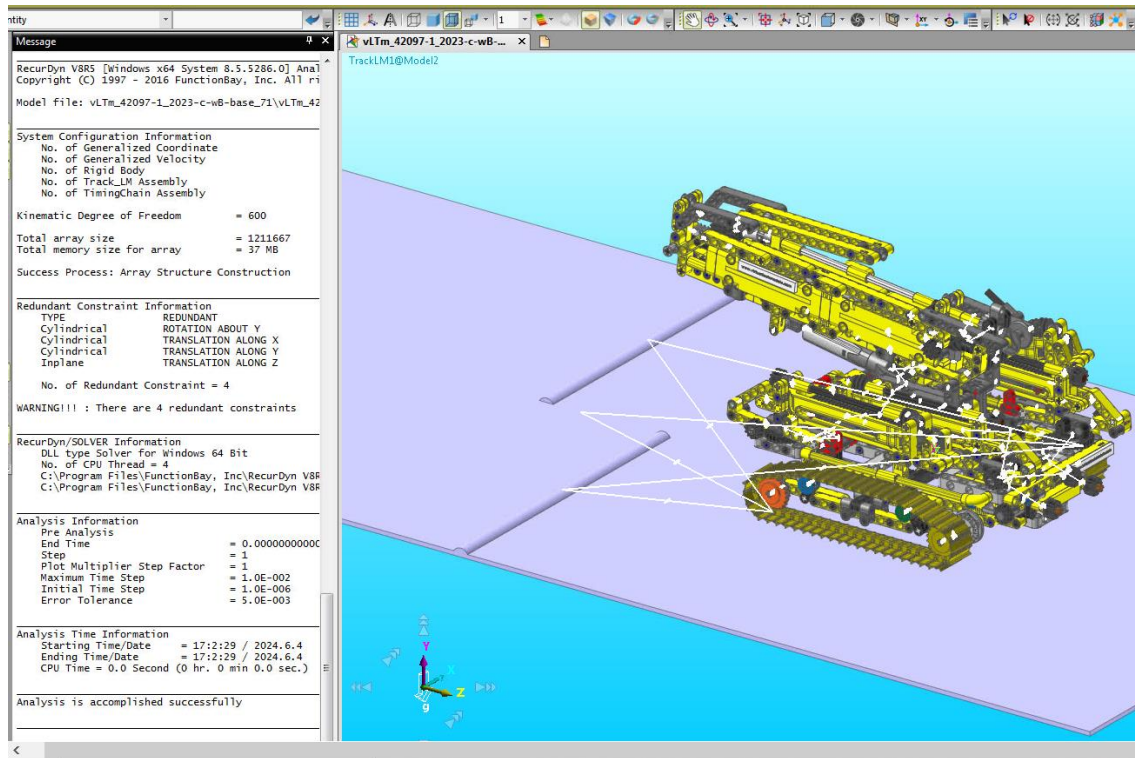


Figura 99 Modelo Virtual Lego Technic 42097-1 motion-base

6.4. MODELO LEGO® TECHNIC 42128-1

El cuarto y último modelo se trata del modelo Lego Technic 42128-1 Heavy-duty Tow Truck. Es el modelo de mayor tamaño tanto físicamente como de número de componentes. Podemos observar que es un camión remolcador típico, pero que incluye una variedad muy alta de mecanismos y funciones, en este caso también se incluyen mecanismos neumáticos impulsados mediante aire, podemos encontrarnos con el giro y extensión de la grúa, un motor de 6 cilindros y la extensión de las diferentes patas para la sujeción del camión.



Figura 100 Modelo Lego Technic 42128-1 (fuente lego.com)

El modelo se ha virtualizado mediante la versión de 2021 de SolidWorks, se ha realizado mediante 104 piezas virtuales con sus respectivos movimientos relativos entre ellas.

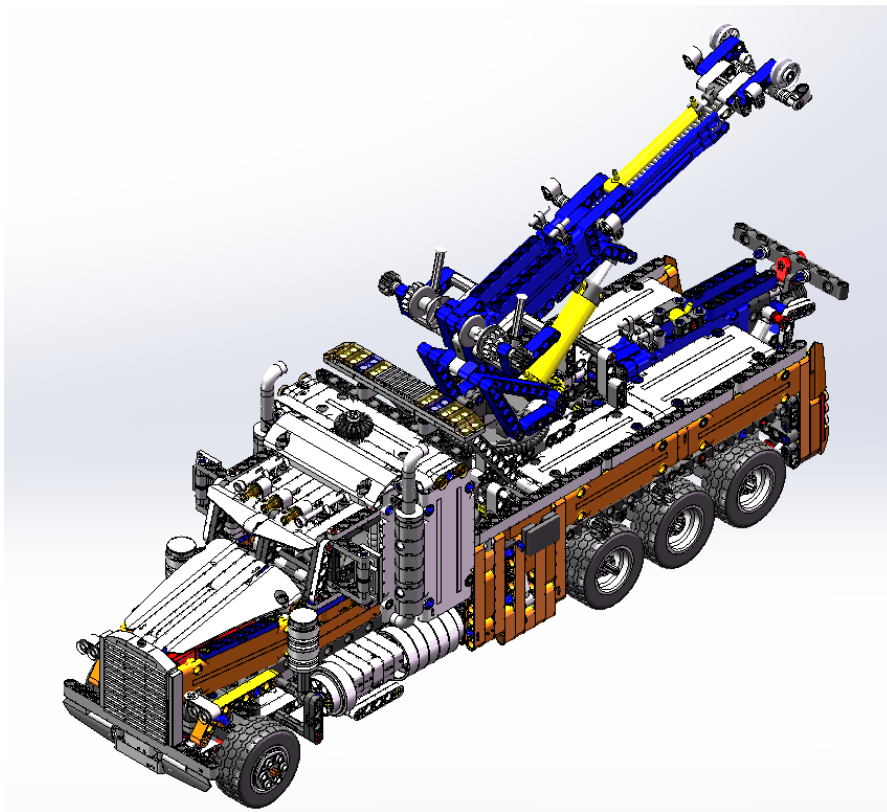


Figura 101 Modelo Virtual Lego Technic 42128-1

Para poder hacer la simulación hemos utilizado el software Recurdyn, cabe destacar la importancia de haber ido aumentando la complejidad de los modelos y poder haber realizado previamente otros modelos guiados, ya que en estos el número de componentes es muy alto y la carga computacional también, por lo que cada fallo que tengamos a la hora de hacer la simulación nos tomará más tiempo del habitual.

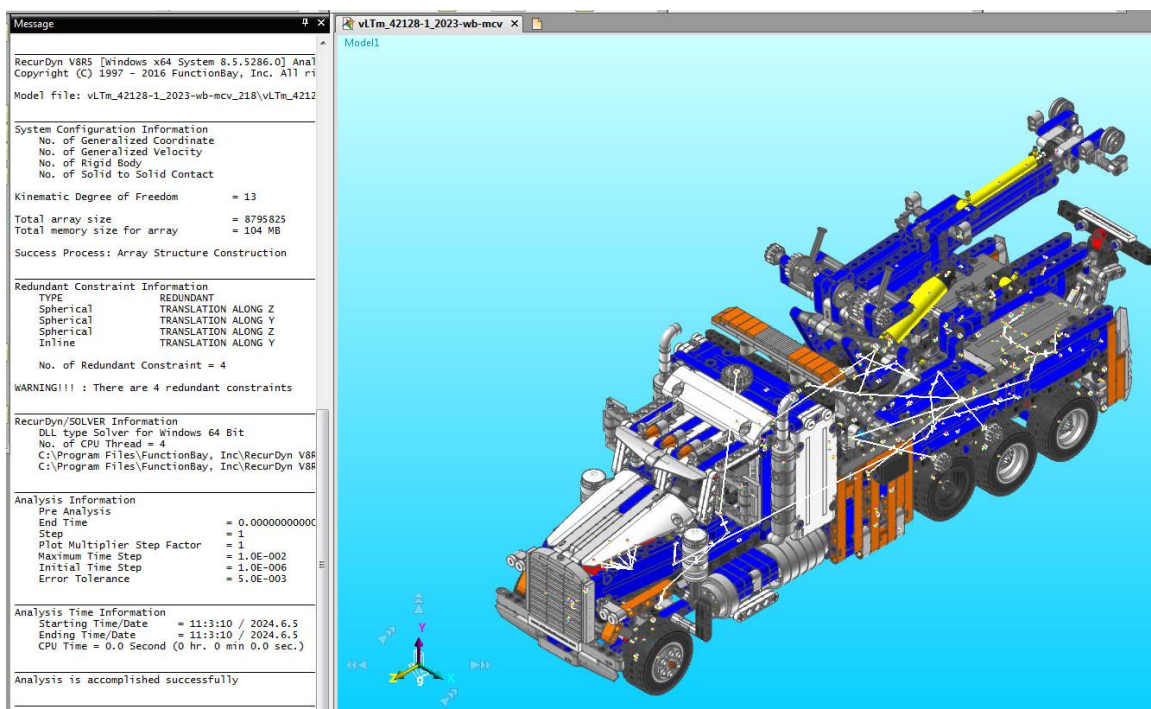


Figura 102 Modelo Virtual Lego Technic 42128-1 mcv

Se ha conseguido auto alinear, pero no ha sido posible eliminar 4 restricciones que hay en exceso, hay que tener en cuenta que en estos modelos los mecanismos presentan un número de componentes mayor y para poder lograr los movimientos deseados se hace difícil la posibilidad de eliminar todas las restricciones en exceso.

En este caso, al introducir la base en el modelo y tener que hacer la simulación completa hemos tenido que modificar algunos pares definidos previamente, y nos encontramos con 9 restricciones en exceso, es en este modelo con la base cuando vemos realmente todos los movimientos que queremos plasmar en la simulación y es posible que cuando establecemos los contactos con la base y definimos la simulación haya problemas con los movimientos o los pares definidos, de este modo es necesario modificarlos.

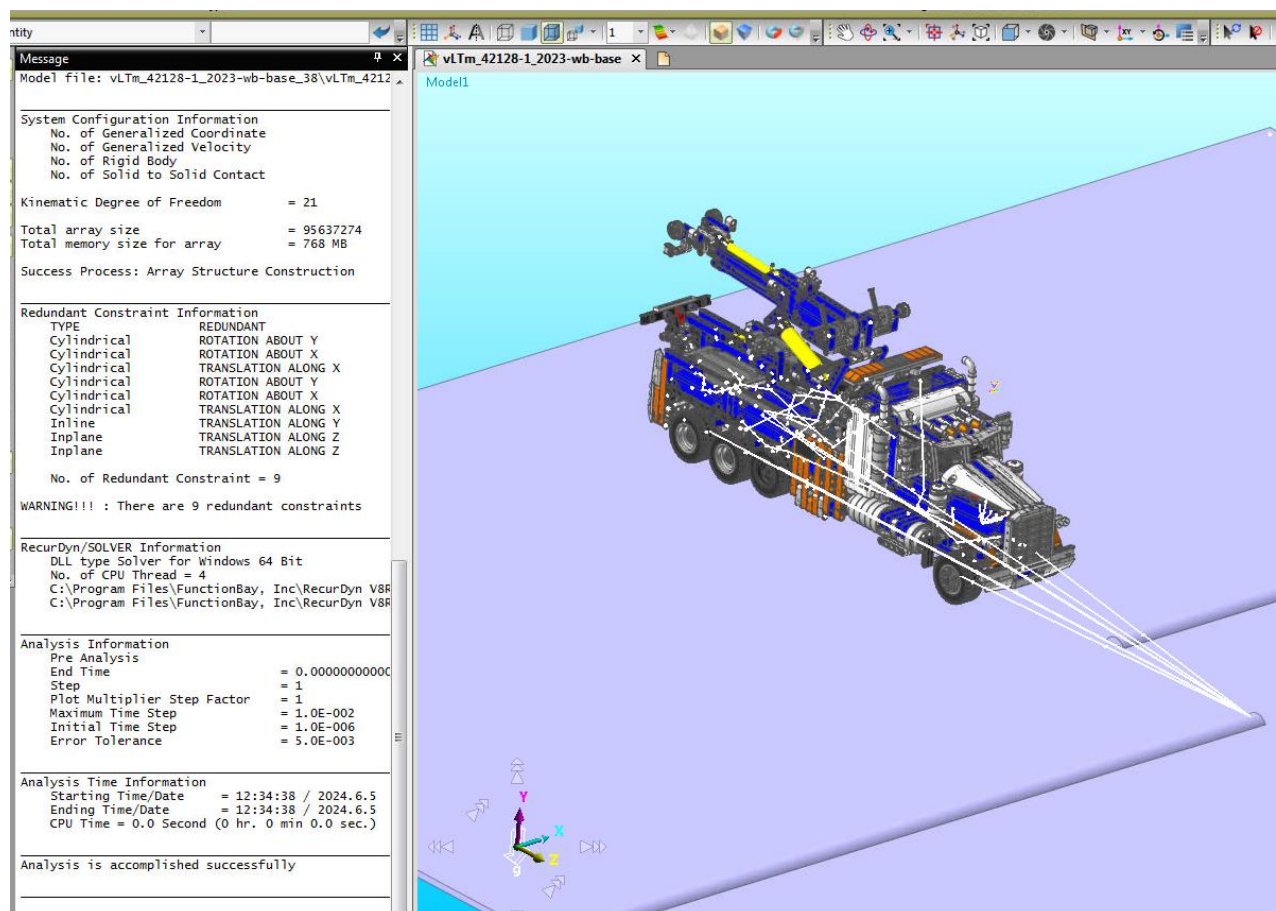


Figura 103 Modelo Virtual Lego Technic 42128-1 motion-base

7. CONCLUSIONES

Para finalizar, debemos destacar como conclusiones los distintos conocimientos que hemos podido obtener durante la realización de este trabajo, cabe mencionar los importantes procesos de análisis de mecanismos, la auto alineación de estos y la importancia de esto a la hora de llevar a cabo un producto en el mundo de la ingeniería. Y de la misma forma hemos podido aprender y mejorar las técnicas de ensamblaje, simulación y manejo de diferentes softwares como los que hemos utilizado.

Hemos podido observar como obteniendo modelos virtuales podemos hacer un análisis completo y a escala de como funcionan los mecanismos y como podemos auto alinearlos, esto tiene una gran importancia como mencionábamos a la hora de luchar contra la obsolescencia programada de los productos y la forma de poder alargar la vida útil de los productos de una forma sencilla.

También nos hemos podido enfrentar a dos formas distintas de simulación, una en la que hemos utilizado una versión antigua del programa de SolidWorks donde en el módulo que poseía nos permitía poder definir y analizar los pares cinemáticos del modelo, algo muy útil y que se debería haber mantenido en versiones posteriores del programa, pero aunque no lo mantuvieron, hemos sido capaces de realizar el mismo proceso, pero añadiendo un nuevo software de simulación que nos ha permitido adaptar todos los métodos de análisis a versiones más recientes.

8. BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- Isogawa Y. (2010). The Lego© Technic Idea Book: Simple Machines. No Starch Press.
- Isogawa Y. (2015). The Lego© Mindstorms Ev3 Idea Book. No Starch Press.
- Reshetov L. (1982). Self-aligning mechanisms. Mir Moscow.

Páginas web:

- www.lego.com
- <http://www.lego.com/en-us/technic>
- www.brickset.com
- www.bricklink.com
- www.virtualtechmodels.com

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

Analizaremos el presupuesto de un proyecto como este teniendo en cuenta todos los procesos llevados a cabo.

Lo realizaremos con el supuesto de que se nos entrega un prototipo del modelo que quiere construir, el cual nosotros deberemos virtualizar para saber donde colocar los diferentes cojinetes y que los mecanismos estén auto alineados.

Al final del trabajo se entregará:

- Un modelo virtual creado con SolidWorks.
- Un modelo virtual con los cojinetes.
- Una simulación final donde se pueden ver todos los movimientos de los modelos.

1.1. Software

Calcularemos en este apartado lo relacionado con los programas, supondremos que debido a la versatilidad de los mismo las licencias se amortizaran en un año.

La amortización la calcularemos con las horas anuales de trabajo. Estimaremos unas 350 horas de trabajo de cada uno de los softwares de los que tendremos licencia comprada.

Programa	Precio licencia (€)	Horas anuales	Amortización	Horas de uso	Importe (€)
SolidWorks 2007 + CosmosMotion	5300€	2016	100%	350	920€
SolidWorks 2021	8662€	2016	100%	350	1504€
Recurdyn	6000€	2016	100%	350	1041€
				TOTAL	3465€

Tabla 1 Presupuesto Software

1.2. Hardware

Ahora analizaremos el coste de los equipos informáticos utilizados en este proyecto, en este caso se ha utilizado un portátil con una tarjeta gráfica con capacidad elevada.

Se trata de la marca Millenium que posee las características:

- Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz y 2.59 GHz
- RAM de 16GB
- Tarjeta Gráfica Nvidia GeForce GTX 1660 Ti

Estimamos una vida útil de un mínimo de 4 años al tratarse de un ordenador portátil que supera los 1000€, por lo que la amortización anual será de un cuarto.

Con estos datos podemos sacar un coste estimado para pasar al cliente del proyecto.

Componentes	Precio licencia (€)	Horas anuales	Amortización	Horas de uso	Importe (€)
Portatil	1000€	2016	25%	350	174€
Tarjeta gráfica	300€	2016	25%	350	52€
				TOTAL	226€

Tabla 2 Presupuesto hardware

1.3. Modelado virtual

Ahora desglosaremos el proceso de virtualizar el modelo, auto alinearlo y por último simularlo.

Modelo	Proceso	Horas	Precio por hora (€)	Precio proceso (€)	Importe total por modelo (€)
42062-1	Virtualización	20	25 €	500 €	1375 €
	Auto alineado	15	25 €	375 €	
	Simulación	20	25 €	500 €	
42039-1	Virtualización	30	25 €	750 €	2125 €
	Auto alineado	25	25 €	625 €	
	Simulación	30	25 €	750 €	
42097-1	Virtualización	35	25 €	875 €	2500 €
	Auto alineado	30	25 €	750 €	
	Simulación	35	25 €	875 €	
42128-1	Virtualización	45	25 €	1.125 €	3250 €
	Auto alineado	35	25 €	875 €	
	Simulación	50	25 €	1.250 €	
				TOTAL	9250 €

Tabla 3 Presupuesto modelos virtuales

2. RESUMEN

Por último, haremos el resumen de costes del presupuesto entero que se pasaría al cliente.

Concepto	Importe (€)
Software	3465 €
Hardware	226 €
Modelado virtual	9250 €
Total sin IVA	12941 €

Tabla 4 Resumen presupuesto

A esto le deberemos sumar el IVA y el beneficio industrial.

	Importe (€)
Total sin IVA	12941 €
Beneficio industrial (6%)	776,46 €
IVA (21%)	2717,61 €
TOTAL	16435,07 €

Tabla 5 Presupuesto total

Esto nos deja con un total para el proyecto de 16435,07 €.

ANEXOS

1. ANEXO. Modelo Lego Technic 8862-1

Mostraremos los cálculos de los mecanismos del modelo 8862-1 que utilizamos de forma guiada, como lo hemos utilizado tanto para hacer el modelo virtual como la simulación.

1.1. Cálculos mecanismos 2D

En este modelo encontramos 3 mecanismos distintos que analizamos. Pondremos la imagen del mecanismo en el modelo virtual, el diagrama cinemático 2D y el cálculo de movilidad del mecanismo.

- El primero se trata del mecanismo de giro de dirección.

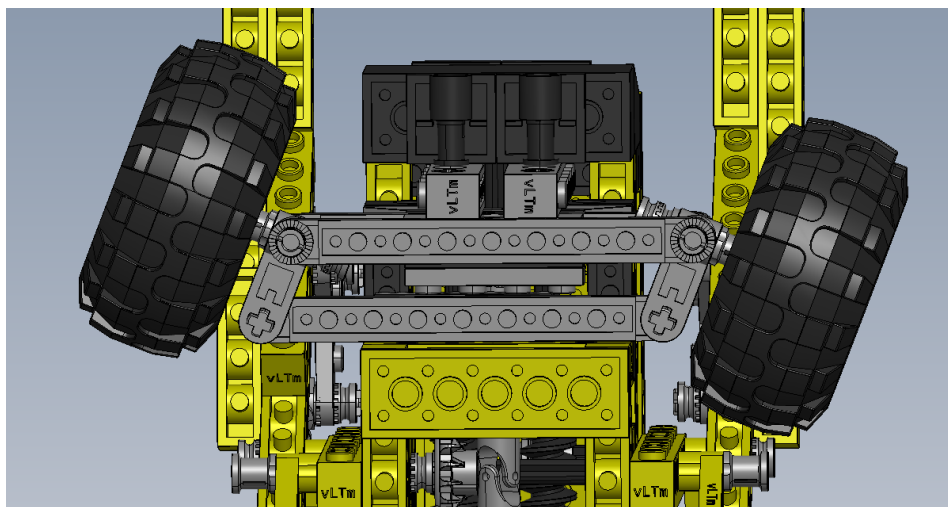


Figura 104 Modelo 8862-1 mecanismo 2D dirección de giro

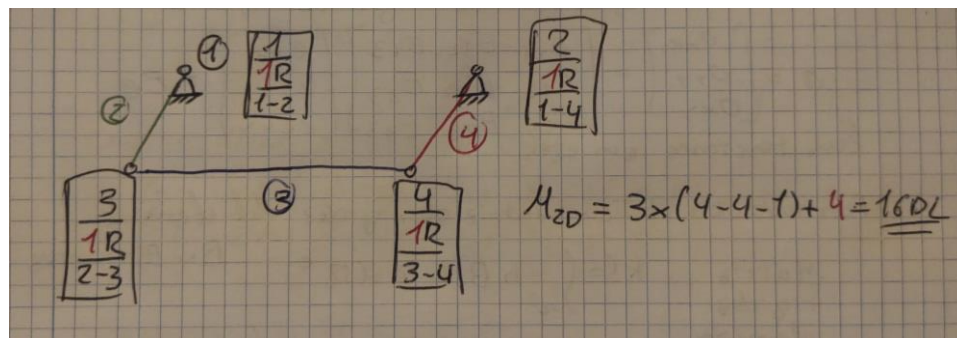


Figura 105 Diagrama cinemático mecanismo 2D dirección de giro

DE DIAGRAMAS					
2D					
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D	
1	BASE	CHASIS	1	1	M
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
N = 4		BARRA BINARIA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	1	4
3	1	GIRATORIO	R	2	3
P = 4	1	GIRATORIO	R	3	4
$\sum f_i =$	4				

Figura 106 Cálculo de movilidad 2D mecanismo dirección de giro

- El segundo mecanismo se trata del mecanismo de la pala retroexcavadora.

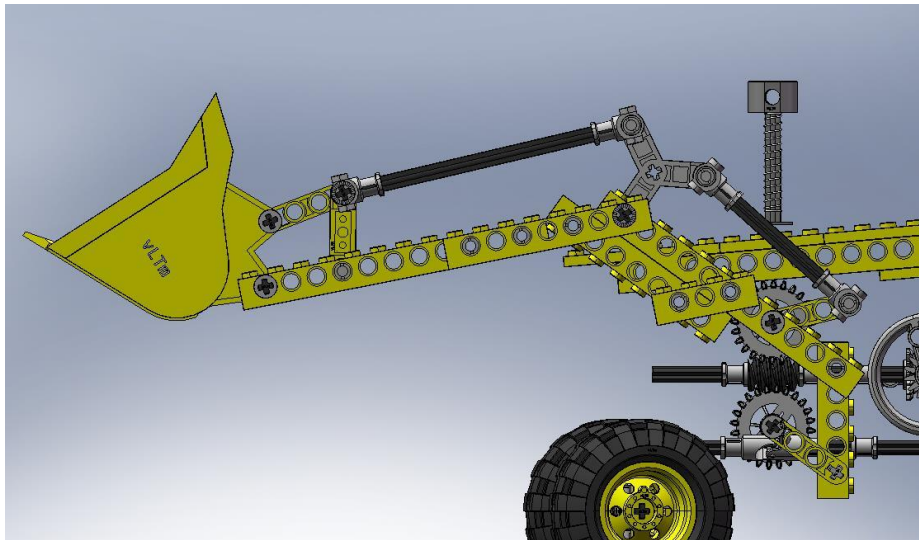


Figura 107 Modelo 8862-1 mecanismo 2D pala retroexcavadora

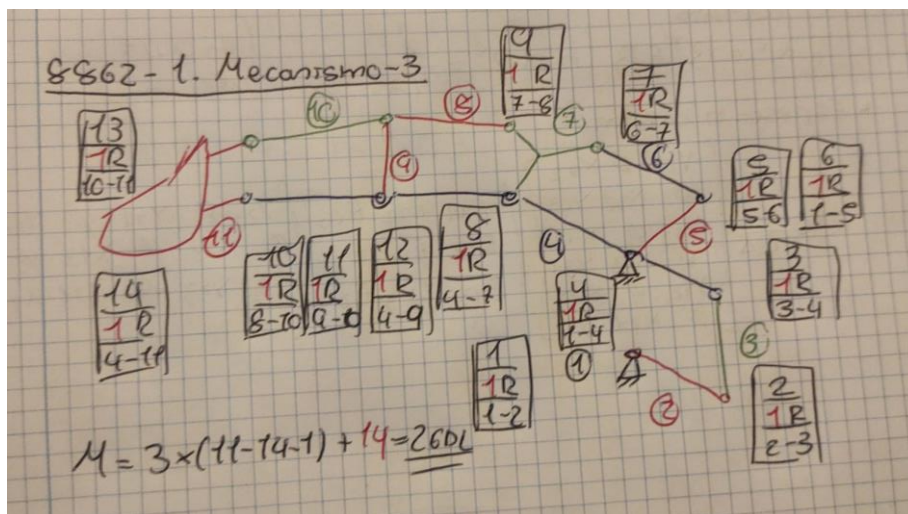


Figura 108 Diagrama cinemático mecanismo 2D pala retroexcavadora

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a GRUEBLER 3D		
2D			2	2	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA			
1	BASE	CHASIS			
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
4		BARRA BINARIA			
5		BARRA BINARIA			
6		BARRA BINARIA			
7		BARRA TERNARIA			
8		BARRA BINARIA			
9		BARRA TERNARIA			
10		BARRA BINARIA			
N =	11	PALA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

Figura 109 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora I.

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	GIRATORIO	R	2	3	
3	1	GIRATORIO	R	3	4	
4	1	GIRATORIO	R	1	4	
5	1	GIRATORIO	R	5	6	
6	1	GIRATORIO	R	1	5	
7	1	GIRATORIO	R	6	7	
8	1	GIRATORIO	R	4	7	
9	1	GIRATORIO	R	7	8	
10	1	GIRATORIO	R	8	10	
11	1	GIRATORIO	R	9	10	
12	1	GIRATORIO	R	4	9	
13	1	GIRATORIO	R	10	11	
P =	14	1	GIRATORIO	R	4	11
	Σ fi =	14				

Figura 110 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora II.

- El último mecanismo se trata de la pala retroexcavadora trasera con acción neumática.

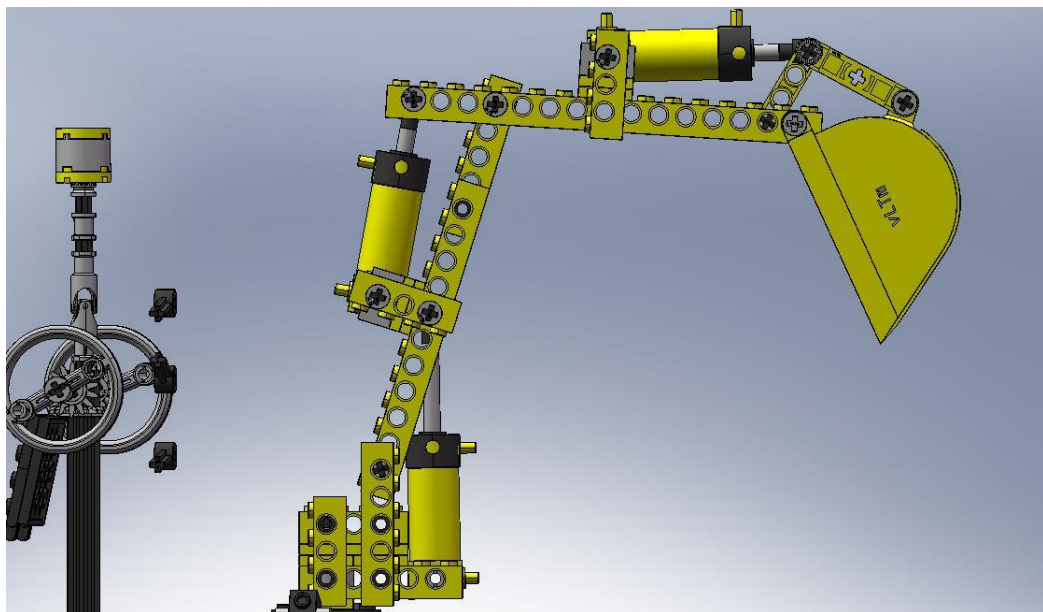


Figura 111 Modelo 8862-1 mecanismo 2D pala retroexcavadora trasera

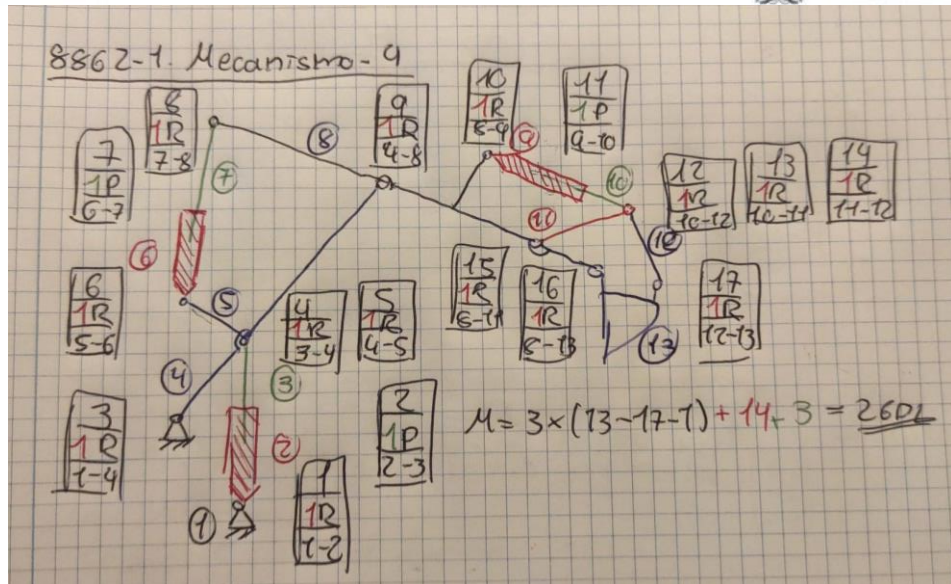


Figura 112 Diagrama cinemàtic mecanismo 2D pala retroexcavadora trasera

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D
No. CUERPO	TIPO	FORMA	2	2	M
1	BASE	CHASIS			
2		VASTAGO			
3		CILINDRO			
4		BARRA BINARIA			
5		BARRA BINARIA			
6		VASTAGO			
7		CILINDRO			
8		BARRA BINARIA			
9		VASTAGO			
10		CILINDRO			
11		BARRA BINARIA			
12		BARRA BINARIA			
N =	13	CUCHARA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

Figura 113 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora trasera I.

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	PRISMATICO	P	2	3	
3	1	GIRATORIO	R	1	4	
4	1	GIRATORIO	R	3	4	
5	1	GIRATORIO	R	4	5	
6	1	GIRATORIO	R	5	6	
7	1	PRISMATICO	P	6	7	
8	1	GIRATORIO	R	7	8	
9	1	GIRATORIO	R	4	8	
10	1	GIRATORIO	R	8	9	
11	1	PRISMATICO	P	9	10	
12	1	GIRATORIO	R	10	12	
13	1	GIRATORIO	R	10	11	
14	1	GIRATORIO	R	11	12	
15	1	GIRATORIO	R	8	11	
16	1	GIRATORIO	R	8	13	
P =	17	1	GIRATORIO	R	12	13
		∑ fi =	17			

Figura 114 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora trasera II.

1.2. Cálculos mecanismos 3D

Mostramos ahora los cálculos de movilidad 3D de estos mecanismos.

- Mecanismo dirección de giro.

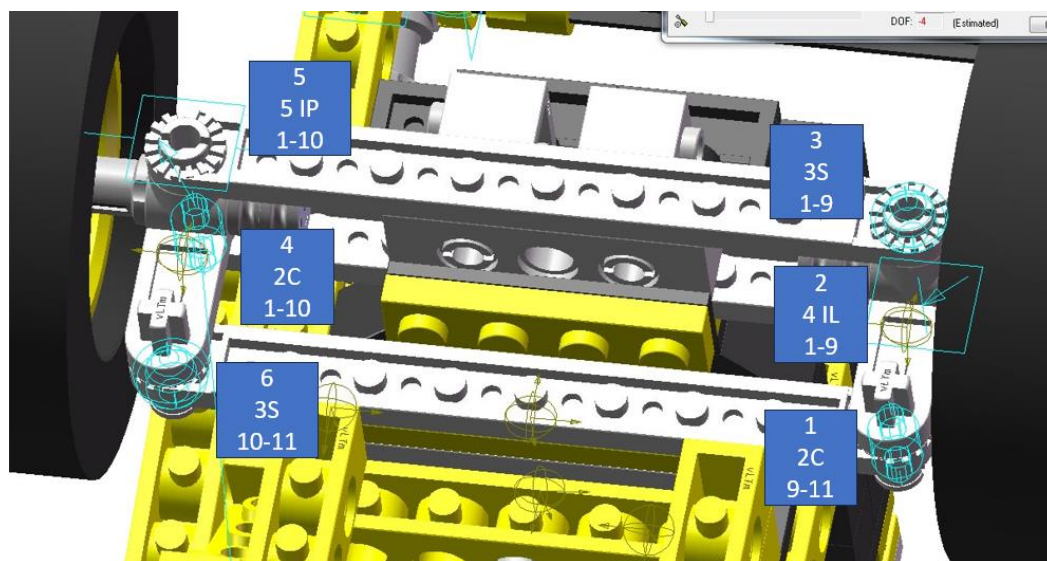


Figura 115 Diagrama cinemático 3D mecanismo dirección de giro

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D	M
3D				1	1		
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA				
1	1	BASE	CHASIS				
2	9		BARRA TERNARIA				
3	10		BARRA TERNARIA				
N =	4	11	BARRA BINARIA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	COSMOS M
1	2	CILINDRICO	C	9	11	CYLINDRICAL2
2	4	IN LINE	IL	1	9	INLINE
3	3	ESFERICO	S	1	9	SPHERICAL
4	2	CILINDRICO	C	1	10	CYLINDRICAL
5	5	IN PLANE	IP	1	10	IN PLANE
P =	6	3	ESFERICO	10	11	SPHERICAL2
∑ fi =	19					

Figura 116 Cálculo de movilidad 3D mecanismo dirección de giro

- Ahora también incluimos el mecanismo de las patas traseras de sujeción.

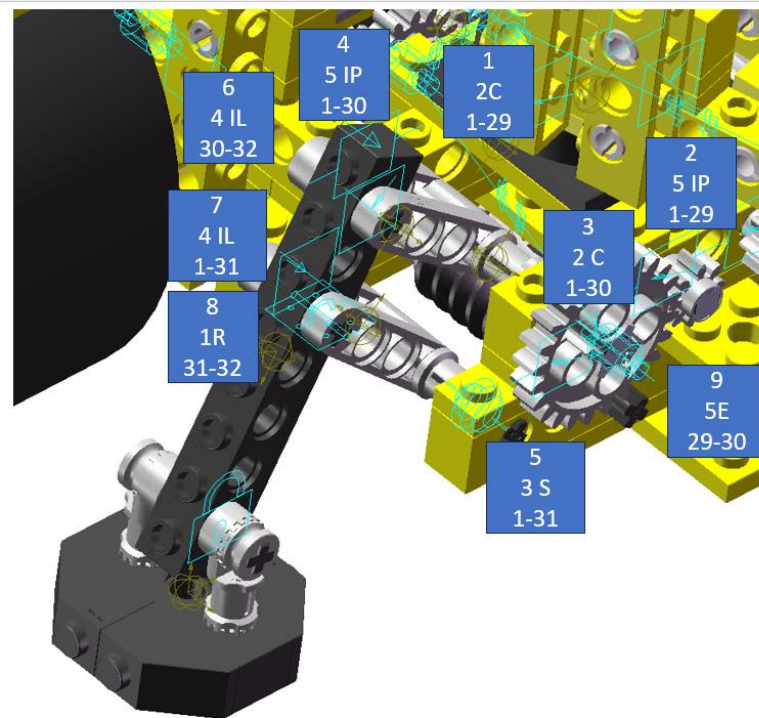


Figura 117 Diagrama cinemático 3D mecanismo patas sujeción

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	1	BASE	CHASIS	2	2	M	
			BARRA TERNARIA				
			BARRA TERNARIA				
			BARRA TERNARIA				
N =	5	32	BARRA CUATERNARIA				

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	2	CILINDRICO	C	1	29
2	5	IN PLANE	IP	1	29
3	2	CILINDRICO	C	1	30
4	5	IN PLANE	IP	1	30
5	4	ESFERICO	S	1	31
6	4	IN LINE	IL	30	32
7	4	IN LINE	IL	1	31
8	1	GIRATORIO	R	31	32
P =	9	5	ENGRANAJE	29	30
	∑ fi =	32			

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 118 Cálculo de movilidad 3D mecanismo patas sujeción

- El mecanismo de la pala retroexcavadora delantera.

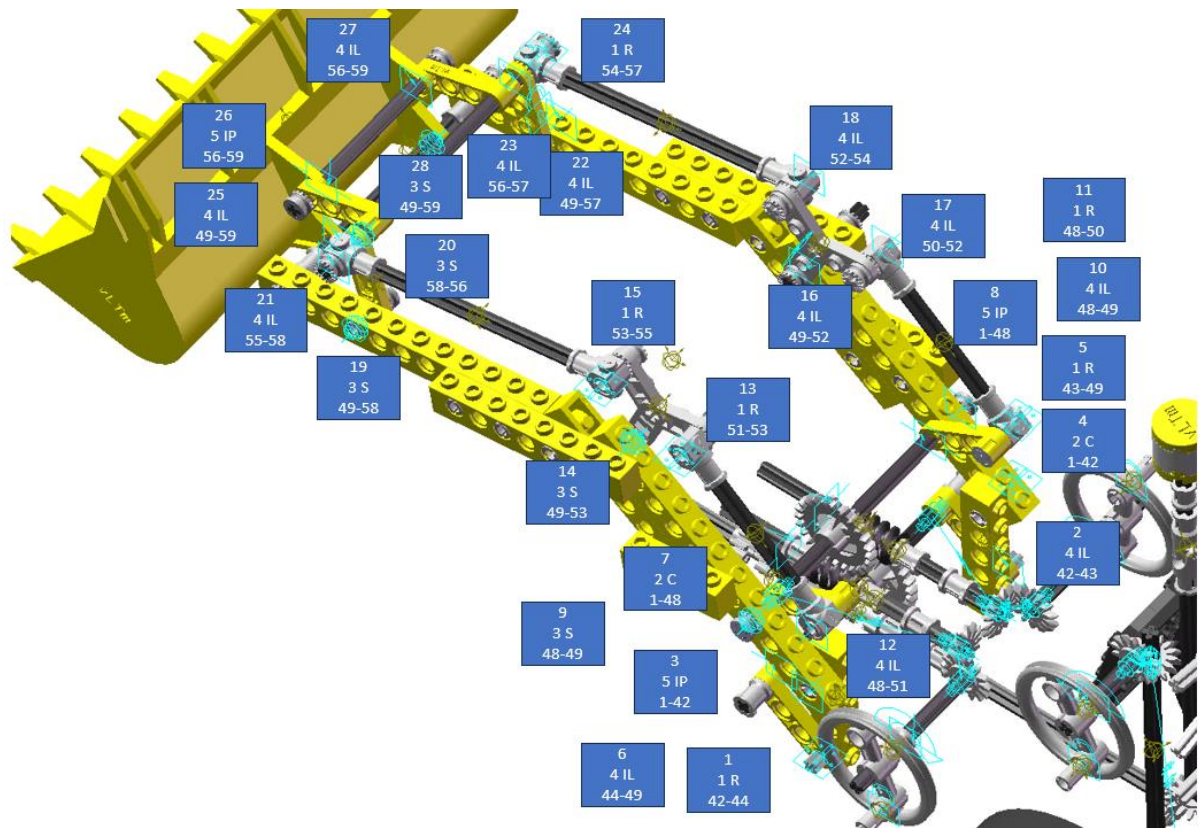


Figura 119 Diagrama cinemático 3D mecanismo pala retroexcavadora

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D	M
3D				2	-2		M
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA				
1	1	BASE	CHASIS				
2	42		BARRA CUATERNARIA				
3	43		BARRA BINARIA				
4	44		BARRA BINARIA				
5	48		BARRA CUATERNARIA				
6	49		BARRA ORDEN 10				
7	50		BARRA BINARIA				
8	51		BARRA BINARIA				
9	52-53		BARRA ORDEN 6				
10	54		BARRA BINARIA				
11	55		BARRA BINARIA				
12	56		BARRA CUATERNARIA				
13	57-58		BARRA BINARIA				
N =	14	59	BARRA CUATERNARIA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 120 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora I

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	42	44
2	4	IN LINE	IL	42	43
3	5	IN PLANE	IP	1	42
4	2	CILINDRICO	C	1	42
5	1	GIRATORIO	R	43	49
6	4	IN LINE	IL	44	49
7	2	CILINDRICO	C	1	48
8	5	IN PLANE	IP	1	48
9	3	ESFERICO	S	48	49
10	4	IN LINE	IL	48	49
11	1	GIRATORIO	R	48	50
12	4	IN LINE	IL	48	51
13	1	GIRATORIO	R	51	53
14	3	ESFERICO	S	49	53
15	1	GIRATORIO	R	53	55
16	4	IN LINE	IL	49	52
17	4	IN LINE	IL	50	52
18	4	IN LINE	IL	52	54
19	3	ESFERICO	S	49	58
20	3	ESFERICO	S	58	56
21	4	IN LINE	IL	55	58
22	4	IN LINE	IL	49	57
23	4	IN LINE	IL	56	57
24	1	GIRATORIO	R	54	57
25	4	IN LINE	IL	49	59
26	5	IN PLANE	IP	56	59
27	4	IN LINE	IL	56	59
P =	28	3	ESFERICO	49	59
	Σ fi =	88			

Figura 121 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora II

- Mecanismo pala retroexcavadora trasera.

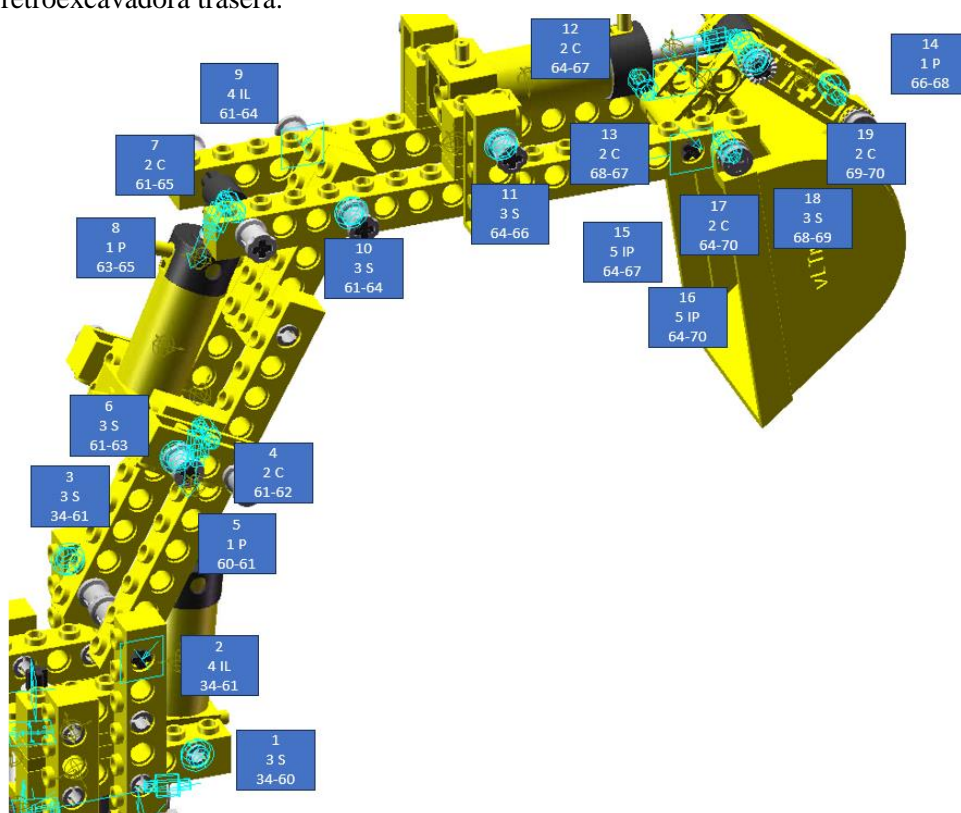


Figura 122 Diagrama cinemático 3D mecanismo pala retroexcavadora trasera

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	34	BASE	CHASIS	3	3	M	
2	60		VASTAGO				
3	61		CILINDRO				
4	62		BARRA BINARIA				
5	63		BARRA BINARIA				
6	64		VASTAGO				
7	65		CILINDRO				
8	66		BARRA BINARIA				
9	67		VASTAGO				
10	68		CILINDRO				
11	69		BARRA BINARIA				
N =	12	70	CUCHARA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 123 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora trasera I

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	3	ESFERICO	S	34	60
2	4	IN LINE	IL	34	61
3	3	ESFERICO	S	34	61
4	2	CILINDRICO	C	61	62
5	1	PRISMATICO	P	60	61
6	3	ESFERICO	S	61	62
7	2	CILINDRICO	C	61	63
8	1	PRISMATICO	P	61	65
9	4	IN LINE	IL	63	65
10	3	ESFERICO	S	61	64
11	3	ESFERICO	S	64	66
12	2	CILINDRICO	C	64	67
13	2	CILINDRICO	C	68	67
14	1	PRISMATICO	P	66	68
15	5	IN PLANE	IP	64	67
16	5	IN PLANE	IP	64	70
17	2	CILINDRICO	C	64	70
18	3	ESFERICO	S	68	69
P =	19	2	CILINDRICO	69	70
	∑ fi =	51			

Figura 124 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pala retroexcavadora trasera II

1.3.Simulaci3n

A continuaci3n, mostrarem3s im3genes de la simulaci3n realitzada. Al tractar-se de un model3 guiado la simulaci3n ha sigut de un per3ode curt de dos segons i activant tots els mecanismes al mateix temps.

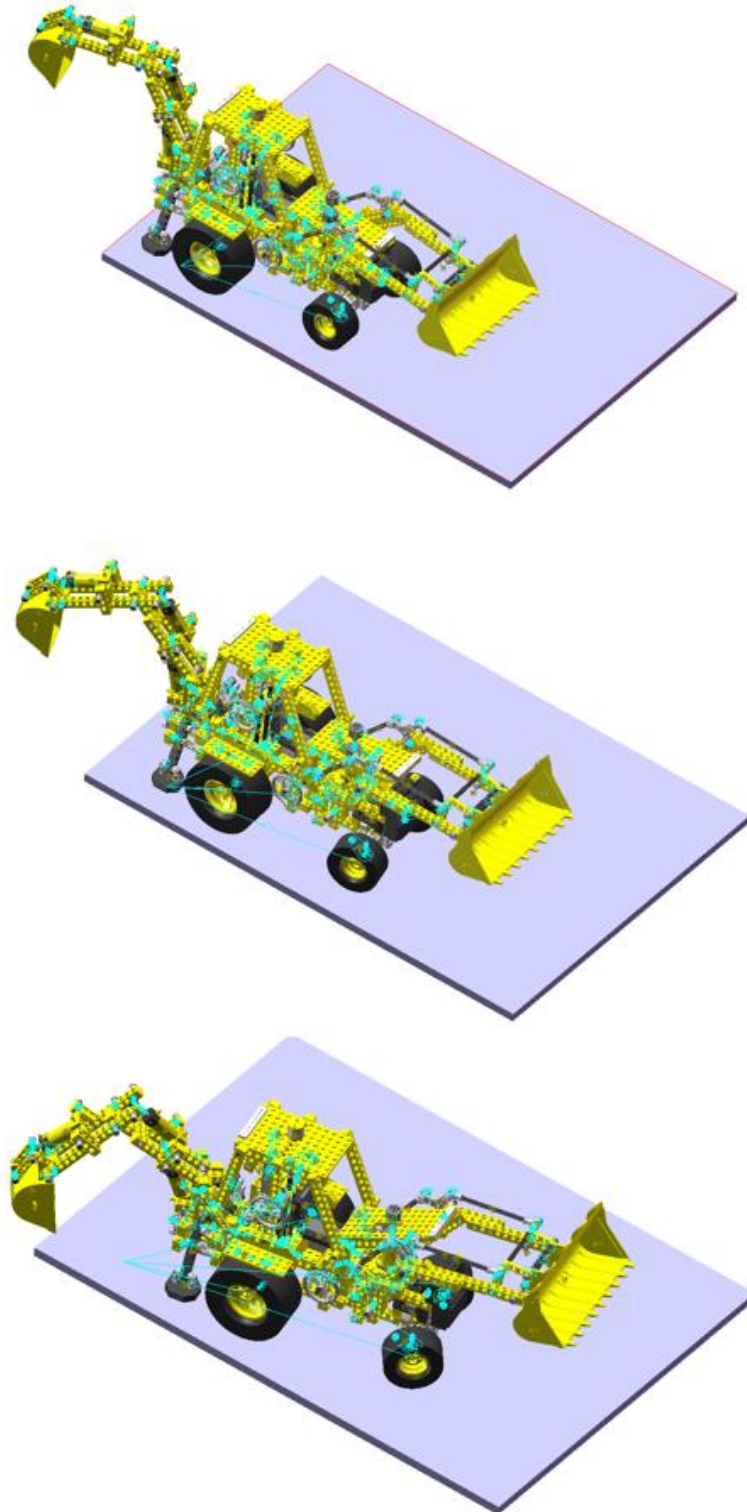


Figura 125 Model3 8862-1 simulaci3n I

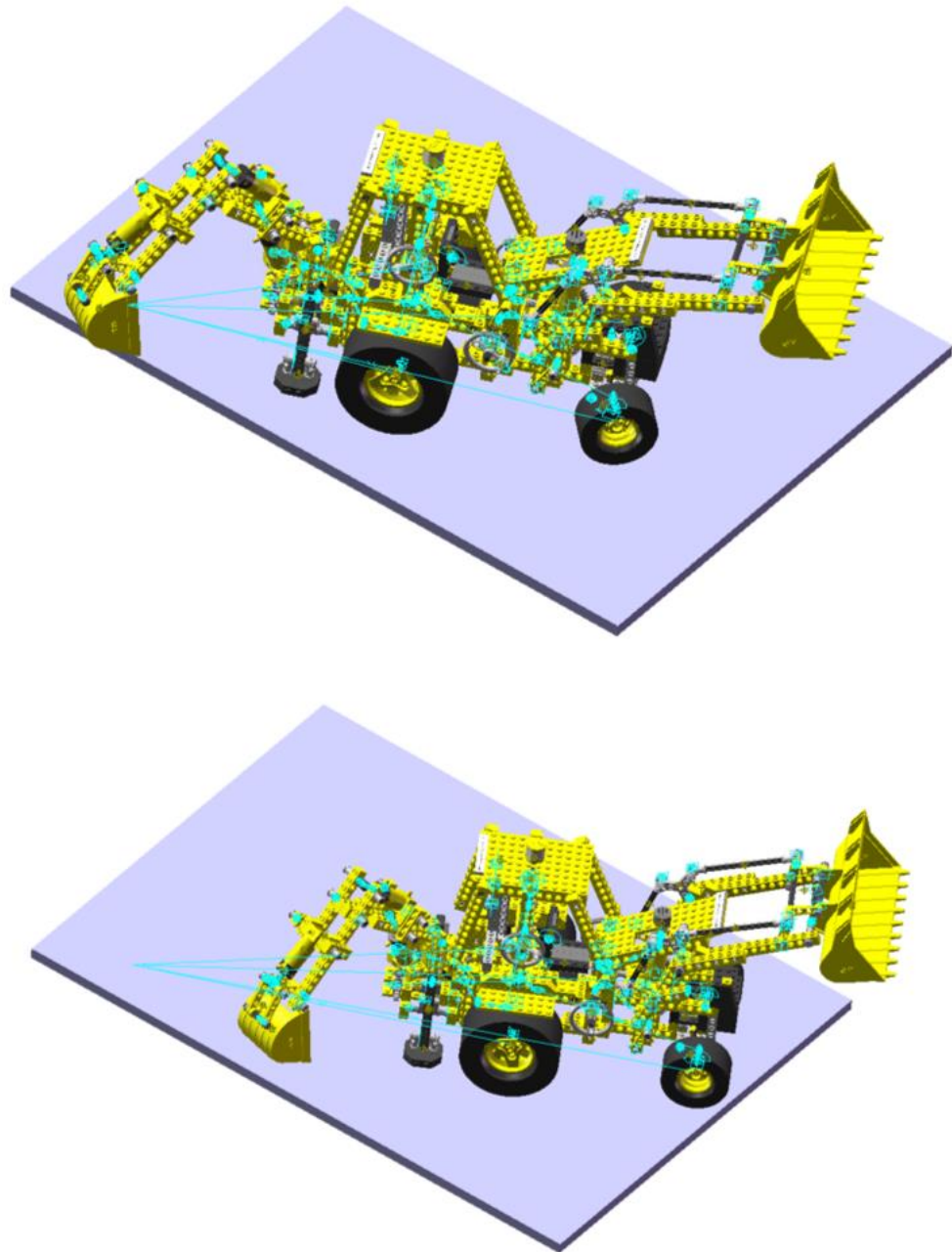


Figura 126 Modelo 8862-1 simulación II

2. ANEXO. Modelo Lego Technic 42062-1

Mostraremos los cálculos de los mecanismos del modelo 42062-1, el primero no guiado con SolidWorks 2007 y Cosmos Motion.

2.1. Cálculos mecanismos 2D

- Mecanismo cambio de dirección de giro.

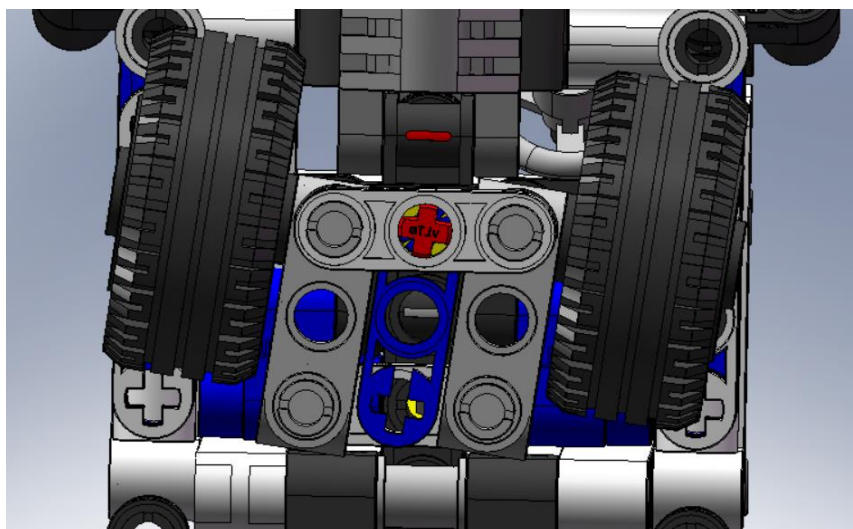


Figura 127 Modelo 42062-1 mecanismo 2D dirección de giro

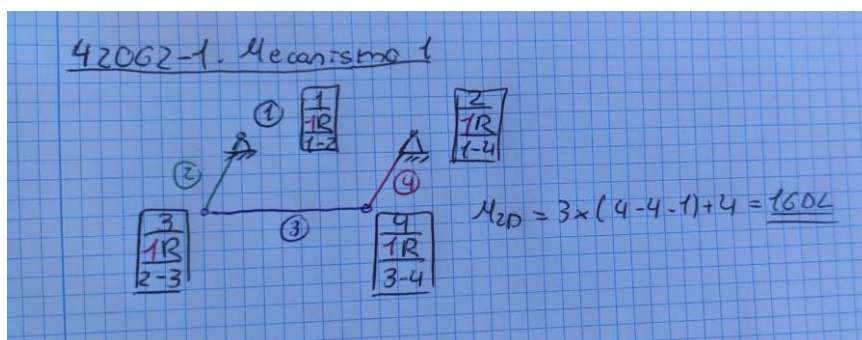


Figura 128 Diagrama cinemático mecanismo 2D dirección de giro

DE DIAGRAMAS						
2D						
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D	M	
1	BASE	CHASIS	1	1	M	
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
N =	4	BARRA BINARIA				
$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$						
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	GIRATORIO	R	1	4	
3	1	GIRATORIO	R	2	3	
P =	4	GIRATORIO	R	3	4	
$\sum f_i =$	4					

Figura 129 Cálculo de movilidad 2D mecanismo dirección de giro

- Mecanismo elevación pinza.

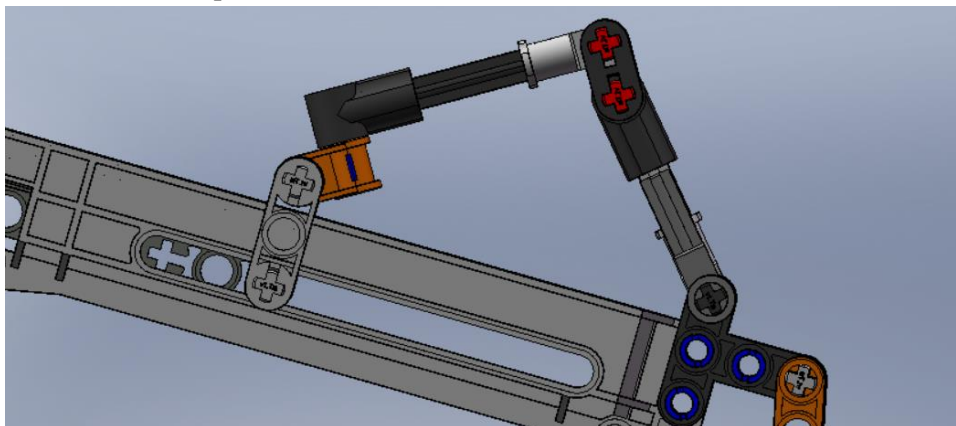


Figura 130 Modelo 42062-1 mecanismo 2D elevación pinza

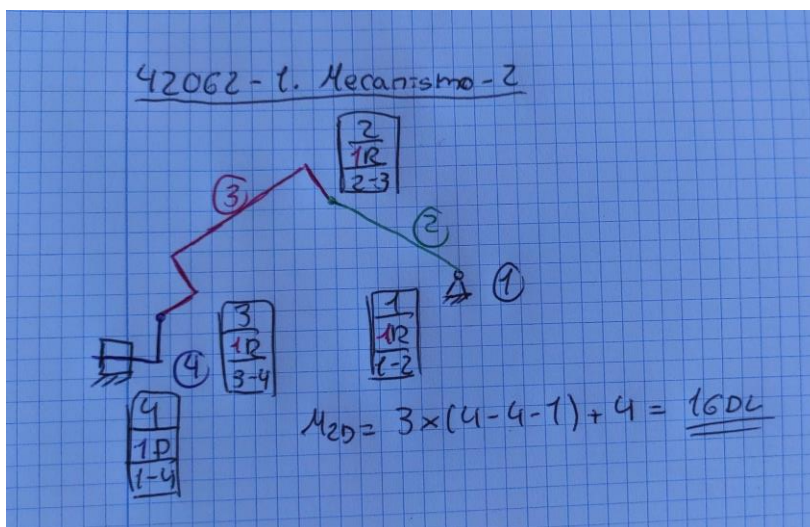


Figura 131 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación pinza

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a GRUEBLER 2D	
No. CUERPO	TIPO	FORMA	1	1
1	BASE	BARRA		
2		BARRA BINARIA		
3		BARRA BINARIA		
N =	4	BARRA		M

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	PRISMATICO	P	1	4
$\sum f_i =$	4				

Figura 132 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación pinza

- Mecanismo de pinza.

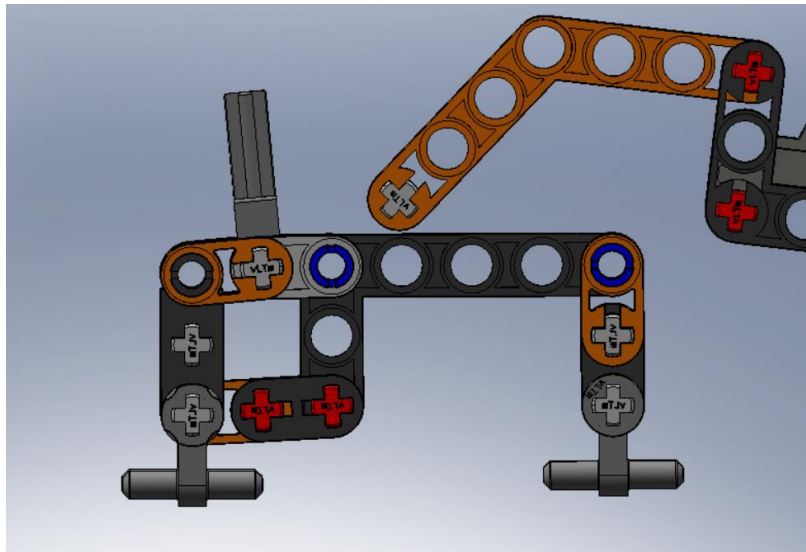


Figura 133 Modelo 42062-1 mecanismo 2D pinza

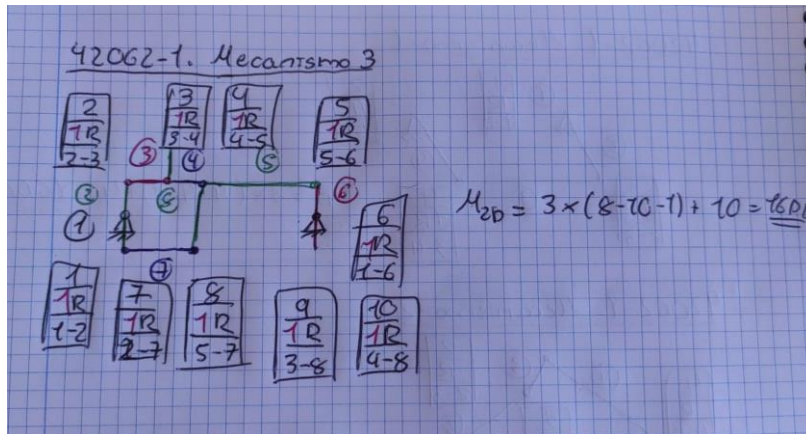


Figura 134 Diagrama cinemático mecanismo 2D pinza

DE DIAGRAMAS					
2D					
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D	
1	BASE	BARRA BINARIA	1	1	M
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
4		BARRA BINARIA			
5		BARRA BINARIA			
6		BARRA BINARIA			
7		BARRA BINARIA			
N =	8	BARRA BINARIA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
4	1	GIRATORIO	R	4	5
5	1	GIRATORIO	R	5	6
6	1	GIRATORIO	R	1	6
7	1	GIRATORIO	R	2	7
8	1	GIRATORIO	R	5	7
9	1	GIRATORIO	R	3	8
P =	10	1	GIRATORIO	4	8
	Σ fi =	10			

Figura 135 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pinza

- Mecanismo de elevación grúa.

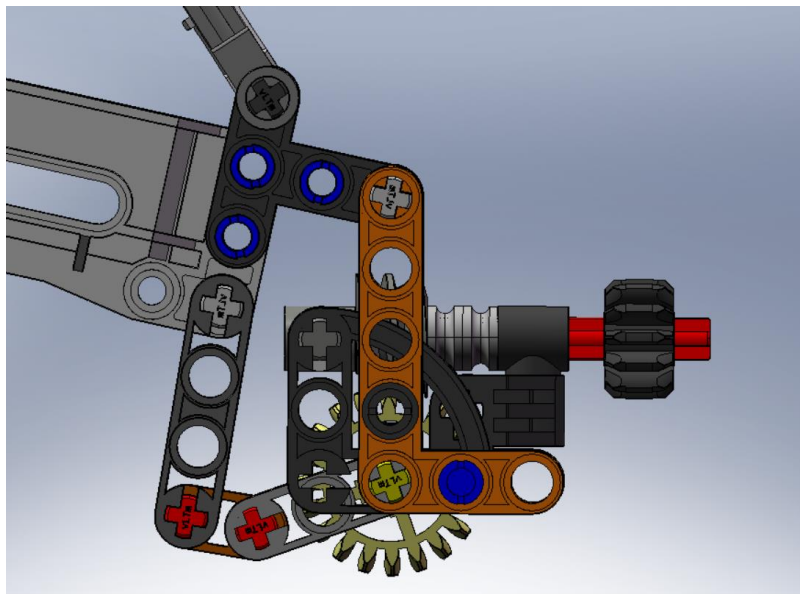


Figura 136 Modelo 42062-1 mecanismo 2D elevación grúa

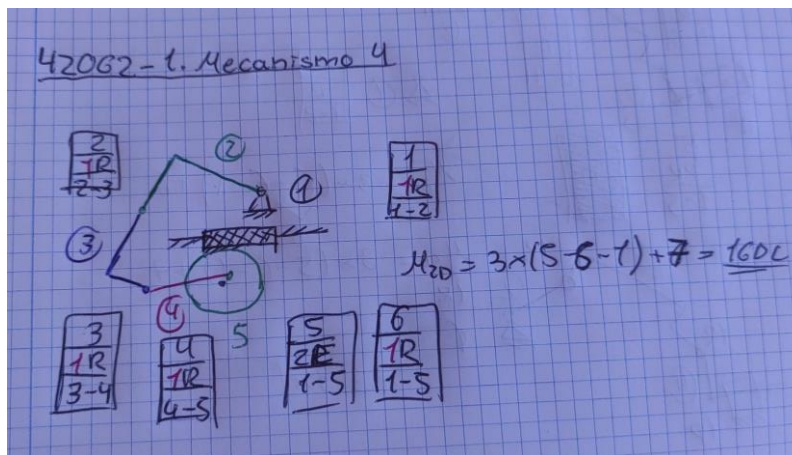


Figura 137 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación grúa

DE DIAGRAMAS						
2D						
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D		
1	BASE	BARRA BINARIA	1	1	M	
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
4		BARRA BINARIA				
N =	5	BARRA BINARIA				
			$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$			
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	GIRATORIO	R	2	3	
3	1	GIRATORIO	R	3	4	
4	1	GIRATORIO	R	4	5	
5	2	ENGRANAJE	E	1	5	
P =	6	1	GIRATORIO	1	5	
	$\sum f_i =$	7				

Figura 138 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación grúa

2.2. Cálculos mecanismos 3D

- Mecanismo cambio de dirección de giro.

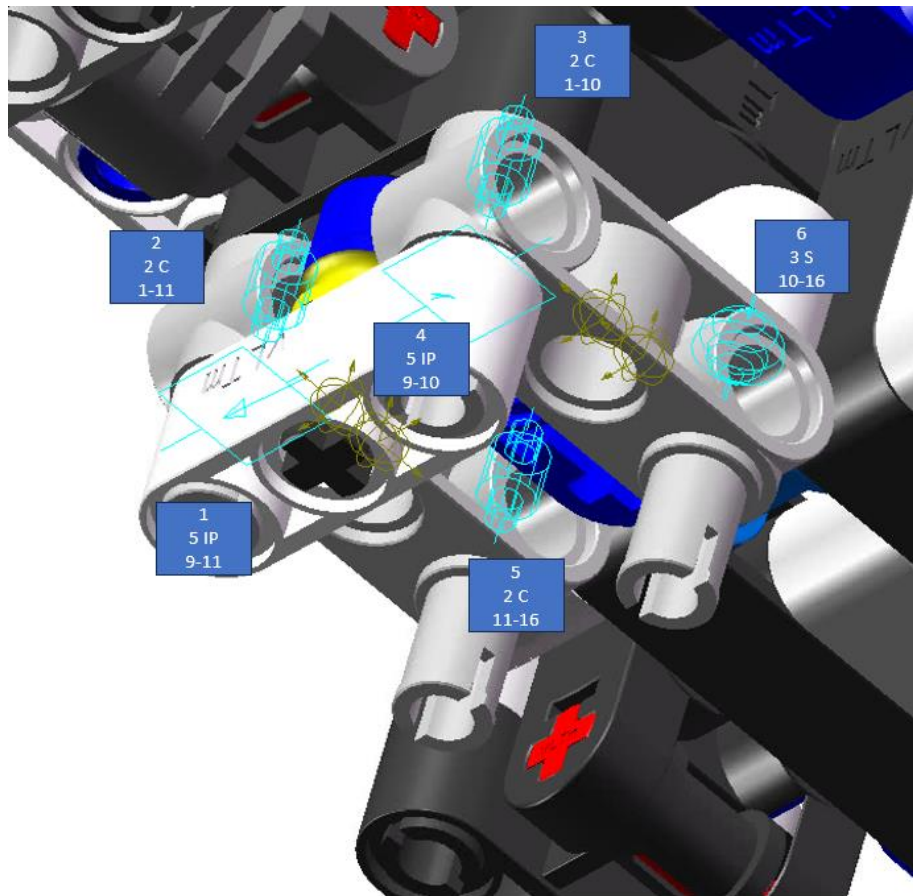


Figura 139 Diagrama cinemático 3D mecanismo cambio de dirección de giro

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	1	1	M
1	1 Y 9	BASE	CHASIS			
2	16		BARRA BINARIA			
3	10		BARRA TERNARIA			
N =	4	11	BARRA TERNARIA			
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$						
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	5	IN PLANE	IP	9	11	
2	2	CILINDRICO	C	1	11	
3	2	CILINDRICO	C	1	10	
4	5	IN PLANE	IP	9	10	
5	2	CILINDRICO	C	11	16	
P =	6	3	ESFERICO	10	16	
	∑ fi =	19				

Figura 140 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección de giro

- Mecanismo elevación pinza.

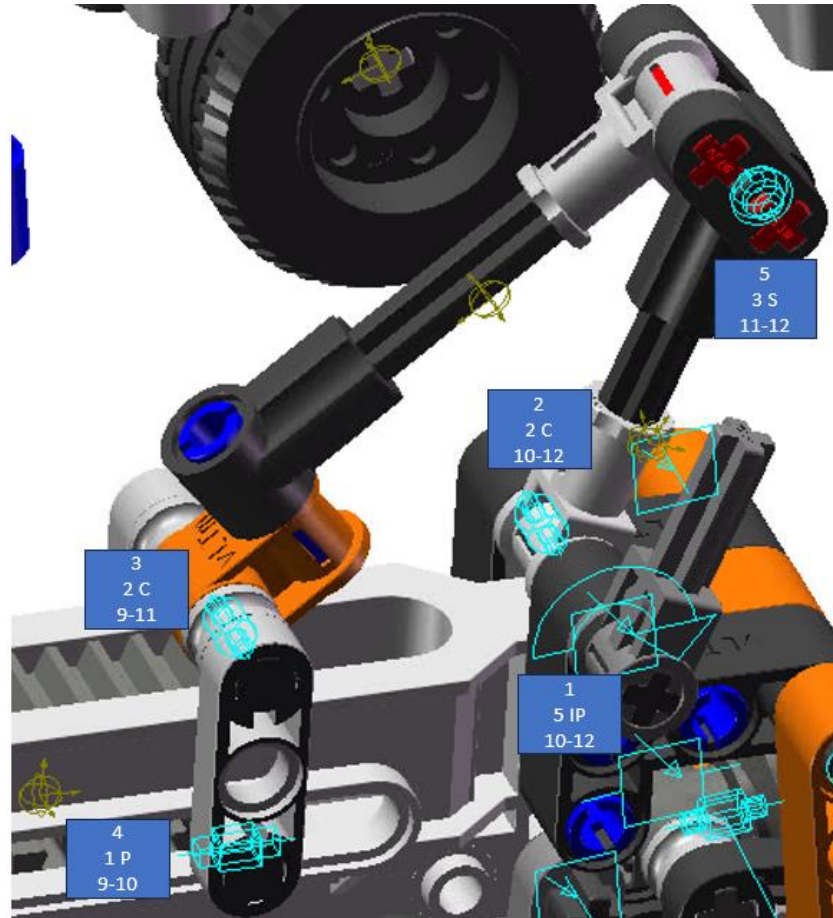


Figura 141 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación pinza

DE DIAGRAMAS						
3D						
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	
1	10	BASE	BARRA	1	1	M
2	9		BARRA BINARIA			
3	11		BARRA BINARIA			
N =	4		BARRA TERNARIA			
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$						
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	5	IN PLANE	IP	10	12	
2	2	CILINDRICO	C	10	12	
3	2	CILINDRICO	C	9	11	
4	1	PRISMATICO	P	9	10	
P =	5		ESFERICO	11	12	
	Σ fi =	13				

Figura 142 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación pinza

- Mecanismo de pinza.

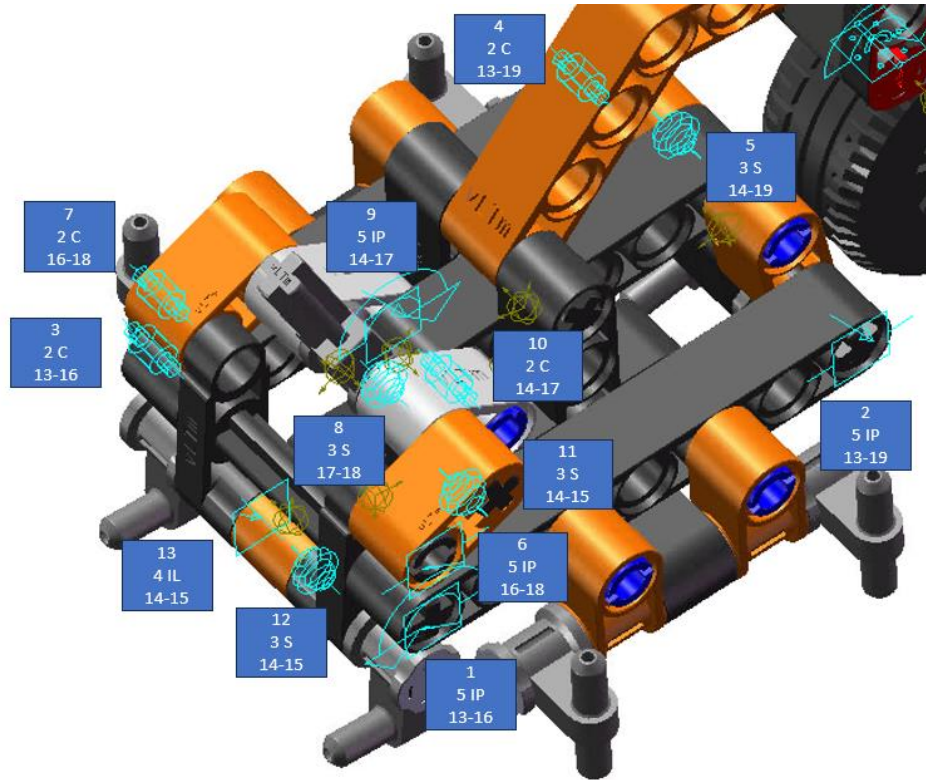


Figura 143 Diagrama cinemático 3D mecanismo pinza

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D
3D				1	2	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA				
1	13	BASE	BARRA CUATERNARIA			
2	14		BARRA CUATERNARIA			
3	15		BARRA TERNARIA			
4	16		BARRA ORDEN 6			
5	17		BARRA TERNARIA			
6	18		BARRA TERNARIA			
7	19		BARRA TERNARIA			
N =						

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 144 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pinza I

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SÍMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	5	IN PLANE	IP	13	16
2	5	IN PLANE	IP	13	19
3	2	CILINDRICO	C	13	16
4	2	CILINDRICO	C	13	19
5	3	ESFERICO	S	14	19
6	5	IN PLANE	IP	16	18
7	2	CILINDRICO	C	16	18
8	3	ESFERICO	S	17	18
9	5	IN PLANE	IP	14	17
10	2	CILINDRICO	C	14	17
11	3	ESFERICO	S	14	15
12	3	ESFERICO	S	14	15
P =	13			14	15
	∑ fi =	44			

Figura 145 Cálculo de movilidad 3D mecanismo pinza II

- Mecanismo de elevación grúa.

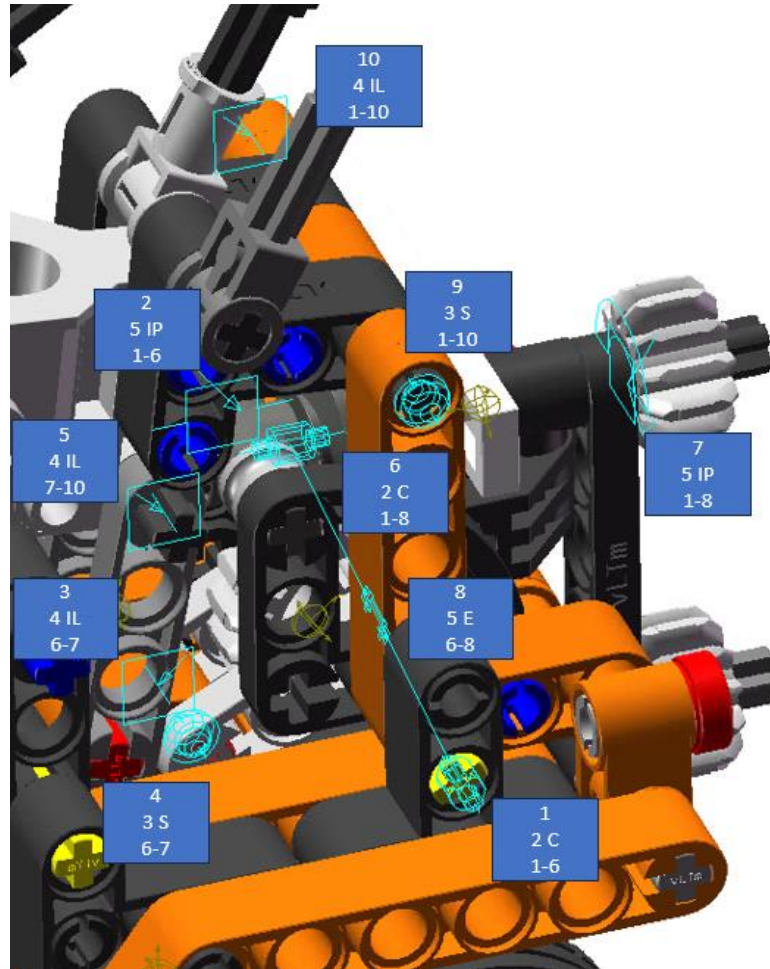


Figura 146 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación grúa

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	1	BASE	BARRA ORDEN 6	1	1	M	
2	6		BARRA ORDEN 5				
3	7		BARRA TERNARIA				
4	8		BARRA TERNARIA				
N =	5	10	BARRA TERNARIA				
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SÍMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	2	CILINDRICO	C	1	6		
2	5	IN PLANE	IP	1	6		
3	4	IN LINE	IL	6	7		
4	3	ESFERICO	S	6	7		
5	4	IN LINE	IL	7	10		
6	2	CILINDRICO	C	1	8		
7	5	IN PLANE	IP	1	8		
8	5	ENGRANAJE	E	6	8		
9	3	ESFERICO	S	1	10		
P =	10	4	IN LINE	1	10		
	$\sum f_i =$	37					

Figura 147 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación grúa

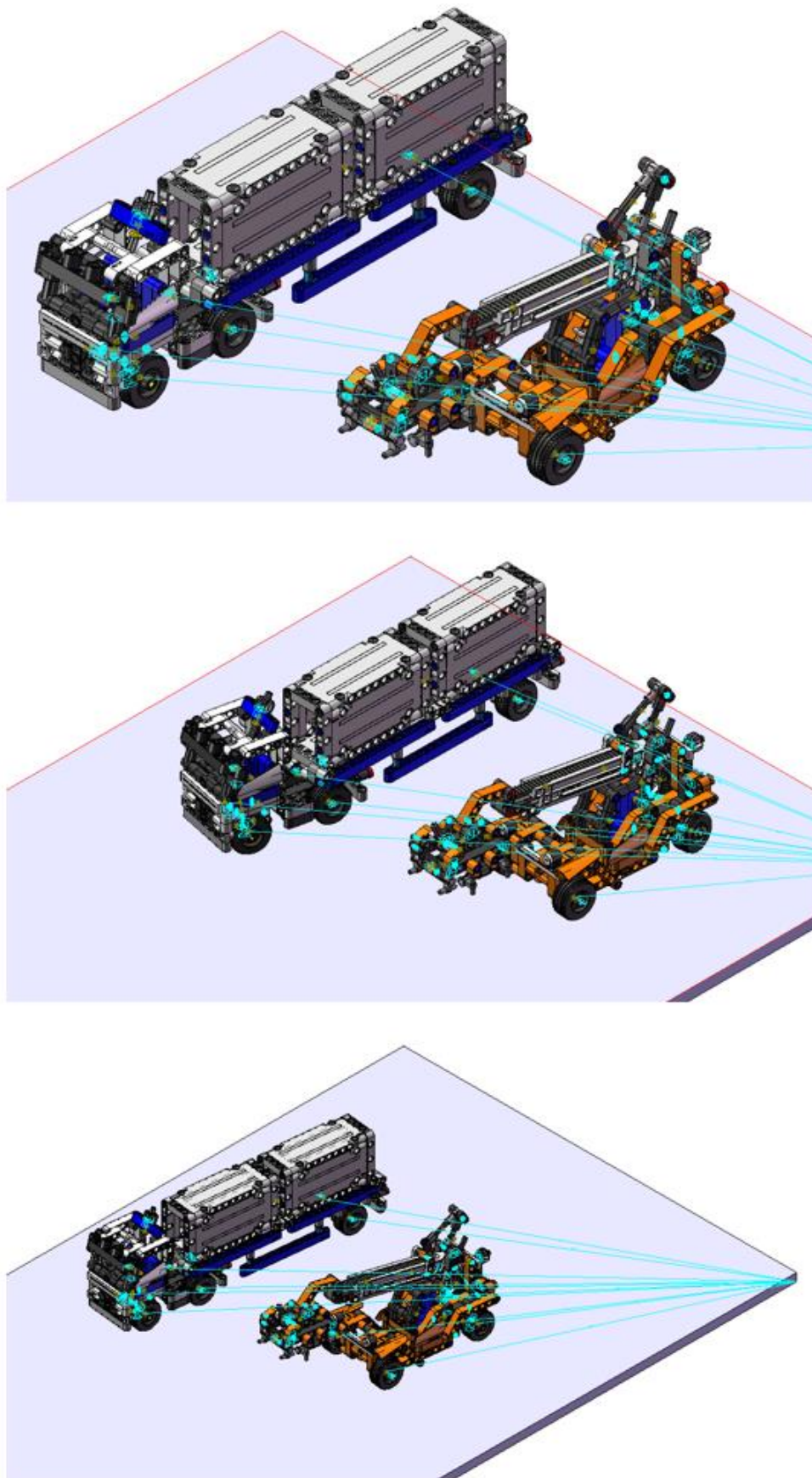


Figura 148 Modelo 42062-1 simulaci3n I

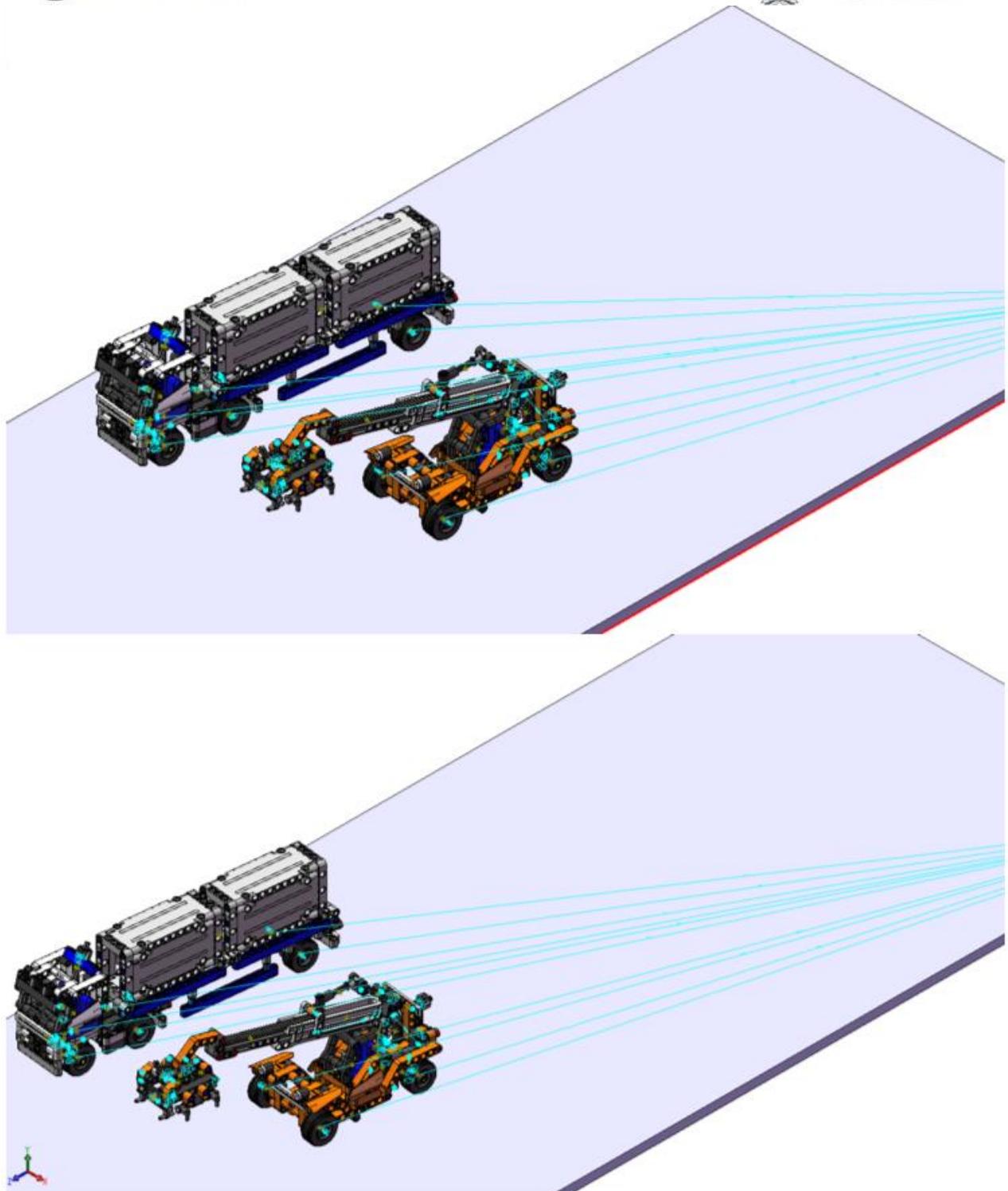


Figura 149 Modelo 42062-1 simulación II

3. ANEXO. Modelo Lego Technic 42039-1

Mostraremos los cálculos de los mecanismos del modelo 42039-1, el segundo no guiado con SolidWorks 2007 y Cosmos Motion.

3.1. Cálculos mecanismos 2D

- Mecanismo de elevación de parte trasera.

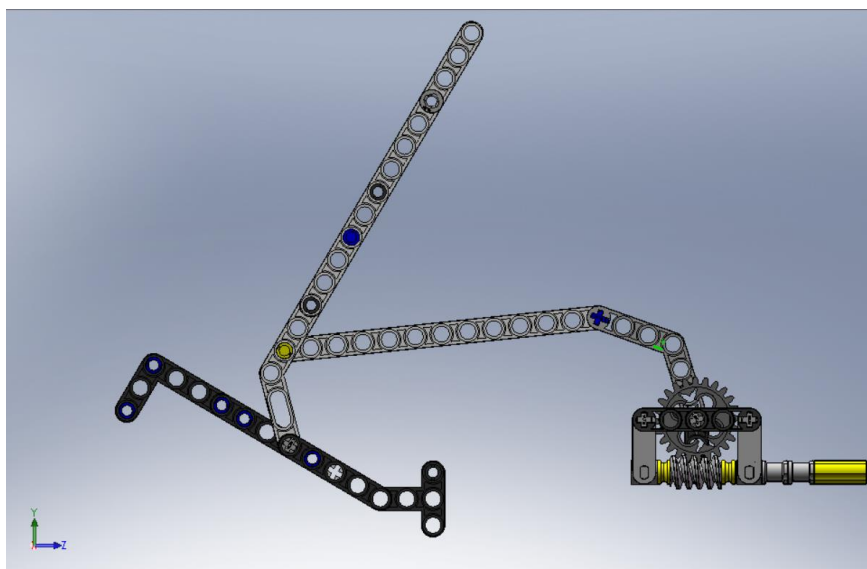


Figura 150 Modelo 42039-1 mecanismo 2D elevación de parte trasera

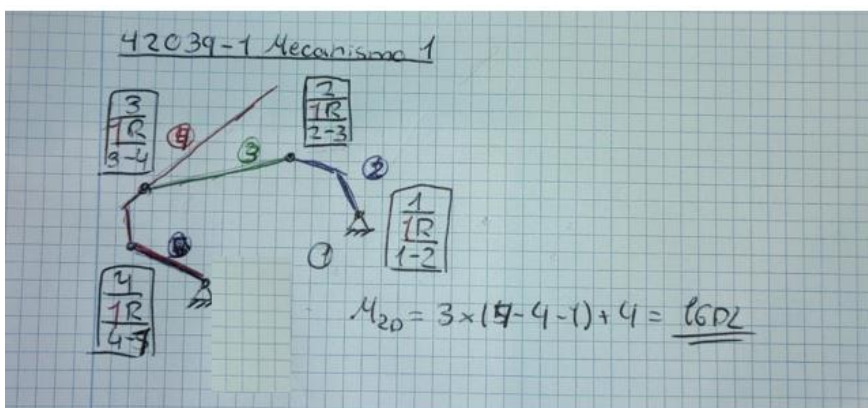


Figura 151 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación de parte trasera

DE DIAGRAMAS					
2D					
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D	M
1	BASE	CHASIS	1	1	M
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
N =	4	BARRA BINARIA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SÍMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	1	4
3	1	GIRATORIO	R	2	3
P =	4	GIRATORIO	R	3	4
$\sum f_i =$	4				

Figura 152 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación de parte trasera

- Mecanismo elevación puertas laterales.

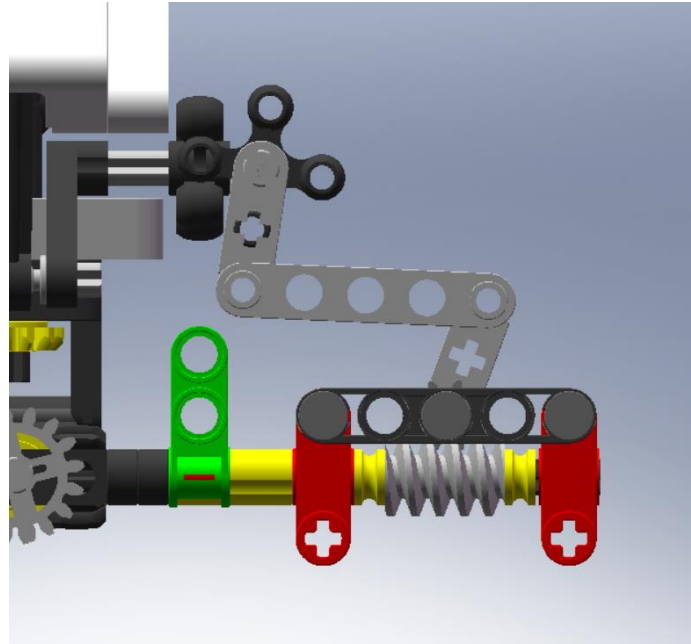


Figura 153 Modelo 42039-1 mecanismo 2D elevación puertas laterales

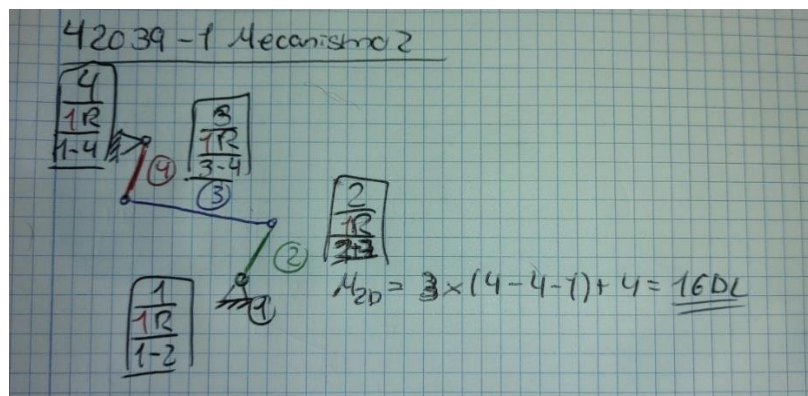


Figura 154 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación puertas laterales

DE DIAGRAMAS								
2D								
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	M			
1	BASE	BARRA	1	1	M			
2		BARRA BINARIA						
3		BARRA BINARIA						
N =	4	BARRA						

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	PRISMATICO	P	1	4
$\sum f_i =$	4				

Figura 155 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación puertas laterales

- Mecanismo cambio de direcció.

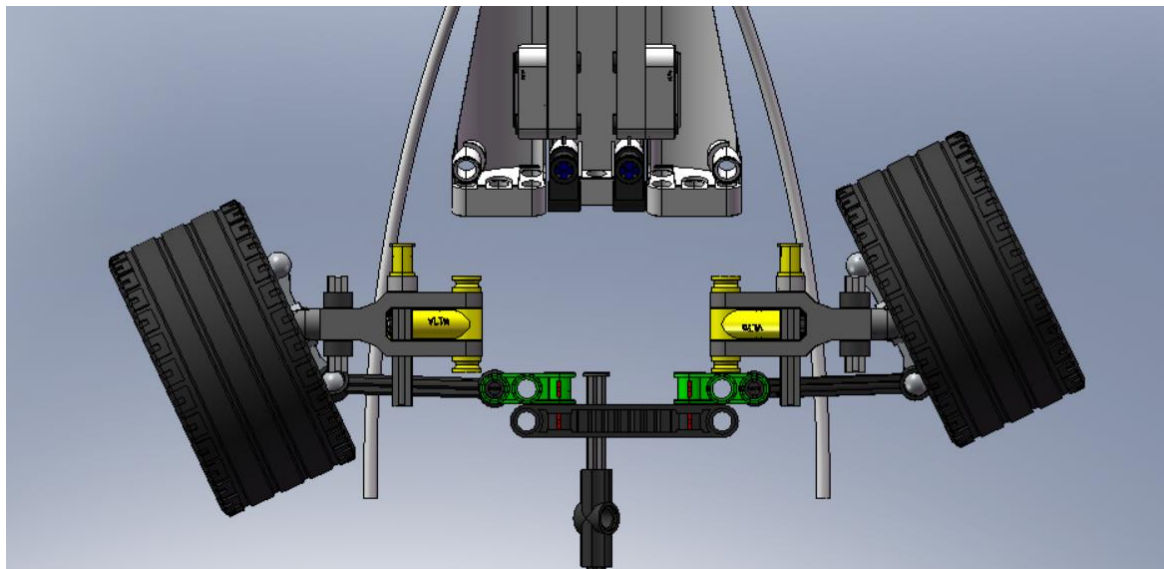


Figura 156 Modelo 42039-1 mecanismo 2D cambio de direcció

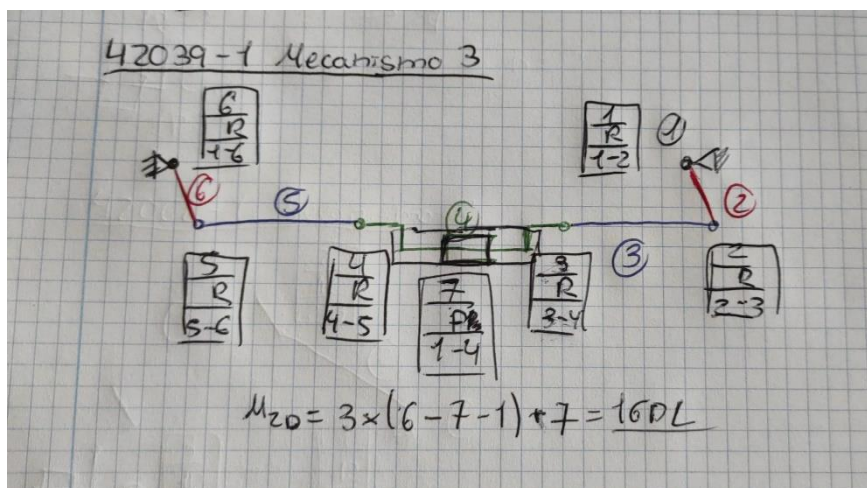


Figura 157 Diagrama cinemático mecanismo 2D cambio de direcció

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a GRUEBLER 2D		
2D			1	1	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA			
1	BASE	BARRA BINARIA			
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
4		BARRA BINARIA			
5		BARRA BINARIA			
N =	6	BARRA BINARIA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
4	1	GIRATORIO	R	4	5
5	1	GIRATORIO	R	5	6
6	1	GIRATORIO	R	1	6
P =	7	PRISMATICO	P	1	4
$\sum f_i =$	7				

Figura 158 Cálculo de movilidad 2D mecanismo cambio de direcció

3.2. Cálculos mecanismos 3D

- Mecanismo de elevación de parte trasera.

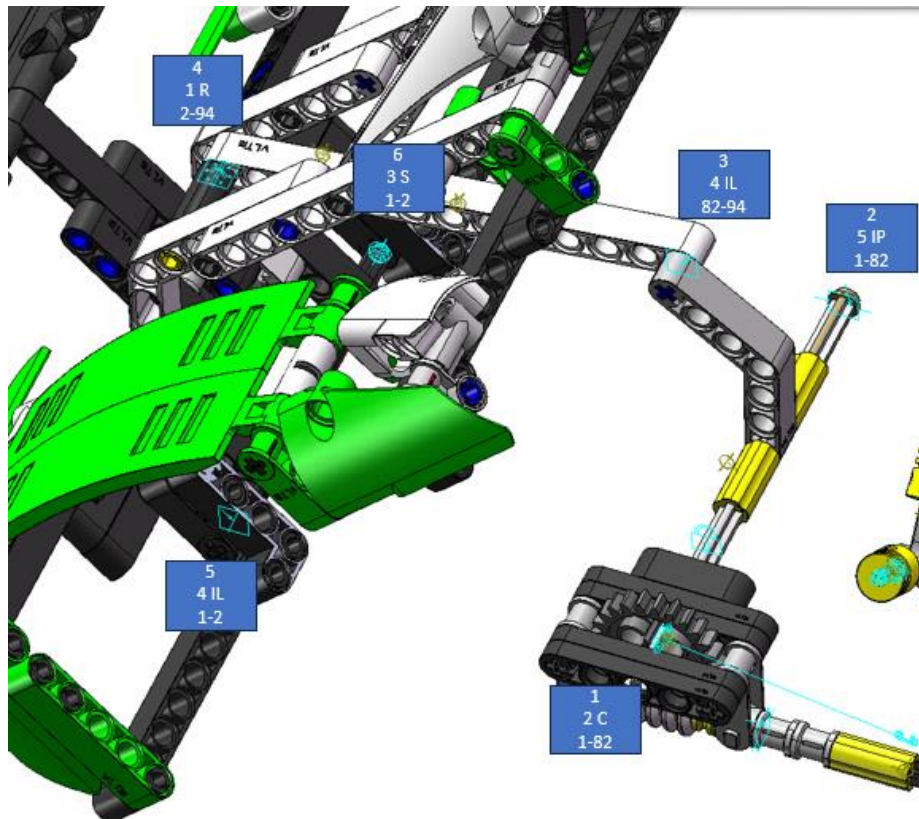


Figura 159 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación de parte trasera

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	M	
1	1	BASE	CHASIS	1	1	M	
2	2		BARRA TERNARIA				
3	82		BARRA TERNARIA				
N =	4	94	BARRA BINARIA				
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$							
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	2	CILINDRICO	C	1	82		
2	5	IN PLANE	IP	1	82		
3	4	IN LINE	IL	82	94		
4	4	IN LINE	IL	2	94		
5	1	GIRATORIO	R	1	2		
P =	6	3	ESFERICO	1	2		
	∑ fi =	19					

Figura 160 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación de parte trasera

- Mecanismo elevación puertas laterales.

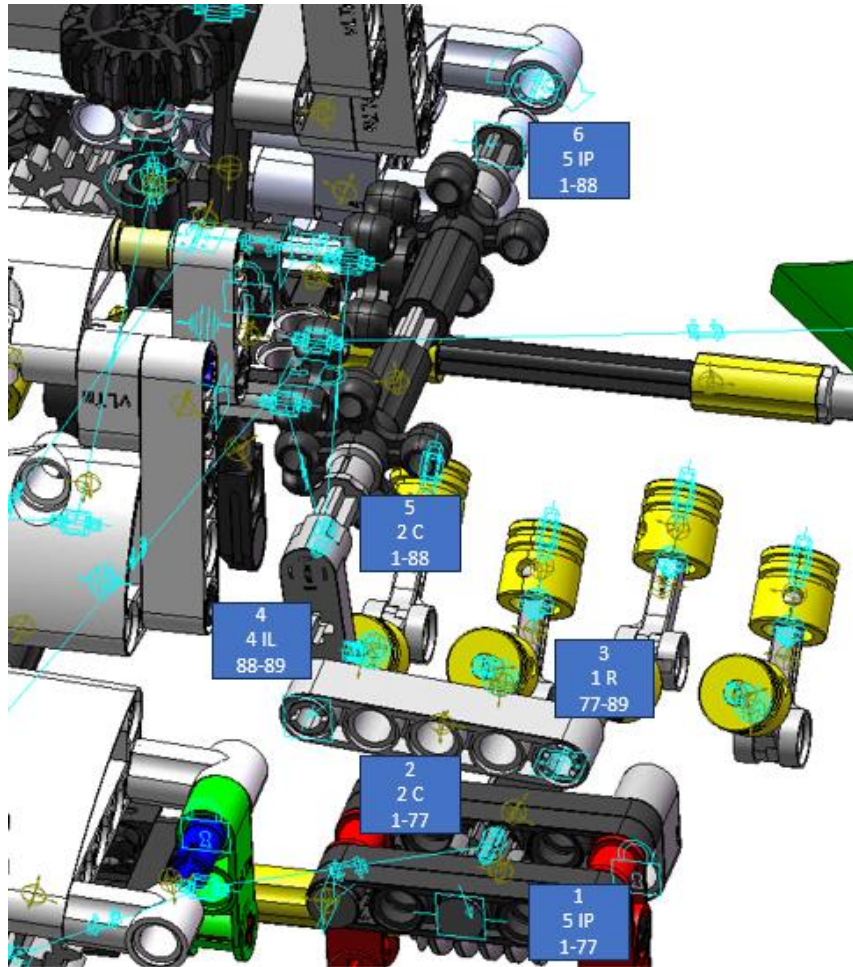


Figura 161 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación puertas laterales

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D	M
3D				1	1		
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA				
1	1	BASE	CHASIS				
2	77		BARRA TERNARIA				
3	88		BARRA TERNARIA				
N =	4	89	BARRA BINARIA				
				$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$			
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	5	IN PLANE	IP	1	77		
2	2	CILINDRICO	C	1	77		
3	1	GIRATORIO	R	77	89		
4	4	IN LINE	IL	88	89		
5	2	CILINDRICO	C	1	88		
P =	6	5	IN PLANE	1	88		
	$\sum f_i =$	19					

Figura 162 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación puertas laterales

- Mecanismo cambio de dirección.

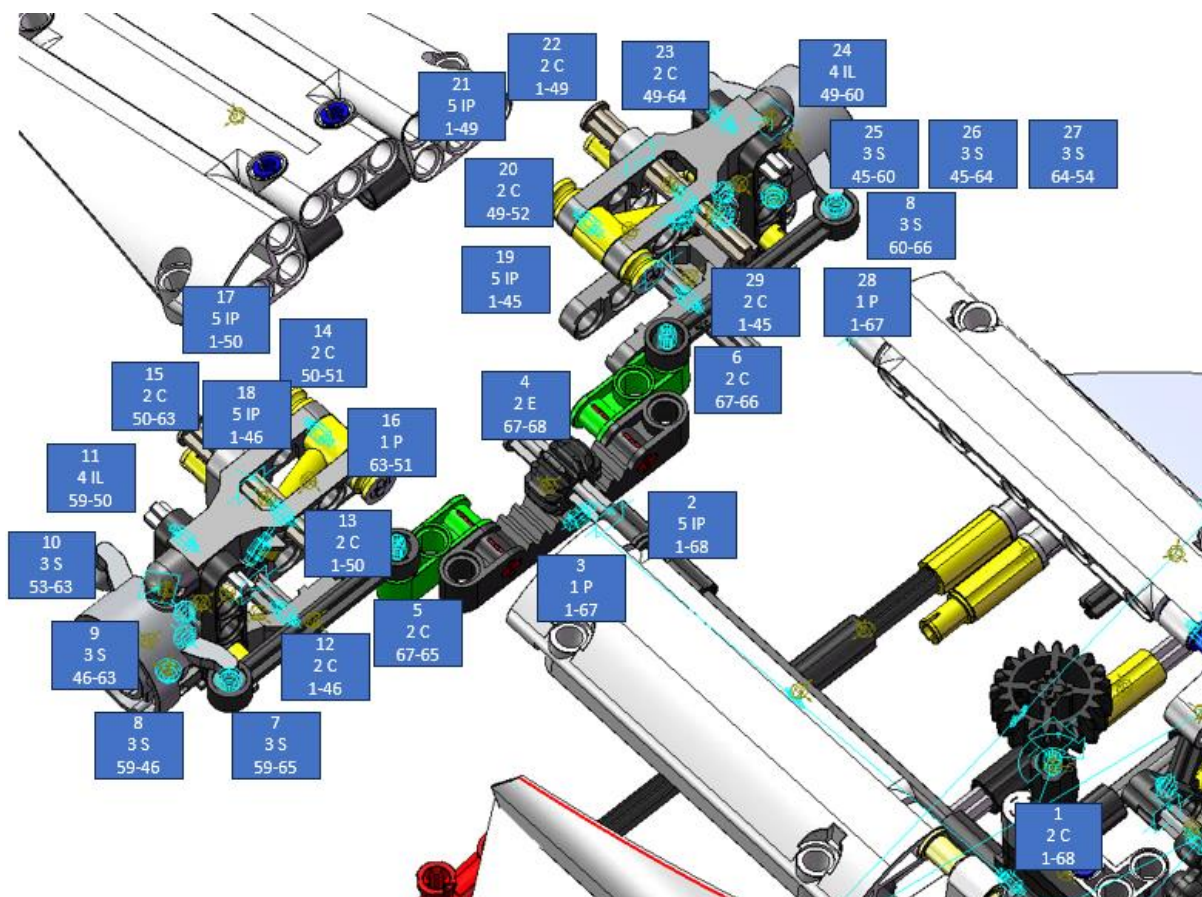


Figura 163 Diagrama cinemático 3D mecanismo cambio de dirección

DE DIAGRAMAS						
3D						
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	BASE	BARRA BINARIA	3	3	M	
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
4		BARRA BINARIA				
5		BARRA BINARIA				
6		BARRA BINARIA				
7		BARRA BINARIA				
8		BARRA BINARIA				
9		BARRA BINARIA				
10		BARRA BINARIA				
11		BARRA BINARIA				
12		BARRA BINARIA				
13		BARRA BINARIA				
14		BARRA BINARIA				
15		BARRA BINARIA				
16		BARRA BINARIA				
N =	17	BARRA BINARIA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 164 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección I

	No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
	1	2	CILINDRICO	C	1	68
	2	5	IN PLANE	IP	1	68
	3	1	PRISMATICO	P	1	67
	4	2	ENGRANAJE	E	67	68
	5	2	CILINDRICO	C	67	65
	6	2	CILINDRICO	C	67	66
	7	3	ESFERICO	S	59	65
	8	3	ESFERICO	S	59	46
	9	3	ESFERICO	S	46	63
	10	3	ESFERICO	S	53	63
	11	4	IN LINE	IL	59	50
	12	2	CILINDRICO	C	1	46
	13	2	CILINDRICO	C	1	50
	14	2	CILINDRICO	C	50	51
	15	2	CILINDRICO	C	50	63
	16	1	PRISMATICO	P	63	51
	17	5	IN PLANE	IP	1	50
	18	5	IN PLANE	IP	1	46
	19	5	IN PLANE	IP	1	45
	20	2	GIRATORIO	R	49	52
	21	5	IN PLANE	IP	1	49
	22	2	CILINDRICO	C	1	49
	23	2	CILINDRICO	C	49	64
	24	4	IN LINE	IL	49	60
	25	3	ESFERICO	S	45	60
	26	3	ESFERICO	S	45	64
	27	3	ESFERICO	S	64	54
	28	1	PRISMATICO	P	1	67
P =	29	2	CILINDRICO	C	1	45
	$\Sigma f_i =$	81				

Figura 165 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección II

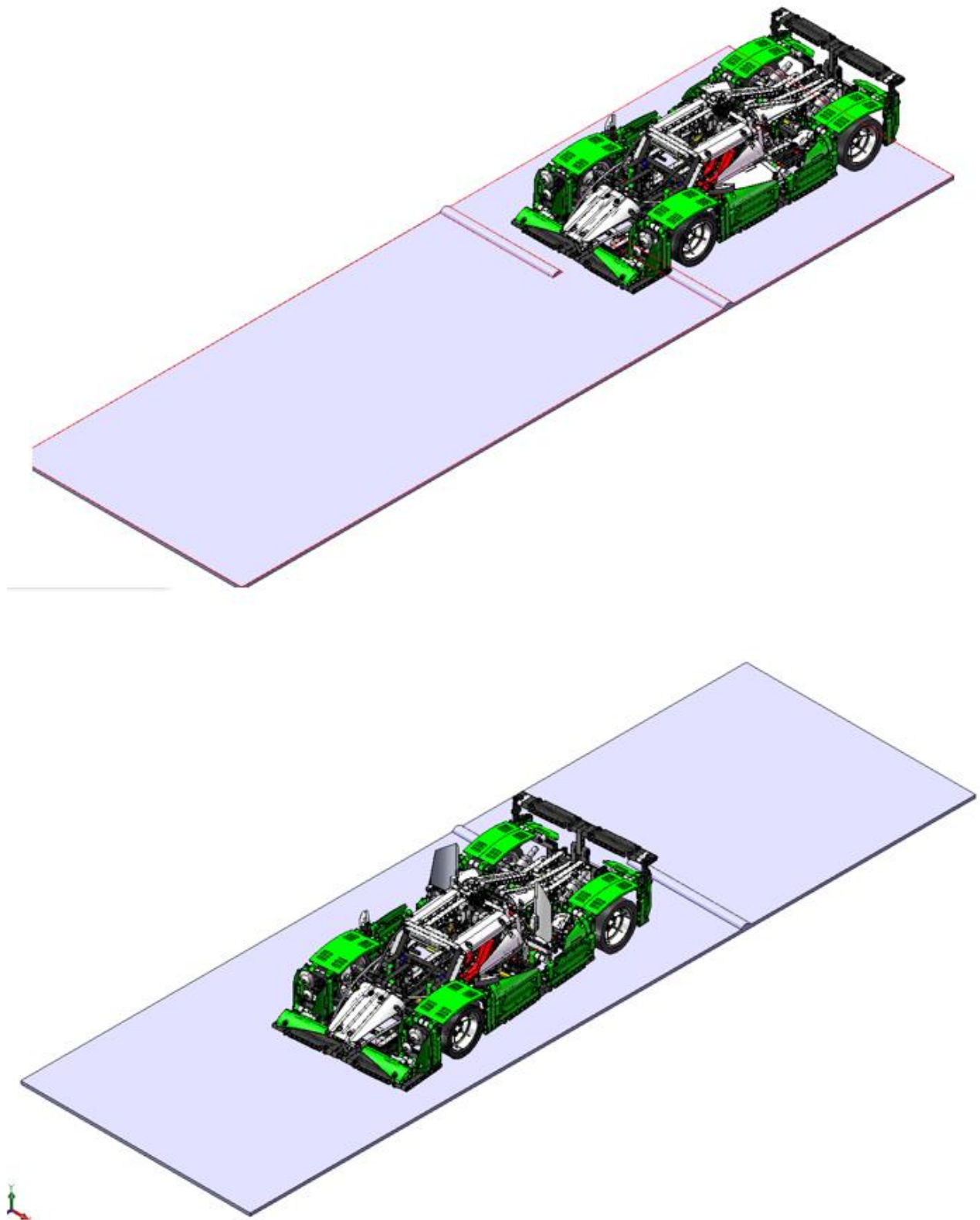


Figura 166 Modelo 42039-1 simulaci3n I

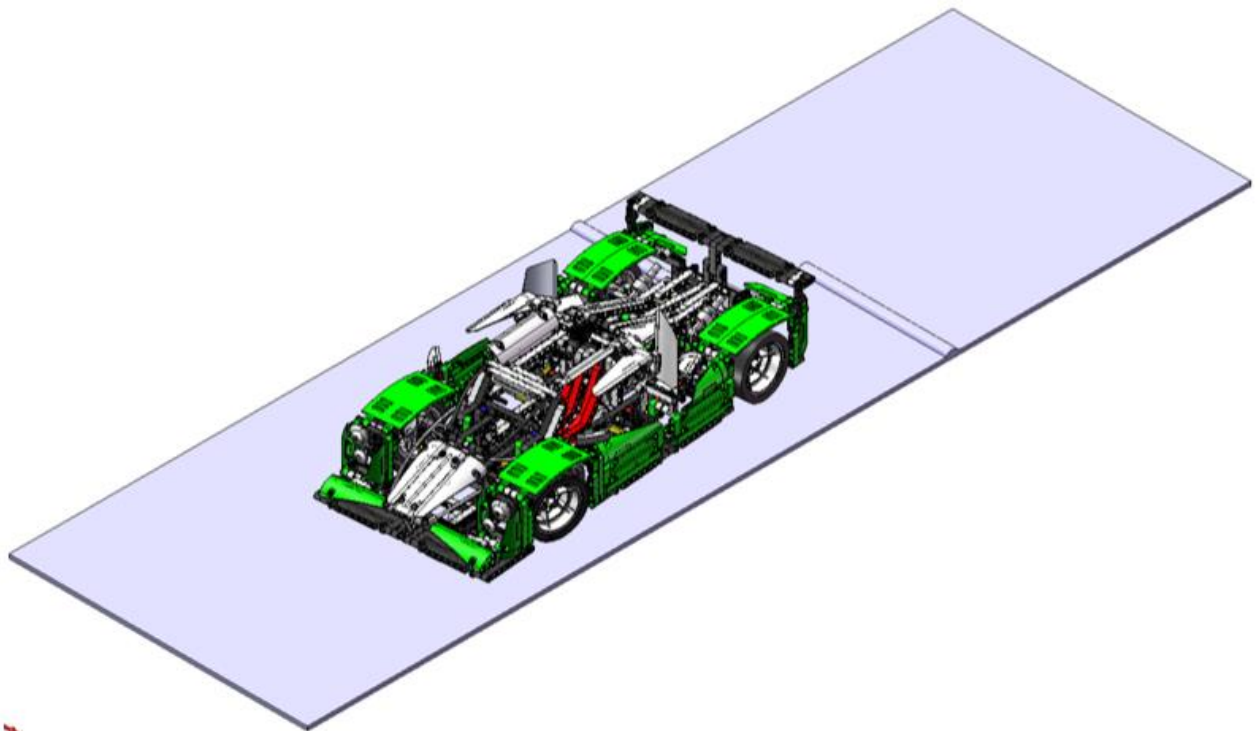
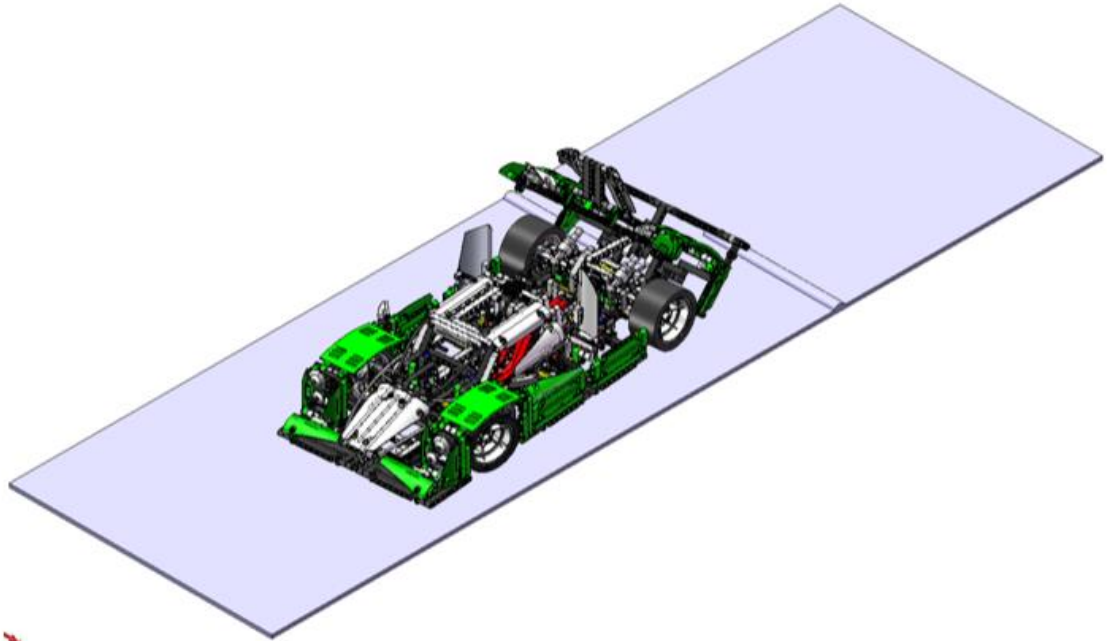


Figura 167 Modelo 42039-1 simulación II

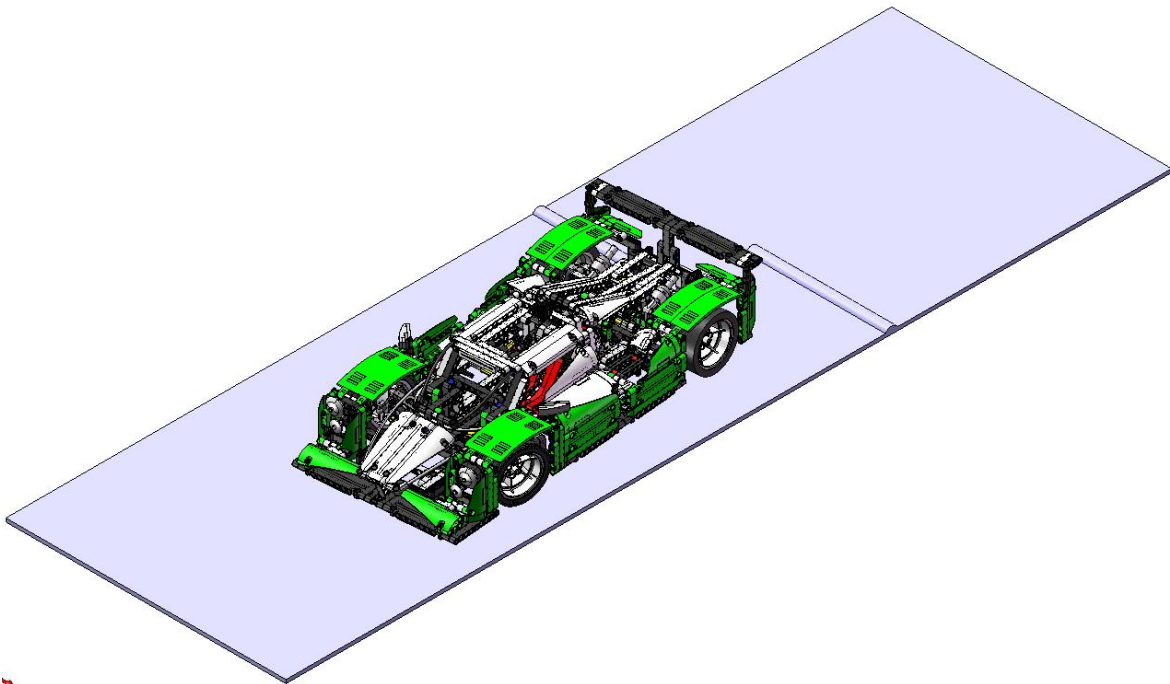


Figura 168 Modelo 42039-1 simulaci3n III

4. ANEXO. Modelo Lego Technic 8047-1

Mostraremos los c3lculos de los mecanismos del modelo 8047-1, el modelo guiado con cadenas en SolidWorks 2021 y Recurdyn.

4.1. C3lculos mecanismos 2D

- Mecanismo pala retroexcavadora.

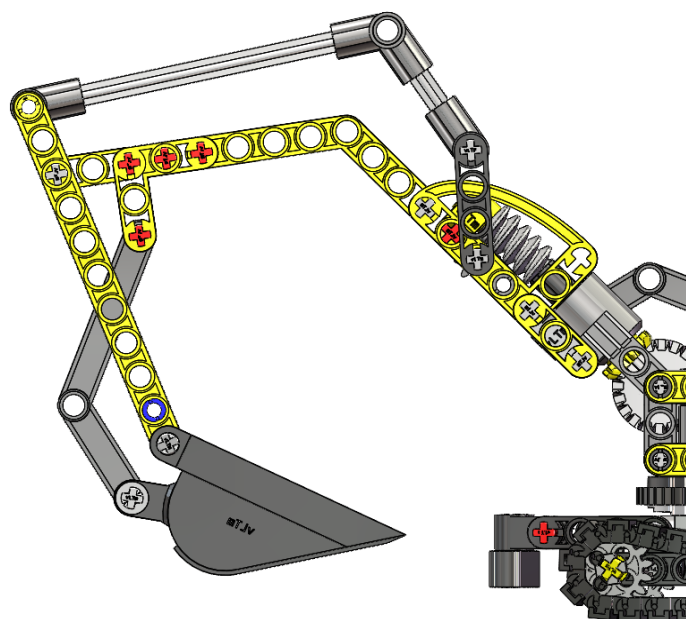


Figura 169 Modelo 8047-1 mecanismo 2D pala retroexcavadora

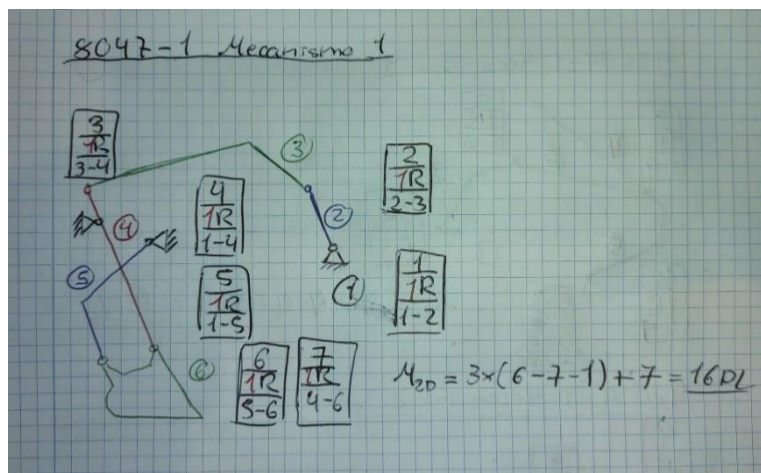


Figura 170 Diagrama cinemàtic mecanisme 2D pala retroexcavadora

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a GRUEBLER 2D		
2D			1	1	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA			
1	BASE	CHASIS			
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
4		BARRA BINARIA			
5		BARRA BINARIA			
N =	6	BARRA BINARIA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
4	1	GIRATORIO	R	1	4
5	1	GIRATORIO	R	1	5
6	1	GIRATORIO	R	5	6
P =	7	GIRATORIO	R	4	6
$\sum f_i =$	7				

Figura 171 Cálculo de movilidad 2D mecanismo pala retroexcavadora

- Mecanismo elevación pala.

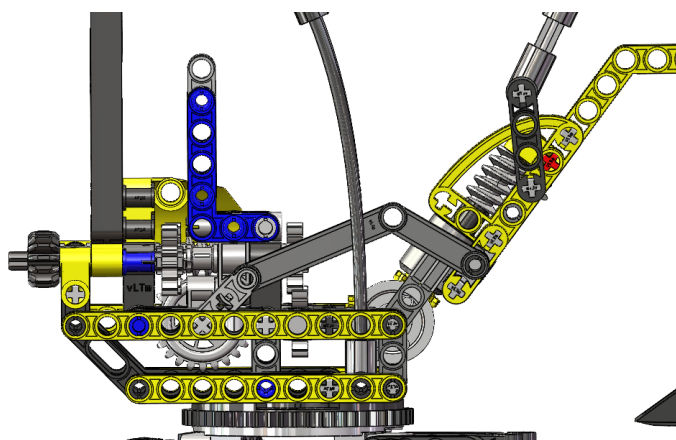


Figura 172 Modelo 8047-1 mecanisme 2D elevación pala

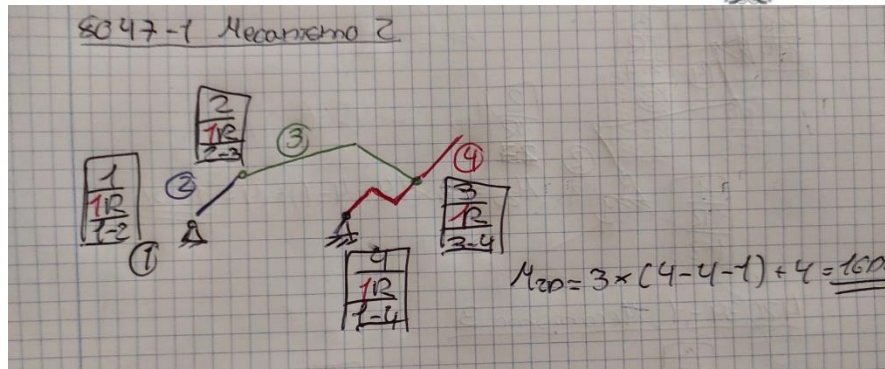


Figura 173 Diagrama cinemàtic mecanisme 2D elevaci3n pala

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a		GRUEBLER 2D	M
2D			1		1	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA				
1	BASE	BARRA				
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
N =	4	BARRA				
			$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$			
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	GIRATORIO	R	2	3	
3	1	GIRATORIO	R	3	4	
P =	4	PRISMATICO	P	1	4	
$\sum f_i =$	4					

Figura 174 C3lculo de movilidad 2D mecanisme elevaci3n pala

4.2. C3lculos mecanismos 3D

- Mecanismo pala retroexcavadora.

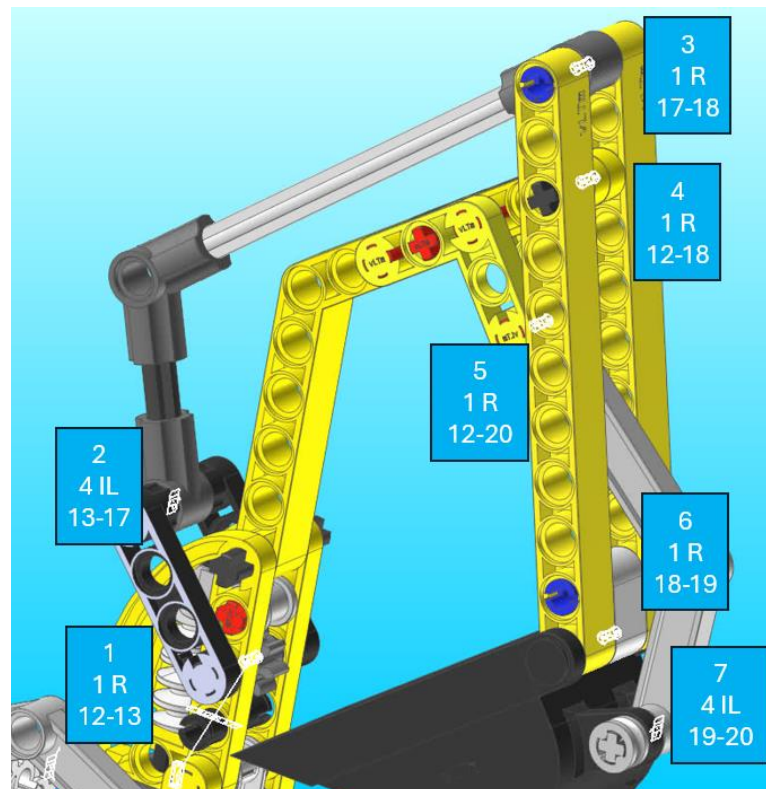


Figura 175 Diagrama cinemàtic 3D mecanisme pala retroexcavadora

DE DIAGRAMAS					MOVILIDAD a		
3D					GRUEBLER 3D		
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	1	1	M	
1	12	BASE	BARRA TERNARIA				
2	13		BARRA BINARIA				
3	17		BARRA BINARIA				
4	18		BARRA TERNARIA				
5	19		BARRA BINARIA				
N =	6	20	BARRA BINARIA				

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	12	13
2	4	IN LINE	IL	13	17
3	1	GIRATORIO	R	17	18
4	1	GIRATORIO	R	12	18
5	1	GIRATORIO	R	12	20
6	1	GIRATORIO	R	18	19
P =	7	4	IN LINE	19	20
	$\sum f_i =$	13			

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 176 Cálculo 3D mecanismo pala retroexcavadora

- Mecanismo elevación pala.

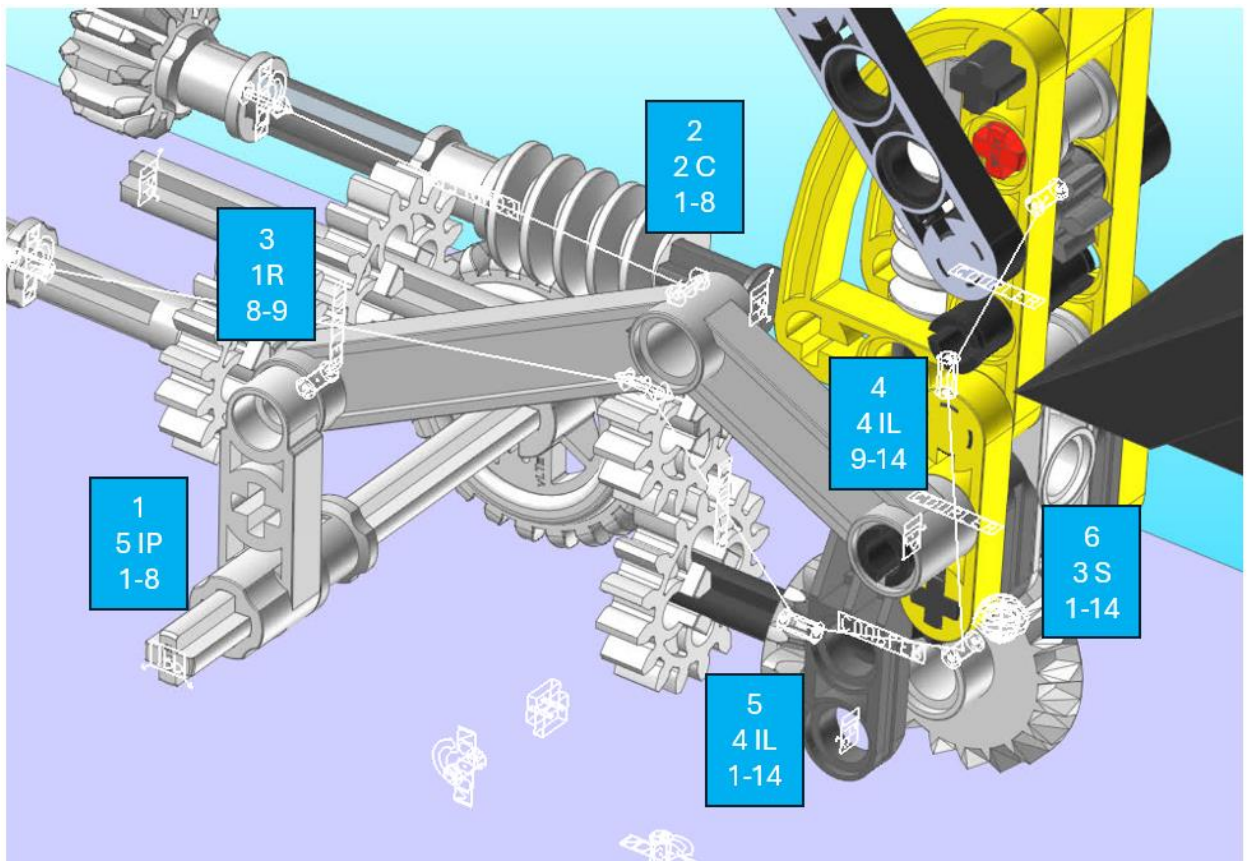


Figura 177 Cálculo 3D mecanismo elevación pala

DE DIAGRAMAS					MOVILIDAD a		
3D					GRUEBLER 3D		
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA		1	1	M
1	1	BASE	CHASIS				
2	8		BARRA TERNARIA				
3	9		BARRA BINARIA				
N =	4	14	BARRA TERNARIA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	5	IN PLANE	IP	1	8
2	2	CILINDRICO	C	1	8
3	1	GIRATORIO	R	8	9
4	4	IN LINE	IL	9	14
5	4	IN LINE	IL	1	14
P =	6	ESFERICO	S	1	14
	$\sum f_i =$	19			

Figura 178 Cálculo 3D mecanismo elevación pala

4.3. Simulación

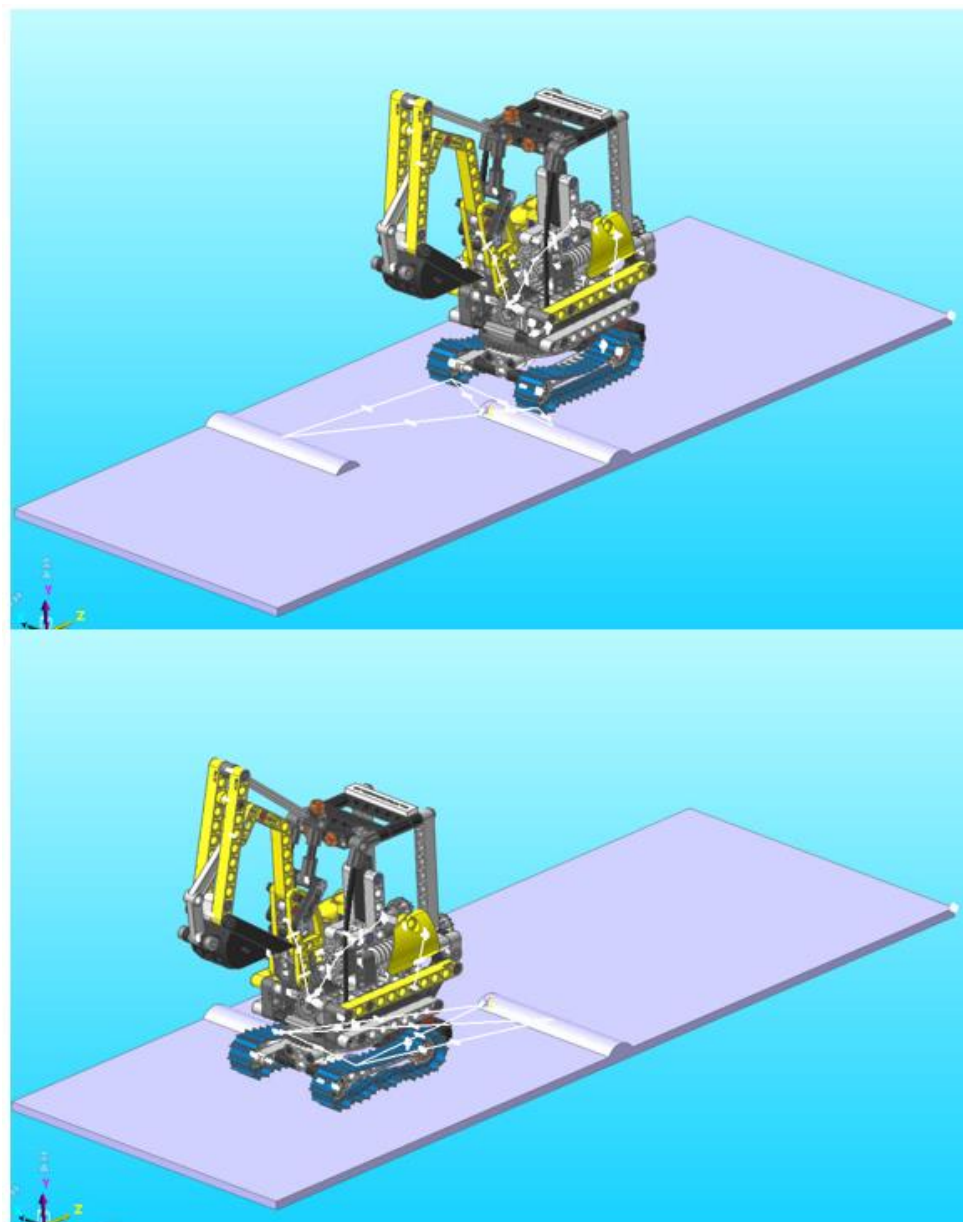


Figura 179 Modelo 8047-1 simulación I

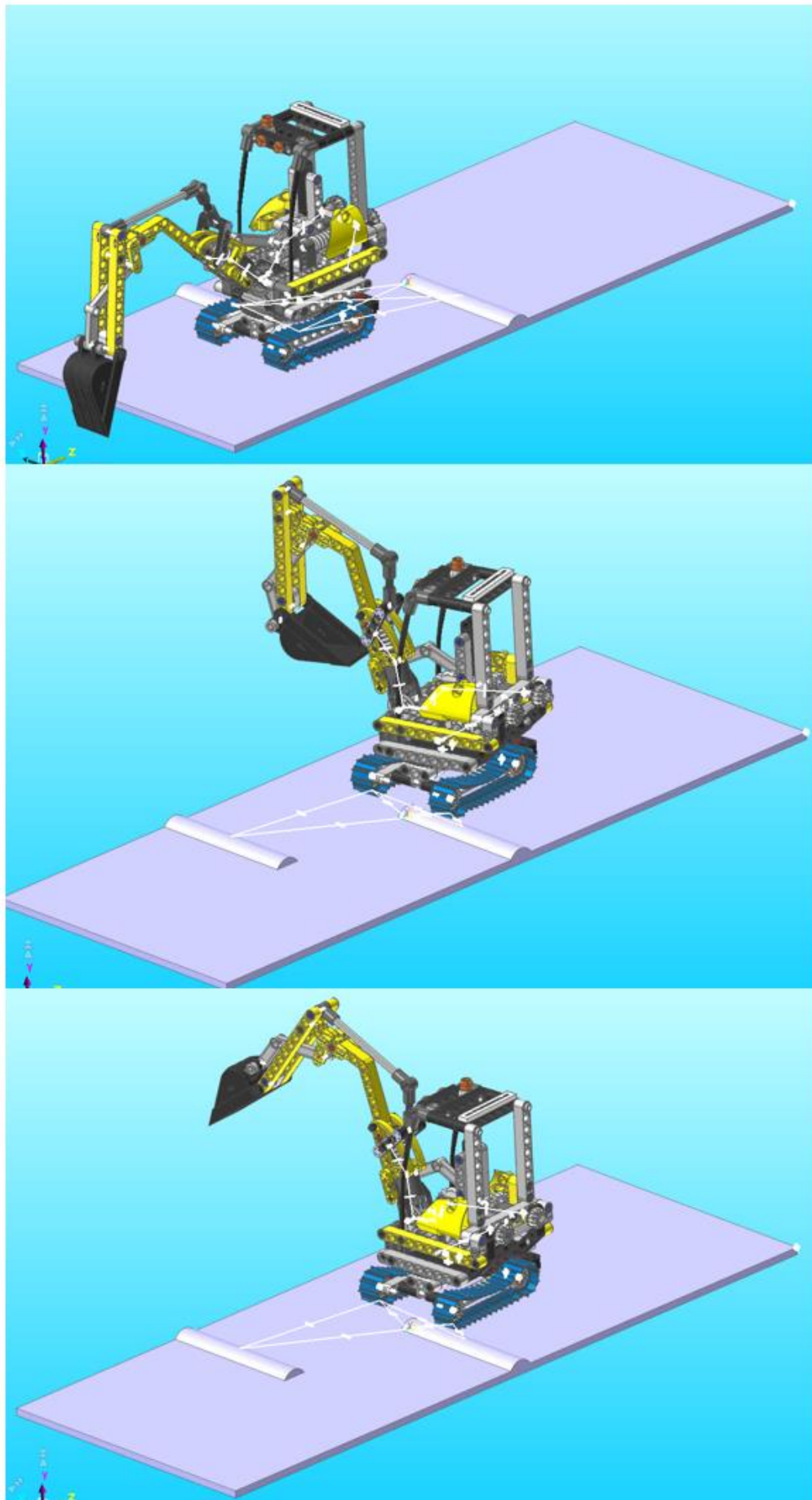


Figura 180 Modelo 8047-1 simulaci3n II

5. ANEXO. Modelo Lego Technic 8294-1

Mostraremos los cálculos de los mecanismos del modelo 8294-1, el segundo guiado con cadenas, pero solo en el ámbito de Recurdyn, por este hecho solo mostraremos los cálculos 3D y la simulación del mismo.

5.1. Cálculos mecanismos 3D

- Mecanismo de elevación pala.

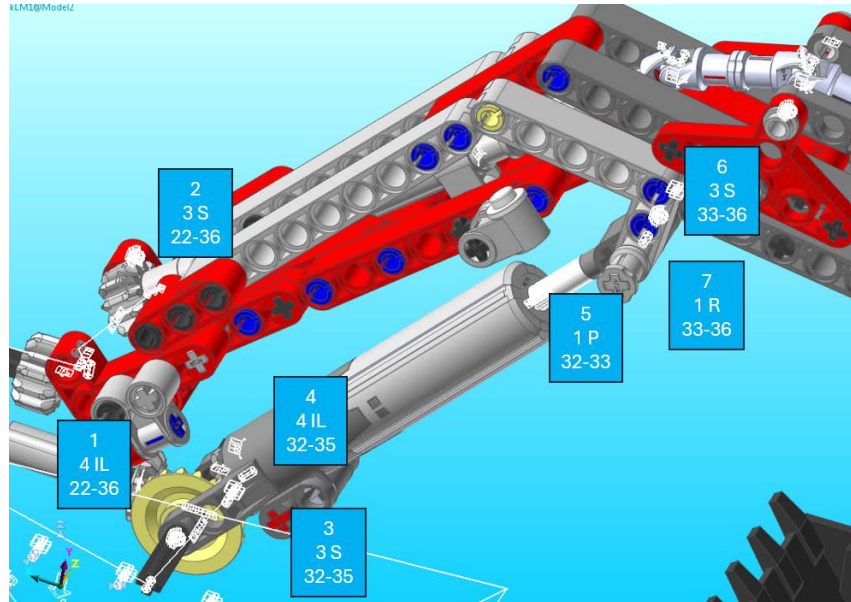


Figura 181 Diagrama cinemático 3D mecanismo elevación pala

DE DIAGRAMAS						
3D						
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	
1	22		BARRA BINARIA	1	1	M
2	32		BARRA TERNARIA			
3	33		BARRA BINARIA			
4	35		BARRA BINARIA			
N =	5	36	BASE			
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$						
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	4	IN LINE	IL	22	36	
2	3	ESFERICO	S	22	36	
3	3	ESFERICO	S	32	35	
4	4	IN LINE	IL	32	35	
5	1	PRISMATICO	P	32	33	
6	3	ESFERICO	S	33	36	
P =	7	1	GIRATORIO	33	36	
	$\sum f_i =$	19				

Figura 182 Cálculo 3D mecanismo elevación pala

- Mecanismo extensión pala.

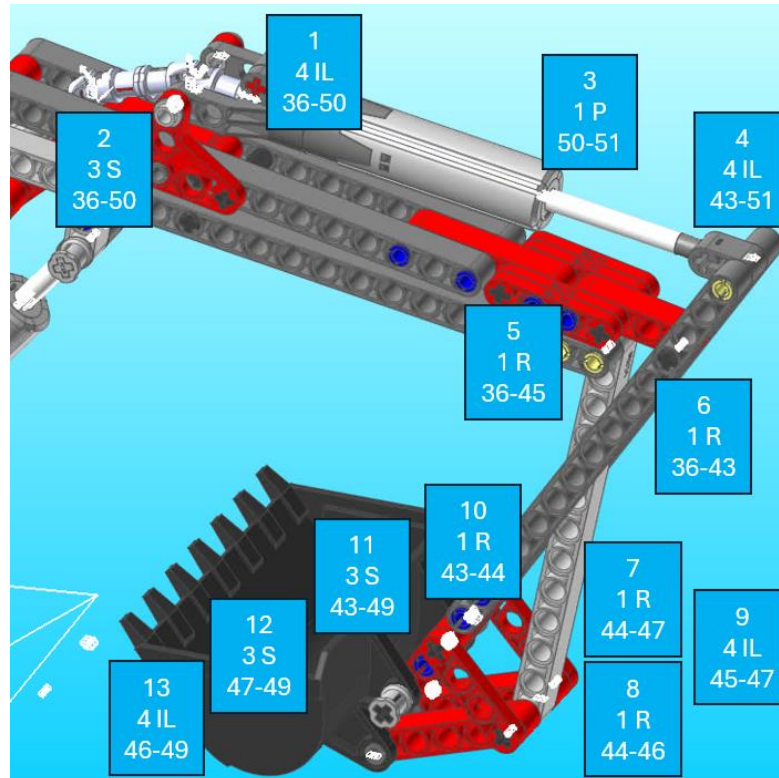


Figura 183 Diagrama cinemático 3D mecanismo extensión pala

DE DIAGRAMAS					MOVILIDAD a GRUEBLER 3D		
3D					1	1	M
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA				
1	36	BASE	BARRA ORDEN 4				
2	43		BARRA ORDEN 4				
3	44		BARRA TERNARIA				
4	45		BARRA BINARIA				
5	46		BARRA BINARIA				
6	47		BARRA TERNARIA				
7	49		BARRA TERNARIA				
8	50		BARRA TERNARIA				
N =	9	51	BARRA BINARIA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

Figura 184 Cálculo 3D mecanismo extensión pala I

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	4	IN LINE	IL	36	50
2	3	ESFERICO	S	36	50
3	1	PRISMATICO	P	50	51
4	4	IN LINE	IL	43	51
5	1	GIRATORIO	R	36	45
6	1	GIRATORIO	R	36	43
7	1	GIRATORIO	R	44	47
8	1	GIRATORIO	R	44	46
9	4	IN LINE	IL	45	47
10	1	GIRATORIO	R	43	44
11	3	ESFERICO	S	43	49
12	3	ESFERICO	S	47	49
P =	13	4	IN LINE	46	49
	∑ fi =	31			

Figura 185 Cálculo 3D mecanismo extensión pala II

5.2.Simulació

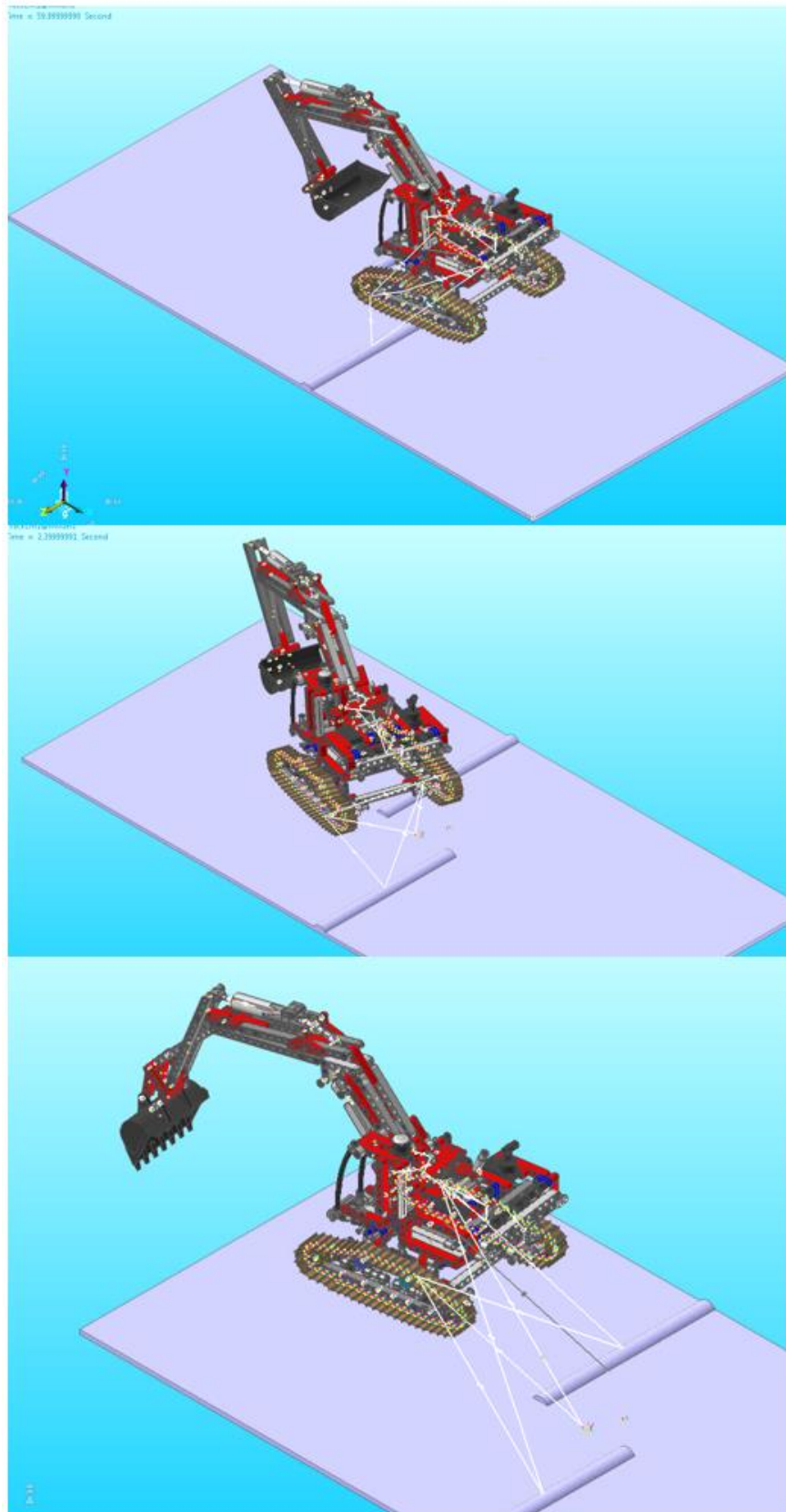


Figura 186 Modelo 8294-1 simulació I

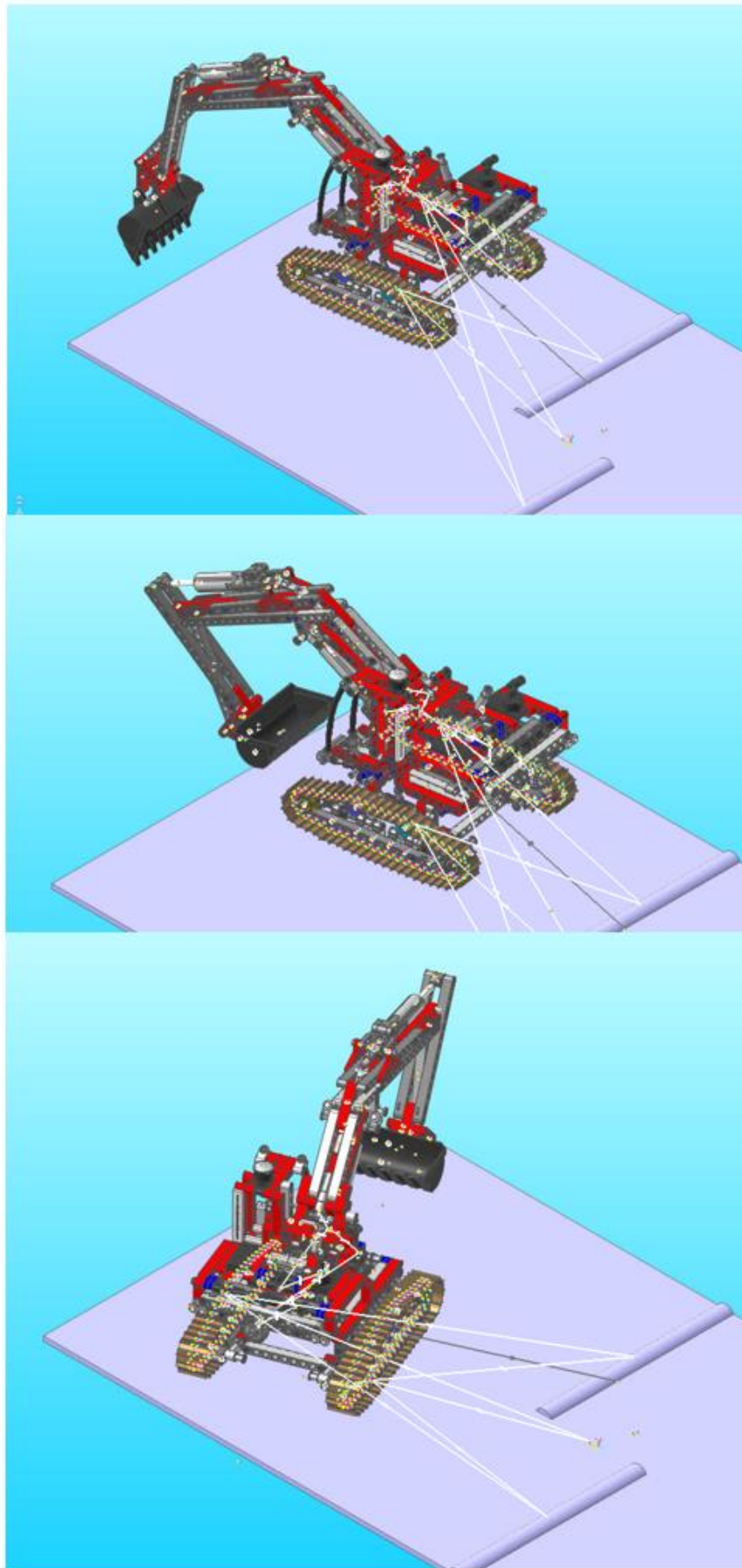


Figura 187 Modelo 8294-1 simulación II

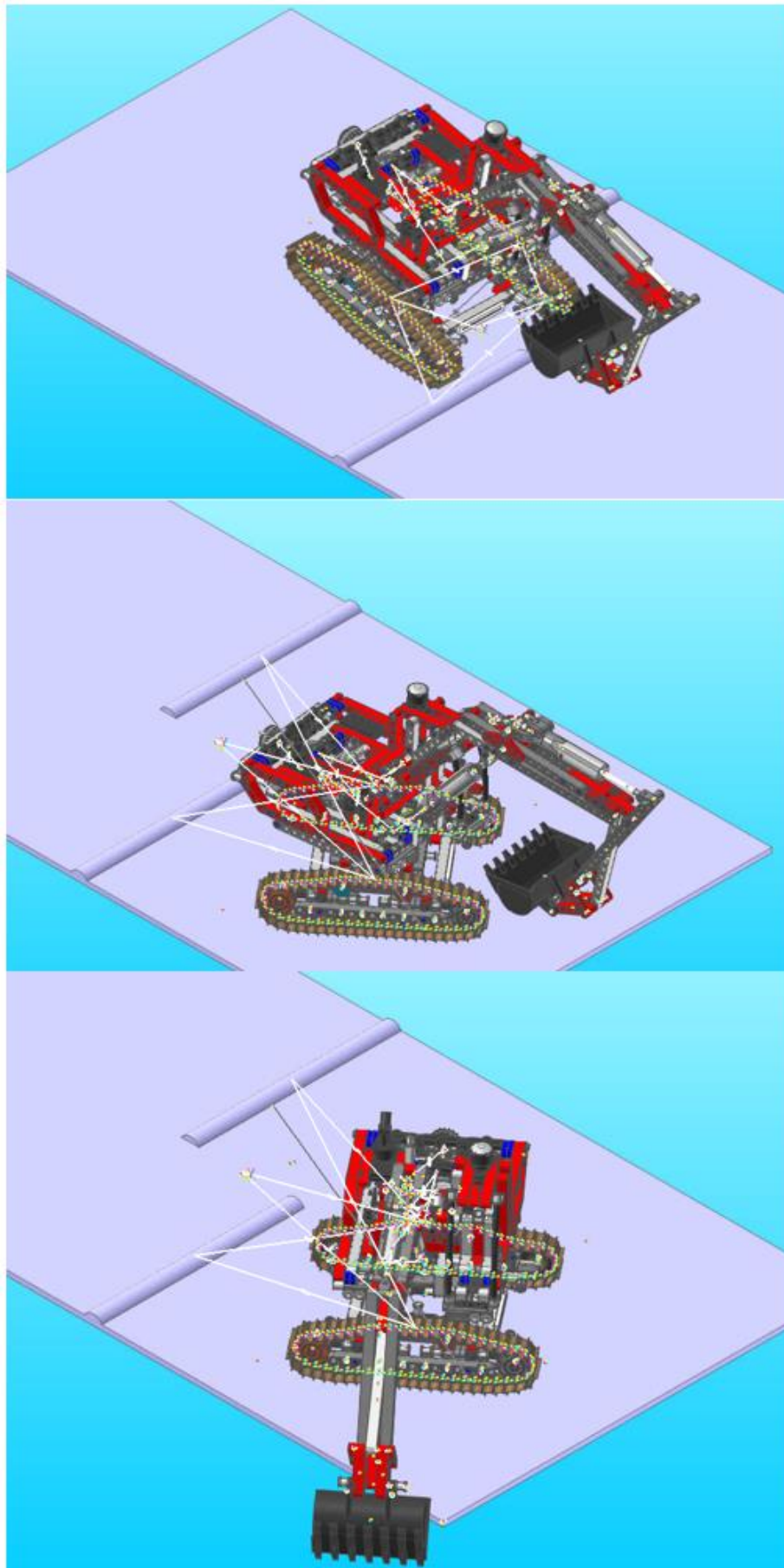


Figura 188 Modelo 8294-1 simulaci3n III

6. ANEXO. Modelo Lego Technic 42097-1

Mostraremos los cálculos de los mecanismos del modelo 42097-1, el primer modelo no guiado con SolidWorks 2021 y Recurdyn.

6.1. Cálculos mecanismos 2D

- Mecanismo movimiento partes sujeción grúa.

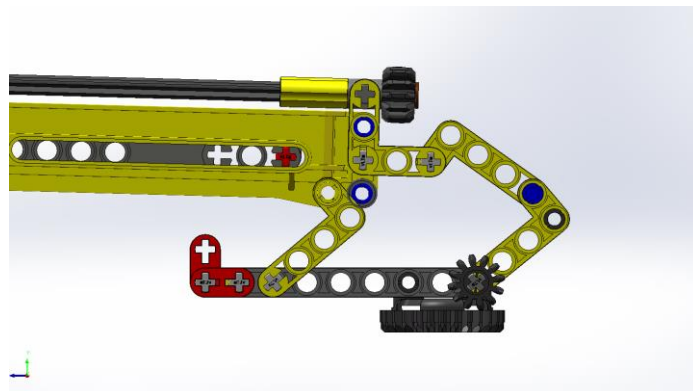


Figura 189 Modelo 42097-1 mecanismo 2D movimiento partes sujeción grúa

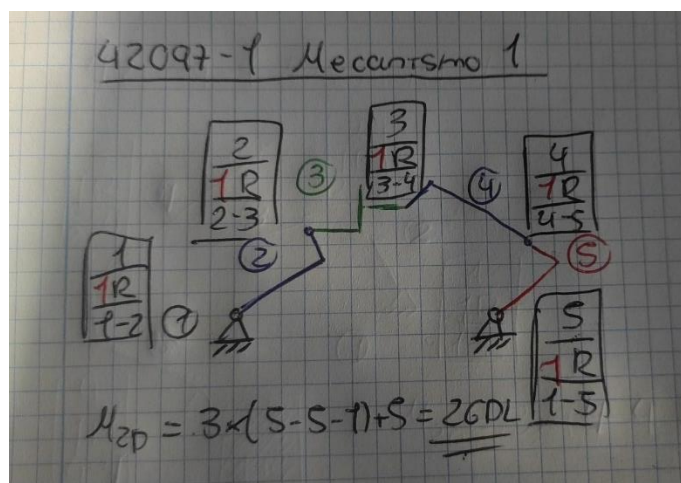


Figura 190 Diagrama cinemático mecanismo 2D movimiento partes sujeción grúa

DE DIAGRAMAS					
2D					
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D	M
1	BASE	CHASIS	2	2	M
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
4		BARRA BINARIA			
N =	5	BARRA BINARIA			
$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$					
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
4	1	GIRATORIO	R	4	5
P =	5	GIRATORIO	R	1	5
$\sum f_i =$	5				

Figura 191 Cálculo de movilidad 2D mecanismo movimiento partes sujeción grúa

- Mecanismo cadenas.

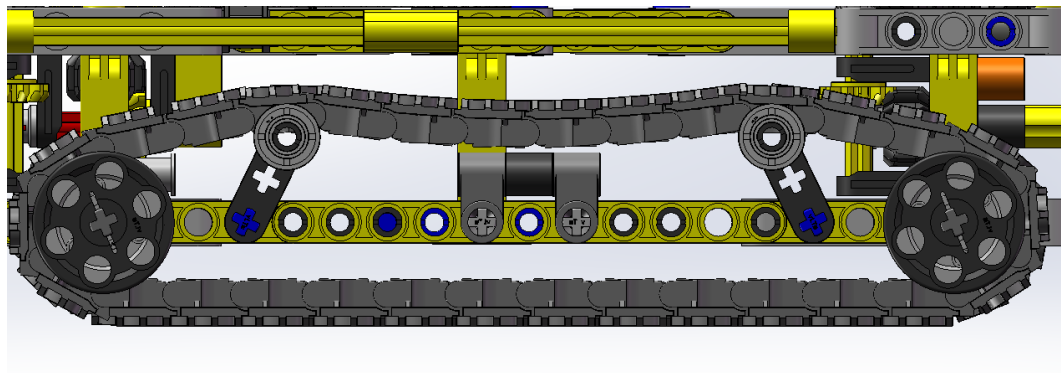


Figura 192 Modelo 42097-1 mecanismo 2D cadenas

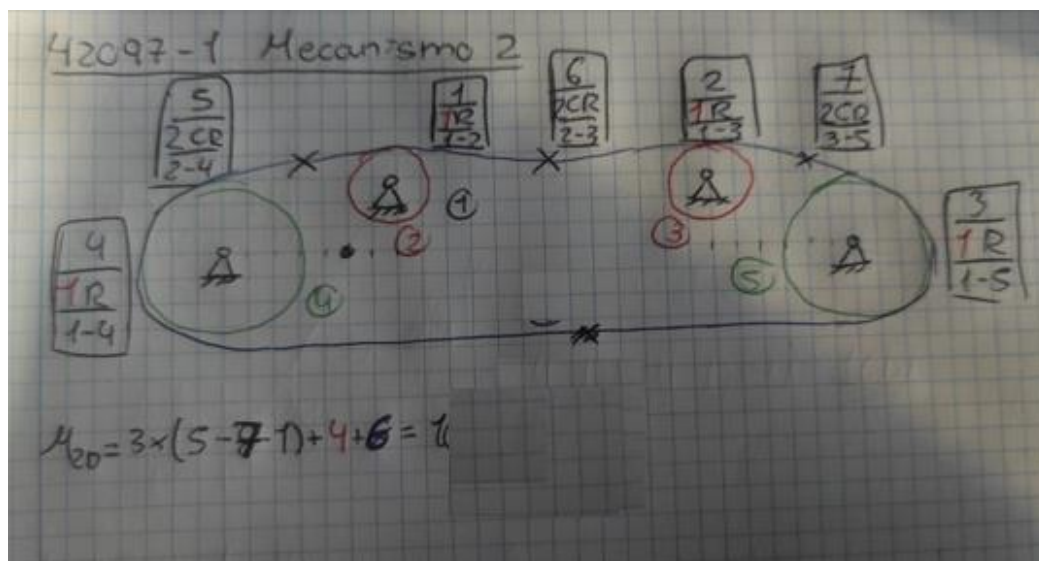


Figura 193 Diagrama cinemático mecanismo 2D cadenas

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a GRUEBLER 2D	
2D			1	1
No. CUERPO	TIPO	FORMA	M	
1	BASE	CHASIS	$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$	
2		RUEDA		
3		RUEDA		
4		RUEDA		
5		RUEDA		
N =	5			

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	1	3
3	1	GIRATORIO	R	1	5
4	1	GIRATORIO	R	1	4
5	2	CORREA	CR	2	4
6	2	CORREA	CR	2	3
7	2	CORREA	CR	3	5
P =	7				
$\sum f_i =$	10				

Figura 194 Cálculo de movilidad 2D mecanismo cadenas

- Mecanismo elevación grúa.

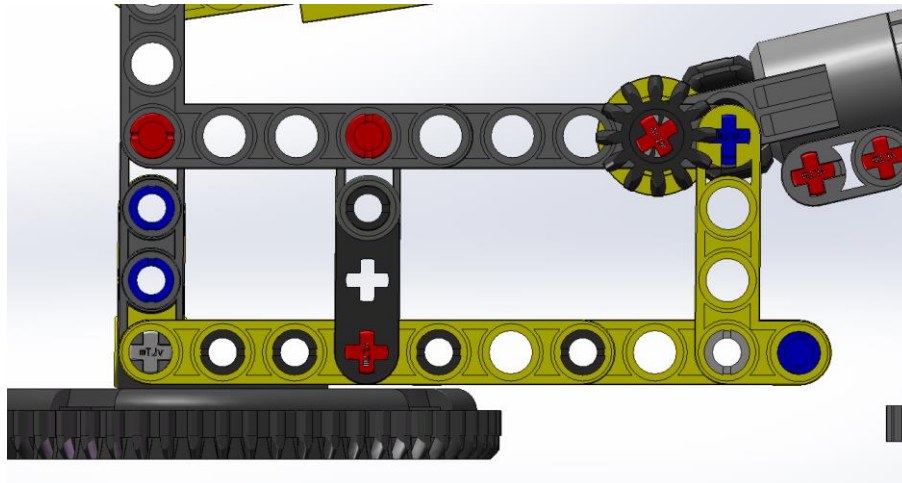


Figura 195 Modelo 42097-1 mecanismo 2D elevación grúa

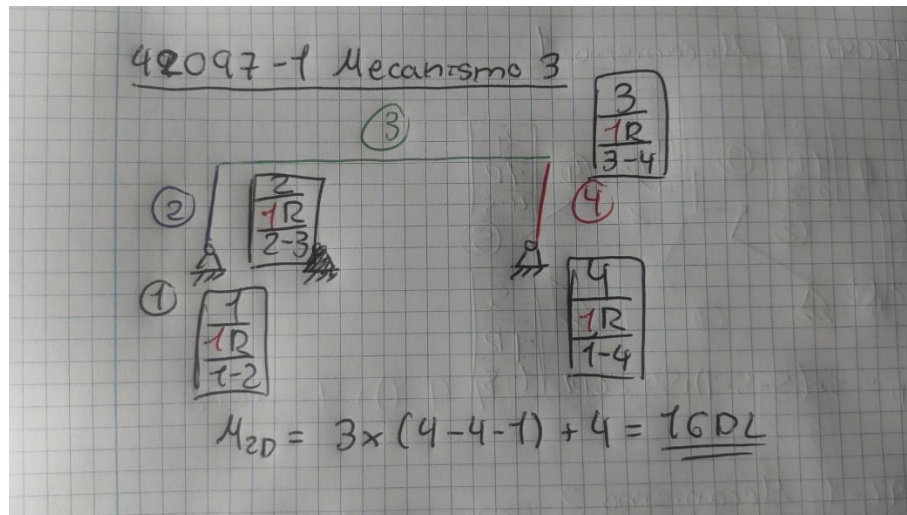


Figura 196 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación grúa

DE DIAGRAMAS						
2D						
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D		
1	BASE	CHASIS	1	1	M	
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
N =	4	BARRA BINARIA				

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	1	GIRATORIO	1	4
$\sum f_i =$	4				

Figura 197 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación grúa

- Mecanismo neumático grúa.

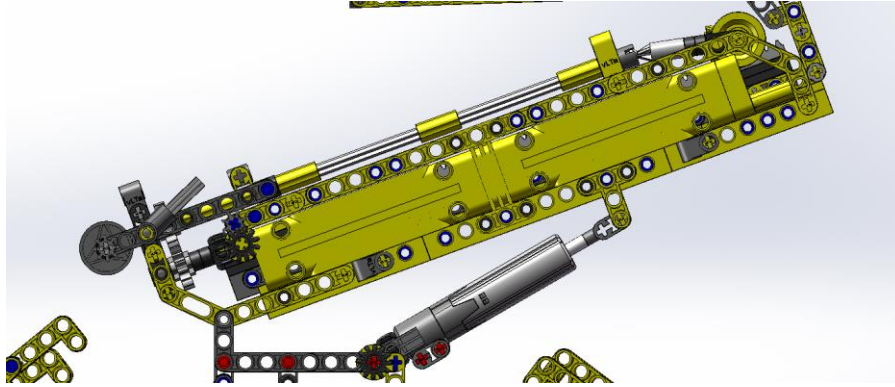


Figura 198 Modelo 42097-1 mecanismo 2D neumático grúa

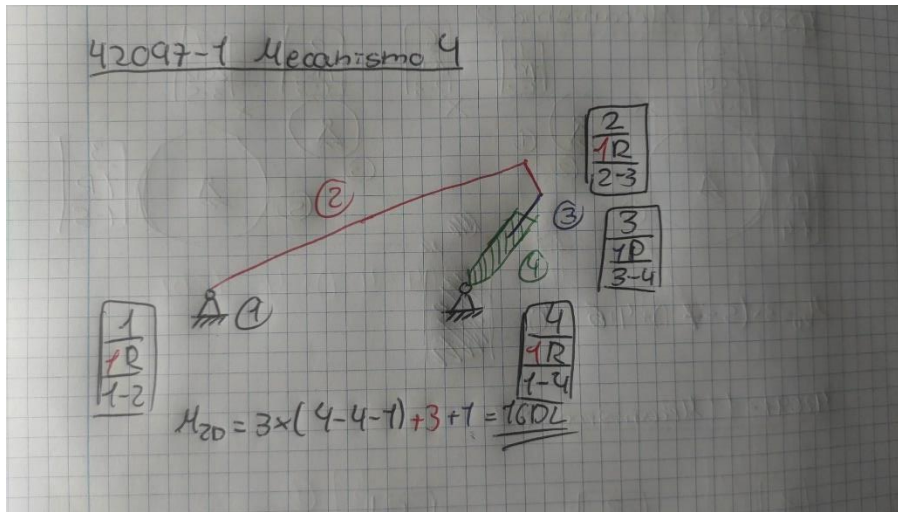


Figura 199 Diagrama cinemático mecanismo 2D neumático grúa

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a		GRUEBLER 2D	M
2D			1	1		
No. CUERPO	TIPO	FORMA				
1	BASE	CHASIS				
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
N =	4	PISTON				
$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$						
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	GIRATORIO	R	2	3	
3	1	PRISMATICO	P	3	4	
P =	4	GIRATORIO	R	1	4	
	$\sum f_i =$	4				

Figura 200 Cálculo de movilidad 2D mecanismo neumático grúa

- Mecanismo extensión grúa.

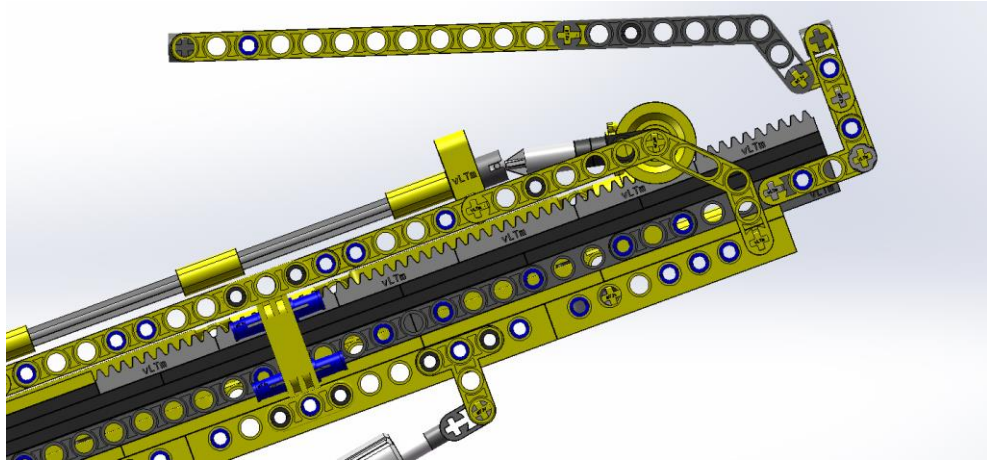


Figura 201 Modelo 42097-1 mecanismo 2D extensión grúa

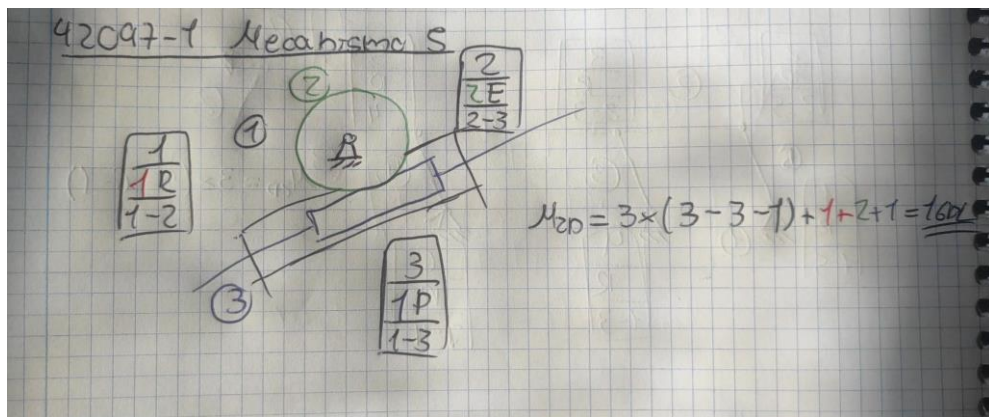


Figura 202 Diagrama cinemático mecanismo 2D extensión grúa

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a GRUEBLER 2D		
2D				1	1	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA				
1	BASE	CHASIS				
2		ENGRANAJE				
N = 3		BARRA PASADOR				
$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$						
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	2	ENGRANAJE	E	2	3	
P = 3	1	PASADOR	P	1	3	
$\sum f_i =$	4					

Figura 203 Cálculo de movilidad 2D mecanismo extensión grúa

6.2. Cálculos mecanismos 3D

- Mecanismo movimiento partes sujeción grúa.

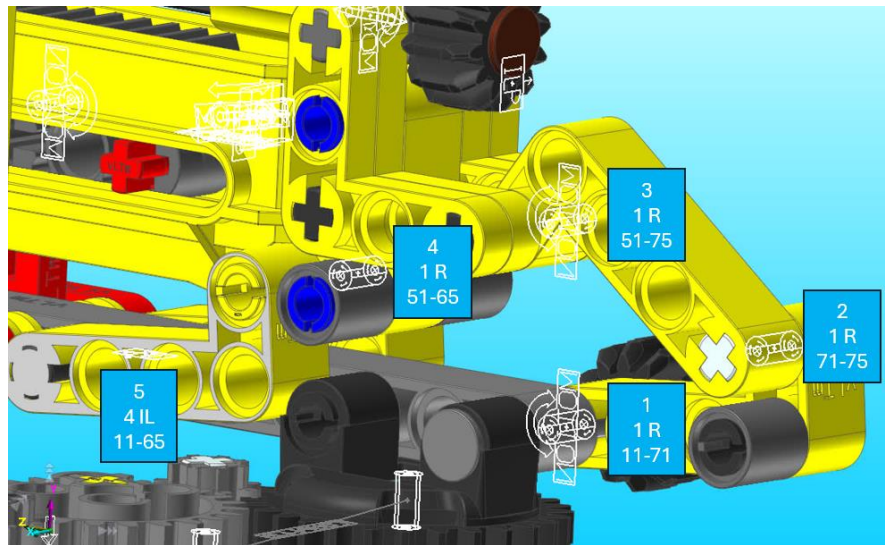


Figura 204 Diagrama cinemático 3D mecanismo partes sujeción grúa

DE DIAGRAMAS								
3D								
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA		MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	11	BASE	BARRA BINARIA		2	2	M	
2	51		BARRA BINARIA					
3	65		BARRA BINARIA					
4	71		BARRA BINARIA					
N =	5	75	BARRA BINARIA					

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	11	71	
2	1	GIRATORIO	R	71	75	
3	1	GIRATORIO	R	51	75	
4	1	GIRATORIO	R	51	65	
P =	5	4	IN LINE	IL	11	65
$\sum f_i =$		8				

Figura 205 Cálculo movilidad 3D mecanismo partes sujeción grúa

- Mecanismo cadenas.

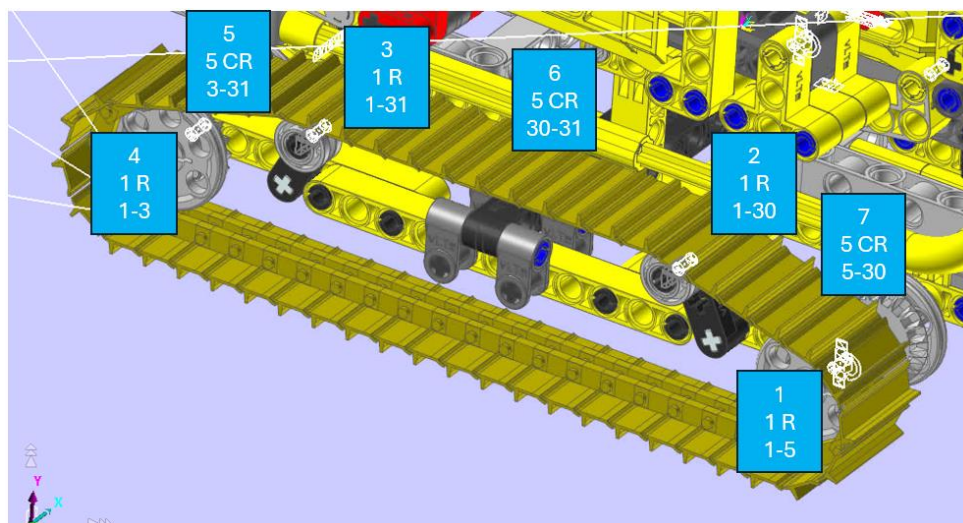


Figura 206 Diagrama cinemático 3D mecanismo cadenas

DE DIAGRAMAS								
3D								
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D				
1	BASE	CHASIS	1	1	M			
2		RUEDA						
3		RUEDA						
4		RUEDA						
N =	5	RUEDA						

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	1	3
3	1	GIRATORIO	R	1	5
4	1	GIRATORIO	R	1	4
5	5	CORREA	CR	2	4
6	5	CORREA	CR	2	3
P =	7	CORREA	CR	3	5
	∑ fi =	19			

Figura 207 Cálculo movilidad 3D mecanismo cadenas

- Mecanismo elevación grúa.

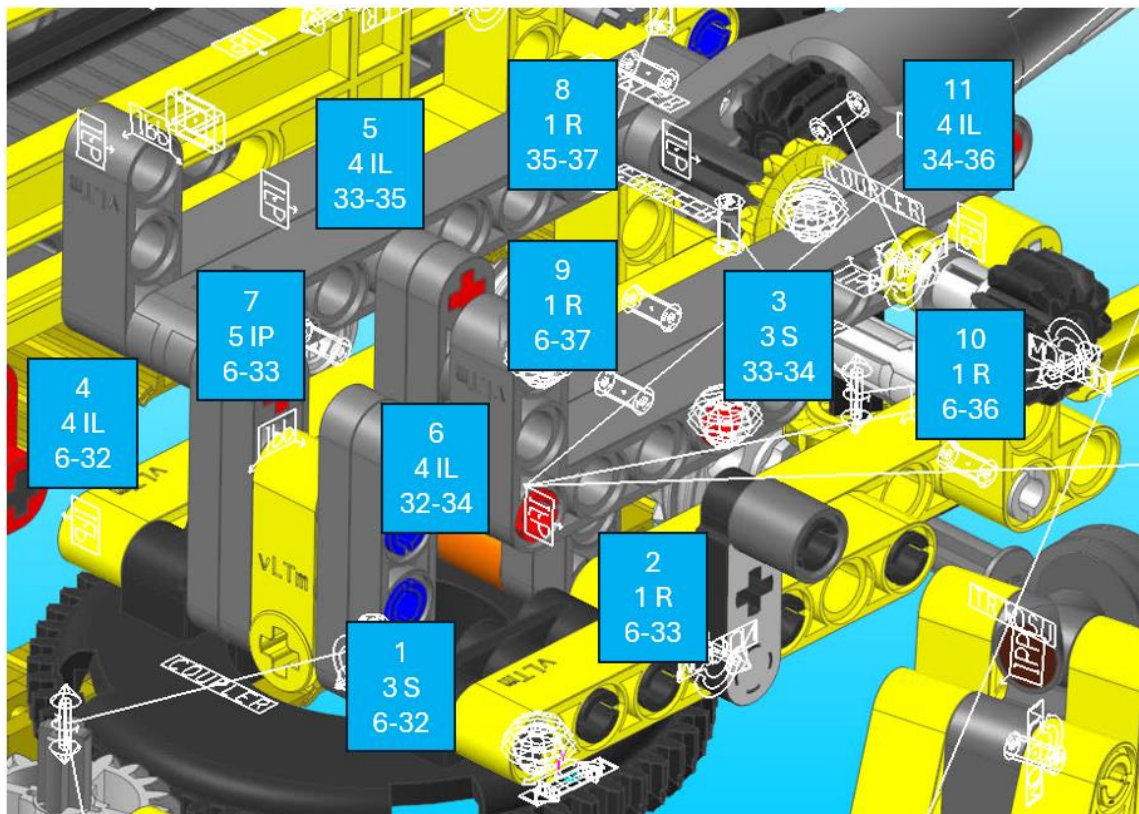


Figura 208 Diagrama cinemático 3D elevación grúa

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a GRUEBLER 3D		
3D				1	1	M
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA			
1	6	BASE	BASE			
2	32		BARRA BINARIA			
3	33		BARRA BINARIA			
4	34					
5	35					
6	36					
N =	7		BARRA BINARIA			

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	3	ESFERICO	S	6	32	
2	1	GIRATORIO	R	6	33	
3	3	ESFERICO	S	33	34	
4	4	IN LINE	IL	6	32	
5	4	IN LINE	IL	33	35	
6	4	IN LINE	IL	32	34	
7	5	IN PLANE	IP	6	33	
8	1	GIRATORIO	R	35	37	
9	1	GIRATORIO	R	6	37	
10	1	GIRATORIO	R	6	36	
P =	11					
	∑ fi =	4	IN LINE	IL	34	36
		31				

Figura 209 Cálculo movilidad 3D elevación grúa

- Mecanismo neumático grúa.

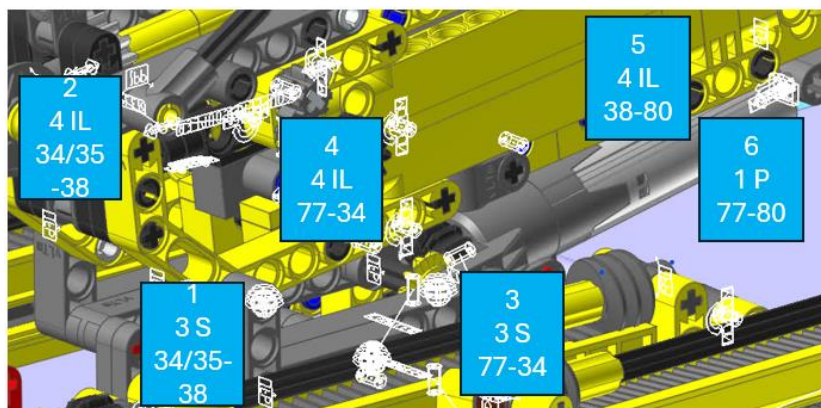


Figura 210 Diagrama cinemático 3D neumático grúa

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a GRUEBLER 3D		
3D				1	1	M
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA			
1	34/35		BARRA TERNARIA			
2	38	BASE	BARRA ORDEN 4			
3	77		BARRA TERNARIA			
N =	4		BARRA BINARIA			

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	3	ESFERICO	S	34	38	
2	4	IN LINE	IL	34	38	
3	3	ESFERICO	S	77	34	
4	4	IN LINE	IL	77	34	
5	1	PRISMATICO	P	77	80	
P =	6					
	∑ fi =	4	IN LINE	IL	38	80
		19				

Figura 211 Cálculo movilidad 3D neumático grúa

- Mecanismo extensión grúa.

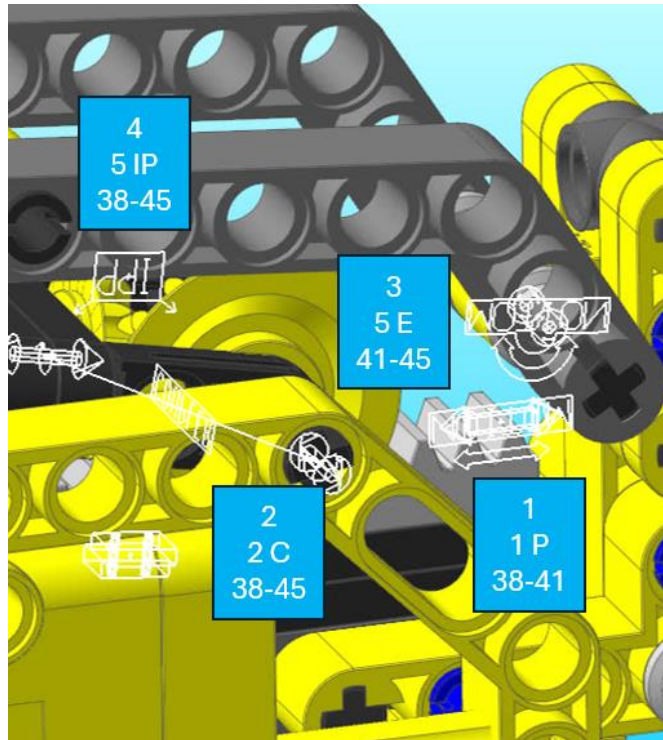


Figura 212 Diagrama cinemático 3D extensión grúa

DE DIAGRAMAS					MOVILIDAD a GRUEBLER 3D		
3D					1	1	M
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA				
1	38	BASE	CHASIS				
2	41		ENGRANAJE				
N =	3	45	BARRA PASADOR				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	38	41
2	2	CILINDRICO	C	38	45
3	5	ENGRANAJE	E	41	45
P =	4	IN PLANE	IP	38	45
	∑ fi =	13			

Figura 213 Cálculo movilidad 3D extensión grúa

6.3.Simulaci3n

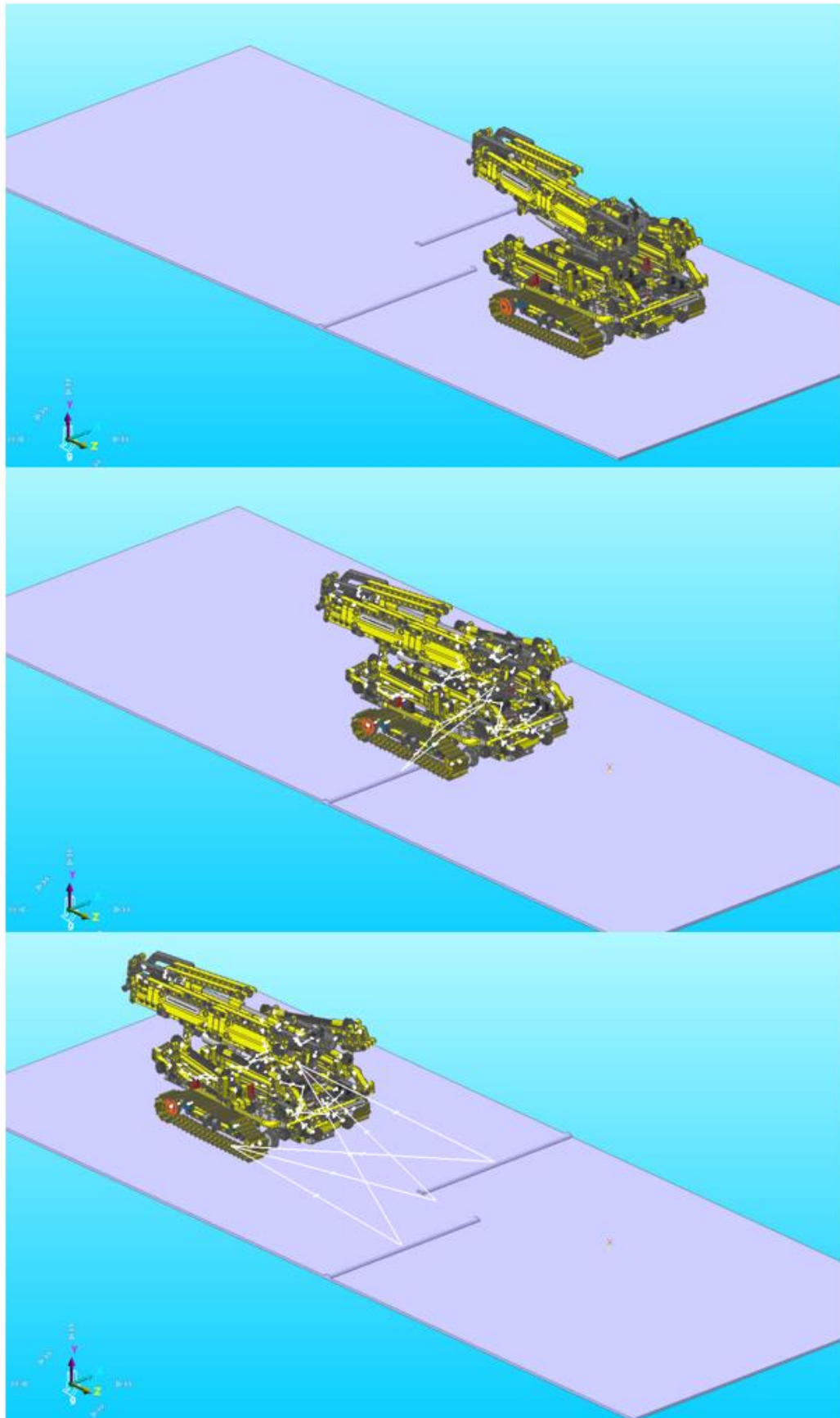


Figura 214 Modelo 42097-1 simulaci3n I

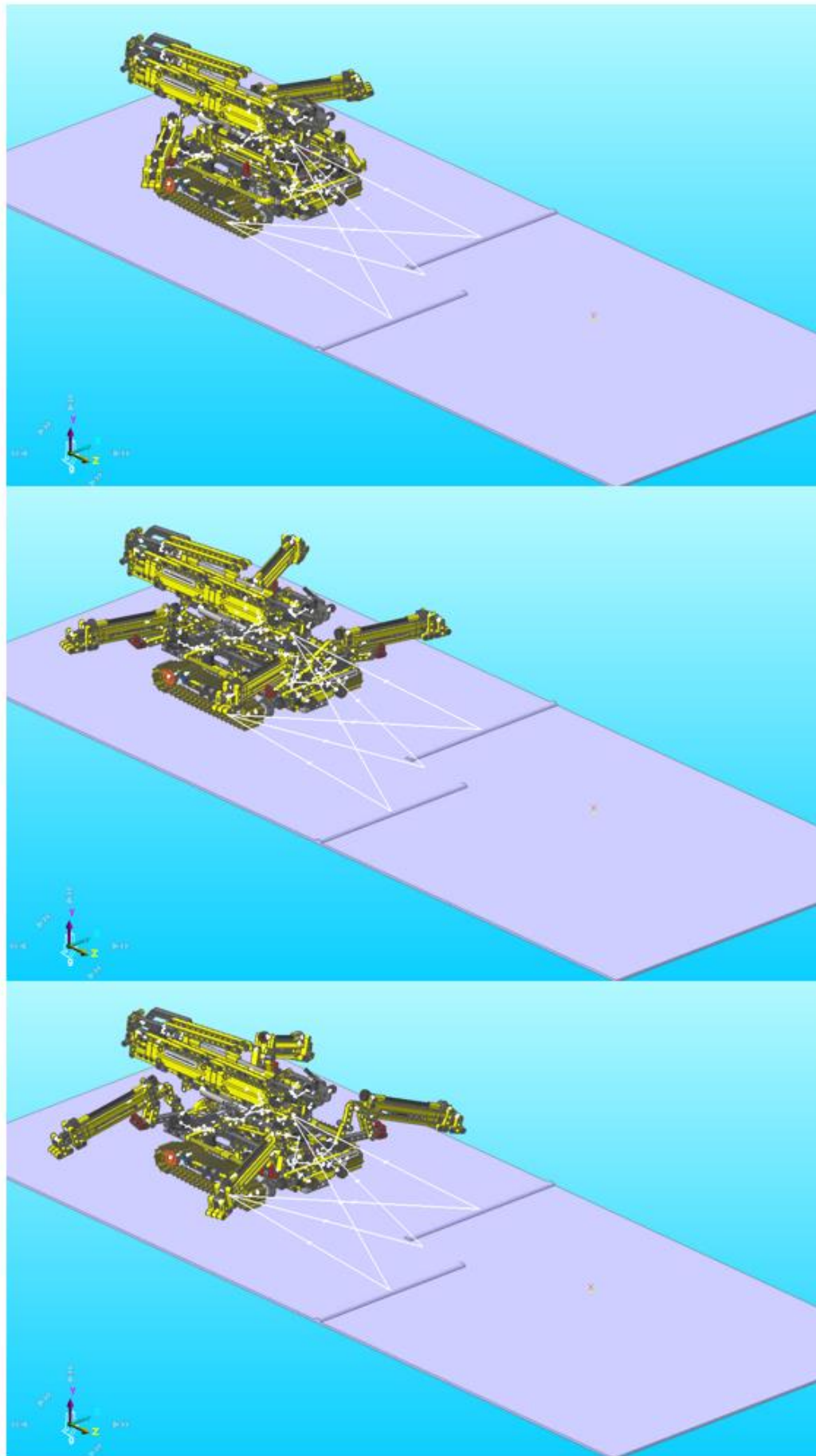


Figura 215 Modelo 42097-1 simulación II

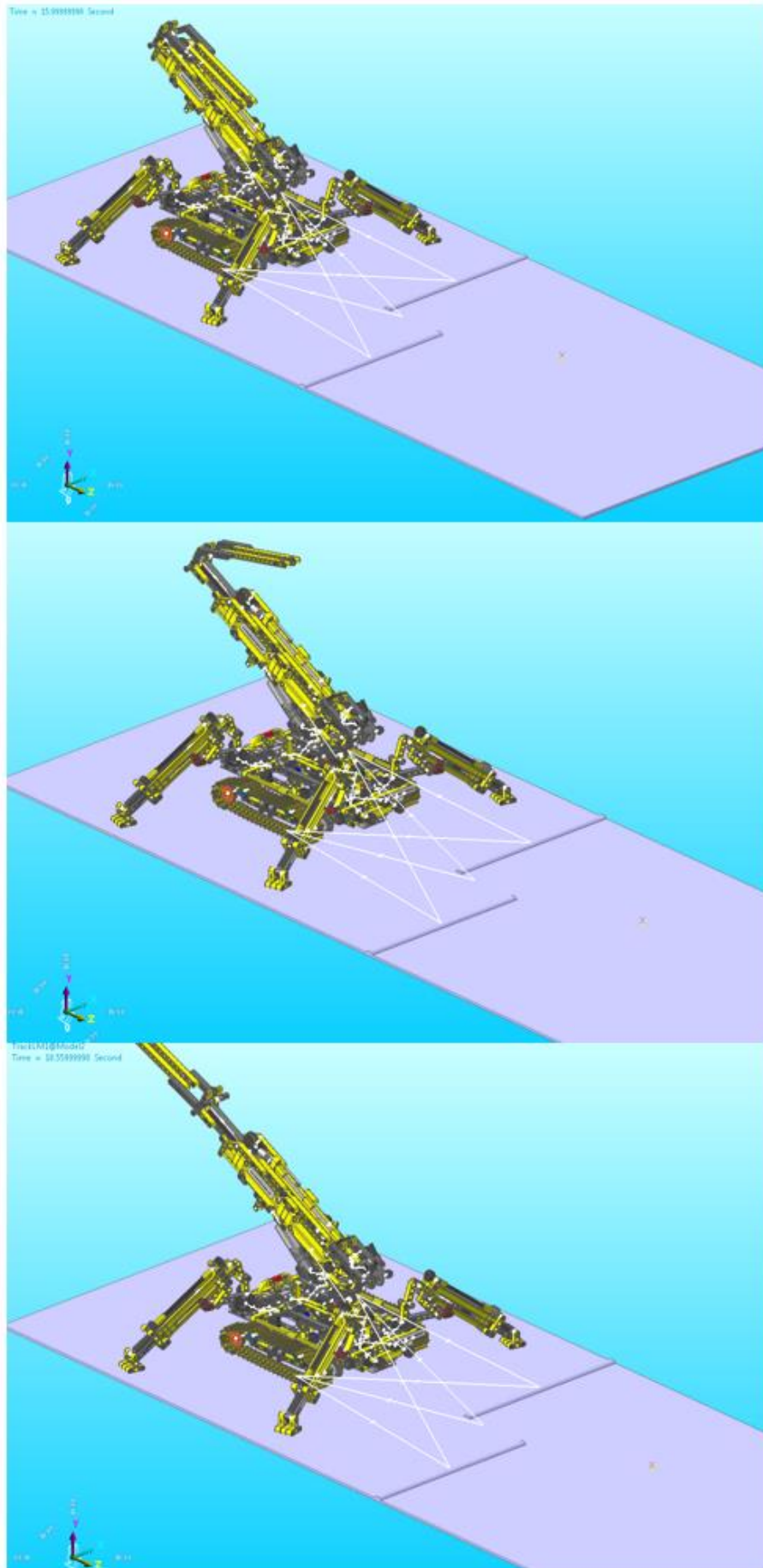


Figura 216 Modelo 42097-1 simulación III

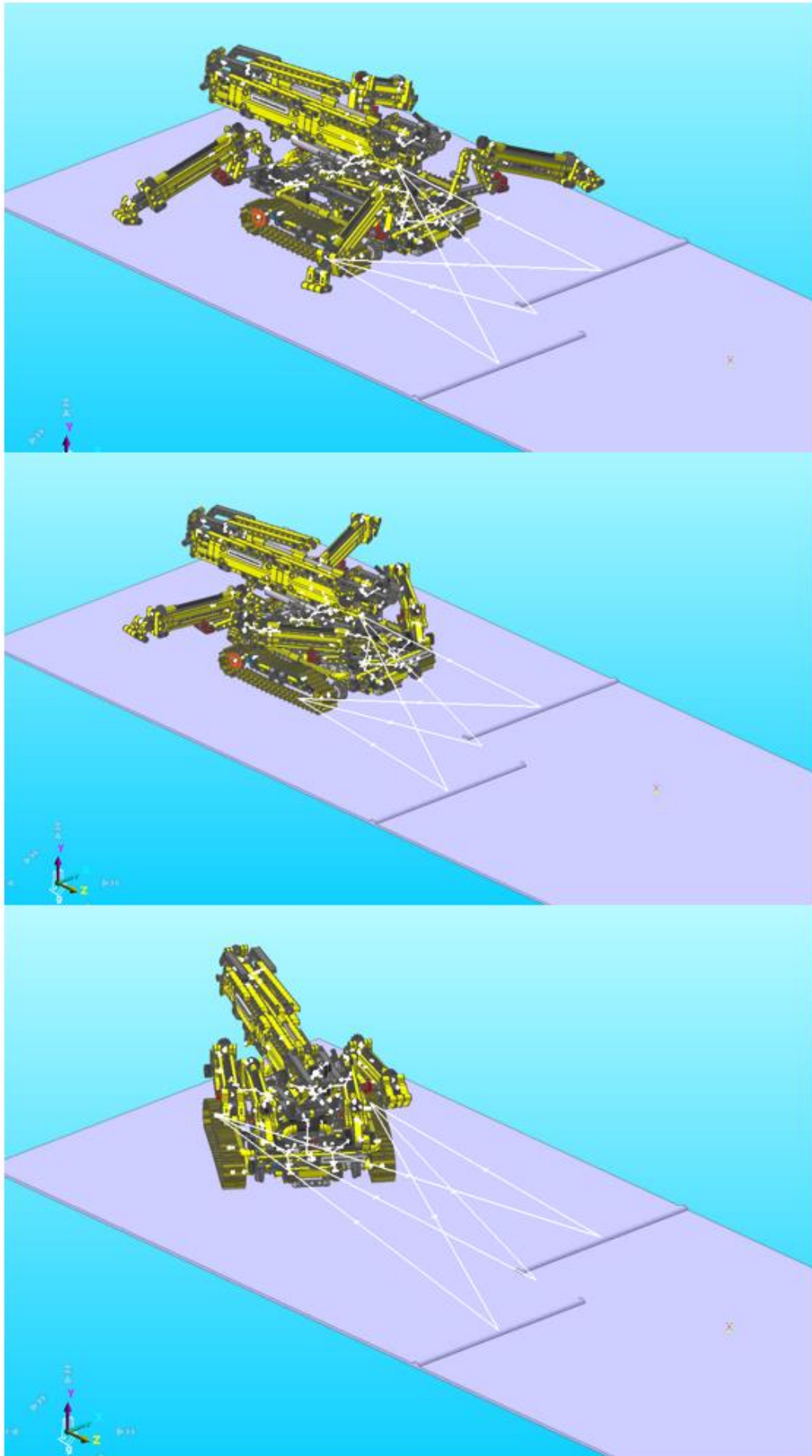


Figura 217 Modelo 42097-1 simulación IV

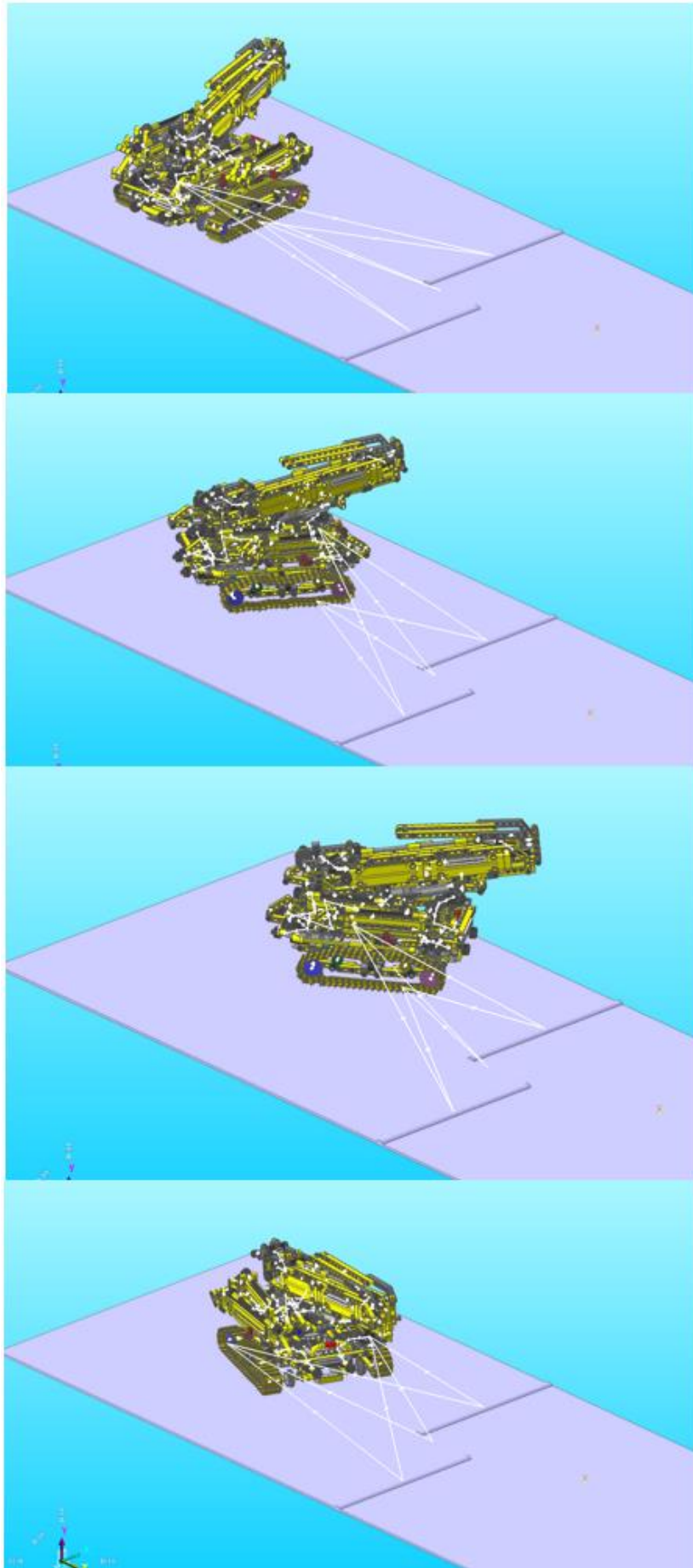


Figura 218 Modelo 42097-1 simulación V

7. ANEXO. Modelo Lego Technic 42128-1

Mostraremos los cálculos de los mecanismos del modelo 42128-1, el segundo no guiado con SolidWorks 2021 y Recurdyn.

7.1. Cálculos mecanismos 2D

- Mecanismo de elevación rueda auxiliar.

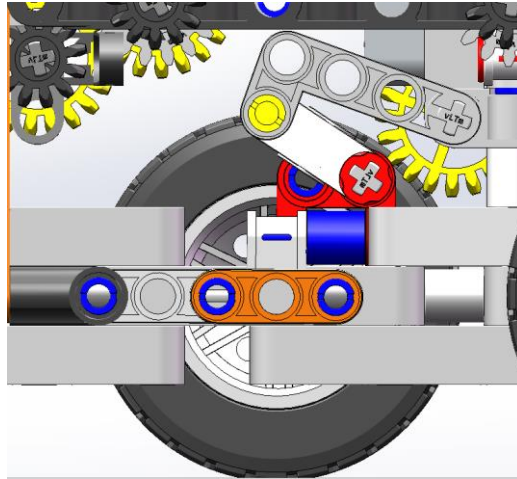


Figura 219 Modelo 42128-1 mecanismo 2D elevación rueda auxiliar

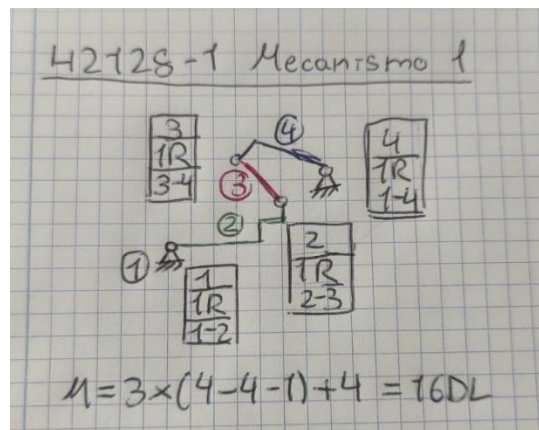


Figura 220 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación rueda auxiliar

DE DIAGRAMAS					
2D					
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D	
1	BASE	CHASIS	1	1	M
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
N =	4	BARRA BINARIA			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	1	GIRATORIO	1	4
Σ fi =	4				

Figura 221 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación rueda auxiliar

- Mecanismo elevación enganche trasero.

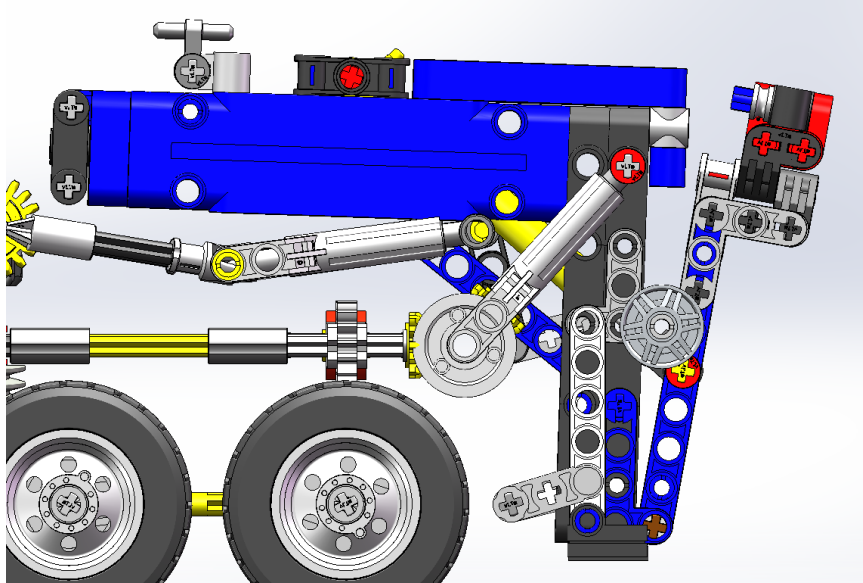


Figura 222 Modelo 42128-1 mecanismo 2D elevación enganche trasero

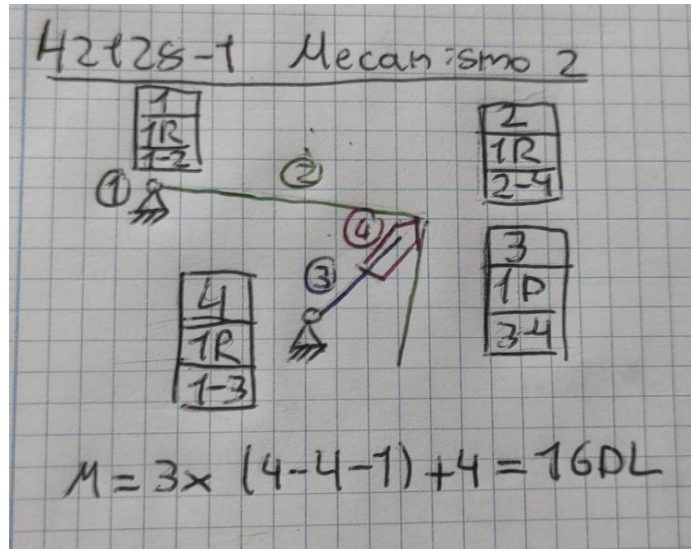


Figura 223 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación enganche trasero

DE DIAGRAMAS					MOVILIDAD a GRUEBLER 2D	
2D					1	1
No. CUERPO	TIPO	FORMA				
1	BASE	CHASIS				
2		BARRA BINARIA				
3		BARRA BINARIA				
N =	4	PISTON				
			$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$			
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	2	
2	1	GIRATORIO	R	2	4	
3	1	PRISMATICO	P	3	4	
P =	4	1	GIRATORIO	1	3	
	$\Sigma f_i =$	4				

Figura 224 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación enganche trasero

- Mecanismo neumático enganche trasero.

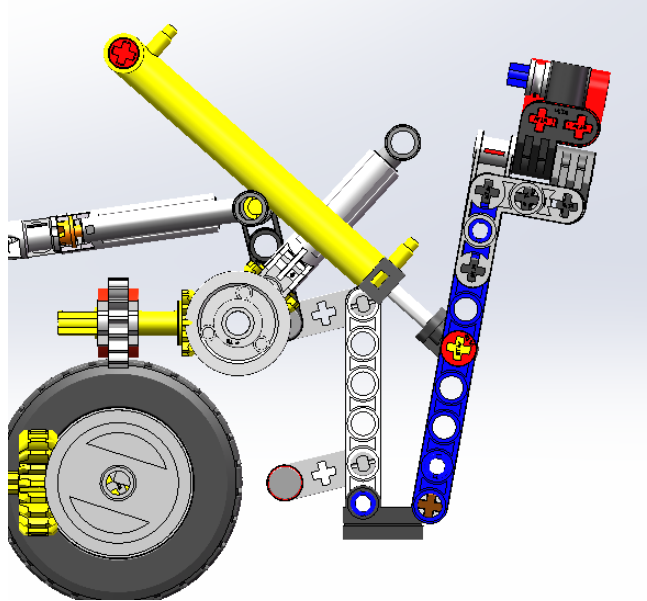


Figura 225 Modelo 42128-1 mecanismo 2D neumático enganche trasero

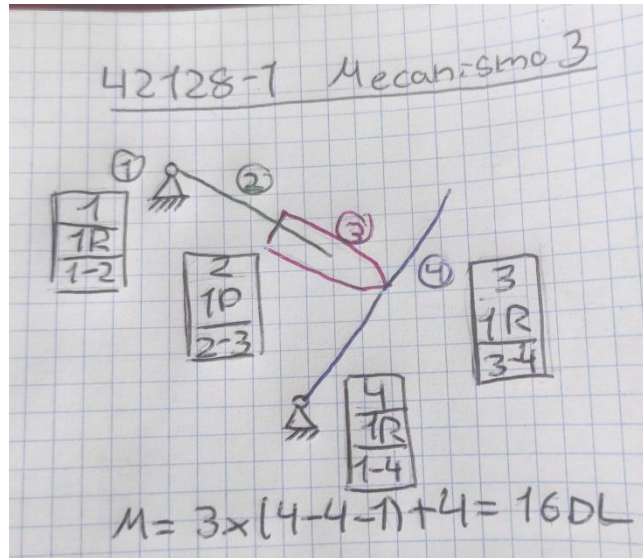


Figura 226 Diagrama cinemático mecanismo 2D neumático enganche trasero

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a		GRUEBLER 2D
2D			1	1	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA			
1	BASE	CHASIS			
2		BARRA BINARIA			
3		PISTON			
N =	4	BARRA BINARIA			
			$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$		
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	PRISMATICO	P	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	GIRATORIO	R	1	4
	$\sum f_i =$	4			

Figura 227 Cálculo de movilidad 2D mecanismo neumático enganche trasero

- Mecanismo soportes traseros.

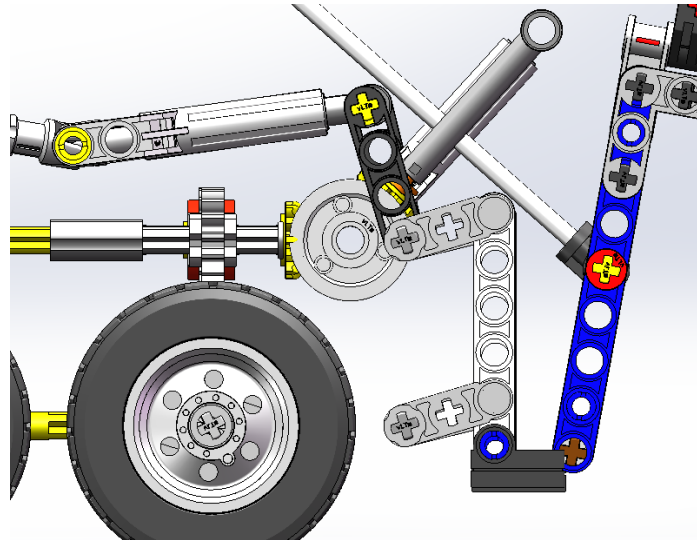


Figura 228 Modelo 42128-1 mecanismo 2D soportes traseros

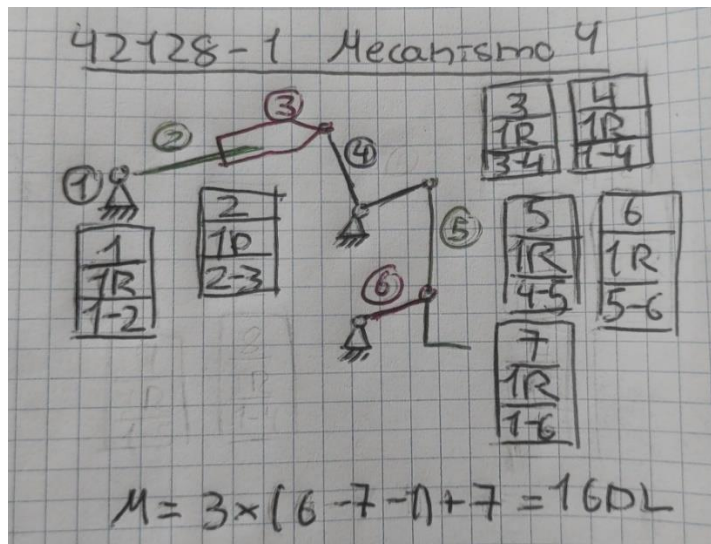


Figura 229 Diagrama cinemático mecanismo 2D soportes traseros

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a			GRUEBLER 2D		
2D			1	1	M			
No. CUERPO	TIPO	FORMA						
1	BASE	CHASIS						
2		BARRA BINARIA						
3		PISTON						
4		BARRA BINARIA						
5		BARRA BINARIA						
N =	6	BARRA BINARIA						

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	PRISMATICO	P	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
4	1	GIRATORIO	R	1	4
5	1	GIRATORIO	R	4	5
6	1	GIRATORIO	R	5	6
P =	7	GIRATORIO	R	1	6
$\sum f_i =$	7				

Figura 230 Cálculo de movilidad 2D mecanismo soportes traseros

- Mecanismo soportes laterales.

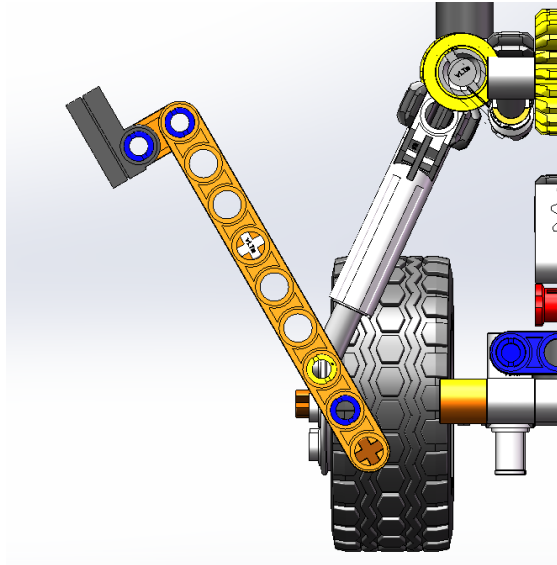


Figura 231 Modelo 42128-1 mecanismo 2D soportes laterales

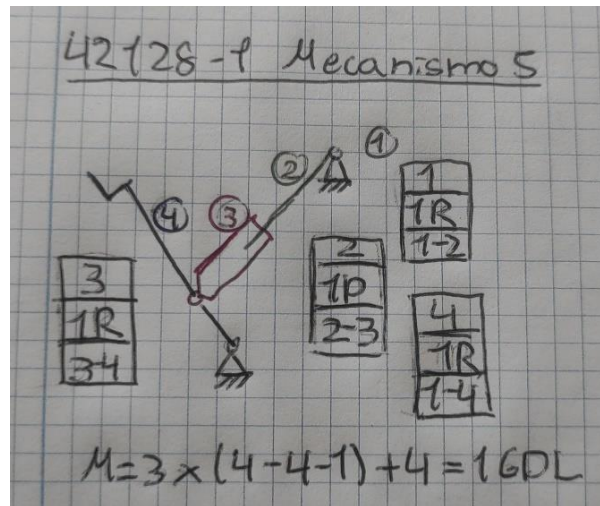


Figura 232 Diagrama cinemático mecanismo 2D soportes laterales

DE DIAGRAMAS				
2D				
No. CUERPO	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 2D
1	BASE	CHASIS	1	1
2		BARRA BINARIA		
3		PISTON		
N =	4	BARRA BINARIA		M

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	PRISMATICO	P	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	GIRATORIO	R	1	4
	$\sum f_i =$	4			

Figura 233 Cálculo de movilidad 2D mecanismo soportes laterales

- Mecanismo elevación grúa.

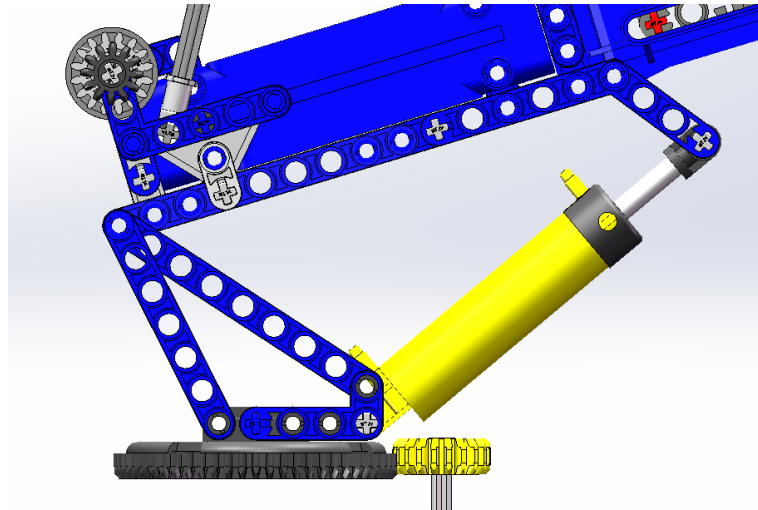


Figura 234 Modelo 42128-1 mecanismo 2D elevación grúa

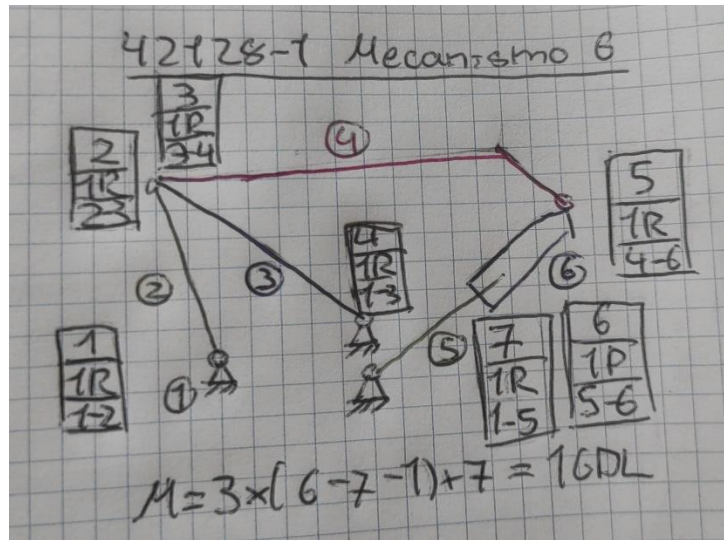


Figura 235 Diagrama cinemático mecanismo 2D elevación grúa

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a GRUEBLER 2D		
No. CUERPO	TIPO	FORMA	1	1	M
1	BASE	CHASIS			
2		BARRA BINARIA			
3		BARRA BINARIA			
4		BARRA BINARIA			
5		BARRA BINARIA			
N =	6	PISTON			

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	GIRATORIO	R	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
4	1	GIRATORIO	R	1	3
5	1	GIRATORIO	R	4	6
6	1	PRISMATICO	P	5	6
P =	7	GIRATORIO	R	1	5
$\sum f_i =$	7				

Figura 236 Cálculo de movilidad 2D mecanismo elevación grúa

- Mecanismo extensión grúa.

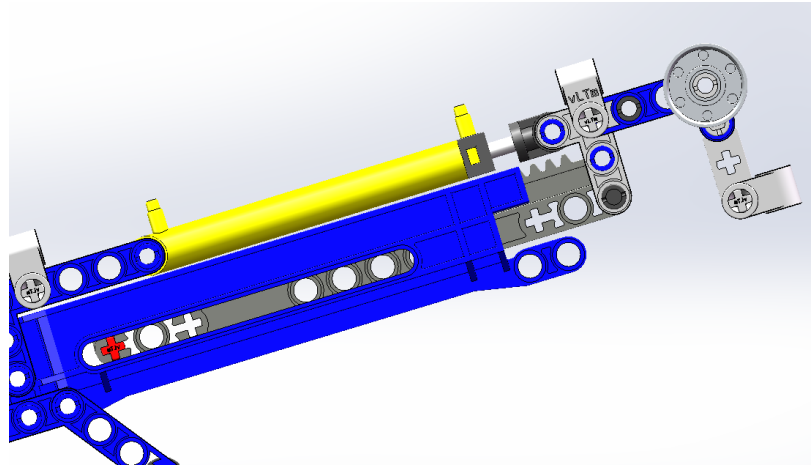


Figura 237 Modelo 42128-1 mecanismo 2D extensión grúa

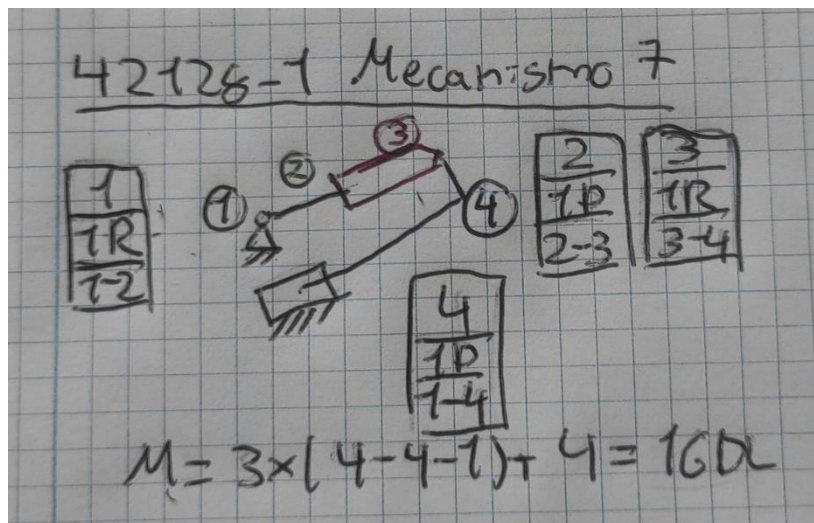


Figura 238 Diagrama cinemático mecanismo 2D extensión grúa

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a		GRUEBLER 2D	M
No. CUERPO	TIPO	FORMA	1	1		
1	BASE	CHASIS				
2		BARRA BINARIA				
3		PISTON				
N =	4	BARRA BINARIA				

$$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	1	GIRATORIO	R	1	2
2	1	PRISMATICO	P	2	3
3	1	GIRATORIO	R	3	4
P =	4	PRISMATICO	P	1	5
	$\sum f_i =$	4			

Figura 239 Cálculo de movilidad 2D mecanismo extensión grúa

- Mecanismo cambio de direcció.

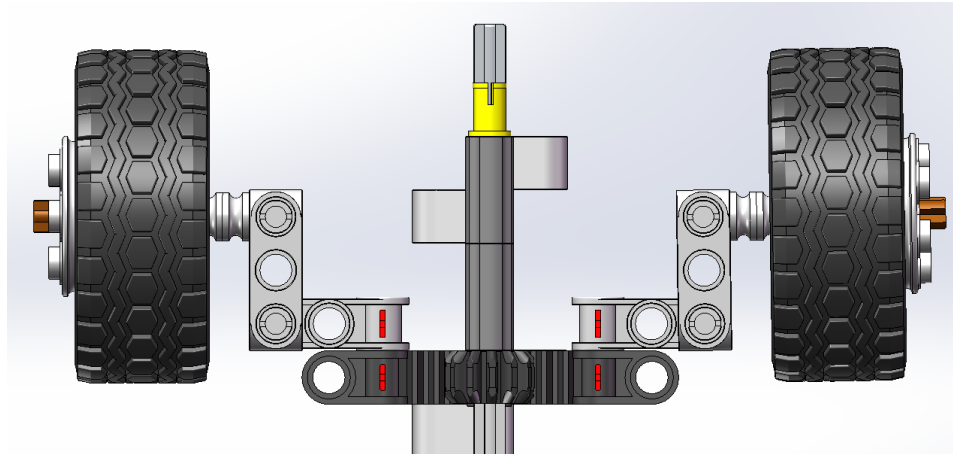


Figura 240 Modelo 42128-1 mecanismo 2D cambio de direcció

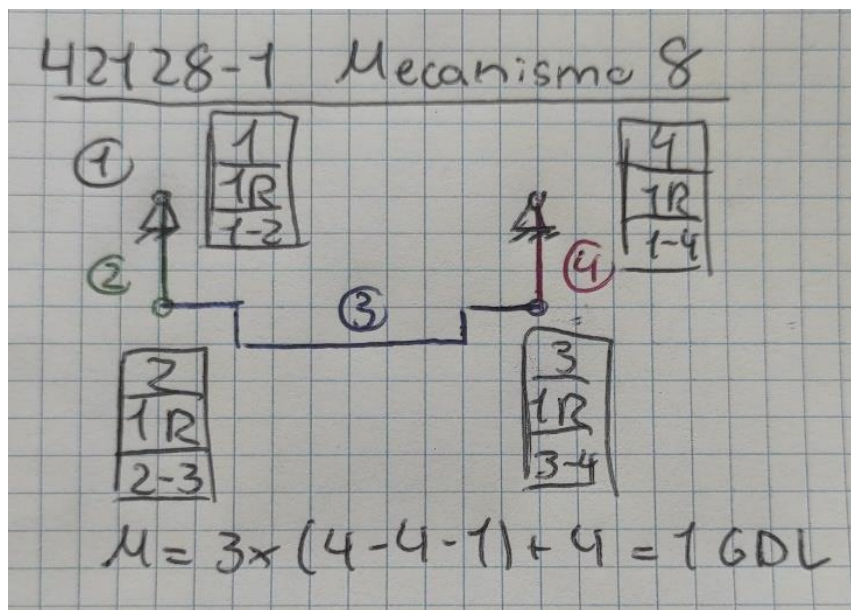


Figura 241 Diagrama cinemático mecanismo 2D cambio de direcció

DE DIAGRAMAS			MOVILIDAD a			GRUEBLER 2D	
2D			1	1	M		
No. CUERPO	TIPO	FORMA					
1	BASE	CHASIS					
2		BARRA BINARIA					
3		BARRA BINARIA					
N =	4	BARRA BINARIA					
			$M = 3 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i$				
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	1	GIRATORIO	R	1	2		
2	1	GIRATORIO	R	2	3		
3	1	GIRATORIO	R	3	4		
P =	4	1	PRISMATICO	1	4		
	$\sum f_i =$	4					

Figura 242 Cálculo de movilidad 2D mecanismo cambio de direcció

7.2. Cálculos mecanismos 3D

- Mecanismo de elevación rueda auxiliar.

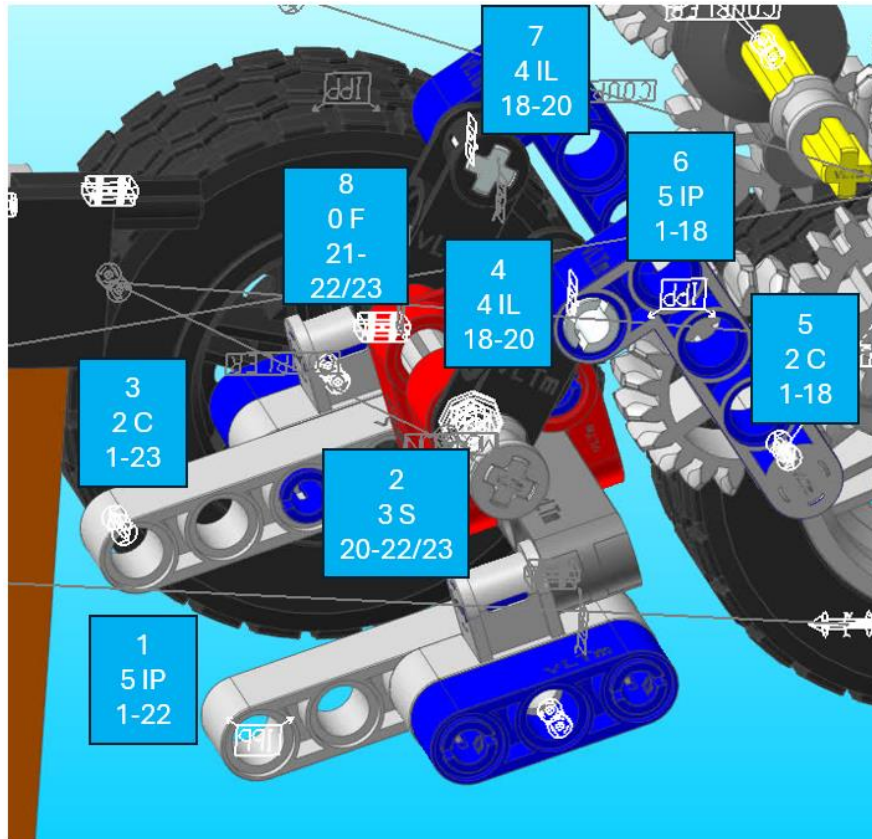


Figura 243 Diagrama cinemático 3D elevación rueda auxiliar

DE DIAGRAMAS						
3D						
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	
1	1	BASE	CHASIS	1	1	M
2	18		BARRA ORDEN 4			
3	20		BARRA TERNARIA			
4	22		BARRA BINARIA			
N =	5	23	BARRA BINARIA			

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	5	IN PLANE	IP	1	22
2	3	ESFERICO	S	20	22-23
3	2	CILINDRICO	C	1	23
4	4	IN LINE	IL	18	20
5	2	CILINDRICO	C	1	18
6	5	IN PLANE	IP	1	18
7	4	IN LINE	IL	18	20
P =	8	0	FIJO	21	22-23
$\sum f_i =$	25				

Figura 244 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación rueda auxiliar

- Mecanismo elevación enganche trasero.

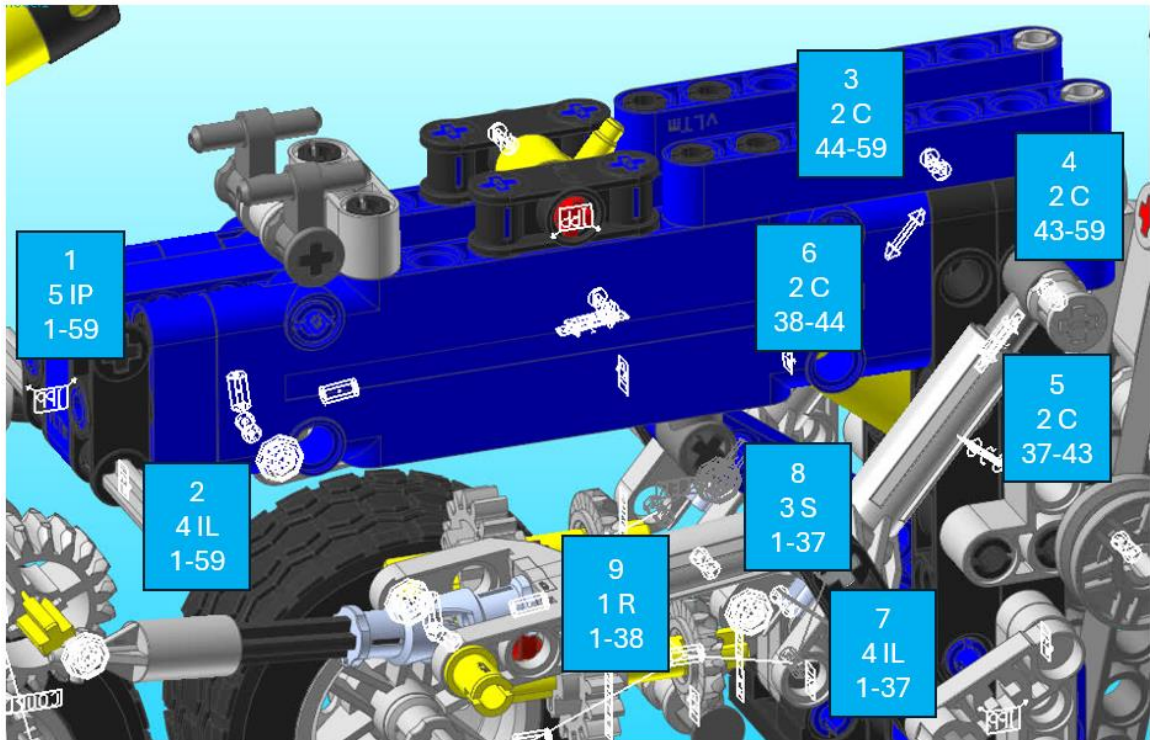


Figura 245 Diagrama cinemático mecanismo 3D elevación enganche trasero

DE DIAGRAMAS						
3D						
No. CUERPO		TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	
1	1	BASE	CHASIS	1	1	M
2	37		BARRA TERNARIA			
3	38		BARRA BINARIA			
4	43		BARRA BINARIA			
5	44		BARRA BINARIA			
N =	6		BARRA ORDEN 4			

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	5	IN PLANE	IP	1	59
2	4	IN LINE	IL	1	59
3	2	CILINDRICO	C	44	59
4	2	CILINDRICO	C	43	59
5	2	CILINDRICO	C	37	43
6	2	CILINDRICO	C	38	44
7	4	IN LINE	IL	1	37
8	3	ESFERICO	S	1	37
P =	9	GIRATORIO	R	1	38
	∑ fi =	25			

Figura 246 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación enganche trasero

- Mecanismo neumático enganche trasero.

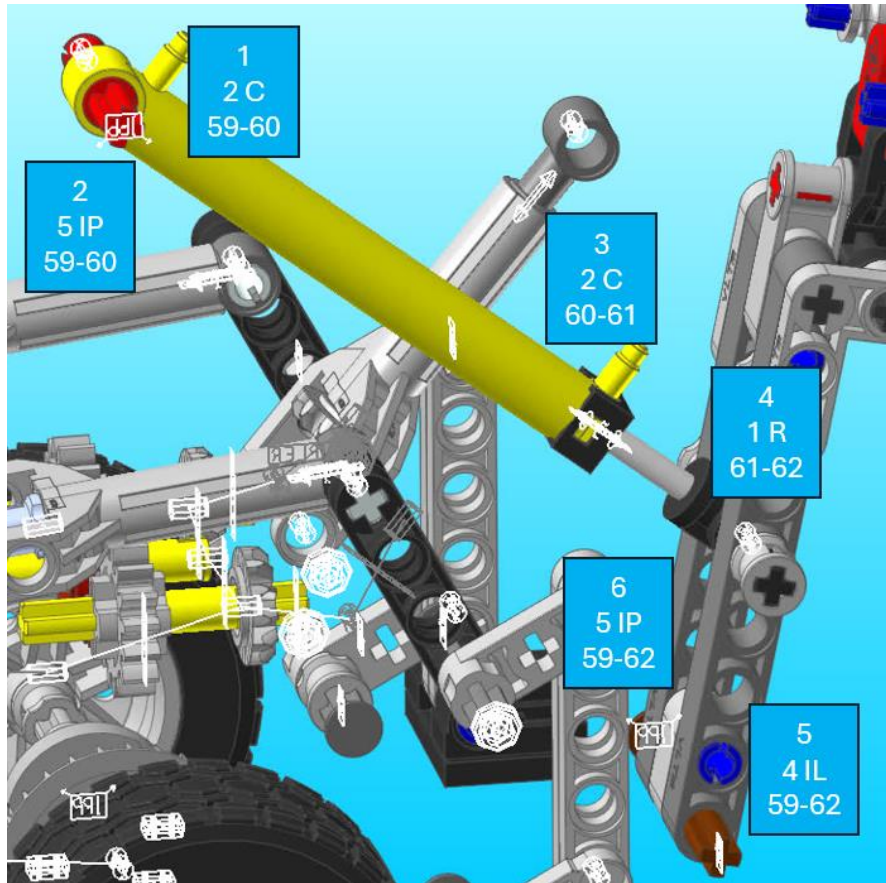


Figura 247 Diagrama cinemático mecanismo 3D neumático enganche trasero

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	59	BASE	BASE	1	1	M	
2	60		BARRA BINARIA				
3	61		BARRA BINARIA				
N =	4	61	BARRA TERNARIA				
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$							
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	2	CILINDRICO	C	59	60		
2	5	IN PLANE	IP	59	60		
3	2	CILINDRICO	C	60	61		
4	1	GIRATORIO	R	61	62		
5	4	IN LINE	IL	59	62		
P =	6	5	IN PLANE	59	62		
	$\sum f_i =$	19					

Figura 248 Cálculo de movilidad 3D mecanismo neumático enganche trasero

- Mecanismo soportes traseros.

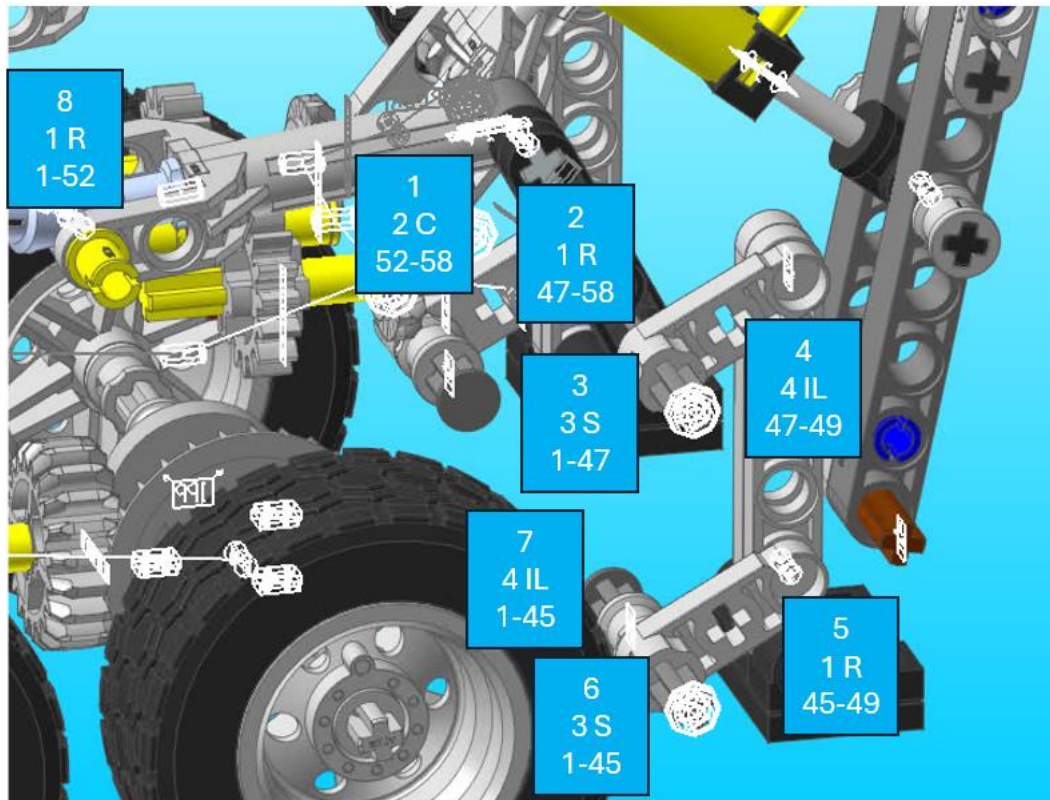


Figura 249 Diagrama cinemático mecanismo 3D soportes traseros

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D	M	
1	1	BASE	CHASIS	1	1	M	
2	45		BARRA TERNARIA				
3	47		BARRA TERNARIA				
4	49		BARRA BINARIA				
5	52		BARRA BINARIA				
N =	6	58	BARRA BINARIA				

$$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$$

No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO
1	2	CILINDRICO	C	52	58
2	1	GIRATORIO	R	47	58
3	3	ESFERICO	S	1	47
4	4	IN LINE	IL	47	49
5	1	GIRATORIO	R	45	49
6	3	ESFERICO	S	1	45
7	4	IN LINE	IL	1	45
P =	8	1	GIRATORIO	1	52
	$\sum f_i =$	19			

Figura 250 Cálculo de movilidad 3D mecanismo soportes traseros

- Mecanismo soportes laterales.

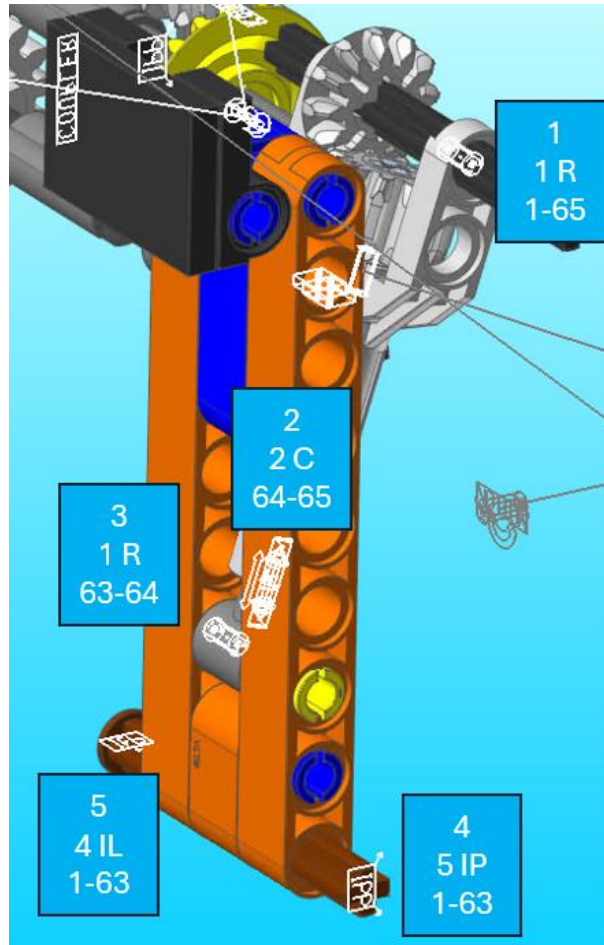


Figura 251 Diagrama cinemático mecanismo 3D soportes laterales

DE DIAGRAMAS				MOVILIDAD a		GRUEBLER 3D
3D				1	1	M
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA			
1	1	BASE	CHASIS			
2	63		BARRA TERNARIA			
3	64		BARRA BINARIA			
N =	4	65	BARRA BINARIA			
				$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$		
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO	
1	1	GIRATORIO	R	1	65	
2	2	CILINDRICO	C	64	65	
3	1	GIRATORIO	R	63	64	
4	5	IN PLANE	IP	1	63	
P =	5	4	IN LINE	1	63	
	$\sum f_i =$	13				

Figura 252 Cálculo de movilidad 3D mecanismo soportes laterales

- Mecanismo elevación grúa.

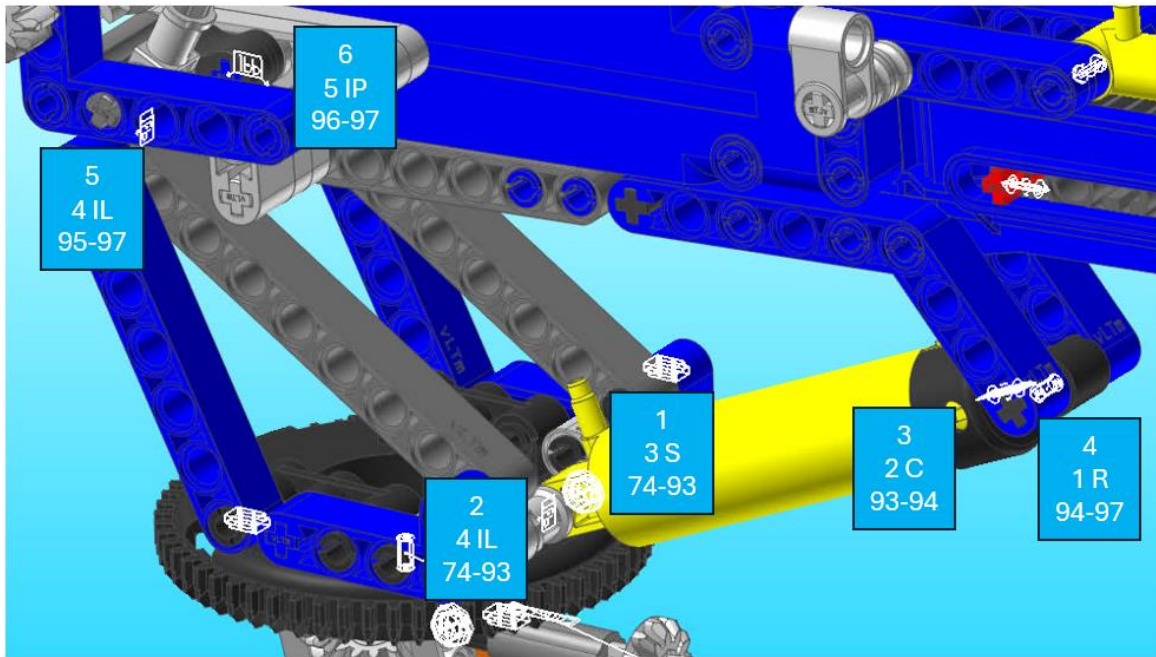


Figura 253 Diagrama cinemático mecanismo 3D elevación grúa

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	74-95-96	BASE	BARRA BINARIA	1	1	M	
2	93		BARRA BINARIA				
3	94		BARRA BINARIA				
N =	4		BARRA BINARIA				
				$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$			
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	3	ESFERICO	S	74	93		
2	4	IN LINE	IL	74	93		
3	2	CILINDRICO	C	93	94		
4	1	GIRATORIO	R	94	97		
5	4	IN LINE	IL	95	97		
P =	6		IN PLANE	IP	96	97	
	$\sum f_i =$	19					

Figura 254 Cálculo de movilidad 3D mecanismo elevación grúa

- Mecanismo extensión grúa.

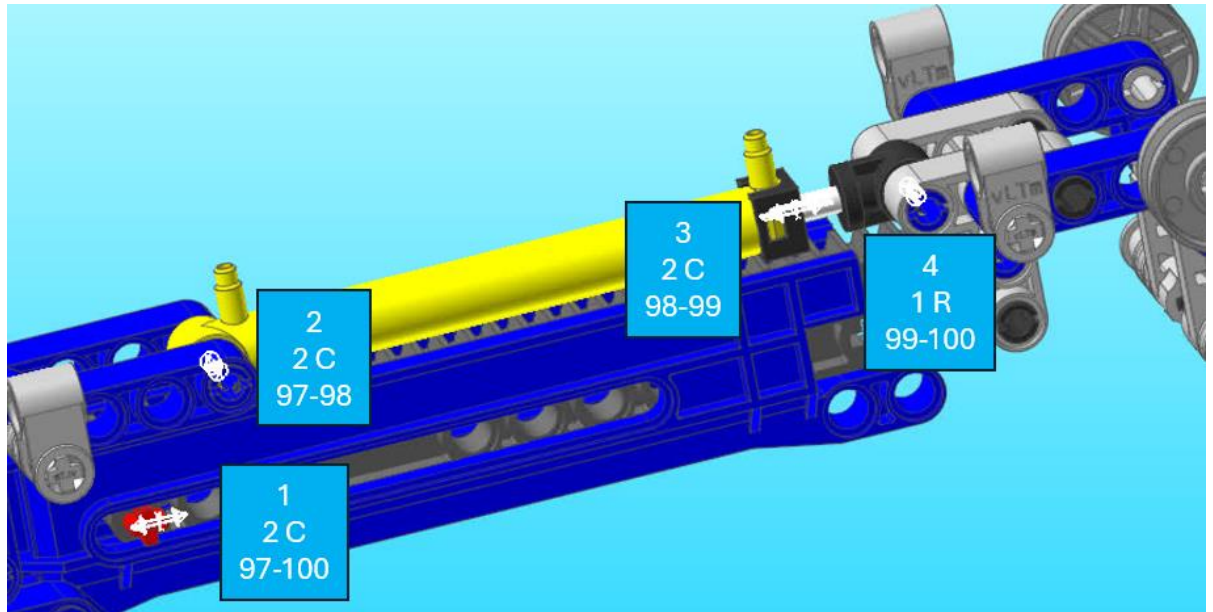


Figura 255 Diagrama cinemático mecanismo 3D extensión grúa

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	97		BARRA BINARIA	1	1	M	
2	98		BARRA BINARIA				
3	99		BARRA BINARIA				
N =	4	100	BASE				
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$							
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	2	CILINDRICO	C	97	100		
2	2	CILINDRICO	C	97	98		
3	2	CILINDRICO	C	98	99		
P =	4	1	GIRATORIO	99	100		
	$\sum f_i =$	7					

Figura 256 Cálculo de movilidad 3D mecanismo extensión grúa

- Mecanismo cambio de dirección.

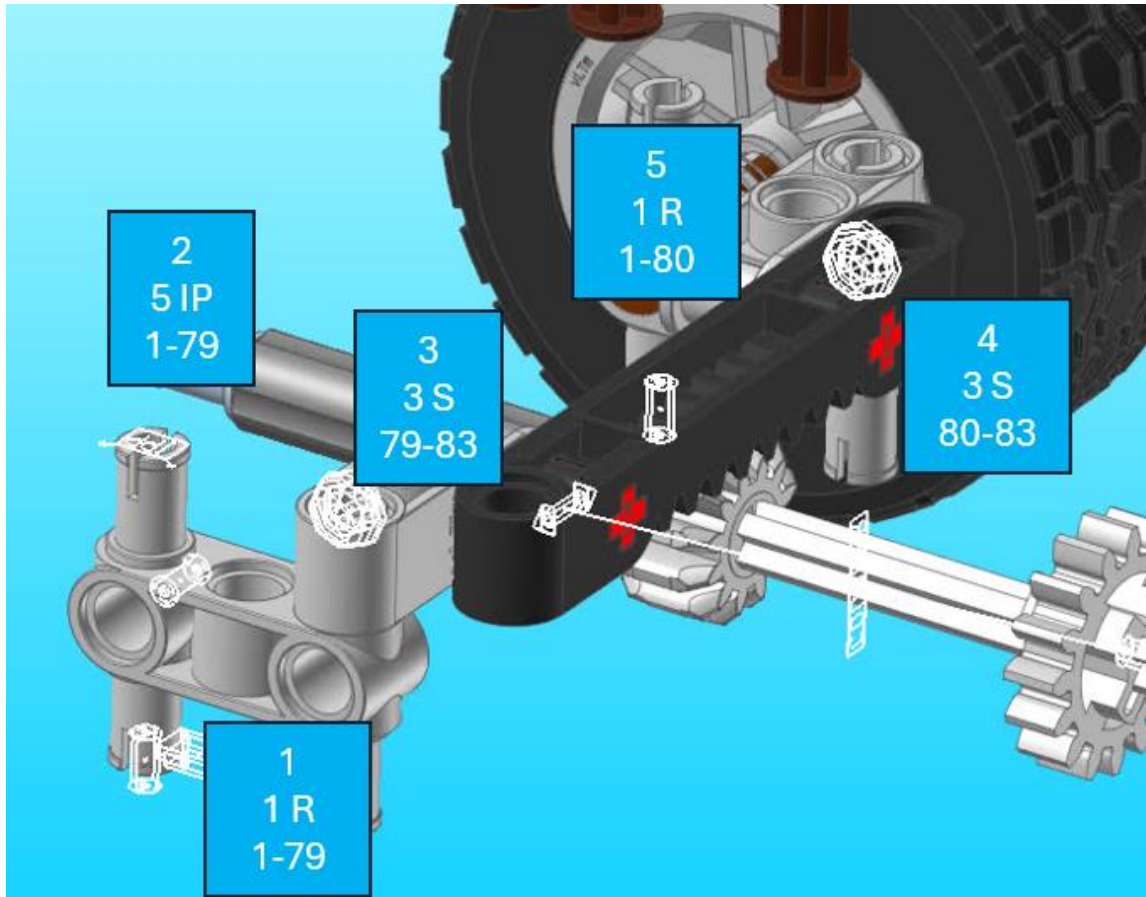


Figura 257 Diagrama cinemático mecanismo 3D cambio de dirección

DE DIAGRAMAS							
3D							
No. CUERPO	COMPONENTE	TIPO	FORMA	MOVILIDAD a	GRUEBLER 3D		
1	1	BASE	CHASIS	1	1	M	
2	79		BARRA BINARIA				
3	80		BARRA BINARIA				
N =	4	83	BARRA BINARIA				
$M_{3D} = 6 * (N - P - 1) + \sum f_i$							
No. PAR	CONECTIVIDAD	TIPO	SIMBOLO	1er CUERPO	2o CUERPO		
1	1	GIRATORIO	R	1	79		
2	5	IN PLANE	IP	1	79		
3	3	ESFERICO	S	79	83		
4	3	ESFERICO	S	80	83		
P =	5	1	GIRATORIO	1	80		
	Σ fi =	13					

Figura 258 Cálculo de movilidad 3D mecanismo cambio de dirección

7.3.Simulació

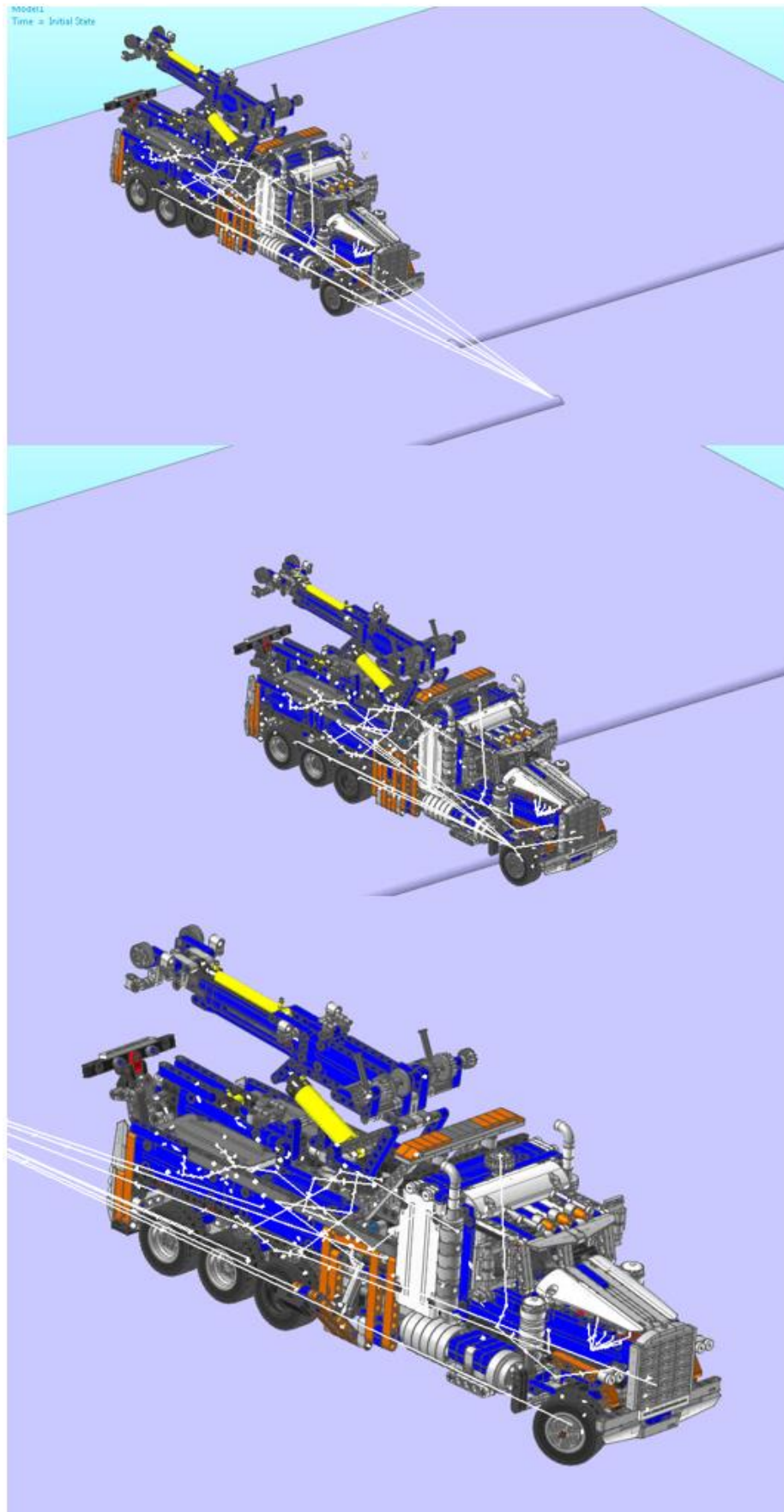


Figura 259 Modelo 42128-1 simulació I

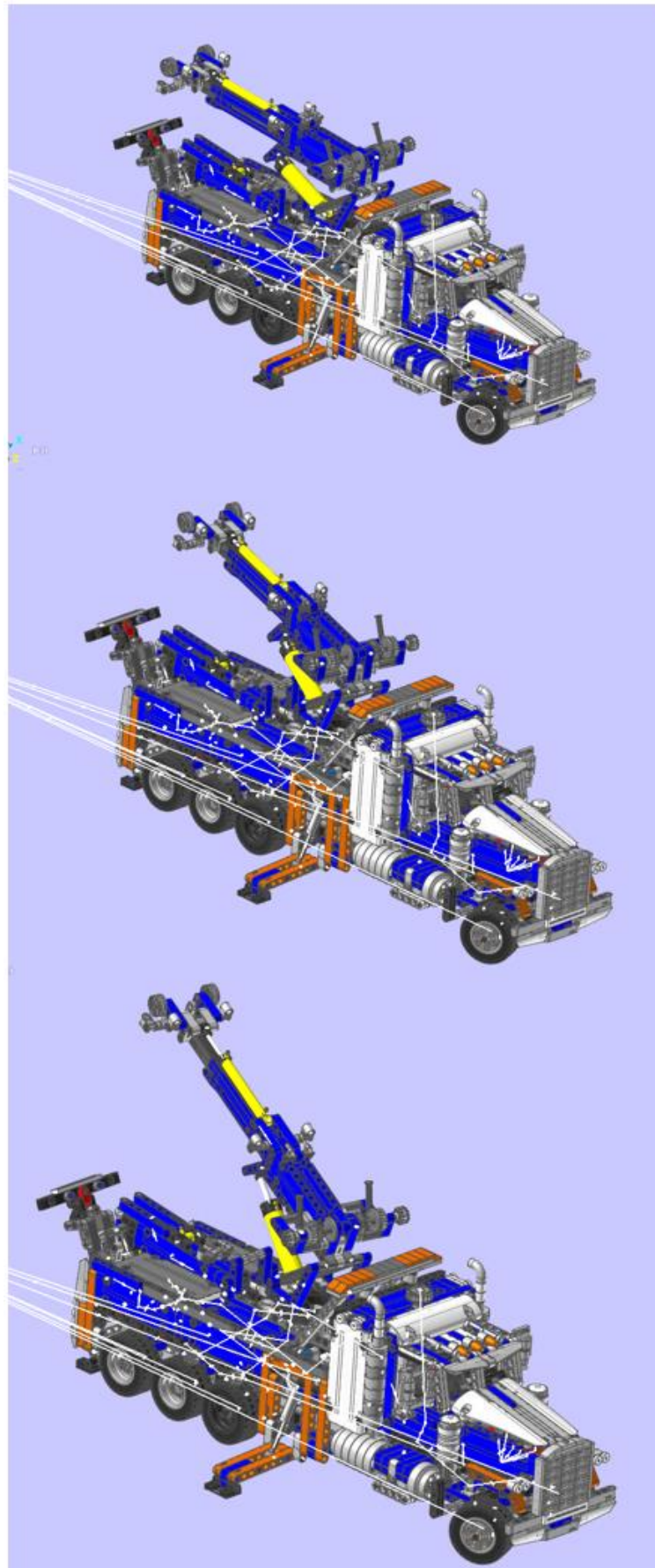


Figura 260 Modelo 42128-1 simulación II

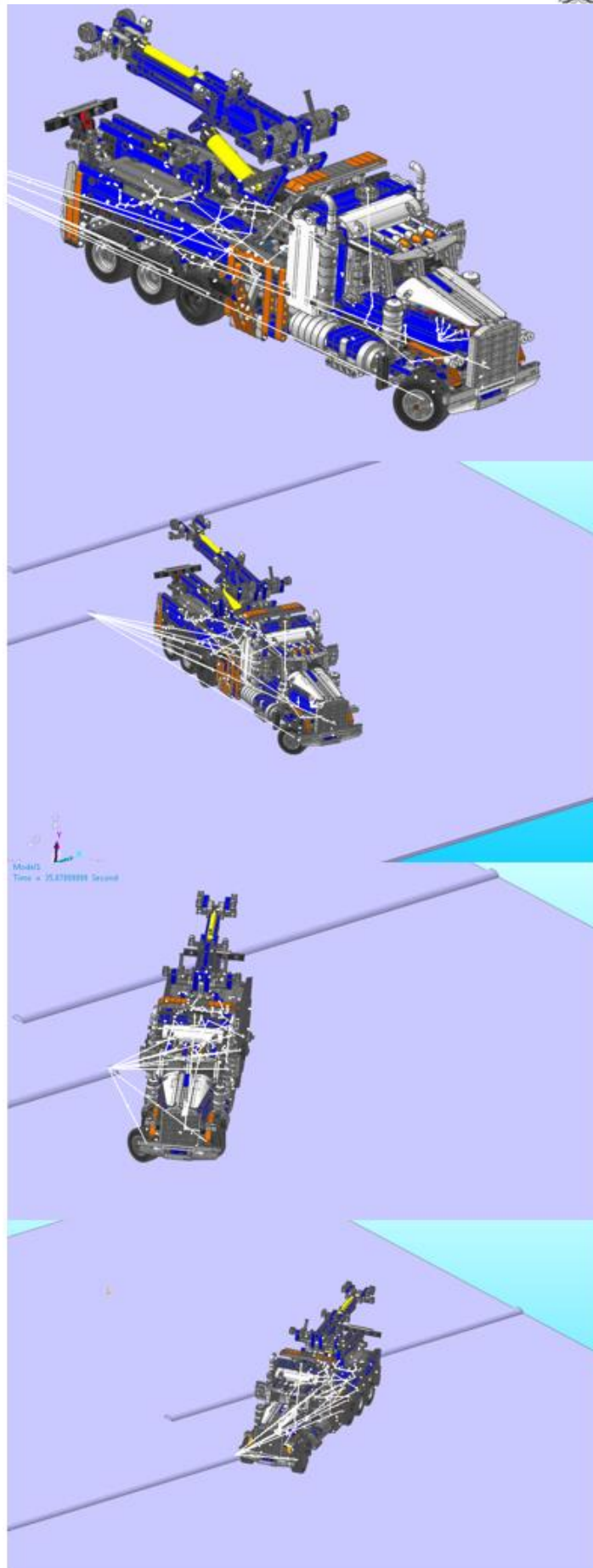


Figura 261 Modelo 42128-1 simulación III