



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERS
INDUSTRIALS VALÈNCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**DISEÑO MECÁNICO, CONSTRUCCIÓN
VIRTUAL Y SIMULACIÓN CINEMÁTICA
DE LOS MODELOS LEGO TECHNIC:
VLTM 42008-1, VLTM 8070-1, VLTM
8458-2, y VLTM 8421-4.**

AUTOR: JOSE VICENTE LAPIEDRA

TUTOR: JOSE LUIS OLIVER HERRERO

CURSO ACADÉMICO: 2013-14



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERS
INDUSTRIALS VALÈNCIA



Índice

MEMORIA.....	8
1. Objeto del Proyecto.	8
2. Introducción.	10
2.1. ¿Qué es un Modelo LEGO TECHNIC?.....	10
2.2. ¿Qué es un Modelo LEGO TECHNIC Virtual?.....	11
2.3. Utilidad de disponer de Modelos LEGO TECHNIC Virtuales.	12
2.4. Algunos Componentes LEGO TECHNIC.....	13
2.5. Máquinas Reales y Modelos LEGO TECHNIC Equiparables.	14
2.6. Modelos Isogawa Yoshihito.....	15
2.7. Aplicaciones Informáticas.	16
3. Ensamblaje del Modelo.....	17
3.1. Presentación y Objetivos.....	17
3.2. Procedimiento de Montaje.	18
3.2.1. Asignación del Modelo.....	18
3.2.2. Ensamblaje: Estructura y Nomenclatura.....	19
3.3. Ensamblajes en SolidWorks.....	20
3.3.1. Relaciones de posición estándar.....	22
3.3.1.1. Fijo.....	22
3.3.1.2. Coincidente.	22
3.3.1.3. Paralelo/Perpendicular.	23
3.3.1.4. Tangente.....	23
3.3.1.5. Concéntrica.	24
3.3.1.6. Distancia/Ángulo.	24
3.3.2. Relaciones de posición avanzadas.	24
3.3.2.1 Engranajes.....	25
3.3.2.2. Piñón-Cremallera.....	26
3.3.2.3. Intervalos de distancia o ángulo.	27
4. Modelo Cinemático Auto-alineador.....	28
4.1. Presentación y Objetivos.....	28
4.2. Introducción a los Sistemas Mecánicos.	28
4.3. Perspectiva Histórica.....	30



4.4. Conceptos Básicos.....	36
4.4.1. Impulsor, Seguidor y Factor de Transmisión.....	36
4.4.2. Máquina, Mecanismo y otros conceptos.....	37
4.4.2.1. Cinemática.....	43
4.5. Diseño: análisis y síntesis.	43
4.6. Pares Cinemáticos (Conexiones/Articulaciones/Uniones).....	45
4.7. Movilidad en Mecanismos.	49
4.7.1. Cálculo de la Movilidad en Mecanismos Planos.	50
4.7.2. Cálculo de la Movilidad en Mecanismos Espaciales.....	51
4.7.3. Diagramas Cinemáticos. Ejemplos.	52
4.7.3.1. Modelo Isogawa T-0259.....	53
4.7.3.2. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8890-2_2014.	54
4.7.3.3. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8421-1_2014.....	57
4.7.3.4. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8458-2_2014.	60
4.8. Mecanismos auto-alineadores.	62
4.9. Modelo Auto-alineador en SolidWorks. Aplicación COSMOS Motion.	63
4.9.1. Presentación de COSMOS Motion.	63
4.9.2. Entorno.....	64
4.9.3. “Piezas” del mecanismo.....	65
4.9.4. Pares Cinemáticos.	65
4.9.4.1. Revolución.....	66
4.9.4.2. Traslacional.	68
4.9.4.3. Cilíndrico.....	69
4.9.4.4. Esférico.....	70
4.9.4.5. Universal.....	72
4.9.4.6. Tornillo.	74
4.9.4.7. Planar.	74
4.9.4.8. Fijo.....	75
4.9.5. Pares Primitivos.....	75
4.9.5.1. En la Línea.	76
4.9.5.2. En el Plano.....	77
4.9.5.3. Orientación.....	78
4.9.5.4. Paralelismo.....	79



4.9.5.5. Perpendicularidad.....	79
4.9.6. Engranajes.....	80
4.9.6.1. Engranaje Común.....	80
4.9.6.2. Engranaje Piñón-Cremallera.....	81
4.9.6.3. Engranaje Tornillo Sin Fin.....	83
4.9.6.4. Poleas.....	83
4.9.7. Restricción de Movimiento.....	84
4.9.8. Grados de Libertad del Modelo (GDL).....	84
5. Simulación Virtual del Modelo.....	86
5.1. Simulación de Movimiento. Introducción y Objetivos.....	86
5.2. Simulación de Movimiento en COSMOSMotion.....	86
5.2.1. Restricción del Movimiento.....	87
5.2.1.1. Constante.....	87
5.2.1.2. Movimiento Armónico.....	88
5.2.1.3. Función de Spline.....	89
5.2.1.4. Función por Pasos.....	89
5.2.1.5. Expresión Matemática.....	90
5.2.2. Contactos.....	91
5.2.2.1. Contactos 3D.....	91
5.2.3. Solución y Análisis de Datos.....	93
5.2.3.1. Exportar la animación en formato “.avi”.....	94
6. Creación de Modelos.....	96
6.1. Modelos Isogawa Yoshihito.....	96
6.1.1. Modelo T-0002.....	97
6.1.2. Modelo T-0008.....	98
6.1.3. Modelo T-0009.....	99
6.1.4. Modelo T-0013.....	100
6.1.5. Modelo T-0026.....	101
6.1.6. Modelo T-0037.....	102
6.1.7. Modelo T-0040.....	103
6.1.8. Modelo T-0051.....	104
6.1.9. Modelo T-0059.....	105
6.1.10. Modelo T-0062.....	106



6.1.11. Modelo T-0075.....	107
6.1.12. Modelo T-0079.....	108
6.1.13. Modelo T-0093.....	109
6.1.14. Modelo T-0098.....	110
6.1.15. Modelo T-0102.....	111
6.1.16. Modelo T-0107.....	112
6.1.17. Modelo T-0259.....	113
6.1.18. Modelo T-1950.....	115
6.2. Modelo LEGO Technic 8891-4.....	118
6.3. Modelo LEGO Technic 8890-2.....	122
6.4. Modelo LEGO Technic 8865-1.....	127
6.5. Modelo LEGO Technic 8421-1.....	145
6.6. Modelo LEGO Technic 8458-2.....	161
7. Simulación de Modelos.....	176
7.1 Modelo LEGO Technic 8816-1.....	176
7.2. Modelo Isogawa T-1481.....	182
7.3. Modelo LEGO Technic 8854-2.....	184
7.4. Modelo LEGO Technic 8421-1 + 8421-3.....	189
8. Aplicaciones Reales.....	200
8.1. Introducción.....	200
8.2. Modelos a Escala.....	200
9. Bibliografía.....	202
PRESUPUESTO.....	203
1. Introducción.....	203
I. Apartado 1: Software.....	204
II. Apartado 2: Equipo Informático.....	205
III. Apartado 3: Modelos LEGO Technic.....	205
IV. Apartado 4: Modelos Virtuales LEGO Technic.....	206
2. Resumen.....	207



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERS
INDUSTRIALS VALÈNCIA



MEMORIA

1. Objeto del Proyecto.

Este proyecto forma parte de una iniciativa que tiene por objeto mejorar el conocimiento que sobre las herramientas de diseño en ingeniería mecánica se debería facilitar en una escuela de ingenieros industriales. Y desde un punto de vista profesional, forma parte de la misma iniciativa pero orientada a actualizar los conocimientos que sobre esta rama de la ingeniería tienen los actuales titulados que por motivos de trabajo han de utilizar las mencionadas herramientas.

Para ello se ha considerado adecuado utilizar como material base un sistema de construcción modular muy popular entre personas de todas las edades, y al mismo tiempo de un nivel de sofisticación técnica notablemente elevado debido al equipo de ingenieros que se encargan de crear y proponer nuevos modelos para su comercialización. El sistema elegido es el denominado comercialmente “Lego Technic”. Del que cualquier persona puede encontrar en cualquier juguetería modelos comercializados de todo tipo, tamaño y precio.

El planteamiento que se ha utilizado ha venido desarrollándose desde hace años como material docente en las asignaturas que el profesor responsable de este proyecto ha impartido en nuestra Escuela, y sigue desarrollándose actualmente. Consiste en lo siguiente:

- a) El primer paso consiste en crear modelos virtuales de las piezas que, a la vista del modelo real, de sus instrucciones o del documento edrawings, lo constituyen, mediante el programa de CAD Solidworks (que será el programa utilizado en este proyecto). El concepto de pieza es el siguiente: conjunto de componentes que no poseen movimiento relativo entre ellos en el modelo final o, si lo poseen, es irrelevante desde el punto de vista operativo. En este proyecto se considera requisito imprescindible que las piezas creadas no



- superen la cantidad de 10 componentes. Ello es debido a su mejor procesamiento por parte de las aplicaciones informáticas.
- b) El proceso de identificación de las piezas forma parte del trabajo de este proyecto, se procederá a mostrar las piezas de los modelos creados.
 - c) Seguidamente, utilizando el mismo programa de CAD mencionado anteriormente se ensamblan las piezas creadas para dar lugar al modelo final montado. Una vez hecho esto se procede a la creación de su modelo cinemático auto-alineador.
 - d) El modelo ya está listo para ser simulado en Cosmos Motion, un complemento de programa de CAD utilizado en este proyecto.

Como conclusión mostraremos cómo los conceptos adquiridos pueden ser aplicados a la realidad, ya sea creando las máquinas LEGO TECHNIC a escala con productos comerciales como rodamientos, etc. o aplicando las herramientas CAD y de simulación utilizadas a casos reales industriales.



2. Introducción.

2.1. ¿Qué es un Modelo LEGO TECHNIC?

La serie TECHNIC es una línea de juguetes de la compañía LEGO orientada a todo tipo de público, consistente en un conjunto muy amplio de componentes de plástico que se pueden interconectar fácilmente. El propósito de esta línea de Lego es crear modelos más avanzados y sobre todo con partes móviles más complejas, tales como mecanismos de dirección, vehículos con suspensión, grúas con cilindros neumáticos, etc., que los que se pueden construir con las clásicas piezas simples de construcción de Lego de toda la vida. El concepto fue dado a conocer por esta compañía por primera vez en la serie denominada “Expert Builder” en Estados Unidos, que en Europa se denominó “Technical Lego” en el año 1977, y se conoce con la denominación “TECHNIC” desde 1984.

Las “cajas” o “sets” Lego Technic se caracterizan por la presencia de componentes especiales, tales como engranajes, ejes, pasadores, y vigas. Algunas de ellas vienen con componentes neumáticos o motores eléctricos. Todo lo cual permite construir modelos que se asemejan con gran fiabilidad a las máquinas mecánicas reales que nos rodean en nuestro entorno cotidiano.

El estilo de los “sets” Lego Technic ha ido cambiando con el tiempo. Desde el año 2000 se utiliza una metodología de construcción diferente, que en la literatura anglosajona se denomina “studless construction”, en la que han desaparecido los botones característicos de los tradicionales “ladrillos” Lego. El método actual utiliza vigas y pasadores en su lugar.

MINDSTORMS, la línea de productos robóticos de Lego, también utiliza un conjunto amplio de los componentes Lego Technic, aunque se vende como una línea separada. La nueva generación de MINDSTORMS, la denominada MINDSTORMS NXT, que salió al mercado en 2006, se basa en la nueva metodología de construcción citada. Desde hace años se utiliza en todo el mundo en tareas docentes relacionadas con la ingeniería de control.

2.2. ¿Qué es un Modelo LEGO TECHNIC Virtual?

Si el objetivo fundamental de los sistemas de construcción didácticos avanzados, como la línea de juguetes Lego Technic, es desarrollar la inventiva y las habilidades manuales del sujeto; la construcción de Modelos LEGO TECHNIC Virtuales, comparte el objetivo de desarrollar la inventiva, aportando un objetivo adicional muy importante: desarrollar las posibilidades que el uso de la aplicación SOLIDWORKS 2007 proporciona en el diseño y simulación de sistemas mecánicos.

Así como en la construcción tradicional de Máquinas Lego Technic se dispone del conjunto necesario y suficiente de componentes Lego Technic reales, de plástico, para que si se siguen las instrucciones se pueda obtener la máquina deseada; en el montaje de Máquinas Lego Technic Virtuales, tal y como se plantea en este proyecto, se dispone de los Componentes Lego Technic Virtuales necesarios y suficientes para a la vista del Modelo Lego Technic Real ya ensamblado, y de las instrucciones de montaje originales del “set” Lego correspondiente, poder crear la Máquina Lego Technic Virtual equiparable a la real, pero con una característica fundamental: durante el proceso de creación del modelo virtual, se han identificado como Piezas Virtuales aquellos conjuntos de componentes Lego Technic que en la máquina real no tienen movimiento relativo.

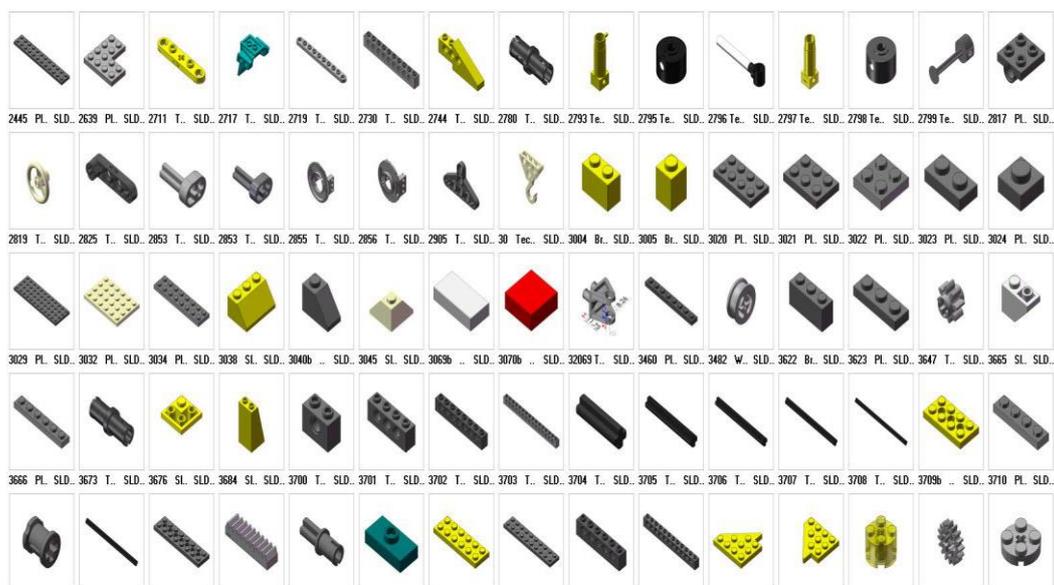


Ilustración 1. Componentes LEGO TECHNIC Virtuales.



Es decir, no se propone reproducir virtualmente en un programa CAD una máquina real Lego Technic ya ensamblada, montándola mediante esta aplicación informática a partir de sus componentes Lego virtuales, sino que se va más allá: lo que se propone es identificar, durante el proceso, las piezas que la máquina mecánica real posee, entendiendo por **pieza** un conjunto de **componentes** Lego Technic que no tienen movimiento relativo entre ellas.

2.3. Utilidad de disponer de Modelos LEGO TECHNIC Virtuales.

La pregunta obvia es: ¿Qué utilidad pueden tener una colección de modelos Lego Technic virtuales?

Para contestar a esta pregunta es necesario tener en cuenta los siguientes datos: (1) Actualmente el diseño mecánico, en aquellos centros en los que se realiza, se lleva a cabo con aplicaciones informáticas tipo SolidWorks, NX, Solid Edge, CATIA, Pro-Enginier, etc; (2) Para poder sacarle rendimiento a este tipo de aplicaciones informáticas es necesario una etapa previa de formación, y para ello lo mejor es tener la posibilidad de practicar con modelos; (3) Si se pretende poder diseñar soluciones mecánicas innovadoras para las máquinas que nos rodean para que sean más eficientes energéticamente, tanto en su funcionamiento como en su fabricación, es necesario aprender a manejar los mecanismos que las constituyen; (4) Para poder diseñar nuevos mecanismos es necesario conocer el funcionamiento de cuantos más mejor; y (5) Existe literatura relacionada con este tema, pero le falta algo muy importante: no se puede intuir el funcionamiento de los mecanismos que en ella se describen de forma sencilla, a no ser que se tengan conocimientos previos sobre el tema.

La colección de modelos Lego Technic virtuales permitiría dar una solución a algunos de aspectos señalados en el párrafo previo: (1) Han sido creados en aplicaciones informáticas relacionadas con el diseño mecánico; (2) Permiten disfrutar de las posibilidades que ofrece la aplicación nada más empezar, entre ellas la que posibilita el ensamblado de partes de máquinas mecánicas; (3) Estos modelos están llenos de mecanismos de

todo tipo, ingeniosamente ideados por los ingenieros de Lego, con los cuales es fácil aprender técnicas para luego aplicarlas en el diseño de máquinas reales; y (4) Obviamente la aplicación permite simular el movimiento de los modelos con todo detalle, con lo cual sobra la intuición.

2.4. Algunos Componentes LEGO TECHNIC.

A continuación podemos observar imágenes de algunos de los componentes Lego Technic reales disponibles comercialmente. Su característica fundamental es que las dimensiones que los caracterizan han sido cuidadosamente seleccionadas en cada uno de ellos, de tal forma que puedan encajar unos con otros en cualquier montaje real que se considere. Esta característica es de mucha utilidad cuando han de virtualizarse, pues permite sistematizar esta tarea.



Ilustración 2. Componentes LEGO TECHNIC Reales.

Si quisiéramos hacernos una idea de la cantidad de componentes Lego Technic que existen en la actualidad, deberíamos visitar la página web <http://www.peeron.com>, donde es posible encontrar información de todos los modelos Lego Technic, así como una lista de los componentes necesarios para cada modelo, muchos de los cuales tienen una imagen real o virtual asociada.

Si nos interesara adquirir cualquier material relacionado con Lego Technic, deberíamos utilizar <http://www.bricklink.com>, lugar en donde se puede encontrar mucha información de los diferentes modelos Lego Technic y un amplio mercado a precios competitivos.

2.5. Máquinas Reales y Modelos LEGO TECHNIC Equiparables.

Para dar idea de la amplitud del abanico de posibles mecanismos que se pueden estudiar utilizando los modelos a escala Lego Technic, se proporciona más adelante una serie de ejemplos. A partir de ella es posible percatarse de la multitud de mecanismos con que a diario entramos en contacto y a los que antes no habíamos prestado ninguna atención, así como de la fiabilidad con que la serie Lego Technic los reproduce, siendo ello una justificación del interés de enseñar mecanismos en base a ellos.

Un buen ejemplo es el cuadrilátero articulado, un mecanismo fundamental, utilizado en multitud de máquinas reales.



Ilustración 3. Cuadrilátero articulado Real.



Ilustración 4. Cuadrilátero articulado en modelo LEGO TECHNIC.

Un **mecanismo de cuatro barras** o **cuadrilátero articulado** es un mecanismo formado por tres barras móviles y una cuarta barra fija (por ejemplo, el suelo), unidas mediante nudos articulados (unión de revoluta o pivotes). Las barras móviles están unidas a la fija mediante pivotes.

Otro claro ejemplo son los cilindros hidráulicos. Su introducción ha supuesto en los últimos cuarenta años una auténtica revolución en el diseño de muchas máquinas.



Ilustración 5. Cilindros Hidráulicos LEGO TECHNIC y Real.

El cilindro hidráulico, que actúa como lado de longitud variable en cualquier mecanismo de barras, consta de un émbolo que se desplaza hacia delante o atrás dentro de un cilindro lleno de aceite. Se utiliza la fuerza de un motor para bombear el líquido hidráulico de una a otra cara del émbolo, cuyo desplazamiento provoca el acortamiento o alargamiento del cilindro hidráulico y, con ello, la variación de un ángulo del mecanismo.

2.6. Modelos Isogawa Yoshihito.

Isogawa Yoshihito es un escritor japonés del que podemos encontrar varios libros en los que expone y explica de manera sencilla y gráfica modelos mecánicos creados a partir de componentes LEGO Technic.

A través del libro “LEGO Technic Tora no Maki” que constituye un compendio de montajes convenientemente clasificados, de tal forma que es posible únicamente a través de la observación de las fotografías, localizar los componentes LEGO Technic necesarios y poder construirlos.



Ilustración 6. Imágenes Libro Isogawa Yoshihito.

En estos libros podemos encontrar ejemplos muy variados, con ruedas, mecanismos andantes, engranajes, poleas, pares prismáticos, modelos muy sencillos y otros mucho más complejos. En los siguientes apartados veremos algunos ejemplos sacados de estos libros y que consideramos de gran interés para el objeto de este proyecto.

2.7. Aplicaciones Informáticas.

La herramienta informática utilizada ha sido **SolidWorks** en su versión de 2007, así como la versión de 2013 en la parte del proyecto correspondiente a simulación en Cosmos. Se trata de un programa de diseño asistido por ordenador para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el [sistema operativo](#) Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, Autodesk Inventor, CATIA.

Su elección se justifica debido a la posibilidad de realizar diversas funciones necesarias para la realización del proyecto, como la creación de piezas mediante el ensamblaje de componentes LEGO TECHNIC Virtuales y la posterior creación del modelo mediante el ensamblaje de dichas piezas, la definición del modelo cinemático auto-alineador y su posterior simulación sobre una base mediante la herramienta adjunta a Solidworks, Cosmos.



Puesto que uno de los objetivos es el aprendizaje de diversos programas de Diseño mecánico, un punto muy importante a tener en cuenta es el intercambio de archivos entre diferentes programas, para poder utilizar indistintamente los componentes LEGO Technic virtualizados con un programa u otro. Para este propósito son utilizados los archivos neutros tipo “.STP” (STEP 214) y “.x_t” y “.x_b” (Parasolid).

3. Ensamblaje del Modelo.

3.1. Presentación y Objetivos.

Este apartado supone el primer contacto con el modelo virtual o máquina. Supone ensamblar componente a componente, con ayuda de las instrucciones del modelo Lego Technic y del documento edrawings, el modelo completo. Para ello en primer lugar se debe diferenciar cada una de las piezas que lo forman.

Así como en la construcción tradicional de Máquinas Lego Technic se dispone del conjunto necesario y suficiente de componentes Lego Technic reales, de plástico, para que siguiendo las instrucciones, se pueda obtener la máquina deseada. En el montaje de Máquinas Lego Technic Virtuales, tal y como se plantea en este proyecto, se dispone de los Componentes Lego Technic Virtuales necesarios y suficientes para, a la vista del Modelo Lego Technic Real ya ensamblado, de las instrucciones de montaje originales del “set” Lego correspondiente y del documento edrawings, poder crear la Máquina Lego Technic Virtual equiparable a la real, pero con una característica fundamental: durante el proceso de creación del modelo virtual, se han identificado como Piezas Virtuales, aquellos conjuntos de componentes Lego Technic que en la máquina real no tienen movimiento relativo, imponiendo como requisito el mencionado anteriormente de 10 componentes por pieza como máximo.

Es decir, no se propone reproducir virtualmente en un programa CAD una máquina real Lego Technic ya ensamblada, montándola mediante esta aplicación informática a partir de sus componentes Lego virtuales, sino que se va más allá: lo que se propone es identificar durante el proceso las

piezas que la máquina mecánica real posee, entendiendo por **Pieza** un conjunto de **Componentes** Lego Technic que no tienen movimiento relativo entre ellas.

Se considera pues el principal objetivo de este apartado obtener una máquina Lego Technic Virtual estructurada de tal modo que podemos diferenciar piezas que tienen movimiento relativo entre ellas.

Además, se pretende que el alumno aprenda a manejar diferentes herramientas CAD necesarias para construir ensamblajes con diferentes partes. En este caso se utilizará en SolidWorks

3.2. Procedimiento de Montaje.

Seguiremos los siguientes pasos:

3.2.1. Asignación del Modelo.

El director del proyecto nos irá proporcionando de forma secuencial los modelos para su creación, así como todos los componentes necesarios para la creación de las distintas piezas que identifiquemos en dicho modelo. También nos proporcionará las instrucciones del modelo original, en formato pdf, y un documento edrawings del modelo ya creado virtualmente, para una mayor ayuda en la identificación de las piezas.

Puede resultar de ayuda utilizar la página web <http://www.virtualtechnicmodels.com> que el profesor, director de este proyecto, ha ido creando a lo largo de estos años. En ella podemos encontrar muchos de los modelos Lego Technic y de Isogawa Yoshihito y mucha información sobre ellos.

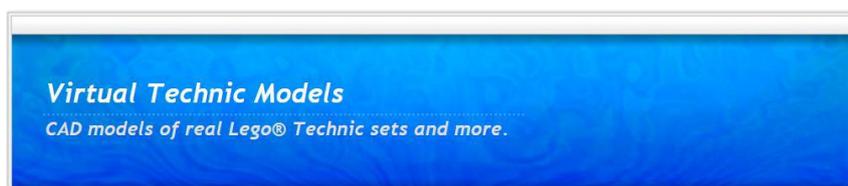


Ilustración 7. Cabecera página Virtual Technic Models.

También se puede encontrar mucha información sobre modelos LEGO TECHNIC en las páginas web <http://www.peeron.com> y

<http://www.bricklink.com> o en la misma página web oficial de LEGO <http://www.lego.com> en la sección Technic. En cualquier caso es posible construir cualquier modelo que se pueda encontrar en las tiendas, que se encuentre en internet o que se desee crear.



Ilustración 8. Cabecera páginas web citadas.

3.2.2. Ensamblaje: Estructura y Nomenclatura.

Ahora que se dispone de todos los componentes necesarios se procede a realizar un estudio previo para hacerse una idea inicial de las diferentes piezas que compondrán el modelo.

Con todos los componentes y con ayuda de las restricciones se construirán todas las piezas que posteriormente se ensamblarán para formar el modelo. Puesto que se propone como ejercicio para los estudiantes es importante realizar este proceso de una manera reglada, estructurada y común. Para tal caso se utilizará la siguiente **estructura** en los ensamblajes:

- vLTm_XXXX-X_2014 (Modelo/ se añadirá “-motion” para el archivo que contendrá el modelo cinemático auto-alineador, y “-motion-base” para el archivo con la simulación de su movimiento.)
 - vLTm_XXXX-X_part-0YY0_2014 (Pieza/ en modelos con un gran número de componentes, determinadas piezas, como el chasis, conviene trocearlas y ensamblar dichos trozos, siempre que no tengan movimiento relativo entre ellos, en el assembly pieza. En este caso, la nomenclatura sería “...-part-0YYZ_2014”, incrementando Z con el número de trozos.)
 - VLTM_6558 Technic Pin Long with Friction (Componente)
 - VLTM_6573 Technic Differential New (Componente)
 - ... (Componentes)
 - ... (Piezas)
 - ... (Componentes)

3.3. Ensamblajes en SolidWorks.

Siguiendo la nomenclatura y estructura presentada anteriormente, procedemos a crear las piezas, que más tarde serán utilizadas para conformar el modelo, utilizando las **restricciones**. En la imagen se puede diferenciar claramente la estructura del modelo.

Las restricciones se agrupan todas en un apartado, pero además –y esto es de gran ayuda- debajo de cada componente o pieza se pueden ver las restricciones que le afectan directamente, lo cual facilita la modificación o localización de ciertos errores durante el montaje.

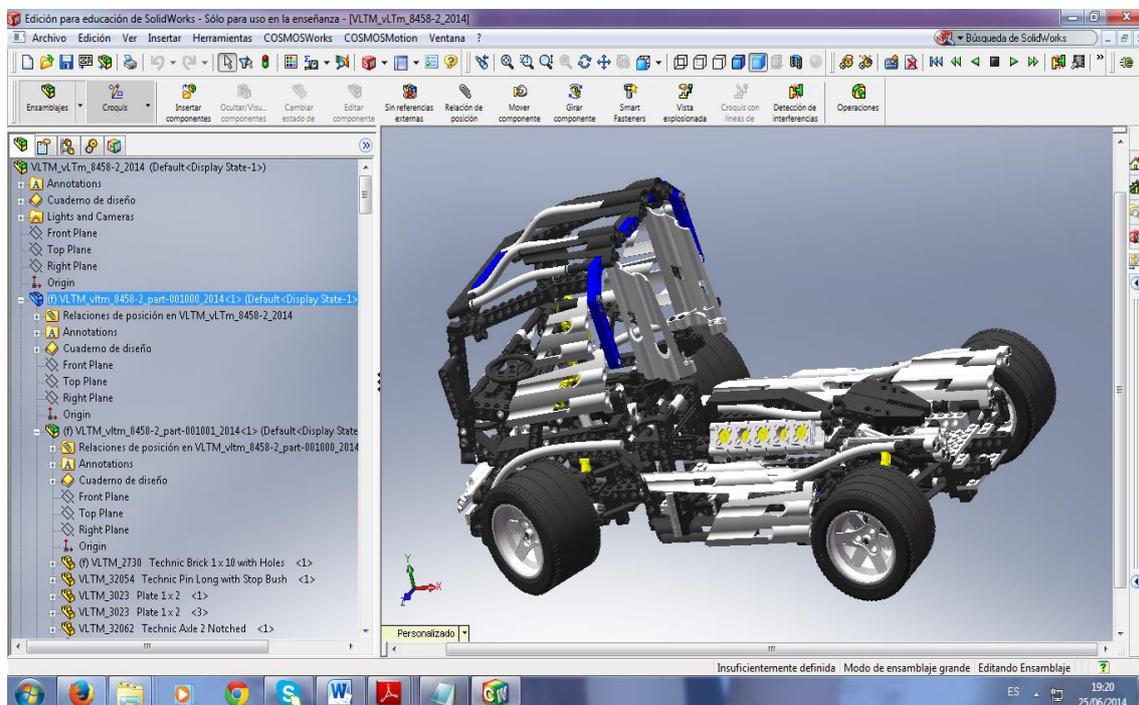


Ilustración 9. Entorno de trabajo de Ensamblajes en SolidWorks 2007.

Una vez reunidos los componentes y los documentos que permiten intuir como se ensamblan (libro de instrucciones y archivo edrawings), se crearán las diferentes restricciones necesarias para definir, la posición de cada componente, en su pieza correspondiente y posteriormente, de cada pieza en el modelo. A lo largo del montaje, es importante diferenciar los diferentes componentes que conformarán cada pieza, por lo tanto desde el primer momento, es fundamental tener en mente el funcionamiento del modelo y realizar un estudio previo del movimiento.

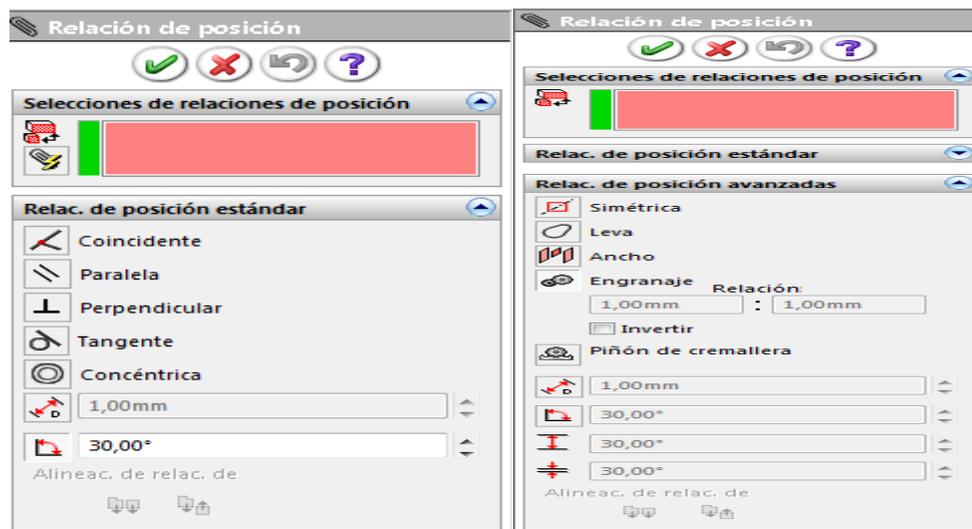


Ilustración 10. Relaciones de Posición estándar y Avanzadas en SolidWorks.

Las restricciones son clasificadas en “*Relaciones de posición estándar*” y “*Relaciones de posición avanzadas*”. Generalmente las primeras serán utilizadas para posicionar los componentes, ya sean fijos o posean algún grado de libertad. Las segundas se utilizarán para relacionar el movimiento de dos componentes, como puede ser un engranaje.

Esto supone una ventaja en SolidWorks, puesto que una vez ensamblado el modelo mediante la combinación de ambos tipos de restricciones, permite comprobar cómo se moverá. Esto es una ventaja sobre otros programas, como por ejemplo el NX8.0, en el que realizar relaciones de engranajes, no es posible en el módulo de ensamblajes y es necesario realizarlos en el módulo de simulación.

Sin embargo, la simulación con COSMOSMotion, como se verá más adelante, ofrece mucha más información sobre el comportamiento y movimiento del modelo.



3.3.1. Relaciones de posición estándar.

En primer lugar, cabe destacar que no existe una única manera de determinar la posición de un componente en el espacio y, en segundo lugar, indicar que, el primer componente deberá ser fijo en el espacio para mayor comodidad y evitar que la pieza se mueva más de lo necesario. Pasemos a nombrar y explicar brevemente las relaciones de posición estándar, utilizadas para determinar la posición de cada componente o pieza:

- Fijo
- Coincidente
- Paralelo
- Perpendicular
- Tangente
- Concéntrica
- Distancia
- Angulo

3.3.1.1. Fijo.

Antes de empezar con la aplicación de las diferentes restricciones, es necesario fijar el primer componente o pieza (será el chasis en el caso del modelo) para, sobre ella, ir aplicando las restricciones para definir completamente la posición de todos los componentes.

No es de obligado cumplimiento establecer como fijo un componente, pero es de gran ayuda y comodidad. Además, puede ahorrar muchos problemas con las restricciones cuando hay un elevado número de ellas y gran cantidad de dependencias.

3.3.1.2. Coincidente.

Se utiliza para hacer que dos caras de diferentes componentes se toquen (Ilustración 11, izquierda) o se alineen (Ilustración 11, derecha).

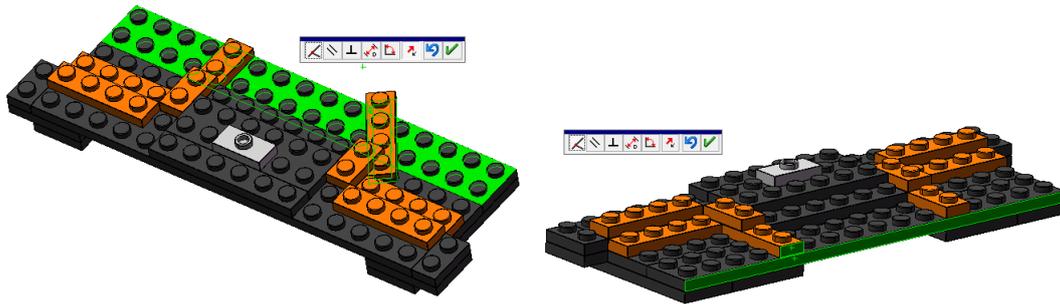


Ilustración 11. Ejemplo de Relación de Posición Coincidente, Tocar (Izq.) y Alinear (dcha.), en SolidWorks.

3.3.1.3. Paralelo/Perpendicular.

Hace que dos caras de diferentes componentes sean siempre paralelas o perpendiculares.

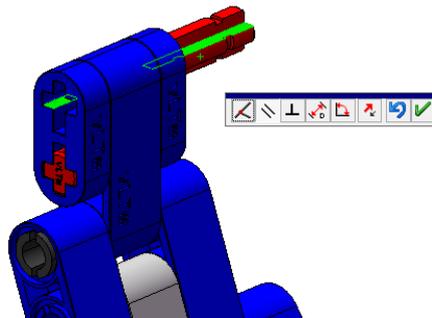


Ilustración 12. Ejemplo de Relación de Posición Paralela en SolidWorks.

3.3.1.4. Tangente.

Convierte dos superficies de componentes diferentes en tangentes. Es menos utilizada, pero en algunos casos puede ser útil para posicionar un cuerpo, por ejemplo en las simulaciones que se mostrarán más adelante de máquinas andantes, se utilizará para situar las patas sobre un terreno.

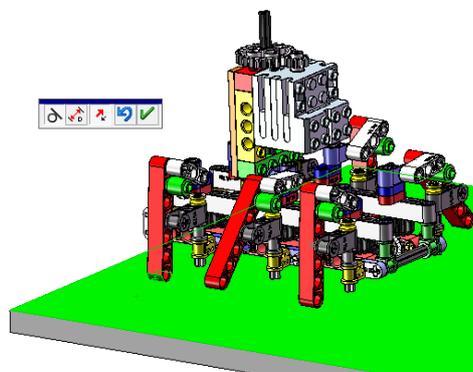


Ilustración 13. Ejemplo de Relación de Posición de Tangencia en SolidWorks.

3.3.1.5. Concéntrica.

Muy utilizada por la manera en que los componentes se insertan unos en otros. Hace que dos superficies circulares sean concéntricas, es decir, su centro o líneas centrales coincidan en el espacio.

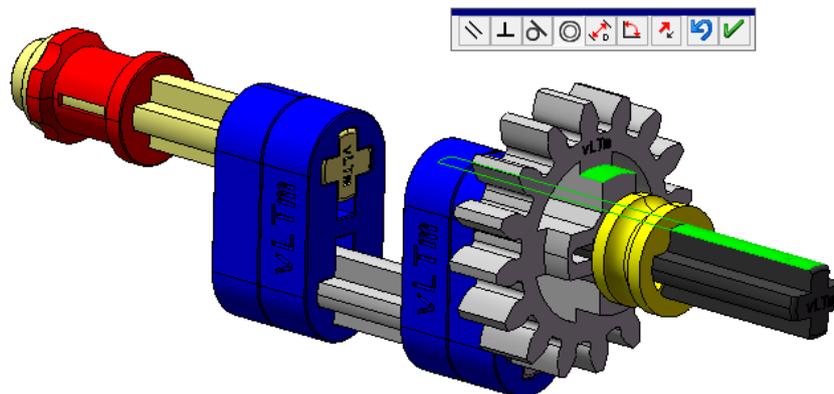


Ilustración 14. Ejemplo de Relación de Posición Concéntrica en SolidWorks.

3.3.1.6. Distancia/Ángulo.

Restringe a dos elementos (líneas, puntos o caras) de diferentes componentes a permanecer a la distancia o ángulo especificado.

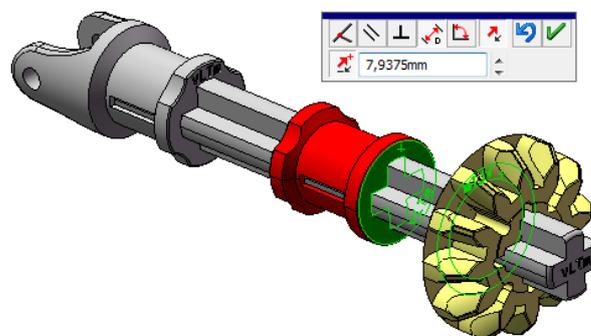


Ilustración 15. Ejemplo de Relación de Posición Distancia en SolidWorks.

3.3.2. Relaciones de posición avanzadas.

Las relaciones de posición avanzadas se utilizarán para determinar relaciones entre diferentes componentes móviles. Las utilizadas en este proyecto son:

- Engranajes.
- Piñón-Cremallera.
- Intervalos de distancia o ángulo.

3.3.2.1 Engranajes.

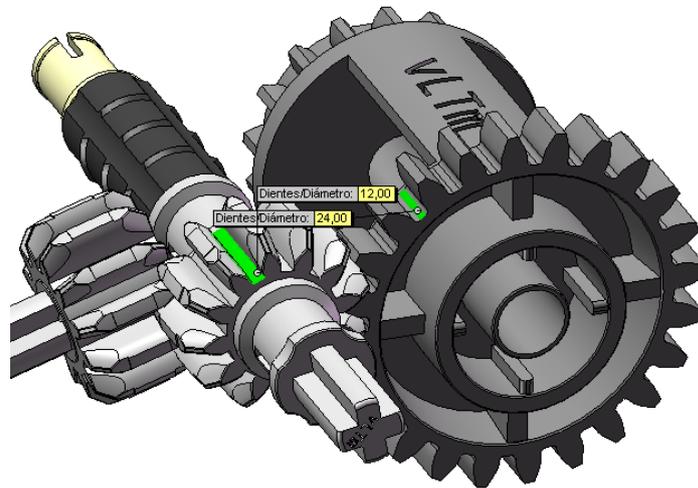
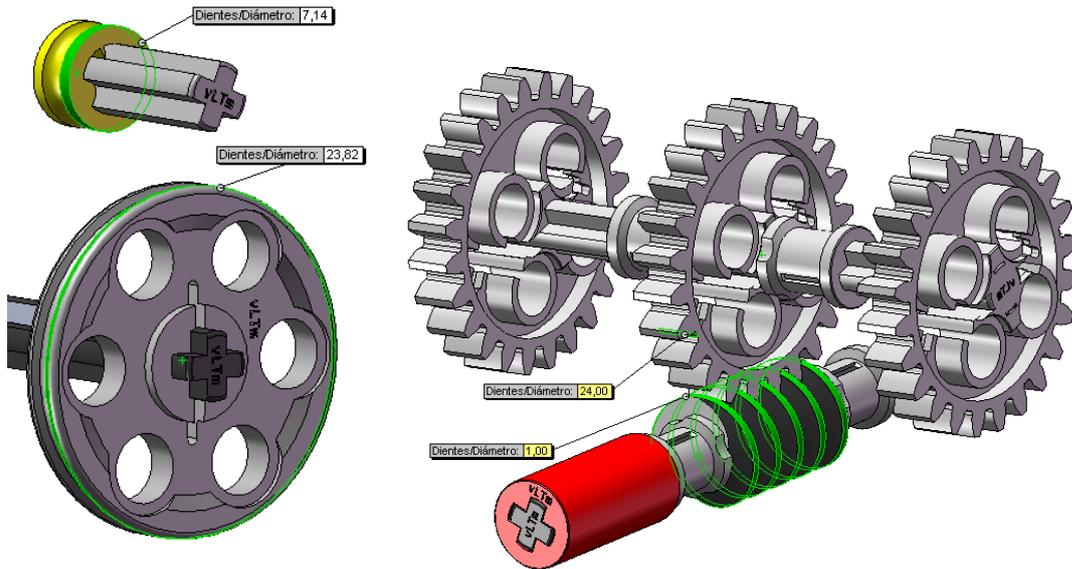


Ilustración 16. Ejemplo de Relación de Posición de Engranaje en SolidWorks.

Con la relación de **engranaje**, relacionamos el giro de dos cuerpos en función de sus diámetros o número de dientes. En este proyecto siempre se relacionarán por el número de dientes.

También se utiliza esta función para definir **poleas**, sin embargo, en este caso y puesto que se carece de dientes, utilizaremos los diámetros de las ruedas de las poleas, teniendo en cuenta que el sentido de giro es inverso a los engranajes.

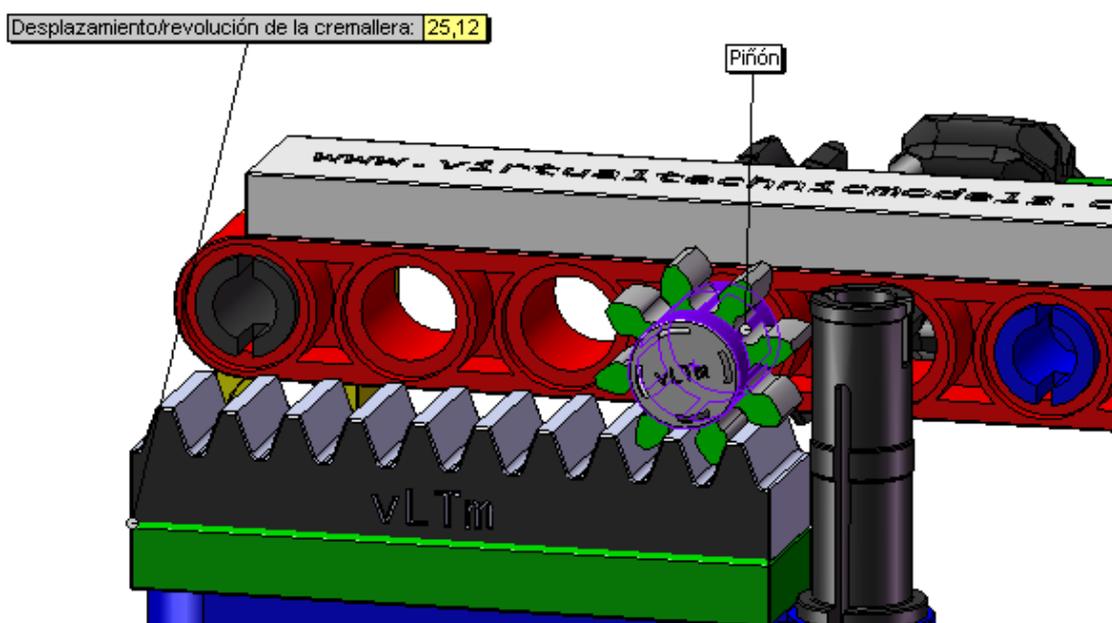
Además de los dos anteriores, también se utiliza para definir los engranajes de tipo **tornillo sin fin**. Para su definición, basta con conocer la relación de giro entre la rueda dentada y el tornillo sin fin, que puede ser fácilmente conocida observando la geometría y número de dientes. En este caso, una vuelta del tornillo supondrá el giro de un diente de la rueda dentada.



Il·lustració 17. Ejemplos de Relación de Posición de Engranajes en Poleas (izq.) y Tornillos Sin Fin (dcha.) en SolidWorks.

3.3.2.2. Piñón-Cremallera.

Para definir la relación de piñón cremallera, se selecciona en primer lugar la rueda del piñón. A continuación, una línea recta en la cremallera que indique la dirección de desplazamiento. Por último indicaremos numéricamente el desplazamiento en dicha dirección por cada vuelta completa del piñón.



Il·lustració 18. Ejemplo de Relación de Posición Piñón Cremallera en SolidWorks.

3.3.2.3. Intervalos de distancia o ángulo.

Esta función delimita el intervalo de distancia o ángulo que puede haber entre dos entes seleccionadas. En las imágenes se observa, por ejemplo, la limitación del recorrido de un amortiguador o el intervalo angular en el cual se puede mover una palanca que acciona un mecanismo.

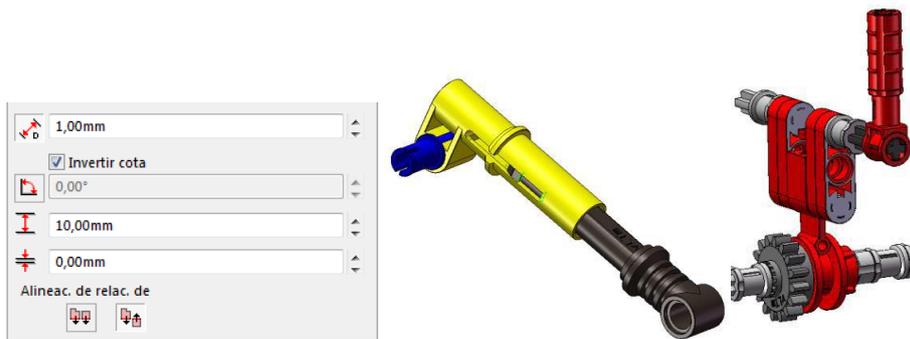


Ilustración 19. Ejemplo de Relación de Posición Intervalo de Distancia, Recorrido de un amortiguador y Ángulo, Intervalo de Giro de una Palanca en SolidWorks.



4. Modelo Cinemático Auto-alineador.

4.1. Presentación y Objetivos.

Dada la imposibilidad física y material de montar máquinas mecánicas reales en un laboratorio con un grupo de alumnos, el pretender realizar esta actividad virtualmente supone una solución práctica, ingeniosa. Tiene por tanto, este apartado, como finalidad, familiarizar al alumno con el montaje de máquinas mecánicas, que incluyan todos los tipos de elementos de los que disponen las máquinas reales. La serie de máquinas a escala de Lego Technic cumple con las expectativas.

Otra de las finalidades fundamentales de este apartado desde el punto de vista del diseño mecánico es mostrar cómo es posible llegar a configurar el modelo cinemático de un máquina virtual de tal manera que no existan restricciones en exceso. Es decir, como llegar a construir un **modelo cinemático auto-alineador**. Para ello, en este proyecto se utiliza la aplicación integrada en el SolidWorks **Cosmos Motion**, basado en el programa clásico **ADAMS**, referente de la simulación cinemática y dinámica de sistemas multicuerpo desde los años 70. Es un requisito fundamental que el modelo cinemático no tenga restricciones en exceso.

4.2. Introducción a los Sistemas Mecánicos.

El diseño de mecanismos constituye una parte fundamental de la ingeniería mecánica. En nuestra universidad sería interesante que cualquier estudiante de ingeniería mecánica debiera realizar a lo largo de su periodo de formación en esta disciplina, un proyecto que incluyese el diseño cinemático y dinámico de una pequeña máquina, así como la fabricación de las piezas necesarias para finalmente montarla y poder comprobar su funcionamiento.

Así como en ingeniería mecánica hay ciertos campos que se comparten con otras disciplinas de la ingeniería, este no es el caso del diseño de mecanismos. Únicamente la ingeniería mecánica lo trata en toda su extensión.



A pesar de ser un tema que posee una larga historia, de hecho los primeros estudios se remontan a los tiempos de los romanos, el diseño de mecanismos sigue siendo un componente vital del diseño práctico de la maquinaria moderna. Precisamente por el hecho que sigue siendo un componente vital en el diseño de la maquinaria moderna, al igual que sucede en otros campos de la ingeniería, la aplicación práctica de los contenidos incluidos en ella está continuamente cambiando con el desarrollo de nuevas tecnologías. Nuevas tecnologías que han cambiado dramáticamente la forma de realizar el diseño mecánico, han realizado cambios fundamentales en la naturaleza de las máquinas que hoy en día se diseñan, y lo más importante desde nuestro punto de vista, han realizado cambios substanciales en la forma en que los estudiantes deben aprender los contenidos de esta disciplina. Esta es una de las razones que justifican la realización de este proyecto.

Hasta hace relativamente pocos años, los mecanismos se diseñaban utilizando técnicas manuales de tipo gráfico. La llegada de los ordenadores ha revolucionado la metodología. Las herramientas CAD permiten la automatización directa de algunos métodos gráficos tradicionales. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones es más productivo utilizar la geometría cinemática fundamental con el fin de desarrollar formulaciones analíticas sobre las que es posible programar algoritmos que permiten obtener la solución más adecuada. Esto constituye la base de algunos paquetes de software de propósito especial que se han desarrollado para llevar a cabo las operaciones de diseño de mecanismos más usuales, como el que se consideran para la creación del Modelo Cinemático Autoalineador, El **COSMOMotion** integrado en **SolidWorks**.

Recientemente, se han conseguido avances notables en la manera en que los ingenieros llevan a cabo los cálculos rutinarios en este campo de la ingeniería. Actualmente, los lenguajes de programación orientados a procedimientos, han sido sustituidos por paquetes de computación numérica especializados, y por paquetes de matemática simbólica.

La influencia de los ordenadores también ha resultado vital en otros dos aspectos de este campo de la ingeniería. En primer lugar, actualmente



resulta mucho más práctico el diseño de mecanismos tridimensionales, ya que los paquetes de modelado sólido y los simuladores tridimensionales permiten salvar la dificultad de visualizar un sistema tridimensional a partir de los planos tradicionales realizados a tinta. En segundo lugar, los avances en la tecnología de los actuadores (generadores del movimiento) y en el control digital y en las técnicas de comunicación han permitido liberar al diseñador, de la máquina tradicional en la que todos sus componentes estaban mecánicamente coordinados a partir de un único actuador o generador de movimiento, que en la mayoría de las ocasiones era un motor. Actualmente, es posible utilizar una máquina mecánicamente simple que posee múltiples actuadores que están electrónicamente coordinados.

4.3. Perspectiva Histórica.

Un mecanismo es una máquina formada por cuerpos rígidos que están unidos entre ellos. Cada uno de los cuerpos interacciona con uno de los demás en virtud de la unión existente entre ellos. Las uniones están formadas por porciones de las superficies de los cuerpos unidos que están en contacto entre ellas. La forma geométrica de los segmentos de superficie que están en contacto es la que determina las propiedades de cada unión.

El diseño de mecanismos es un área técnica que es única en ingeniería mecánica. Su historia se remonta a tiempos prehistóricos. Artesanos como los cerrajeros y los carpinteros, actuaban, de hecho, como diseñadores de mecanismos. Una de las funciones originales de los ingenieros fue el diseño de mecanismos tanto para tiempos de guerra como para usos pacíficos. En los tiempos del Renacimiento, encontramos a *Leonardo da Vinci*, inventor de una variedad de sofisticados mecanismos, la mayoría de los cuales tenían un propósito militar. Es poco después cuando aparece la distinción entre ingeniería civil e ingeniería militar. En cualquier caso, la era moderna en el diseño de mecanismos, junto con la historia de la ingeniería mecánica como disciplina independiente, podemos afirmar que comienza con *James Watt*.



Esto no quiere decir que este campo haya permanecido anclado en el pasado. De hecho, han ocurrido cambios dramáticos en la práctica del diseño de mecanismos en tiempos relativamente cercanos. Tradicionalmente las máquinas se diseñaban para ser movidas por un simple actuador, de tal forma que todas sus funciones estuviesen mecánicamente coordinadas. Esta tradición ciertamente proviene de Watt. Sin embargo, los desarrollos recientes en la tecnología de los ordenadores, junto con las mejoras en los motores eléctricos y en otros tipos de actuadores, han hecho posible que se pueda diseñar la maquinaria de una forma distinta, de tal manera que la máquina pueda ponerse en movimiento a partir de un conjunto de múltiples actuadores coordinados electrónicamente. Con lo que las máquinas actuales son más simples, más baratas, de un mantenimiento más sencillo, y más fiables. Otro de los cambios importantes está en las técnicas utilizadas en el diseño de mecanismos. El uso de los gráficos interactivos por ordenador ha provocado un impacto dramático en la práctica del diseño. Una de las motivaciones en el planteamiento de este proyecto ha sido el de proporcionar un tratamiento que refleje estos cambios en la práctica.

Algunos dispositivos se han utilizado desde tiempos inmemoriales para aumentar la potencia muscular de los humanos. En la actualidad encontramos dispositivos de uso común que incluso aumentan nuestra capacidad intelectual y de control. El término genérico con que se denomina a todos esos dispositivos es **Máquina**. Por lo tanto, una máquina puede incluir un amplio rango de dispositivos, que van desde una simple polea hasta un robot o un ordenador, sin embargo, únicamente se van a considerar los **Dispositivos Mecánicos**. La **Teoría de Mecanismos y Máquinas** (TMM) es una disciplina científica que se encarga del estudio de todo lo relacionado con los sistemas mecánicos, es decir con lo que definiremos como **Mecanismos y Máquinas**.

La aportación de autores anónimos, tales como inventores, artesanos, profesionales, etc., hace casi imposible conocer con exactitud la historia de la TMM. La necesidad de una mínima introducción histórica es incuestionable cuando se trata de comprender el entorno científico en el



que nos desenvolvemos. Se distinguen tres periodos en la cronología histórica de la TMM:

- *Primer Periodo* (Desde la antigüedad hasta finales del S. XIX).- Se dispone de muchos resultados procedentes de observaciones y realizaciones desde las épocas más antiguas. La *Escuela Francesa* de TMM, iniciada por *Monge*, se desarrolla en el sentido de la cinemática pura. *Reuleaux* y *Chebyshev* inician la creación de dos escuelas, *Alemana* y *Rusa*, que son las que prevalecen en el segundo período;
- *Segundo Periodo* (Hasta mediados del S. XX).- Desarrollo de estas dos escuelas. Aportaciones esporádicas, aisladas, de científicos de otros países;
- *Tercer Periodo* (Hasta nuestros días).- Creación de la *Escuela Norteamericana*. Gestación de otras escuelas. Desarrollo de una conciencia de colaboración mundial en este terreno.

La primera constancia escrita de la palabra “*Mecánica de Máquinas*” se remonta a una obra de *Herodoto* (S. V. a.C.).

Los principios de la **Estática** y la **Dinámica** fueron discutidos en los “*Problemas de Máquinas*” por *Aristóteles* (384-322 a.C.). En él define **máquina** o **mecanismo** como un medio para alterar el curso normal de la naturaleza. Este tratado contiene detalladas discusiones acerca de los mecanismos de elevación, del rozamiento incluyendo la diferencia entre rozamiento estático y dinámico, etc.

Herón de Alejandría (284-221 a.C.) escribió un completo tratado mecánico denominado “*Problemas de Máquinas*”, que se conserva gracias a una traducción al árabe. Expone la idea de que toda máquina está formada por un reducido número de elementos simples. Pero el aspecto más destacado de su obra radica en que constituye un estudio sobre la metodología del diseño. Su análisis cinemático y dinámico se basaba en el **Principio de Conservación de la Energía**. Desarrolló un procedimiento de síntesis para determinar el número de poleas necesario para elevar un peso, dada una fuerza.

Arquímedes de Siracusa (287-212 a.C.) fue un gran ingeniero e inventor, destacando sus escritos por su rigor matemático. Probablemente fue el



inventor de la “*Polea compuesta*” y desarrolló una teoría rigurosa de la palanca y de la cinemática del tornillo.

Los romanos aplicaron los conocimientos teóricos desarrollados por los griegos. Destaca *Marco Vitrubio Polio*. La desaparición del Imperio Romano supuso también el fin del desarrollo sistemático de las máquinas y mecanismos en Europa hasta bien entrado el segundo milenio. Durante este largo periodo de tiempo destaca el papel jugado por los *Árabes*, no sólo conservando conocimientos anteriores, sino desarrollando sus propias y substanciales contribuciones. Sus realizaciones mecánicas destacaban por sus altos niveles de automatización y control.

Durante el S. XV destaca la figura de *Leonardo Da Vinci*. Sus trabajos, muy importantes, no tuvieron repercusión en su época, y se han perdido muchos de ellos.

Se puede afirmar que la ciencia en Occidente comienza con *Galileo Galilei* (1564-1642).

Galileo recibió una completa educación en griego, latín y lógica. Estudió las obras de *Euclides* y *Arquímedes* y estaba familiarizado con los trabajos de *Leonardo*. Realizó diversos experimentos sobre la caída de los cuerpos, y sus trabajos sobre el isocronismo del **péndulo** reavivaron el interés por la cinemática y los mecanismos.

En el S. XVIII destacan las figuras de *Watt* (1736 1819) y de *Euler* (1707-1783). *Watt*, en una carta dirigida a su hijo en Noviembre de 1808, describe la metodología a emplear en el diseño de mecanismos de barras capaz de trazar líneas aproximadamente rectas.

Euler dio las ideas fundamentales del **análisis cinemático**, dividiendo la **dinámica** en **cinemática** y **cinética** basándose en la suposición de que deben tratar con **cuerpos rígidos**. Concretamente formuló el problema general del movimiento de un cuerpo rígido girando alrededor de un punto fijo. Estableció por primera vez, la relación entre el par actuante sobre el sólido rígido y los cambios experimentados en su movimiento angular.



Jean Louis Lagrange (1736-1813) formuló el mismo problema de un modo diferente, sentando las bases de lo que luego se denominaría *dinámica de LaGrange*.

Jean Bernouilli (1742) introdujo el concepto de *centro instantáneo de velocidad*.

El ingeniero sueco, *Cristopher Pohlem* (1661-1751) introdujo lo que denominó *Alfabeto Mecánico*, que consistía en una colección de diferentes componentes designados mediante letras del alfabeto. Mediante el alfabeto se facilitaba la síntesis de cualquier mecanismo.

A finales del siglo XIX, *Franz Reuleaux*, profesor de mecánica aplicada en Berlín, recopiló un alfabeto mecánico de 800 modelos.

En París, se funda la *Escuela Francesa* con *Monge* (1746-1818) y *Carnot* (1753-1823), separándose por primera vez el estudio de la cinemática del estudio de la maquinaria. *Monge* es el fundador de la **Geometría Descriptiva**.

Coriolis (1830) investigó los **movimientos relativos** y estableció el problema fundamental del análisis cinemático: determinar el movimiento de una máquina en la cual ciertos elementos de la misma se están moviendo de un modo determinado. Introdujo el concepto de **velocidad y aceleración relativas**.

Robert Willis, profesor en la Universidad de Cambridge, publicó sus notas de clase en el libro "*Principios de los Mecanismos*", publicado en 1841. Clasificó los mecanismos y aplicó métodos matemáticos y trigonométricos a su análisis.

Durante el segundo periodo se produce un desarrollo espectacular de la TMM en las escuelas alemana y rusa. La primera fundada por *Burmester* (1840-1927), y la segunda por *Chebyshev* (1821-1894).

Burmester aborda mediante procedimientos geométricos la *Síntesis dimensional*.



Roberts (1827-1913) trabaja sobre la obtención de leyes para la formación de las **Cadenas cinemáticas** y la obtención de **mecanismos generadores de trayectorias rectilíneas**.

En Rusia, los discípulos de *Chebyshev* aplican nuevas herramientas matemáticas a las *síntesis*. *Bloch* introduce los números complejos en la síntesis cinemática.

Artobolevsky publica su famoso atlas de mecanismos.

Ferdinand Freudenstein (1926-2006) es probablemente la figura más relevante del S. XX en el campo de la cinemática. Su obra destaca sobre todo por la introducción del ordenador a la hora de abordar los problemas de análisis y síntesis cinemática.

En los años 50, la **dinámica de máquinas** y **mecanismos** estaba sumida en un cierto estancamiento. Las realizaciones prácticas en el campo de la dinámica se limitaban a un apartado muy concreto de la misma como era la determinación de las fuerzas actuantes sobre un sistema mecánico cuando el movimiento del mismo es conocido (problema dinámico inverso o cinetostático). En cambio, las realizaciones prácticas en el campo de la **simulación del movimiento** (determinación de las características del movimiento cuando son conocidas las fuerzas externas actuantes sobre el sistema mecánico) se limitaban a la aplicación de **teoremas energéticos** a mecanismos con un solo grado de libertad. Ello aparece reflejado en los libros de texto de la época, entre los cuales se encuentra el debido a *Mabie y Ocvirk* (1957).

Una notable excepción la constituye los trabajos de *Eksergian* (1930). El cual publicó un sofisticado tratado sobre maquinaria empleando los principios de la mecánica analítica. Sin embargo, la ausencia de ordenadores obligó a *Eksergian* a recurrir a **métodos grafo analíticos** que convertían en poco atractivo su planteamiento. A este respecto, indicar que *Burton Paul* se inspira en los planteamientos de *Eksergian* en su conocida obra de 1979.

En la década de los 60 el panorama cambia totalmente con la llegada del **Ordenador**.

4.4. Conceptos Básicos.

4.4.1. Impulsor, Seguidor y Factor de Transmisión.

En esta sección en base a ejemplos, se presentan tres conceptos que se consideran básicos, como son el concepto de **impulsor**, **seguidor** y **factor de transmisión** de un mecanismo. En este sentido se indica que en casi todos los mecanismos suele existir una pieza con la que se da inicio al movimiento y otra encargada de ejecutar la tarea deseada. Tales piezas reciben en ingeniería una variedad de nombres. En este proyecto se adoptan los términos *impulsor* y *seguidor*. Se indica que desde un punto de vista matemático, se pueden considerar como la *variable independiente* y la *variable dependiente* en una función matemática, o en un ordenador, como los *datos de entrada* y los *resultados* o *salida*.

Seguidamente se indica un parámetro esencial en el análisis de muchos mecanismos, es la razón del ángulo girado o distancia recorrida por el seguidor a la correspondiente magnitud del impulsor, a tal cociente le daremos el nombre de **factor de transmisión**. Este concepto engloba y generaliza el más conocido de “*Relación de multiplicación*” (o *desmultiplicación*) comúnmente utilizado al hablar de *trenes de engranajes* o *cajas de cambio*. Se indica que es un número con signo, para tener en cuenta el sentido de la rotación, y que se corresponde también con la “*Relación de velocidades*” relativa a sistema de poleas. Se insiste en que el coeficiente o factor de transmisión constituye una característica geométrica del mecanismo y está determinado por las formas y tamaños de las piezas que lo componen.

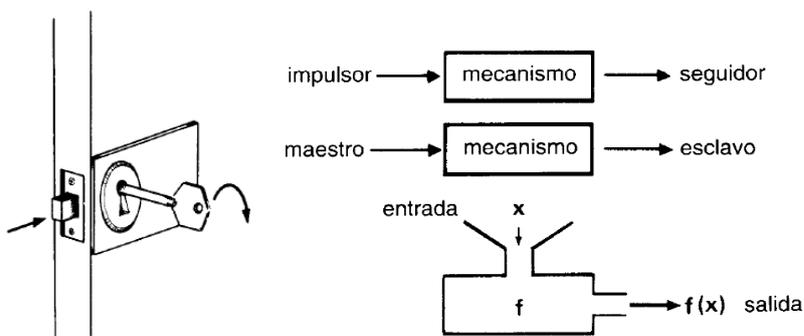


Ilustración 20. Conceptos Impulsor Seguidor.



4.4.2. Máquina, Mecanismo y otros conceptos.

En esta sección se comienza realizando la clásica discusión entre **mecanismo** y **máquina**, que consiste en indicar, que en un mecanismo se suele considerar que su objetivo, es la transmisión del movimiento, mientras en una máquina, es la transmisión de potencia. A continuación se utiliza esta distinción para introducir los conceptos de **cinemática** y **cinética** (o *dinámica*), y como normalmente se asocian los nombres cinemática con mecanismo, y el dinámica con máquina. Se indica que la separación entre el estudio de la **cinemática de mecanismos** y la **dinámica de máquinas**, según *Euler* es posible sólo cuando se estudian los sistemas formados por cuerpos rígidos. Por último se introducen los conceptos **de análisis y síntesis de mecanismos**.

La Ingeniería se basa en las matemáticas, la física y la química. Estas tres ciencias están más o menos relacionadas entre sí, particularmente las dos primeras. **Mecánica** es la rama del análisis científico que se ocupa de los movimientos, el tiempo y las fuerzas, y se divide en dos partes, estática y dinámica. La **estática** trata del análisis de sistemas estacionarios, es decir, de aquellos en que el tiempo no es un factor determinante, y la **dinámica** se refiere a los sistemas que cambian con el tiempo. La dinámica también está constituida por dos disciplinas generales que *Euler* fue el primero en reconocer como entidades separadas, en 1775:

"La investigación del movimiento de un cuerpo rígido se puede separar de manera conveniente en dos partes, una geométrica y la otra mecánica. En la primera de ellas, se debe investigar la transferencia del cuerpo de una posición dada a cualquier otra sin hacer mención de las causas del movimiento, y es preciso representarla mediante fórmulas analíticas, las que definirán la posición de cada punto del cuerpo. Por lo tanto, esta investigación se referirá exclusivamente a la geometría o, más bien, a la estereotomía. Es evidente que mediante la separación de esta parte de la cuestión, de la otra, que pertenece más bien a la Mecánica, la determinación del movimiento basada en principios dinámicos se facilitará de una manera más notable que si ambas partes se consideraran en forma conjunta".



Estos dos aspectos de la dinámica se reconocieron posteriormente como las ciencias diferentes denominadas **cinemática** (del vocablo griego *kinema*, que significa movimiento) y **cinética** que se ocupan, respectivamente, del movimiento y de las fuerzas que lo producen. El problema inicial en el diseño de un sistema mecánico es, por consiguiente, la comprensión de su cinemática. Cinemática es el estudio del movimiento, independientemente de las fuerzas que lo producen. De manera más específica, la cinemática es el estudio de la posición, el desplazamiento, la rotación, la rapidez, la velocidad y la aceleración. El estudio del movimiento planetario u orbital, póngase por caso, constituye también un problema de la cinemática; pero este proyecto se concentrará en los aspectos cinemáticos que surgen en el diseño de sistemas mecánicos. Como consecuencia, la cinemática de las máquinas y los mecanismos es el foco de atención de los siguientes temas. No obstante, la estática y la cinética son también partes vitales de un análisis de diseño completo, y se tratarán también posteriormente.

Es preciso observar con cuidado en la cita anterior, que Euler basó su división de la dinámica en cinemática y cinética basándose en la suposición de que deben tratar con **cuerpos rígidos**. Esta es una suposición de gran importancia que permite que ambos aspectos se traten por separado. En el caso de cuerpos flexibles las formas mismas de los cuerpos y, por ende, sus movimientos, dependen de las fuerzas ejercidas sobre ellos. En tal situación, el estudio de la fuerza y el movimiento se debe realizar en forma simultánea, incrementando notablemente con ello la complejidad del análisis.

Por fortuna, aunque todas las piezas de máquinas reales son flexibles en cierto grado, éstas se diseñan casi siempre con materiales más o menos rígidos y manteniendo en un mínimo sus deformaciones. Por lo tanto, al analizar el funcionamiento cinemático de una máquina es práctica común suponer que las deflexiones son despreciables y que las piezas son rígidas, y luego, una vez que se ha realizado el análisis dinámico, cuando las cargas se conocen, se suele diseñar las piezas de manera que esta suposición se justifique.



La mecánica de máquinas, o teoría de mecanismos y máquinas, o cinemática y dinámica de mecanismos tiene por objeto el estudio de las masas, los movimientos y las fuerzas en las máquinas. Esta materia no incluye el estudio de las fuerzas elásticas y las deformaciones en los componentes de las máquinas, ya que ello corresponde a la resistencia de materiales; tampoco trata de la determinación de las formas y dimensiones de las piezas de las máquinas necesarias para soportar las cargas y transmitir los esfuerzos a que son sometidas, pues esto entra en el campo del cálculo de máquinas.

La **teoría de los mecanismos y las máquinas** es una ciencia aplicada que sirve para comprender las relaciones entre la geometría y los movimientos de las piezas de una máquina o un mecanismo, y las fuerzas que generan tales movimientos.

Una **máquina** es una combinación de cuerpos rígidos o resistentes agrupados y conectados de tal modo que tengan entre sí movimientos relativos determinados y transmitan fuerzas; desde la fuente de energía a la resistencia a vencer. Por tanto, la máquina tiene en sí la doble función de transmitir movimientos relativos determinados y transmitir esfuerzos. Cuando la atención se centra en la primera (supuestas resistencia y rigidez necesarias para transmitir dichos esfuerzos), el término **mecanismo** se aplica a la combinación de cuerpos geométricos que constituyen la máquina o parte de ella. Un mecanismo puede, pues, definirse como la combinación de cuerpos rígidos o resistentes agrupados y conectados de tal modo que tengan entre sí movimientos relativos determinados. La palabra mecanismo usada con más amplio sentido, tal y como se hace a lo largo de este apartado, se aplica preferentemente al estudio de las funciones, las propiedades geométricas y los movimientos relativos de varios mecanismos de uso común.

La **cinemática** de máquinas estudia los movimientos de las piezas de las máquinas sin tener en cuenta cómo influyen los factores (fuerza y masa) que afectan al movimiento. Trata de los conceptos fundamentales de espacio y tiempo y de sus magnitudes derivadas, velocidad y aceleración. La **dinámica** de máquinas se ocupa de las piezas de las máquinas



sometidas a fuerzas, equilibradas o no, teniendo en cuenta sus masas y aceleraciones, así como las fuerzas exteriores.

Existe una analogía directa entre los términos estructura, mecanismo y máquina, y las tres ramas de la mecánica especificadas. El término "*estructura*" es a la estática lo que el término "*mecanismo*" es a la cinemática y el término "*máquina*" es a la cinética.

Si el movimiento de una pieza de máquina es normalmente tal, que todos sus puntos se mantienen en planos paralelos, a este tipo de **movimiento** se le llama **plano**. Un mecanismo en el cual todos sus puntos se mueven en planos paralelos se llama **mecanismo plano**. Los movimientos reales de todos los puntos de un mecanismo de este tipo pueden proyectarse sobre un mismo plano, lo que permite eliminar una dimensión en el análisis del movimiento. El movimiento plano puede a veces, ventajosamente, considerarse como la combinación de dos tipos más sencillos de movimiento: traslación y rotación.

Hay **traslación** de una pieza de una máquina cuando cualquier línea dibujada sobre ella permanece siempre paralela a sí misma durante el movimiento. Hay **rotación** cuando dicha línea no permanece paralela a sí misma o, en otras palabras, la línea cambia de dirección durante el movimiento. El movimiento del órgano motor (impulsor) de las máquinas es corrientemente bien de rotación alrededor de un eje fijo o de traslación, siendo esto aplicable también al órgano final (seguidor) encargado de vencer la resistencia útil.

Un cuerpo que no está unido materialmente a otros, de modo que su trayectoria varía con las fuerzas exteriores que actúan sobre él, se dice que tiene **movimiento libre**. Un cuerpo que está unido materialmente a otro, de modo que su movimiento en relación al otro cuerpo queda determinado independientemente de las fuerzas exteriores que puedan actuar sobre aquel, se dice que tiene **movimiento desmodrómico**. Todas las piezas de las máquinas tienen esta clase de movimiento para su adecuado funcionamiento.



Cuando, partiendo de un conjunto simultáneo de posiciones relativas iniciales, las piezas de una máquina pasan por todas las posiciones que pueden ocupar y vuelven a sus posiciones relativas de partida, se dice que han completado un **ciclo cinemático**. El tiempo invertido en un ciclo se llama **periodo**. Las posiciones relativas simultáneas ocupadas por los elementos de una máquina en un instante cualquiera durante el ciclo constituyen una **fase**.

En la máquina de vapor ordinaria, en muchos motores diésel y en algunos motores de gasolina, el ciclo energético y también el cinemático corresponden a una revolución del cigüeñal (ciclo de dos tiempos). En los motores de gasolina ordinarios, sin embargo (y también en muchos de los diésel), cada ciclo energético requiere dos revoluciones del cigüeñal o cuatro carreras del émbolo. Por lo tanto, por cada ciclo energético del motor, las partes principales (cigüeñal, biela y émbolo) completan dos ciclos cinemáticos. El árbol de levas y las válvulas completan, en cambio, solamente un ciclo cinemático durante este intervalo; así, pues, considerando el motor en conjunto, sus piezas móviles vuelven a sus posiciones relativas iniciales únicamente después de dos revoluciones del cigüeñal o cuatro carreras del émbolo. Por este motivo, los motores de este tipo son conocidos como de ciclo de cuatro tiempos o, simplemente, de cuatro tiempos.

El movimiento de una pieza de una máquina es **continuo** si durante cada ciclo ni se para ni invierte su sentido; **intermitente**, si durante cada ciclo permanece parada un tiempo finito; **y alternativo**, si durante cada ciclo invierte el sentido de su movimiento. El cigüeñal de un motor de gasolina tiene un movimiento continuo; las válvulas, intermitente y alternativo; y el émbolo, puramente alternativo.

La rotación de una pieza puede ser continua, intermitente o alternativa, designándose ésta última, más corrientemente, como oscilatoria. La traslación de un cuerpo, que puede ser rectilínea o curvilínea, también puede ser continua, intermitente o alternativa, con la excepción de que, evidentemente, la traslación rectilínea no puede ser continua. El movimiento de las barras de transmisión que unen las ruedas de una



locomotora que marcha sobre un tramo recto de la vía es un buen ejemplo de traslación curvilínea. Cuando el término traslación se usa sin calificativos se sobreentiende referido a traslación rectilínea.

Si uno de los eslabones de una cadena cinemática desmodrómica se mantiene fijo, el resultado es un **mecanismo**. Si fuera otro el eslabón fijo (de la misma cadena), tendríamos un mecanismo diferente. Evidentemente, puede haber, para una misma cadena, tantos mecanismos diferentes como eslabones tenga la cadena. Puede prestarse a confusión el uso de los términos mecanismo y máquina, ya que ambos designan fundamentalmente una cadena desmodrómica con un eslabón fijo.

La función primordial de un mecanismo es transmitir o modificar movimiento, mientras que la de una máquina es modificar energía y realizar trabajo. Por lo tanto, si la cadena se considera sólo desde el punto de vista del movimiento transmitido o modificado será un mecanismo. En cambio, si se considera como agente modificador de energía o productor de trabajo útil será una máquina.

Hay numerosos instrumentos o aparatos tales como los relojes, máquinas de sumar, máquinas de escribir, etc., que, de acuerdo con las definiciones anteriores, se encuentran, aparentemente, en una zona intermedia entre mecanismo y máquina. Pero deben ser clasificados, propiamente, como mecanismos, ya que la fuerza que manejan es sólo la precisa para producir el movimiento relativo requerido. En otras palabras: el efecto útil es el movimiento de sus piezas y no la realización de trabajo externo. Cuando se analiza una cadena como mecanismo, no es preciso tener en cuenta las formas y proporciones de sus eslabones, salvo en lo que respecta a la situación de sus elementos de enlace. Como máquina, sin embargo, las necesidades de resistencia, rigidez, holguras, etc., obligan a considerar los eslabones en todos sus aspectos.

La principal diferencia entre máquina y estructura consiste en que la primera sirve para modificar y transmitir energía o fuerza y movimiento, mientras que la segunda modifica y transmite solamente fuerza.



4.4.2.1. Cinemática.

La cinemática es el estudio de la posición y de sus derivadas temporales. Específicamente, trata con las posiciones, velocidades y aceleraciones de puntos, y con las posiciones angulares, velocidades angulares, y aceleraciones angulares de cuerpos rígidos. Todas estas entidades juntas son suficientes para describir las posiciones, velocidades y aceleraciones de los cuerpos rígidos. La posición de un cuerpo puede definirse indicando la posición de uno de sus puntos, y la posición angular del cuerpo. En algunas circunstancias, se está interesado no solo en conocer la posición, sino también las derivadas temporales correspondientes.

El campo de la cinemática abarca el estudio de la geometría del movimiento. Esta definición es exacta, ya que cinemática es geometría a la que se le añade el elemento tiempo. Nuestro objetivo en esta parte será presentar técnicas que se pueden utilizar para analizar y diseñar mecanismos, en los que lo más importante es el tipo de movimiento de ciertas partes de los mismos.

4.5. Diseño: análisis y síntesis.

En general, los sistemas mecánicos habría que estudiarlos desde dos puntos de vista. El primero, consistiría en presentar técnicas que nos permitieran determinar las posiciones, velocidades y aceleraciones de ciertos puntos situados en los cuerpos que constituyen el mecanismo, así como las posiciones angulares, velocidades y aceleraciones de dichos puntos. Se trata de las denominadas técnicas de **análisis cinemático**. El segundo, consistiría en presentar métodos que permitiesen la determinación de la geometría de un mecanismo de tal forma que con él pudiésemos producir un conjunto preestablecido de posiciones y/o velocidades o aceleraciones, tanto de ciertos puntos como de los propios cuerpos. Se trata de las denominadas técnicas de **síntesis cinemática**. Nos centraremos fundamentalmente en las primeras, por ser la base sobre las que se construyen las segundas.

La actividad que distingue la ingeniería de la ciencia es precisamente el diseño. La ciencia es el estudio de los ¿Qué es?; mientras que la ingeniería



es la creación de los ¿Qué queremos que sea? La actividad creativa es lo que se denomina diseño, o más comúnmente lo que se denomina síntesis. Las técnicas de síntesis desarrolladas por los cinemáticos ofrecen un camino prácticamente directo para el diseño de mecanismos que pueden automatizarse mediante el uso de estaciones de trabajo (computadoras) dotadas de posibilidades gráficas. Sin embargo, esas técnicas no representan el único modo de llevar a cabo diseño de mecanismos, siendo además relativamente restrictivas: existen únicamente técnicas de síntesis para unos determinados tipos específicos de problemas de diseño mecánico, existiendo muchos problemas de este tipo que no se pueden encuadrar dentro del conjunto de los tipos de soluciones disponibles. Precisamente por ello, una alternativa es utilizar la denominada *síntesis informal*. Esta es la metodología que usan los ingenieros para resolver problemas de diseño en muchas áreas técnicas, no solamente en el diseño de mecanismos. El procedimiento básico es “suponer” un conjunto de dimensiones y utilizar las técnicas de análisis para evaluar el comportamiento del mecanismo. Seguidamente las dimensiones se ajustan con el fin de intentar conseguir la respuesta esperada o planteada “a priori”, y se vuelve a analizar el mecanismo de nuevo. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario hasta conseguir el comportamiento deseado. En este proyecto todo el énfasis se centra en las técnicas de análisis de mecanismos.

Desde un punto de vista de la ingeniería, no es posible tratar el diseño mecánico solamente en términos de la cinemática. El hecho de realizar un análisis de aceleraciones es lo que posibilita el cálculo de las fuerzas de inercia sobre los cuerpos, con lo que se pueden determinar las fuerzas que se transmiten a través de las uniones a lo largo de los cuerpos que constituyen el mecanismo, que permitirían incluso el cálculo de las fuerzas internas o tensiones que aparecen en ellos. Los mecanismos sirven usualmente para conducir cargas, así como para generar movimientos. De hecho, tan pronto como introducimos el concepto de **fuerza**, estamos abandonando el dominio de la cinemática pura, para adentrarnos en el dominio de la **dinámica** o **cinética**.



Además, en la mayoría de los mecanismos las fuerzas más grandes son las fuerzas de inercia motivadas por el movimiento, por ello es conveniente estudiarlos dentro del dominio de las técnicas cinemáticas.

4.6. Pares Cinemáticos (Conexiones/Articulaciones/Uniones).

Los mecanismos son ensamblajes de cuerpos sólidos conectados mediante **uniones** o **articulaciones**. Una unión o **conexión cinemática** está formada por el contacto directo entre ciertas superficies de los dos cuerpos que conecta.

Una de las primeras codificaciones o **estudio sistemático de la cinemática** de los mecanismos fue realizada por el ingeniero alemán REULEAUX (1876), que fue quien ideó y dio nombre a la terminología básica que aún hoy en día se utiliza. Él fue quien asignó el nombre de “**par cinemático**” a una unión o conexión cinemática. Además dividió las uniones en “*pares inferiores*” y “*pares superiores*”. Un **par inferior** es aquel en el que el contacto entre los dos cuerpos rígidos que conecta tiene lugar en todos los puntos de uno o más segmentos de superficie. Un **par superior** Es aquel en el que el contacto tiene lugar únicamente en puntos aislados o a lo largo de segmentos lineales. Además existen los **pares compuestos** como combinación de los anteriores.

Conectividad (Nº de gdl)	Denominaciones	Símbolo literal	Forma típica	Representación esquemática (Diagrama cinemático)
1	Par Giratorio Articulación de pasador	R		
1	Par prismático Deslizadera Par de deslizamiento	P		
1	Par helicoidal Par de tornillo	H		
2	Par cilíndrico	C		
3	Par esférico	S		
3	Par plano	P		

Ilustración 21. Pares Inferiores.

Conectividad (Nº de gdl)	Denominación	Forma típica	Comentarios
1	Rodadura sin deslizamiento Rodadura simple		El rodillo gira alrededor de la línea señalada con la flecha en el instante considerado. El rodillo no desliza sobre la superficie sobre la que gira.
2	Par leva Rodadura con deslizamiento		La leva gira y desliza sobre el seguidor.
3	Bola con rodadura sin deslizamiento		La bola gira pero no desliza.
4	Bola dentro de cilindro		La bola puede girar alrededor de cualquier eje que pase por su centro geométrico, y desliza a lo largo del eje del hueco cilíndrico.
5	Contacto puntual espacial		El cuerpo puede girar alrededor de cualquier eje que pase por el punto de contacto, y deslizar en cualquier dirección en el plano tangente.

Ilustración 22. Pares Superiores.

Conectividad (Nº de gdl)	Denominación	Forma típica
1	Cojinete de bolas Cojinete antifricción Cojinete de contacto por rodadura	
2	Junta Universal Junta Hooke Junta Cardan	
1	Deslizadera de rodillos	

Ilustración 23. Pares Compuestos.



Se dice que los dos mecanismos son **equivalentes cinemáticamente**. Lo cual significa que los movimientos relativos permitidos entre los cuerpos en ambos casos son los mismos, a pesar que el par es físicamente bastante diferente.

La unión de elementos que limita unos movimientos relativos y admite otros. El número de movimientos limitados (condiciones de enlace o restricciones) lineales, a lo largo de un eje coordenado dado, o angulares, en torno a un eje de coordenados dado, lo denominaremos **clase de par** y lo designaremos por cifras romanas. Este significa asimismo el número de fuerzas o momentos que pueden ser transmitidos por el par considerado. La cantidad de movimientos relativos libres recibe el nombre de movilidad del par. La suma de la clase de un par cinemático y de su movilidad es igual a seis.

Llámense **ligaduras** o **restricciones** de un par cinemático a los desplazamientos relativos limitados, efectuados a lo largo de cada uno de los ejes de coordenadas, y a los desplazamientos angulares limitados, efectuados alrededor de cada uno de esos ejes. Un desplazamiento lineal limitado en un par, provoca la existencia de una fuerza de restricción, mientras que un desplazamiento angular limitado, provocará la existencia de un momento de restricción. Por esto asociado al concepto de “restricción” en cinemática, están los conceptos de “fuerza o momento de restricción” en dinámica. El par debe calcularse (determinarse las dimensiones de los cuerpos que lo componen) para que resista esas fuerzas o momentos de restricción que aparecerán.

Para examinar por separado los pares cinemáticos, pongámoslos en la siguiente tabla. Allí, las clases (número de restricciones) se designan por las cifras romanas I, II, III, IV y V, y aparecen en cada una de las filas. Las columnas representan posibles soluciones constructivas, y están numeradas mediante números arábigos, 1, 2, 3, 4, 5. Semejante notación permite localizar fácilmente en la tabla el par cinemático utilizado en el esquema examinado del mecanismo. En la columna del extremo derecho se designa la movilidad del par cinemático, es decir, el número de movimientos lineales y angulares que este permite entre los elementos

que conecta. En general, la suma de la clase de un par y de su movilidad, siempre es igual a seis.

Clase	1	2	3	4	5	Movili- dad	
I		Puntiforme Q_z 	De hilo Q_z 	De cinta Q_z 	(De área) Q_z 	(Lineal) Q_z 	5
II		Lineal Q_z, M_y 	Anular Q_x, Q_z 	(Anular) Q_z, Q_x 	(De banda) Q_z, M_y 	4	
III'		Esférico Q_x, Q_y, Q_z 		(Esférico) Q_x, Q_y, Q_z 	(Helicoidal) $Q_x, Q_z (M_y = f(Q_y))$ 	3	
III''		Plano Q_z, M_x, M_y 	Anular con espiga Q_x, Q_z, M_y 	Q_x, Q_z, M_y 	(Estriado) Q_x, Q_z, M_y 	3	
IV		Cilíndrico Q_x, Q_z, M_x, M_z 	Esférico con espiga Q_x, Q_y, Q_z, M_y 	De cadena Q_x, Q_y, Q_z, M_y 	(Estria con tope) Q_x, Q_y, Q_z, M_y 	2	
V		Giratorio Q_x, Q_y, Q_z, M_x, M_z 	De traslación Q_x, Q_z, M_x, M_y, M_z 	Helicoidal $Q_x, Q_z, M_x, M_z (M_y = f(Q_y))$ 	Espirai $Q_x, Q_z, M_x, M_z (M_y = f(Q_y))$ 	1	

Ilustración 24. Clases de Pares Cinemáticos.

4.7. Movilidad en Mecanismos.

El criterio de movilidad resulta de mucha utilidad para el ingeniero cuando está examinando un sistema mecánico con el que no está familiarizado. Permite un chequeo rápido para determinar si los componentes, pares, y actuadores que se han identificado son consistentes con la función del sistema. Cualquier inconsistencia puede indicar que algunos elementos se han identificado incorrectamente o que existen grados de libertad pasivos.

El número de **grados de libertad** (GDL) de un cuerpo es el número de coordenadas independientes necesarias para especificar de forma única la posición de ese cuerpo respecto a un sistema de referencia dado.

De forma similar, diremos que el mínimo número de coordenadas necesarias para especificar de forma única las posiciones de todos los componentes de un sistema de cuerpos rígidos, será el número de grados de libertad de ese sistema.

Utilizaremos el concepto de número de grados de libertad de tres formas distintas pero muy relacionadas entre ellas. La primera será el número de grados de libertad de un cuerpo con respecto a un sistema de referencia dado, que hemos definido anteriormente. La segunda será el número de grados de libertad de un par cinemático. Y la tercera será el número de grados de libertad de un mecanismo.

Tanto por el hecho que “*número de grados de libertad*” es bastante largo de decir, como por el hecho que estamos utilizando este concepto de tres formas distintas, y con ánimo de clarificar, cuando tengamos que referirnos al número de grados de libertad de un par cinemático utilizaremos la palabra **conectividad**. Adicionalmente, este mismo término lo aplicaremos al número de grados de libertad relativos entre dos cuerpos.

De forma análoga, nos referiremos al número de grados de libertad de un mecanismo utilizando el término **movilidad** de ese mecanismo. Estos términos se pueden definir formalmente de la siguiente forma: (1) Si un *par cinemático* se define entre dos cuerpos que no están conectados a



ningún otro, la *conectividad* de ese par es el número de grados de libertad de movimiento de uno cualquiera de los dos cuerpos conectados con respecto al otro; (2) La *movilidad* de un mecanismo es el mínimo número de coordenadas necesarias para especificar las posiciones de todos los componentes del mecanismo con respecto a un determinado componente del mismo que se ha elegido como el cuerpo base o fijo. La movilidad, o número de grados de libertad de un mecanismo, se utiliza para determinar cuántas variables de par deben especificarse antes de poder localizar o situar todos los puntos de todos los componentes del mecanismo como funciones del tiempo. Un *mecanismo tiene que tener una movilidad de valor uno o superior*. Tradicionalmente, casi todos los mecanismos tenían un grado de libertad. Sin embargo, en la práctica moderna del diseño, han empezado a utilizarse de forma habitual mecanismos con dos o más grados de libertad.

Si la movilidad es cero, o es negativa, tal y como se determinará por las ecuaciones de movilidad más adelante, el ensamblaje es una estructura. Si la movilidad es cero, la estructura se denomina estáticamente determinada. Si la movilidad es negativa, la estructura es estáticamente indeterminada.

4.7.1. Cálculo de la Movilidad en Mecanismos Planos.

Para poder calcular la movilidad, consideraremos en primer lugar el caso plano y a continuación extenderemos el resultado al caso espacial o tridimensional. En el plano, un cuerpo que pueda moverse libremente tiene tres grados de libertad. Se define un mecanismo como plano cuando se da la circunstancia que todos los cuerpos que lo componen se mueven en un plano o en planos paralelos. A partir de esta definición podemos concluir, que la inmensa mayoría de los mecanismos habitualmente utilizados en la práctica son planos, en el sentido anteriormente indicado, de ahí la importancia de estudiar este tipo de mecanismos inicialmente.

Consideremos un mecanismo dado, en el que existen N componentes o cuerpos rígidos, y un número P de pares cinemáticos que los conectan entre ellos. En el plano la movilidad total del mecanismo será:

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

Donde: M=Movilidad, N=número de barras, P=número de pares cinemáticos, $f_i = \begin{cases} 1, & \text{par inferior} \\ 2, & \text{par superior} \end{cases}$. Esta ecuación (Ec.1) recibe el nombre de **criterio de movilidad**. En la literatura relacionada con estos temas es posible encontrar versiones que, aparentemente, son diferentes de la obtenida, todas ellas, sin embargo, son equivalentes entre sí.

4.7.2. Cálculo de la Movilidad en Mecanismos Espaciales.

En el caso espacial, el movimiento en el espacio, cada cuerpo que tiene movimiento libre tiene seis grados de libertad en lugar de tres. Por lo que la ecuación que representa el criterio de movilidad en este caso resulta ser:

$$M = 6 * (N - P - 1) + \sum_{i=1}^P f_i \quad (\text{Ec. 2})$$

Esta ecuación (Ec.2) recibe el nombre de **Criterio de Gruebler de Kutzbach o Chebychef**.

Este último criterio es el que utiliza la aplicación CosmosMotion, integrada en Solidworks, para calcular internamente la movilidad o grados de libertad **GDL (DOF, "Degrees of freedom"** en inglés) de un mecanismo.

4.7.3. Diagramas Cinemáticos. Ejemplos.

Es habitual utilizar un método esquemático para representar en el papel los mecanismos planos, aunque también pueden utilizarse en mecanismos espaciales de una manera más compleja, las representaciones esquemáticas resultantes, se suelen denominar **diagramas cinemáticos** de los mecanismos. Una posible representación podría seguir las siguientes condiciones:

- Los pares giratorios se representan mediante pequeños círculos y una letra R
- Los pares prismáticos se representan mediante un pequeño rectángulo o una T insertada en una U y con una letra P.
- Los cuerpos binarios, que son los que tienen dos uniones o pares activos con otros cuerpos, se representan mediante líneas que unen los dos pares existentes.
- Los cuerpos ternarios, que son aquellos que poseen activas tres uniones o pares con otros cuerpos, se representan mediante triángulos estando situados los pares en sus vértices, y así sucesivamente.
- Se numeran todos los pares y se incluye el tipo de par, los GDL que restringe y los cuerpos que relaciona.

De esta forma, es posible reproducir fácilmente la geometría de un cuerpo, obteniéndose una visualización exacta del mecanismo en una determinada posición. De forma alternativa, es posible utilizar esta representación esquemática de forma conceptual, sin proporcionar dato alguno sobre la geometría exacta del mecanismo, con el fin de indicar la topología del mismo. La topología de un mecanismo es una representación geométrica del mismo en la que se indican exclusivamente las conexiones existentes entre los cuerpos que lo forman, sin importar la forma que cada uno tiene.

La realización de diagramas cinemáticos, se considera un ejercicio aconsejado para comprender mejor el funcionamiento de los mecanismos. A continuación se exponen unos ejemplos con su correspondiente cálculo de la movilidad realizados durante el transcurso de este proyecto.

4.7.3.1. Modelo Isogawa T-0259.



Ilustración 25. Modelo Isogawa Yoshihito T-0259.

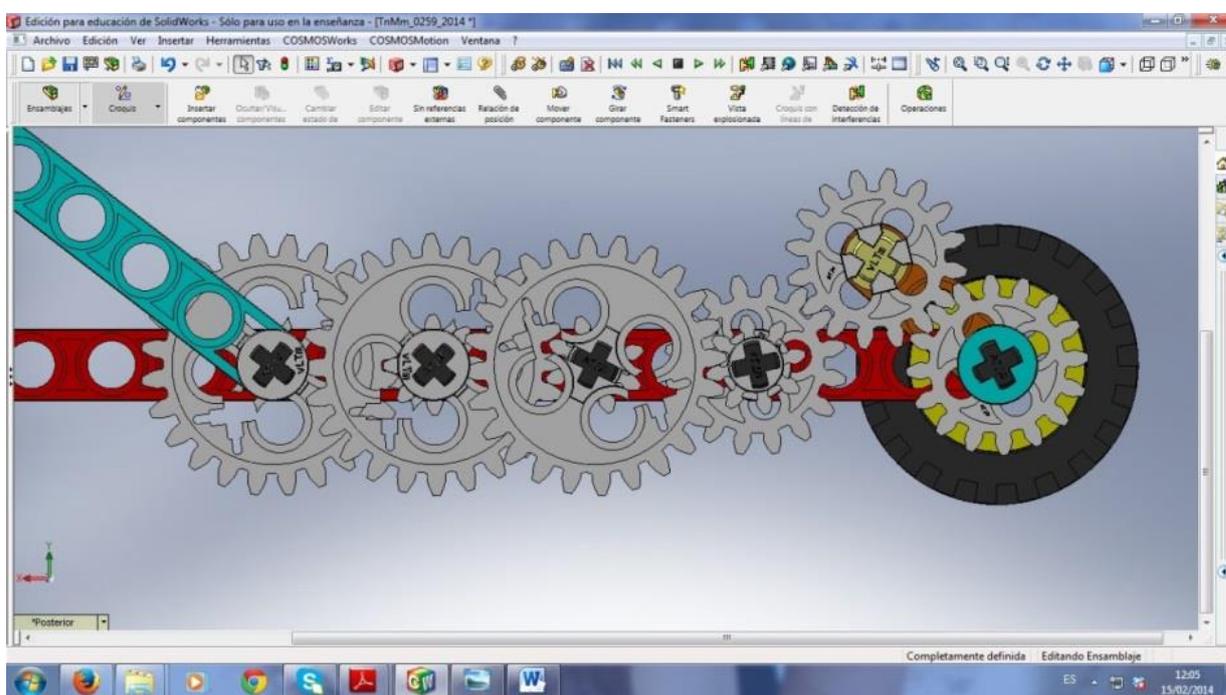


Ilustración 26. Mecanismo Plano Modelo Isogawa Yoshihito T-0259.

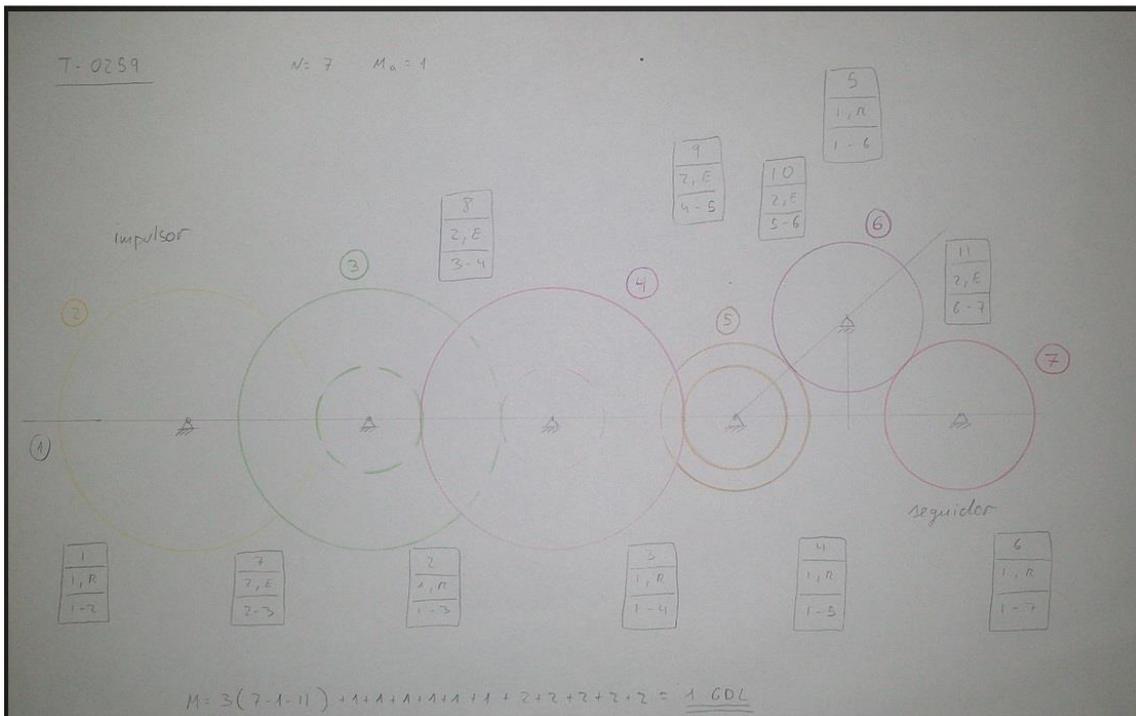


Ilustración 27. Diagrama Cinemático Modelo Isogawa Yoshihito T-0259.

Podemos ver en la ilustración 26 el mecanismo plano a representar y en la ilustración 27 el diagrama cinemático representando, obteniendo una movilidad de $M=1$ GDL, con $N=7$ y $P=11$.

4.7.3.2. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8890-2_2014.

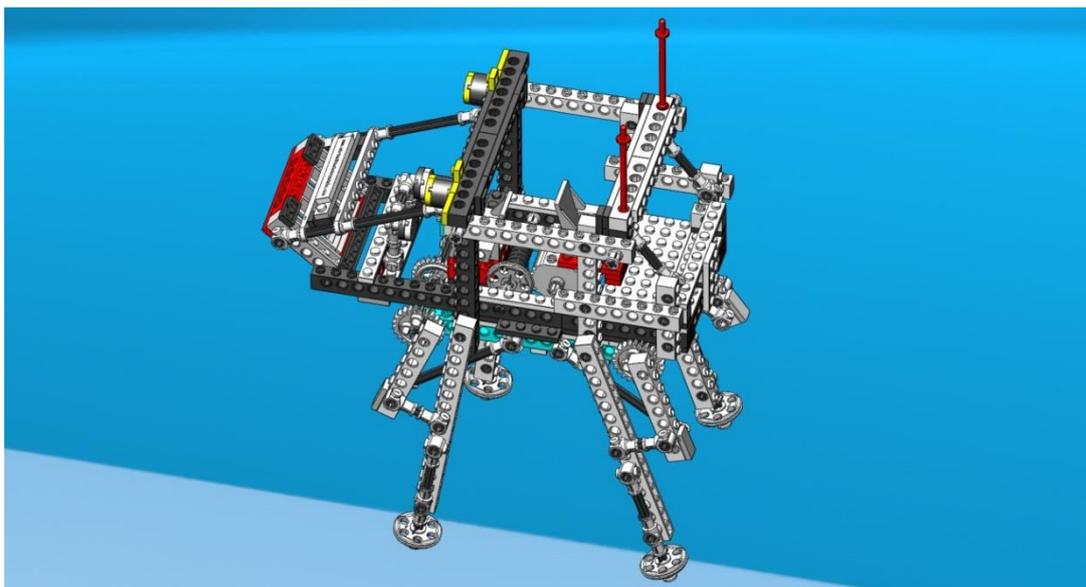
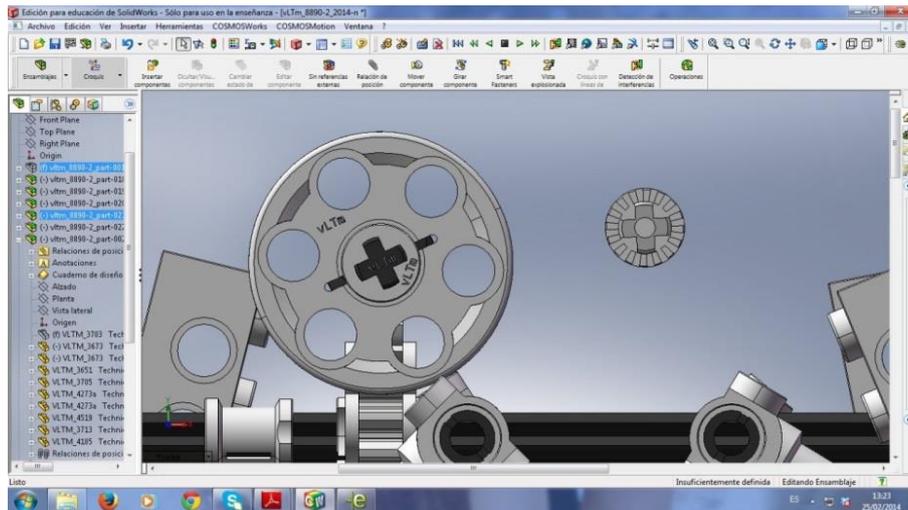
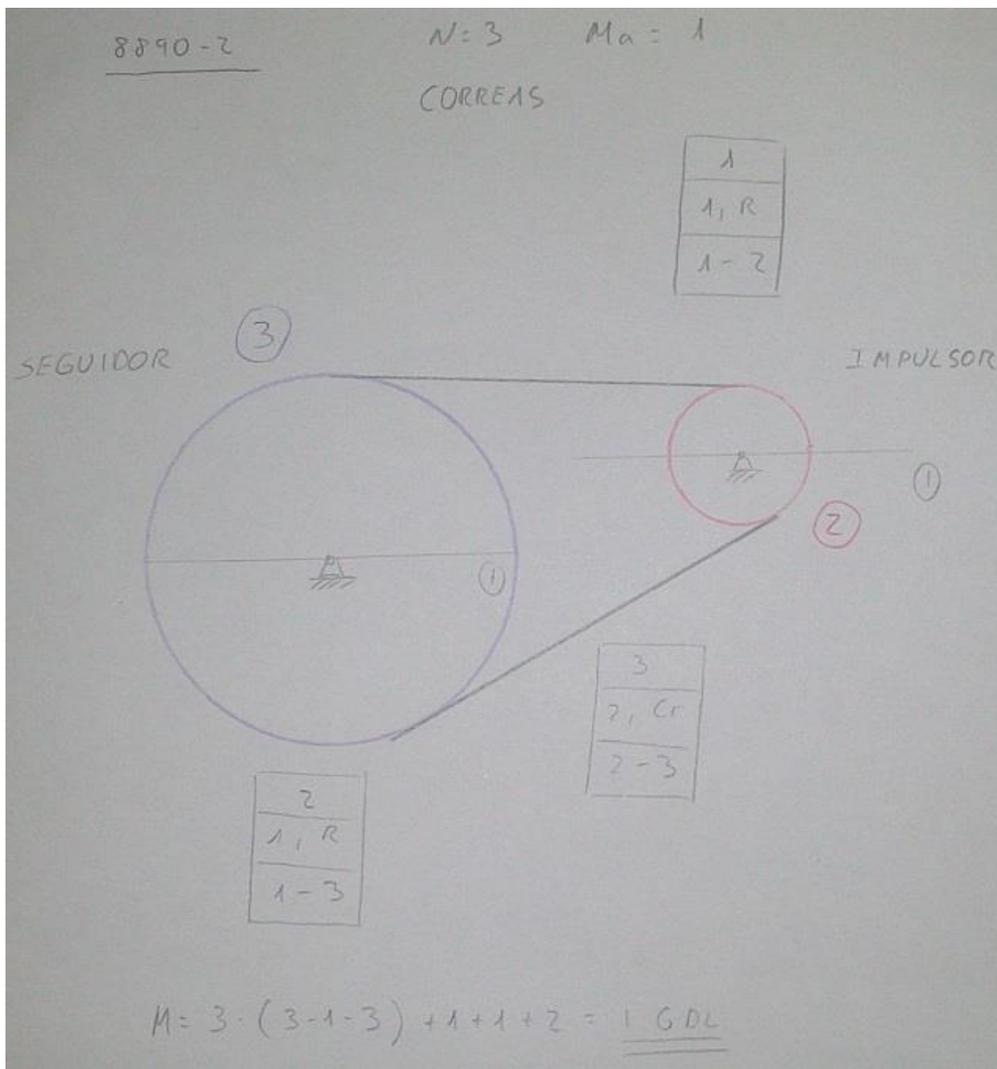


Ilustración 28. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8890-2_2014.



Il·lustració 29. Mecanismo Plano Correa Modelo 8890-2.



Il·lustració 30. Diagrama Cinemàtic Correa Modelo 8890-2.

En la ilustración 29 vemos la transmisión del movimiento, por parte del motor (impulsor), a través de una correa, hacia el seguidor que lo transmite a su vez a las patas del Modelo. En la ilustración 30 vemos el diagrama cinemático representado, obteniendo una movilidad $M=1GDL$, con $N=3$ y $P=3$.

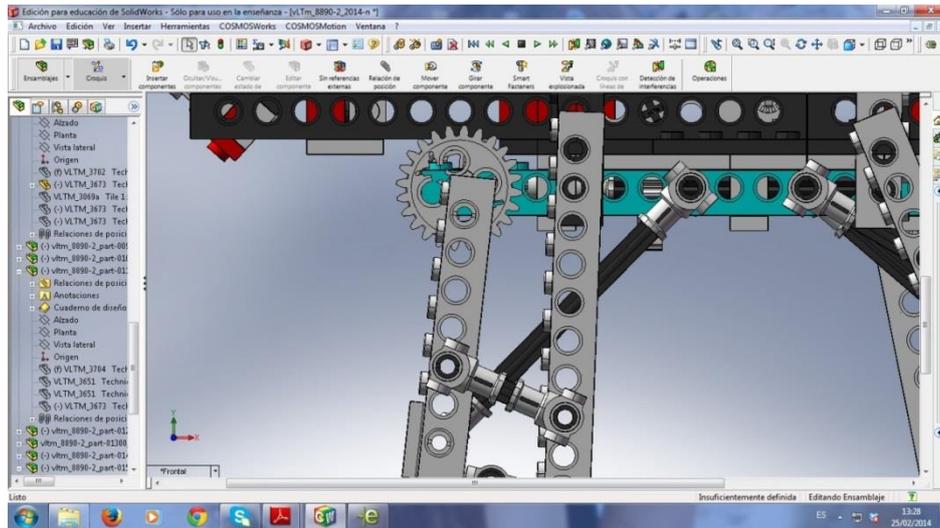


Ilustración 31. Mecanismo Plano Cuadrilátero articulado Modelo 8890-2.

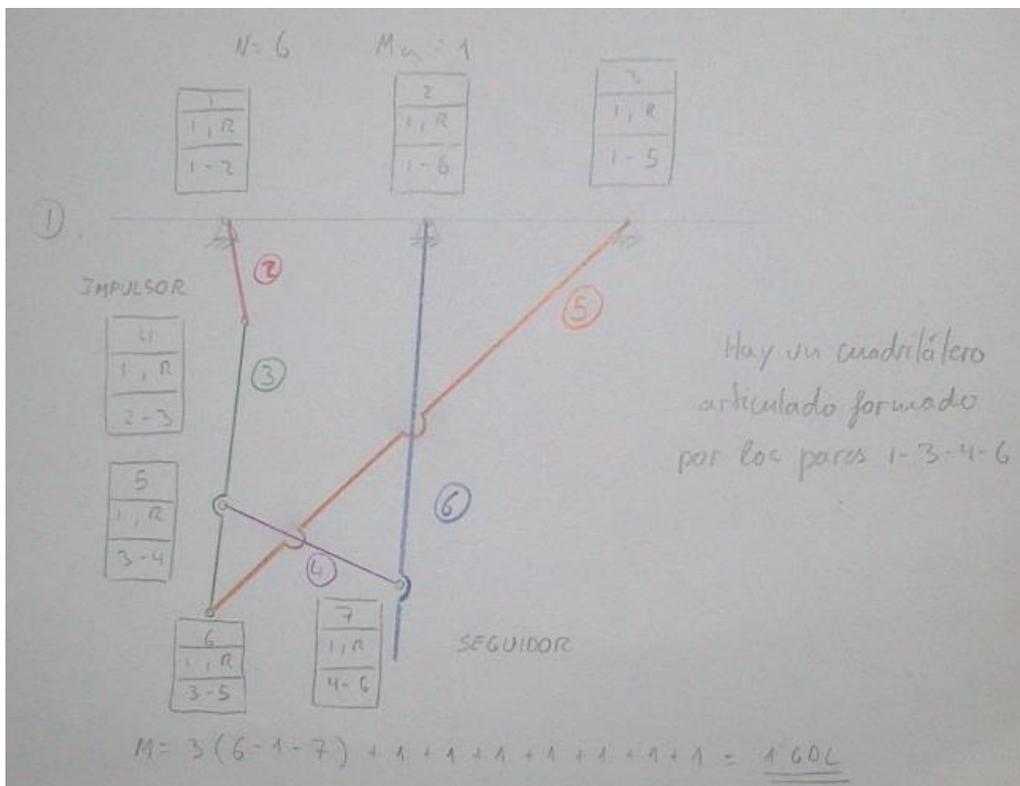


Ilustración 32. Diagrama Cinemático Cuadrilátero articulado Modelo 8890-2.

En la ilustración 31 vemos el mecanismo plano correspondiente a una de las patas, donde observamos un cuadrilátero articulado. En la ilustración 32 está representado su diagrama cinemático, obteniendo una movilidad $M=1GDL$, con $N=6$ y $P=7$.

4.7.3.3. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8421-1_2014.

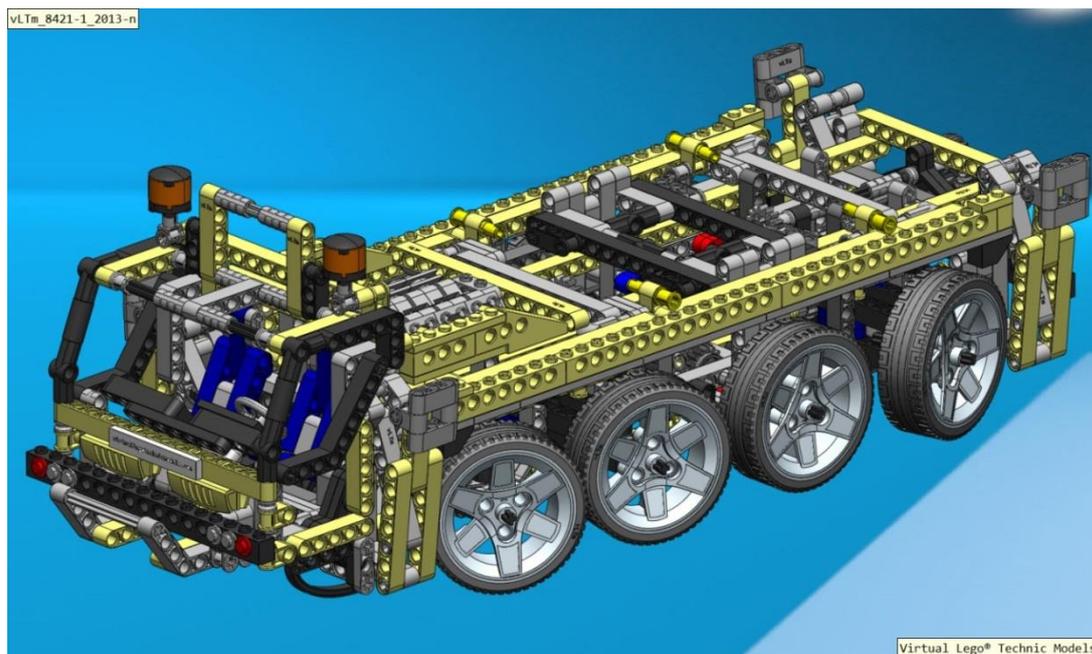


Ilustración 33. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8421-1_2014.

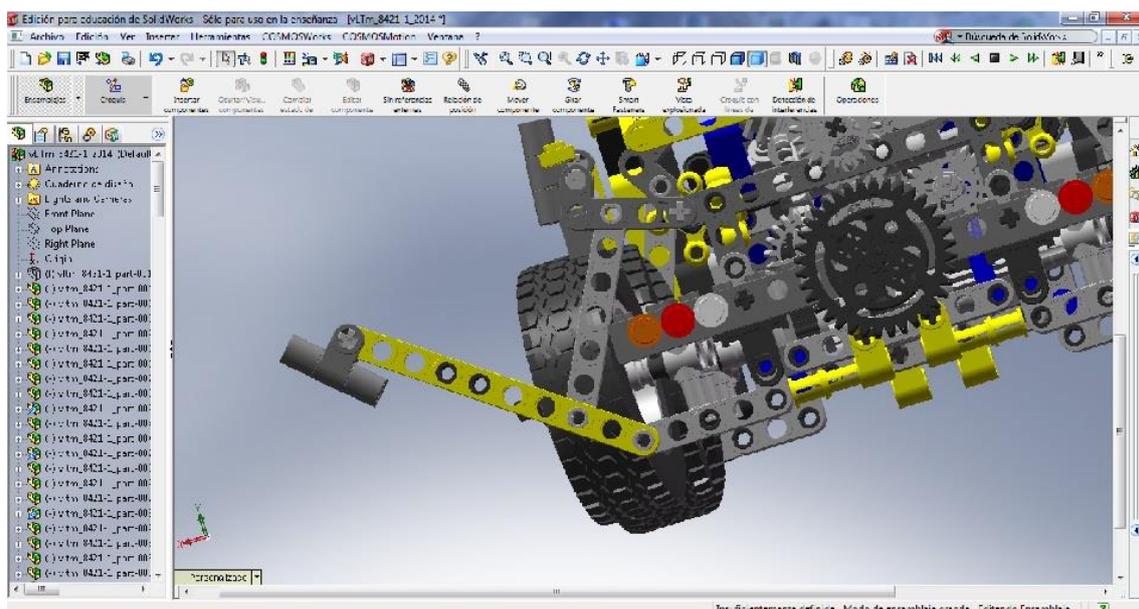


Ilustración 34. Mecanismo Plano de una de las patas de anclaje, representa un cuadrilátero articulado.

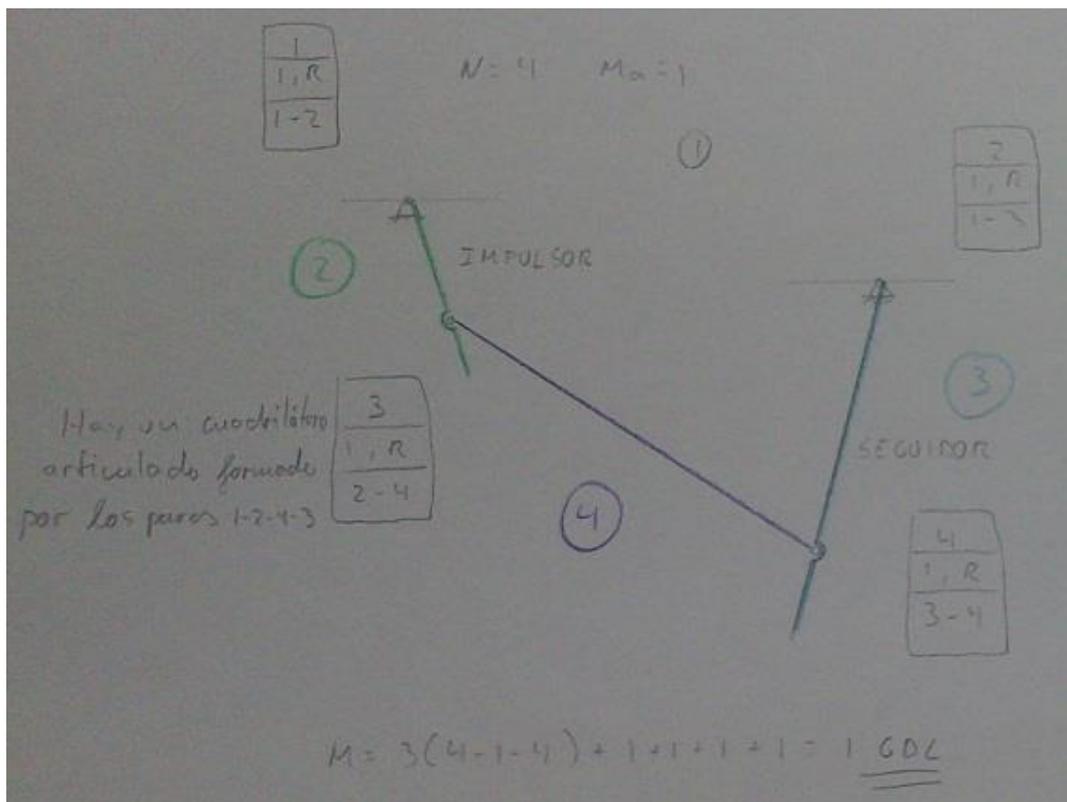


Ilustración 35. Diagrama Cinemático pata de anclaje.

En las ilustraciones 34 y 35 podemos observar el mecanismo plano de una de las patas de anclaje del modelo y la representación de su diagrama cinemático, respectivamente. Se trata de un cuadrilátero articulado donde la barra 2 ejerce de impulsor y la barra 3 es el seguidor. Obtenemos una movilidad $M=1\text{GDL}$, con $N=4$ y $P=4$.

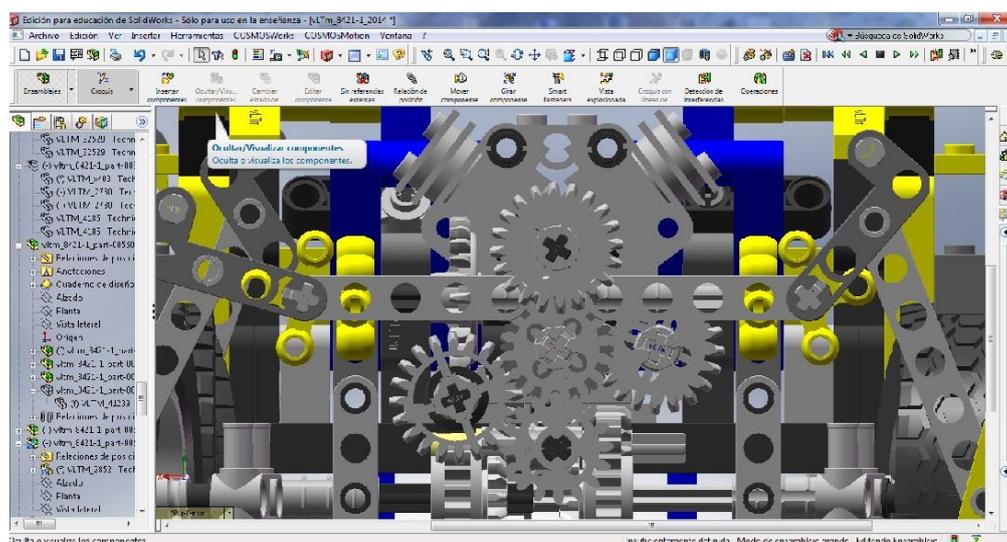


Ilustración 36. Mecanismo Plano Pistón-Biela-Cigüeñal-tren de engranajes.

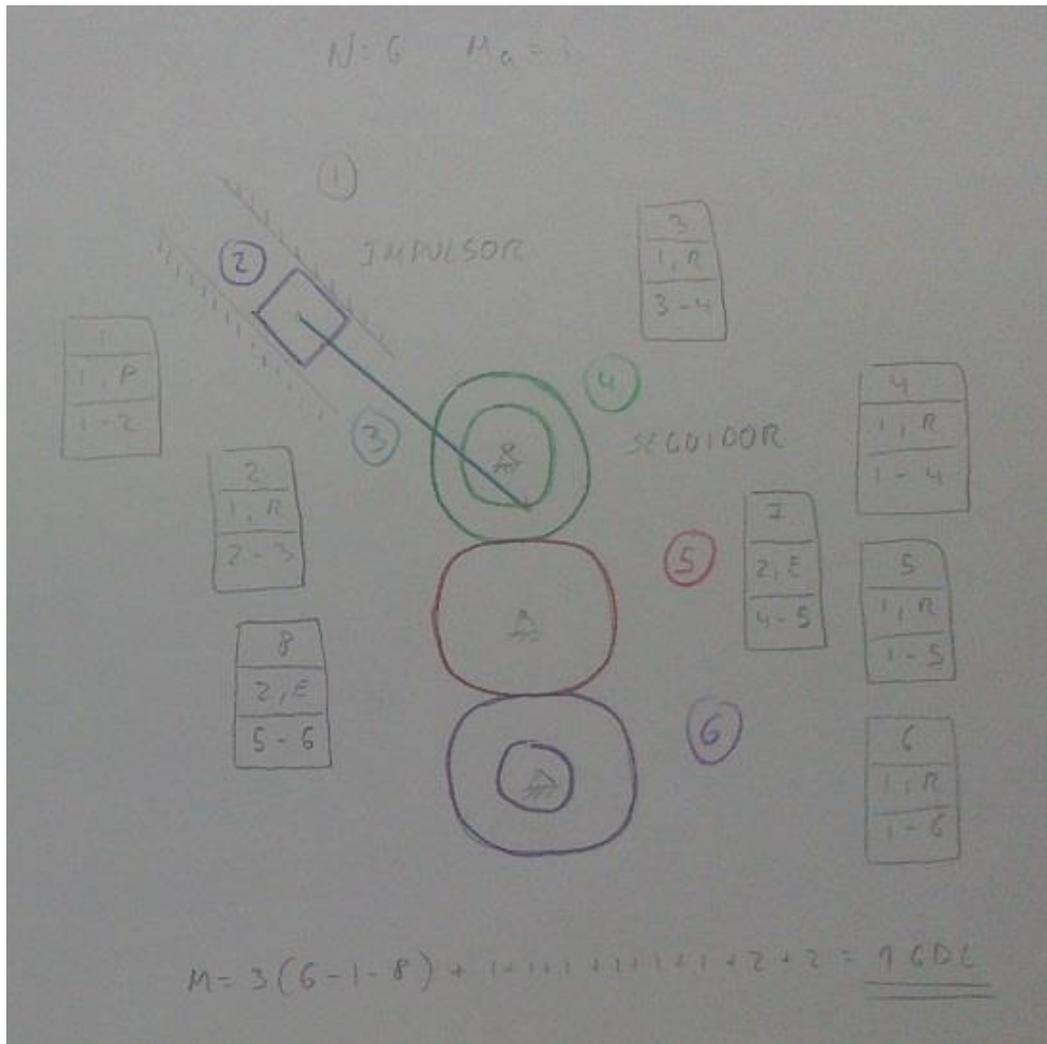


Ilustración 37. Diagrama Cinemático Pistón-Biela-Cigüeñal-tren de engranajes.

En las ilustraciones 36 y 37 observamos el mecanismo plano correspondiente a la secuencia Pistón-Biela-Cigüeñal-tren de engranajes y la representación de su diagrama cinemático, respectivamente. El pistón ejerce de impulsor y el cigüeñal es el seguidor. Observamos una movilidad $M=1\text{GDL}$, con $N=6$ y $P=8$.

4.7.3.4. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8458-2_2014.

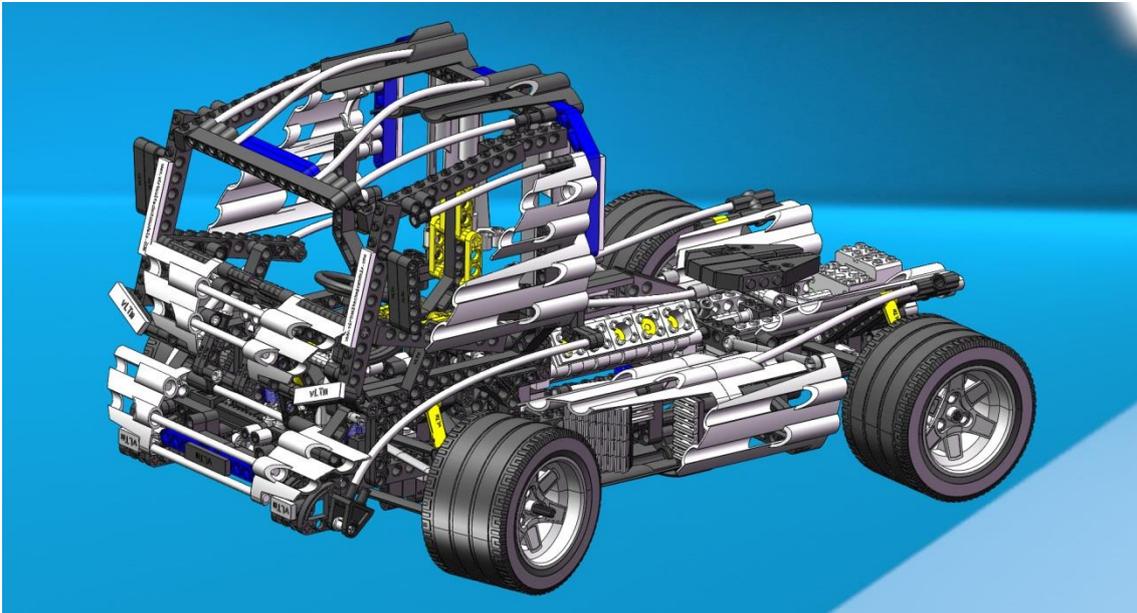


Ilustración 38. Modelo LEGO TECHNIC vLTm_8458-2_2014.

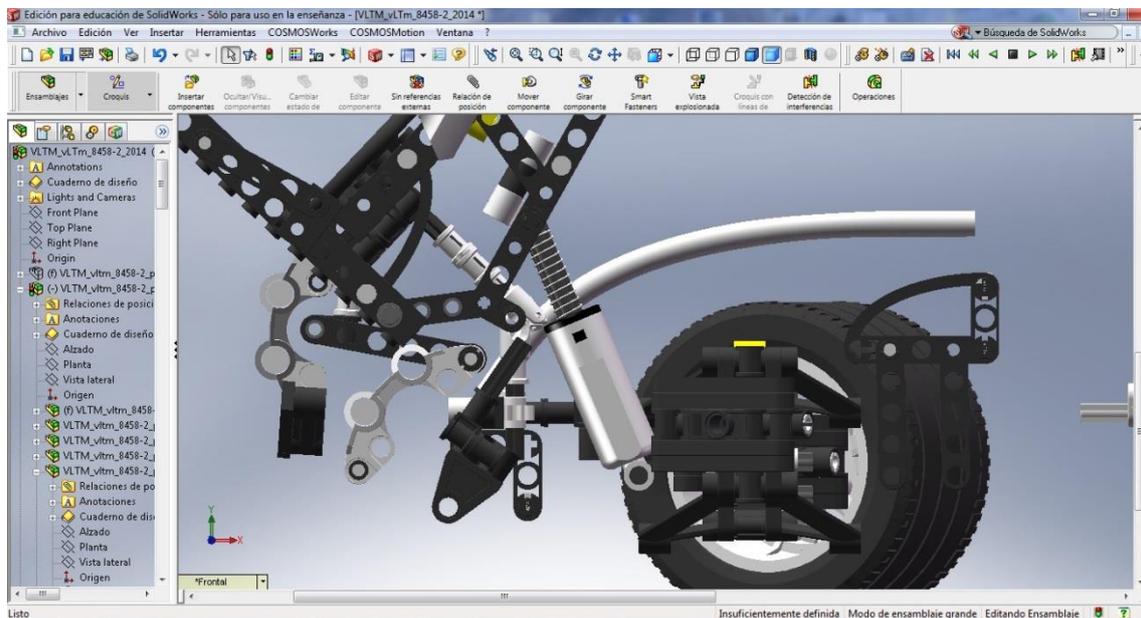


Ilustración 39. Mecanismo Plano Cuadrilátero articulado mecanismo apertura de cabina.

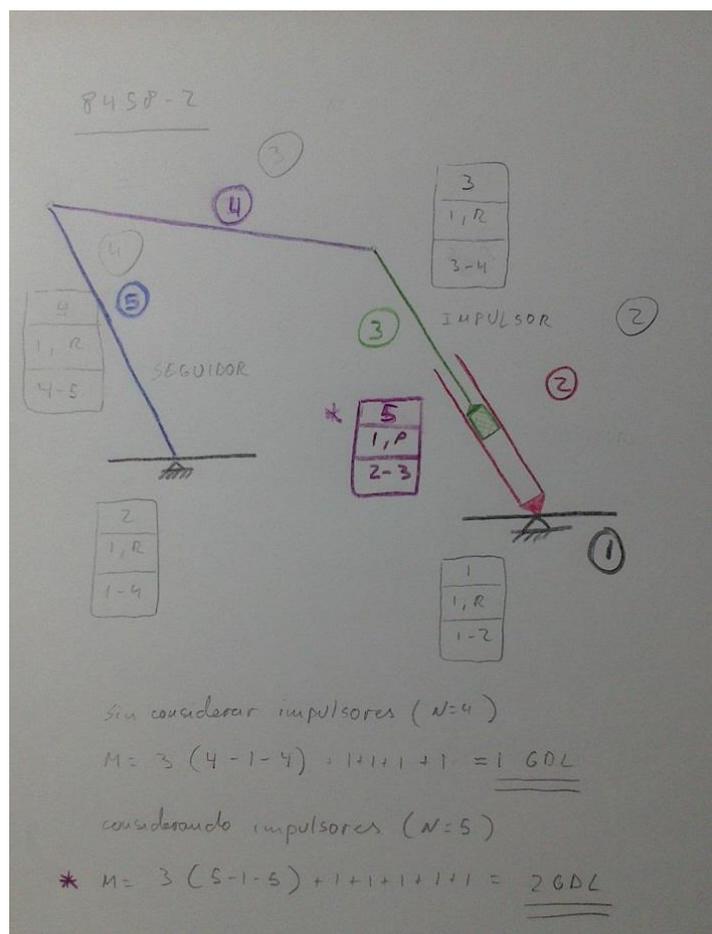


Ilustración 40. Diagrama Cinemático mecanismo apertura de cabina.

En la ilustración 39 vemos el mecanismo plano correspondiente al mecanismo de apertura de la cabina del modelo. Dicho mecanismo está impulsado por un cilindro hidráulico (barra 3) la barra 5 es el seguidor. En este caso la movilidad puede calcularse de dos formas:

- Sin considerar el cilindro hidráulico (a lápiz): La barra 2 es el impulsor y la barra 4 el seguidor. $M=1\text{GDL}$, con $N=4$ y $P=4$.
- Considerando el cilindro hidráulico (a color): La barra 3 (verde) actúa como impulsora (actuador), y la barra 5 (azul oscuro) es el seguidor. La barra 5 en este caso, coincide con la barra 4 del caso anterior. $M=2\text{GDL}$ (el giro alrededor del eje perpendicular al plano del papel y el desplazamiento correspondiente al par prismático que el impulsor forma con el cilindro, que es la barra 2 en color rojo), con $N=5$ y $P=5$.



4.8. Mecanismos auto-alineadores.

Si hubiese que indicar un concepto mecánico que representara el sentido docente de lo que se pretende desarrollar en este proyecto, este sería el de **“Mecanismo Auto-alineador”**. Veamos brevemente como se explica en base a algunos párrafos del libro que lo presentó, estando desarrollados los detalles en las siguientes secciones.

La teoría de mecanismos y máquinas es la ciencia que estudia los pares cinemáticos (articulaciones) de los mecanismos. Debe proporcionar recomendaciones acerca de los tipos de pares cinemáticos y su empleo. Uno de los autores que más han contribuido a esta tarea fue el Profesor *L. Reshetov*, con su libro titulado *“Mecanismos Auto-alineadores”*. Una de las conclusiones de este trabajo es que para conseguir una mejora esencial en el funcionamiento del mecanismo, este último debía estar determinado estáticamente, o como el propio autor indica: *“ser auto-alineador”* o *“auto-alineado”*. En su libro desarrolla una teoría y la aplica sobre ejemplos, con el fin de mostrar a los diseñadores e ingenieros cómo conseguir que los mecanismos que tengan que utilizar sean auto-alineadores.

Para facilitar el montaje de los mecanismos, es conveniente que se elija un esquema tal que el hecho, que las dimensiones de los distintos componentes no sean las teóricas, no suponga problema alguno. Es decir, lo más conveniente es emplear mecanismos estáticamente determinados, esto es, sin restricciones excesivas (pasivas), a los que llamaremos mecanismos auto-alineadores.

Las dimensiones de los componentes de un mecanismo pueden variar también durante el servicio de las máquinas, lo cual puede suceder a consecuencia del hundimiento de la cimentación, el desgaste y la regulación del *“juego”* en los pares cinemáticos, las deformaciones elásticas, la dilatación térmica, así como a causa de los errores cometidos durante la reparación y el montaje. Un mecanismo estáticamente determinado no está sujeto a la variación de las dimensiones de sus elementos. Por lo tanto, la determinación estática de un mecanismo no



solo resuelve el problema de reducir el gasto de montaje, sino que también resuelve al mismo tiempo el problema de elevar su fiabilidad en servicio.

En una palabra, según el libro del Profesor Reshetov, la existencia de restricciones excesivas en un mecanismo es un factor perjudicial. Por ello este proyecto lo que persigue es disponer de un conjunto de mecanismos manejables tanto físicamente como en el ordenador (virtualmente), con los que poder practicar la creación de **Modelos Cinemáticos Auto-alineadores**, es decir, sin restricciones en exceso. Para ello es imprescindible tener un modelo virtual (en este caso en la aplicación SolidWorks, aunque es extensible a cualquier otra como sería por ejemplo SolidEdge, Catia, etc.) con el que se pueda definir y comprobar el modelo cinemático auto-alineador mediante la aplicación integrada Cosmos Motion.

4.9. Modelo Auto-alineador en SolidWorks. Aplicación COSMOS Motion.

4.9.1. Presentación de COSMOS Motion.

COSMOSMotion es una aplicación integrada en SolidWorks que se obtiene de manera opcional y con MSC.ADAMS como motor. Esta aplicación permite simular y evaluar sistemas mecánicos, saber si funcionarán correctamente antes de ser construidos y obtener mucha información de ellos, como desplazamientos, velocidades, aceleraciones, fuerzas, cargas...

El estar integrado en SolidWorks concede la facilidad de poder realizar una evaluación mecánica en el mismo entorno en el que se ha diseñado y con el que ya se está familiarizado. Además, evita la difícil y tediosa tarea del intercambio de archivos entre diferentes aplicaciones. Con todo ello es posible realizar con mucha mayor rapidez el proceso iterativo de diseñar-simular (comprobar)-rediseñar hasta dar con el mejor resultado.

4.9.2. Entorno.

Como se comentaba anteriormente, COSMOSMotion comparte entorno con SolidWorks. Esto resulta una ventaja puesto que no es necesario aprender un nuevo entorno y dinámica de trabajo.

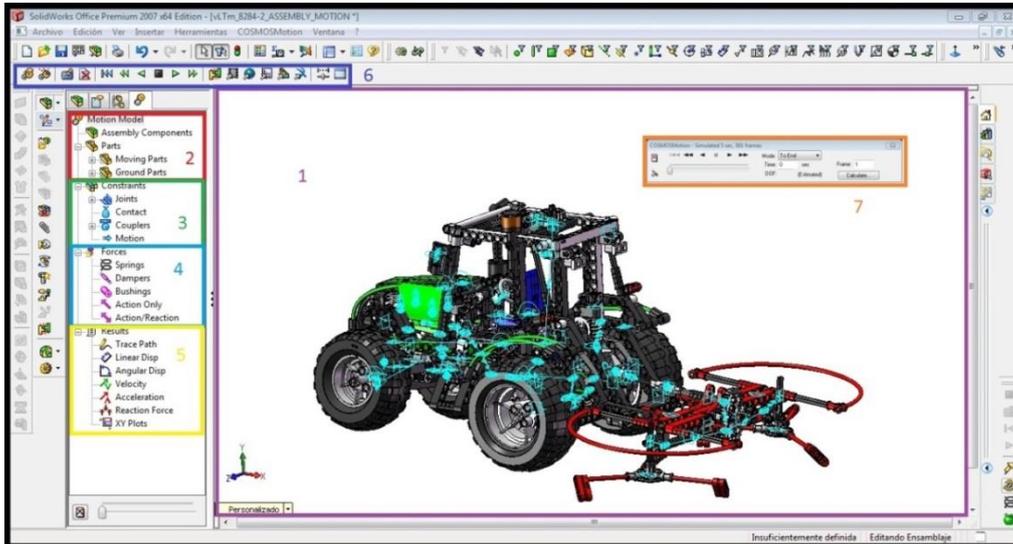


Ilustración 41. Entorno de Trabajo de CosmosMotion en SolidWorks.

Distinguimos la ventana de visualización del modelo (1) en la cual se puede observar además del modelo virtual creado anteriormente, los pares cinemáticos que se crean hasta obtener el modelo cinemático alineador.

A la izquierda de la pantalla encontramos la información relativa al modelo en la que podemos diferenciar:

- (2) Piezas del modelo. Fija y móviles.
- (3) Pares cinemáticos. Engranajes. Contactos y Movimientos.
- (4) Fuerzas. Muelles. Amortiguadores. Cojinetes.
- (5) (Amarillo) Resultados. Gráficos. Recorridos. Velocidades. Aceleraciones. Fuerzas de reacción.
- (6) Herramientas de simulación y control de la animación.
- (7) Panel de simulación. Cálculo de GDL y control de la animación.

4.9.3. “Piezas” del mecanismo.

Las piezas son los componentes del mecanismo que no tienen movimiento relativo. Cada una de ellas representa un cuerpo rígido en el espacio. Estas pueden ser definidas como piezas fijas (0 GDL) o partes móviles (6 GDL). Los pares cinemáticos entre las diferentes piezas determinan el movimiento relativo entre ellas. Cada tipo de par elimina un determinado número de GDL como se mostrará más adelante o todos los GDL de una pieza utilizando el par fijo.

La **pieza fija (Tierra/Ground)** es una solamente, aunque se pueden unir rígidamente a ella otras como si de un único cuerpo se tratase. Respecto este cuerpo fijo se moverán las diferentes **piezas móviles**.

Mediante la combinación de los diferentes pares, definiremos el movimiento del modelo. Es importante combinarlos de la manera correcta –no única- para conseguir el modelo auto-alineador y el movimiento deseado a la vez que se tiene en cuenta donde obtendremos las fuerzas de reacción de los pares cinemáticos.

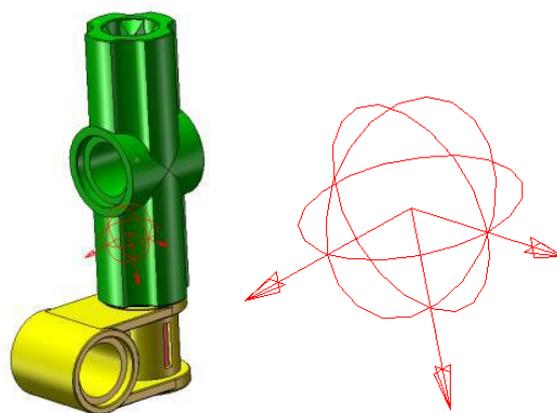


Ilustración 42. De izq. a dcha. Visualización de una Pieza y detalle del Símbolo que la representa en CosmosMotion.

4.9.4. Pares Cinemáticos.

Con las diferentes restricciones definimos el movimiento de los mecanismos. Las restricciones especifican cómo están conectados los cuerpos rígidos y cómo es su movimiento relativo. Además su localización es de vital importancia cuando se quieren evaluar las fuerzas de reacción, por ello, es importante que se preste especial atención a este asunto.

Por defecto las restricciones en COSMOSMotion están idealizadas, es decir, tienen rigidez infinita, no tienen masa ni rozamiento, aunque esto puede ser modificado.

Las uniones/articulaciones/juntas, en el programa -puesto que en este caso se encuentra en inglés- Joints. Son utilizados para restringir el movimiento relativo entre dos piezas mediante una conexión física. A continuación se puede observar en la tabla los diferentes tipos de "Joints" y el número de GDL que restringe en esta aplicación.

Par Cinemático:	Traslacional GDL:	Rotacional GDL:	Total GDL Restringidos:
Revolución	3	2	5
Traslacional	2	3	5
Cilíndrico	2	2	4
Esférico	3	0	3
Universal	3	1	4
Tornillo	.5	.5	1
Planar	1	2	3
Fijo	3	3	6

Tabla 1. Grados de Libertad Restringidos por cada uno de los Pares Cinemáticos en CosmosMotion. Fuente "Ayuda de CosmosMotion".

4.9.4.1. Revolución.

El **par de revolución** permite la rotación de un cuerpo rígido respecto a otro alrededor de un eje común. El origen puede situarse en cualquier punto a lo largo de dicho eje. La orientación del par define la dirección del eje alrededor del cual se produce el movimiento de giro.

```

Gruebler Count (approximate DOF):
1 moving parts           6 DOF
1 revolute joint(s)      -5 DOF
-----
Total (estimated) DOF = 1
Total (actual) DOF = 1
Total number of redundant constraints = 0
    
```

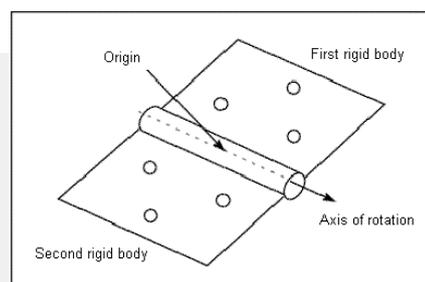


Ilustración 43. Análisis de la Movilidad de un par de Revolución en ComosMotion.

Para definir el par deberemos especificar los dos cuerpos, el origen y la orientación. En la imagen se puede observar un ejemplo de utilización de par de Revolución que permite el libre giro de rotación del piñón de un motor respecto de su cuerpo portante. Para su creación, por lo general, se seguirán los siguientes pasos:

- Seleccionar el primer cuerpo (el orden de selección carece de importancia). Seleccionamos con el cursor la arista que se puede ver de color verde en la imagen. Automáticamente el origen se posicionará en el centro de dicha arista y la dirección perpendicular al plano delimitado por la circunferencia de dicha arista.
- Para seleccionar el segundo componente del par basta con pulsar en cualquier punto de éste.
- Aunque el programa ya haya determinado el origen y la dirección, éstos pueden ser modificados según se considere oportuno.

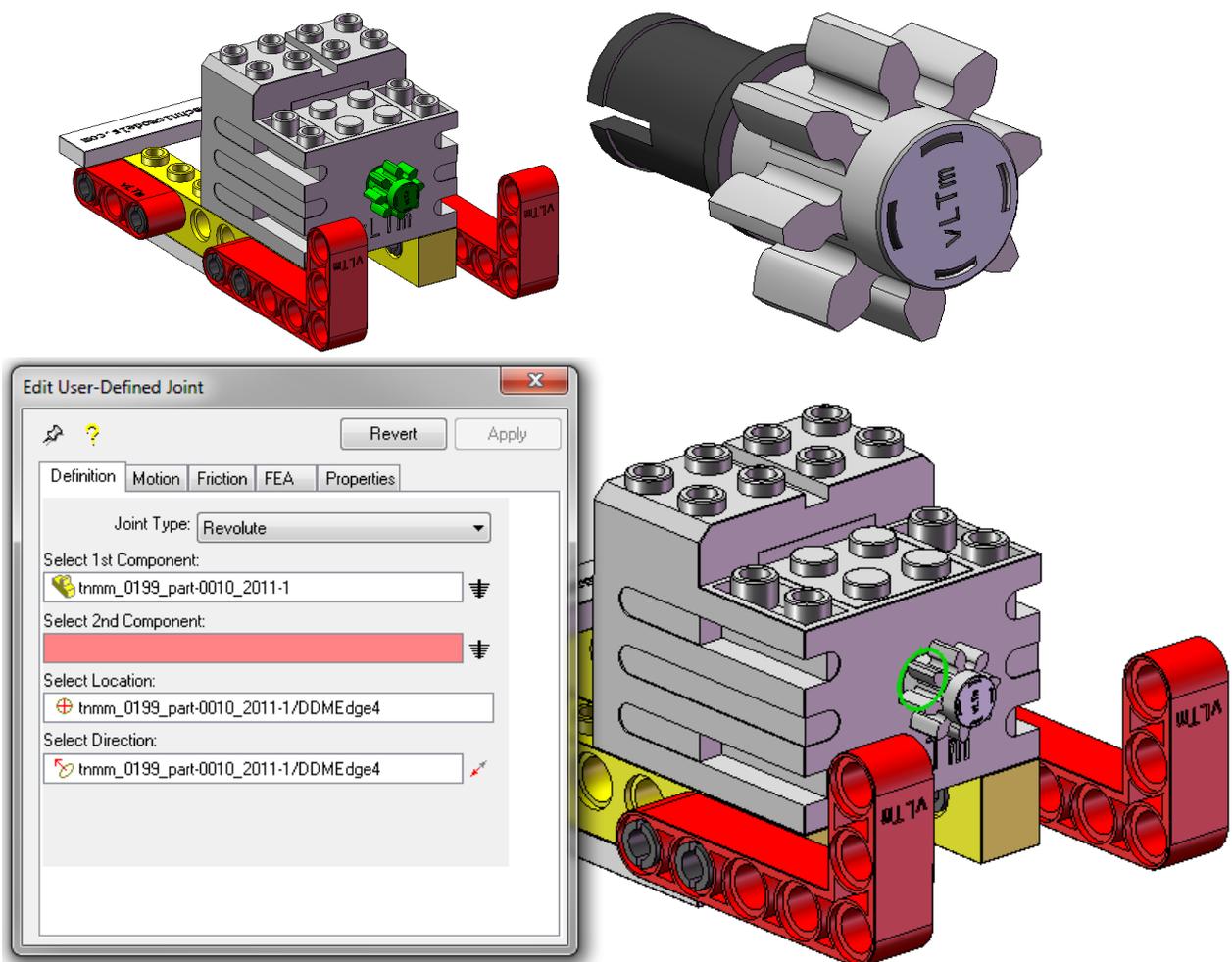


Ilustración 44. Proceso de creación de un par de Revolución en ComosMotion.

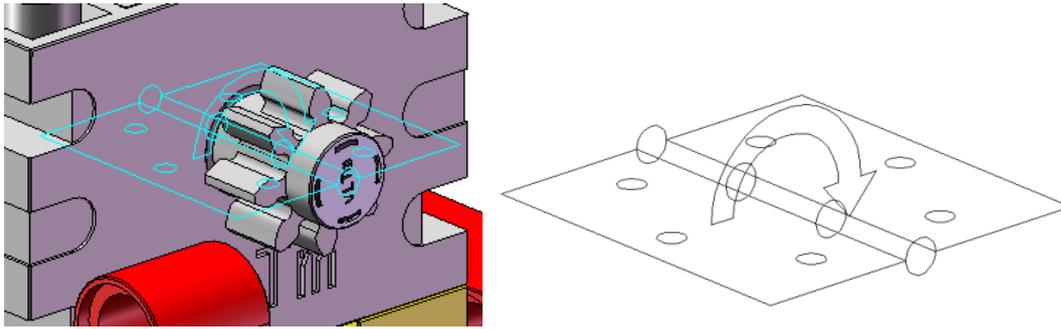


Ilustración 45. Simbología del Par de Revolución en CosmosMotion.

4.9.4.2. Traslacional.

El **par de traslación** permite a un cuerpo rígido desplazarse, a lo largo de la dirección de un vector, respecto otro cuerpo, no pudiendo rotar uno respecto del otro. La orientación del par determinará el eje de movimiento. El origen del par no afectará al movimiento pero sí a las fuerzas de reacción que en este se produzcan.

Gruebler Count (approximate DOF):	
1 moving parts	6 DOF
1 translational joint(s)	-5 DOF

Total (estimated) DOF = 1	
Total (actual) DOF = 1	
Total number of redundant constraints = 0	

Ilustración 46. Análisis de la Movilidad de un par de Traslación en ComosMotion.

Para definir el par de traslación es necesario indicar, del mismo modo que anteriormente, lo a continuación expuesto. Lo vemos con un ejemplo en el mecanismo de extensión de una grúa:

- Primer cuerpo. Al seleccionarlo, automáticamente se fijará el origen y la dirección, por ejemplo si seleccionamos una cara o arista de uno de los cuerpos, el origen será el centro de ésta y la dirección perpendicular a dicha cara. En cualquier caso pueden ser modificados más tarde.
- Para seleccionar el segundo cuerpo basta con situar el cursor sobre cualquier punto de éste y pulsar.

- Por último comprobamos el origen y la dirección. El origen es importante para obtener las fuerzas de reacción en el lugar correspondiente. El vector de dirección determinará el sentido del movimiento.

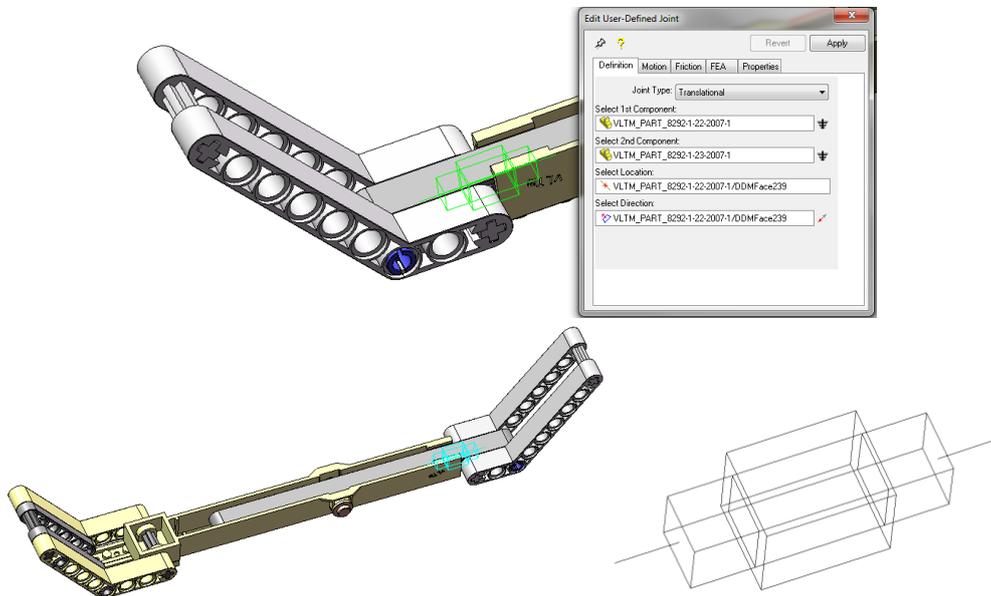


Ilustración 47. Proceso de creación de un par de Traslación y Simbología en ComosMotion.

4.9.4.3. Cilíndrico.

El **par cilíndrico** es una mezcla de los dos anteriores, permitiendo el movimiento de rotación y de traslación de un cuerpo respecto de otro alrededor y a lo largo del mismo eje respectivamente.

Gruebler Count (approximate DOF):	
1 moving parts	6 DOF
1 cylindrical joint(s)	-4 DOF

Total (estimated) DOF = 2	
Total (actual) DOF = 2	
Total number of redundant constraints = 0	

Ilustración 48. Análisis de la Movilidad de un par Cilíndrico en ComosMotion.

En este caso que se muestra como ejemplo, seguiremos el mismo proceso que en el caso del par cinemático de revolución. Del mismo modo, en este caso, al seleccionar la arista circular de uno de los extremos del cuerpo verde, el origen se sitúa en el centro de éste, sin embargo queremos situarlo en el punto medio del orificio cilíndrico del cuerpo verde indicado en la imagen. Para ello es necesario insertar dicho punto previamente en la pieza en cuestión.

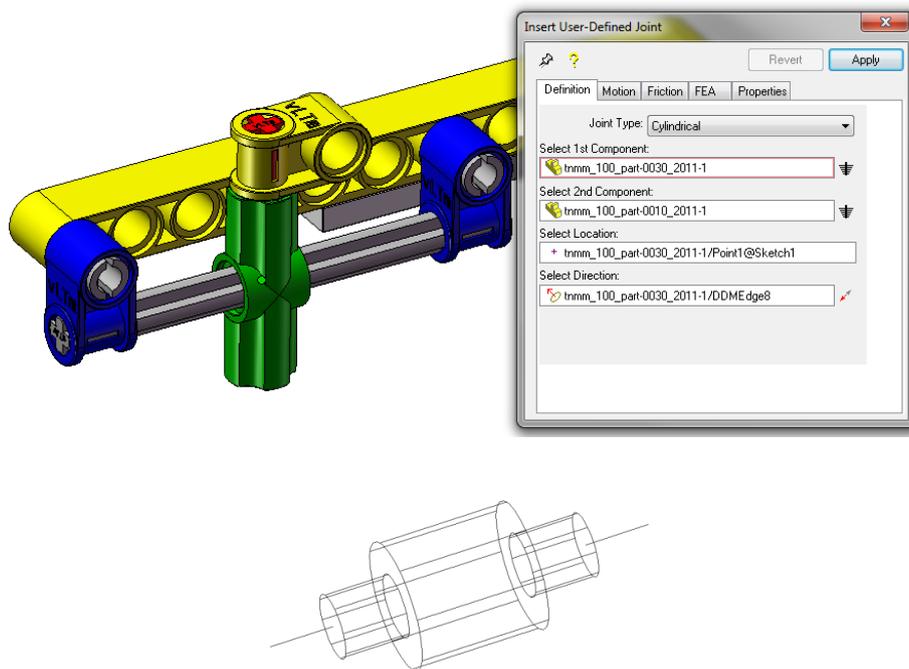


Ilustración 49. Proceso de creación de un Par Cilíndrico y Simbología en CosmosMotion.

4.9.4.4. Esférico.

El **enlace esférico** permite la rotación entorno un punto común, de un cuerpo respecto de otro, es decir, restringe la traslación relativa de ambos cuerpos afectados y permite el libre giro (3GDL). El origen del par determina el punto en el cual los cuerpos pueden pivotar.

Gruebler Count (approximate DOF):	
1 moving parts	6 DOF
1 spherical joint(s)	-3 DOF

Total (estimated) DOF = 3	
Total (actual) DOF = 3	
Total number of redundant constraints = 0	

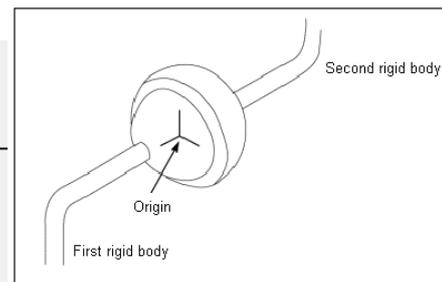


Ilustración 50. Análisis de la Movilidad de un par de Esférico en ComosMotion.

En el ejemplo de las imágenes, la biela se ha determinado como cuerpo fijo, y se quiere insertar un par esférico entre ésta y el pistón que irá situado en el centro de la esfera (punto de rotación). El orden de selección será el siguiente:

- El primer paso es seleccionar el primer elemento, pulsaremos con el cursor sobre la esfera de la biela, automáticamente el origen del par se situará en el centro de la esfera, tal y como queríamos. Sin embargo si el origen deducido por el programa no es el deseado puede ser modificado posteriormente.
- A continuación seleccionamos el segundo cuerpo, en este caso el pistón. La dirección será determinada automáticamente, en este caso no la modificaremos puesto que en este tipo de par con 3 GDL de rotación la dirección no supone un factor determinante en el movimiento del modelo.
- Por último deberemos evaluar el origen y dirección y modificarlos en caso de ser necesario para conseguir el movimiento deseado.

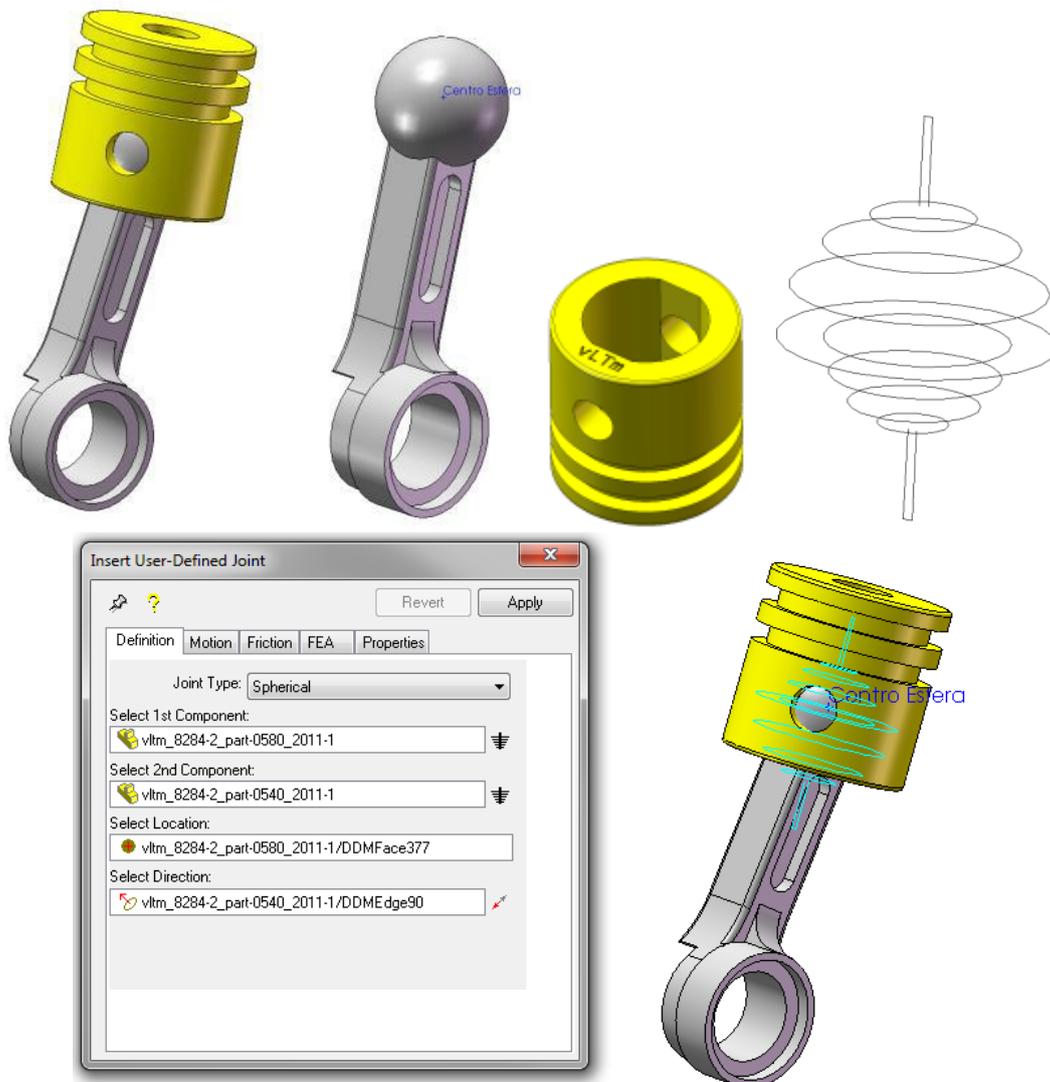
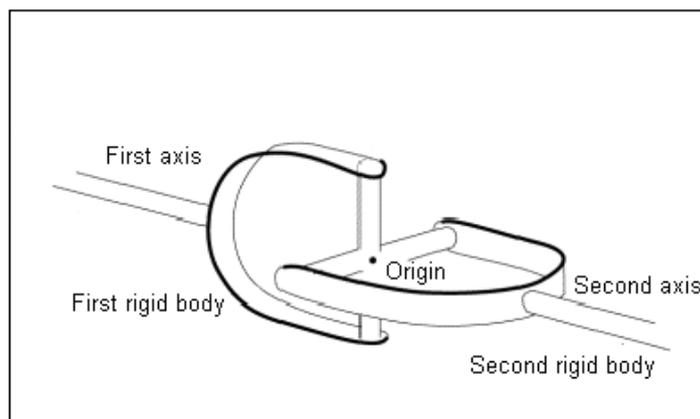


Ilustración 51. Proceso de creación de un Par Esférico y Simbología en CosmosMotion.

4.9.4.5. Universal.

La **unión universal** representa la **junta Hooke** o **cardan**, dicho par permite transmitir la rotación de un cuerpo a otro. Este par es útil para transmitir un movimiento de rotación en esquinas o ejes muy largos y/o articulados que constan de varios tramos, como por ejemplo en la transmisión de tracción trasera con amortiguación del modelo 8865-1, o en la dirección del mismo modelo.



Gruebler Count (approximate DOF):	
1 moving parts	6 DOF
1 universal joint(s)	-4 DOF

Total (estimated) DOF = 2	
Total (actual) DOF = 2	
Total number of redundant constraints = 0	

Ilustración 52. Análisis de la Movilidad de un par Universal en ComosMotion.

Para su creación es necesario determinar los siguientes elementos:

- Primer componente del par cinemático
- Segundo componente del par cinemático.
- Localización, en este caso el punto indicado en la imagen como centro que se obtiene de la intersección de los ejes 1 “Eje1” y “Eje2”.
- La dirección del primer componente, que es el eje de giro de éste.
- La dirección del segundo componente del par, que del mismo modo es su eje de giro.

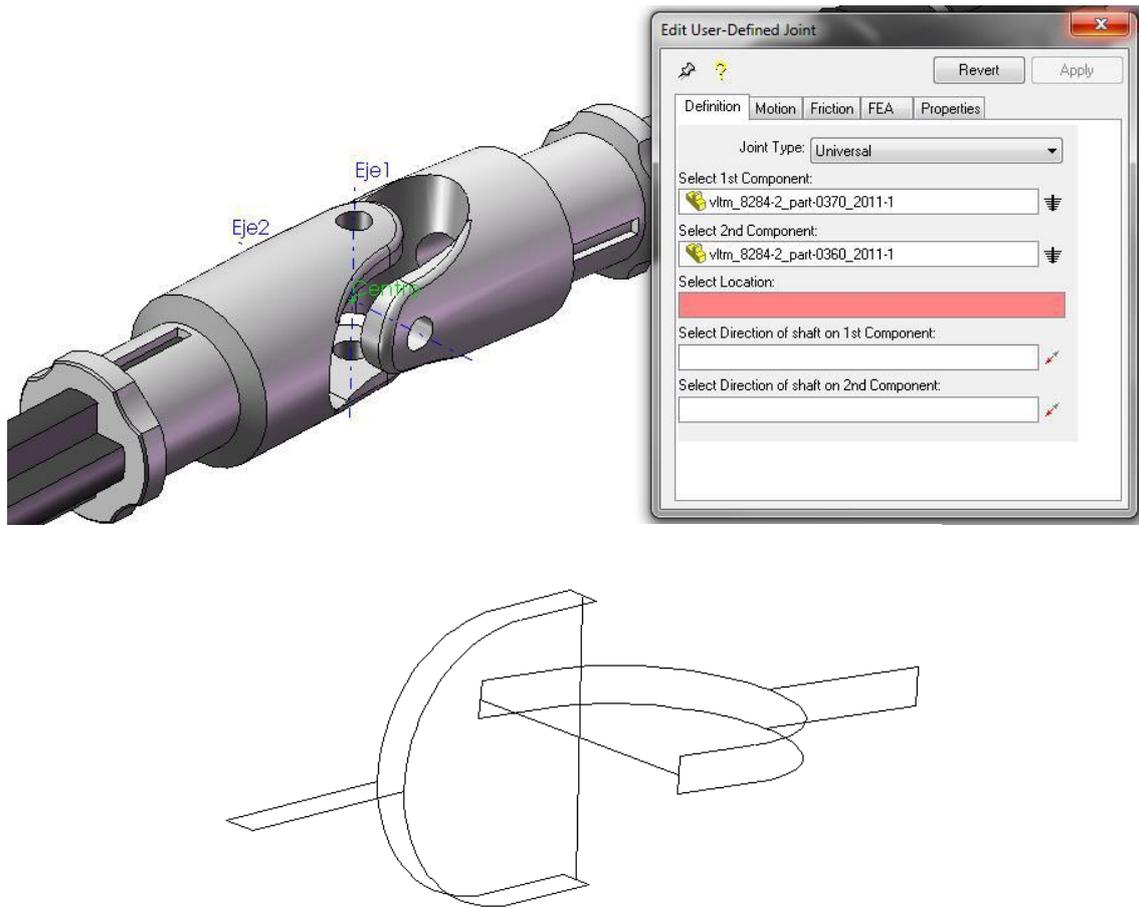


Ilustración 53. Proceso de creación de un Par Universal y Simbología en CosmosMotion.

El cardan, junta Hooke o junta universal es un elemento importante que utilizaremos en muchos modelos y que encontraremos en muchas máquinas reales. Este par puede obtenerse de manera equivalente como combinación de un par esférico y un par primitivo de perpendicularidad. Además si se introduce un tercer cuerpo (cuerpo azul en la imagen) y dos pares de revolución entre cada uno de los ejes con la pieza central, obtenemos un conjunto mecánicamente equivalente.

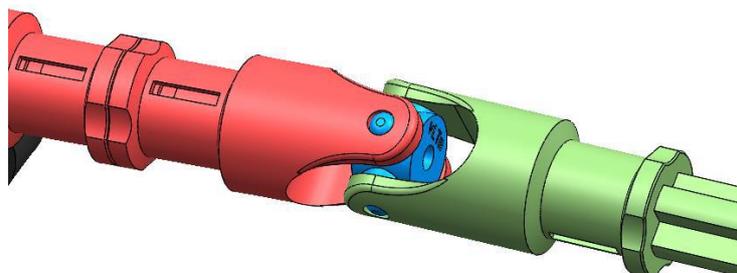


Ilustración 54. Cardan, Junta Hooke o Junta Universal.

4.9.4.6. Tornillo.

El **par de “Tornillo”** permite que un cuerpo gire respecto de otro al mismo tiempo que se desplaza respecto del mismo con un movimiento de traslación, una manera de expresar la movilidad de este par es, como se observa en la tabla, indicando que restringe 0.5 GDL de Rotación y otro 0.5 GDL de traslación. Para definirlo es necesario indicar el desplazamiento que se produce por cada giro de 360° . A menudo es utilizado junto con un par Cilíndrico, éste restringe 2 GDL de rotación y otros GDL de traslación. El par de “Tornillo” restringe un GDL más haciendo proporcionarle el movimiento de giro y de traslación.

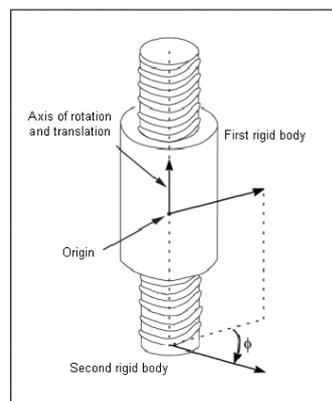


Ilustración 55. Par de Revolución Tornillo.

4.9.4.7. Planar.

Permite a un plano -contenido en uno de los cuerpos- deslizarse y girar en un plano del otro cuerpo del par.

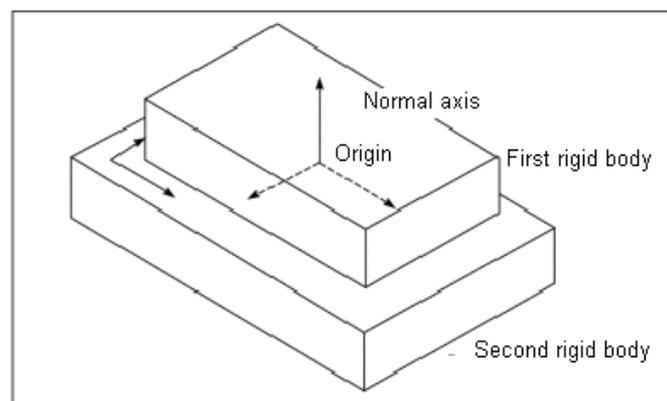


Ilustración 56. Par Cinemático Planar.

4.9.4.8. Fijo.

En realidad no es un par cinemático, Impide el movimiento relativo entre los dos cuerpos en cuestión. Representan por ejemplo una soldadura en la realidad. Su localización no tiene relevancia en la simulación puesto que ambos cuerpos se comportan como uno solo.

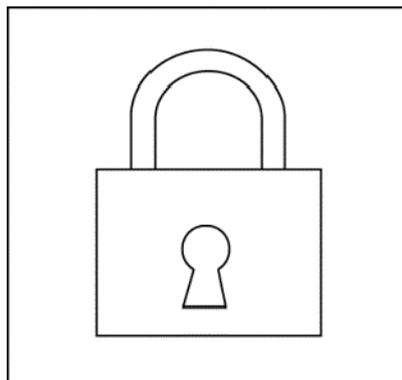


Ilustración 57. Cuerpo Fijo.

4.9.5. Pares Primitivos.

Los pares primitivos son restricciones de geometría y no tienen un análogo físico como los expuestos en la tabla anterior. De hecho se combinan para obtener pares cinemáticos reconocibles (excepto el “screw” o rosca). En la tabla siguiente se observan las diferentes posibilidades y los GDL que restringe cada uno de ellos en COSMOSMotion:

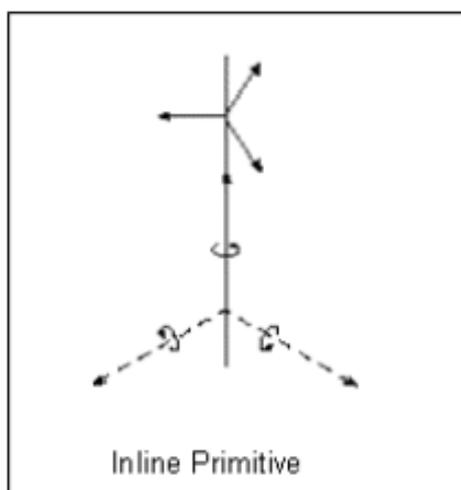
Par Primitivo:	Traslacional GDL:	Rotacional GDL:	Total GDL Restringidos:
En la línea	2	0	2
En el plano	1	0	1
Orientación	0	3	3
Paralelo	0	2	2
Perpendicular	0	1	1

Tabla 2. Grados de Libertad Restringidos por los pares primitivos en CosmosMotion. Fuente: Ayuda CosmosMotion

En general, estos pares cinemáticos han sido utilizados para realizar ajuste y conseguir un modelo cinemático auto-alineador con un comportamiento determinado y del que obtengamos las reacciones en los pares cinemáticos de un modo coherente con la realidad.

4.9.5.1. En la Línea.

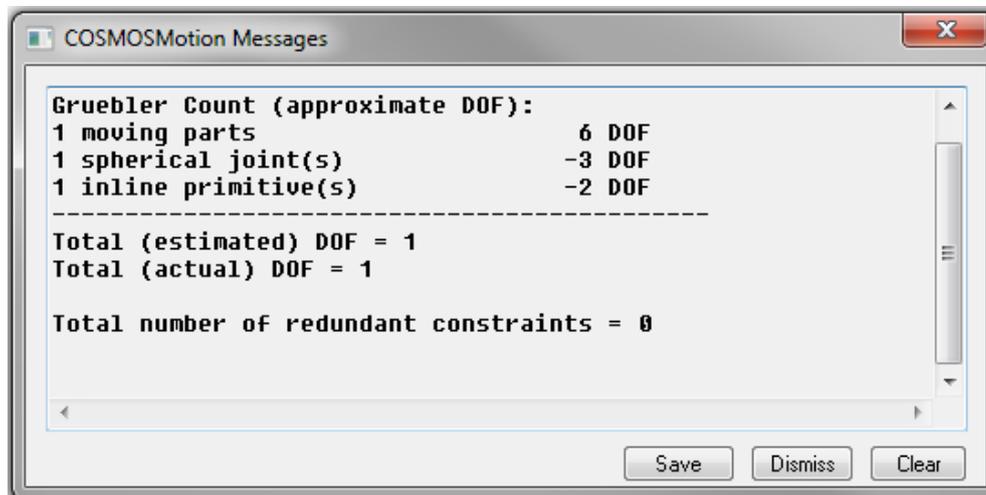
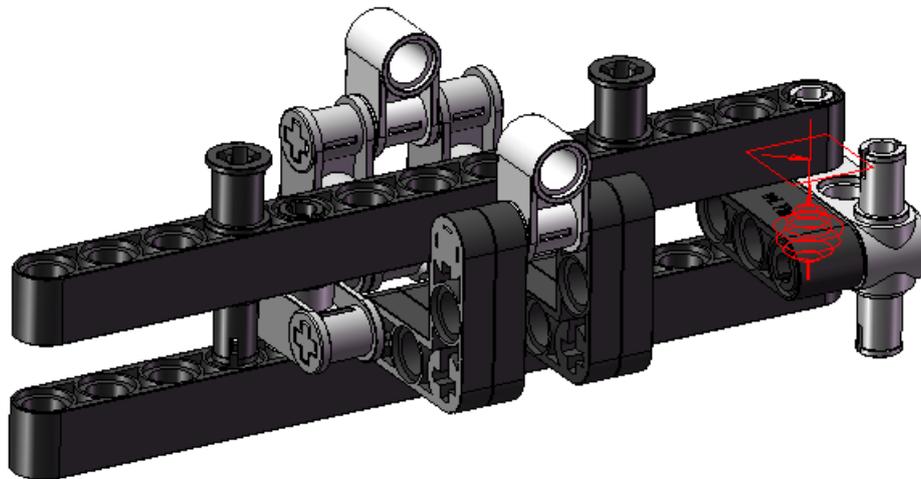
Permite un movimiento de traslación y 3 de rotación de un cuerpo respecto de otro. Dicho de otra manera permite el movimiento del primer cuerpo sobre un eje fijo al segundo cuerpo.



Gruebler Count (approximate DOF):	
1 moving parts	6 DOF
1 inline primitive(s)	-2 DOF
Total (estimated) DOF = 4 Total (actual) DOF = 4	
Total number of redundant constraints = 0	

Ilustración 58. Análisis de la Movilidad de un par En la Línea en ComosMotion.

Si lo combinamos con un par esférico, podemos obtener el mismo resultado que únicamente con un par de revolución. Sin embargo utilizando esta combinación es posible obtener las fuerzas de reacción de una manera más próxima a la realidad. Lo podemos observar en el ejemplo siguiente.



Il·lustració 59. Anàlisi de la mobilitat combinant un Par Esfèric amb uno En la Línea.

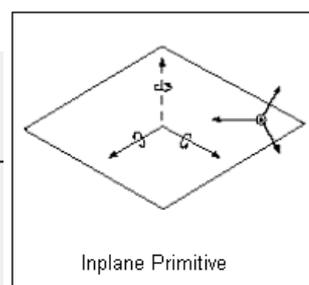
4.9.5.2. En el Plano.

Concede únicament 1 GDL, permetent el lliure moviment de un cos sobre un pla contingut en el segon, és a dir restringint 1 GDL de translació. La orientació nos indicarà la direcció en la qual el moviment queda impedit.

```

Gruebler Count (approximate DOF):
1 moving parts           6 DOF
1 inplane primitive(s)  -1 DOF
-----
Total (estimated) DOF = 5
Total (actual) DOF = 5

Total number of redundant constraints = 0
    
```



Il·lustració 60. Anàlisi de la Mobilitat de un par En el Plano en ComosMotion.

Como se comentaba, estos pares se utilizan para aproximarnos más a la configuración real de una máquina y poder obtener las fuerzas de reacción de una manera más exacta. En la imagen se aprecia un ejemplo en el que se combina un par “en el plano” con un par cilíndrico y se obtiene el mismo efecto –en lo que a movilidad se refiere– que con un par de revolución, pero, sin embargo, un distribución de fuerzas diferente.

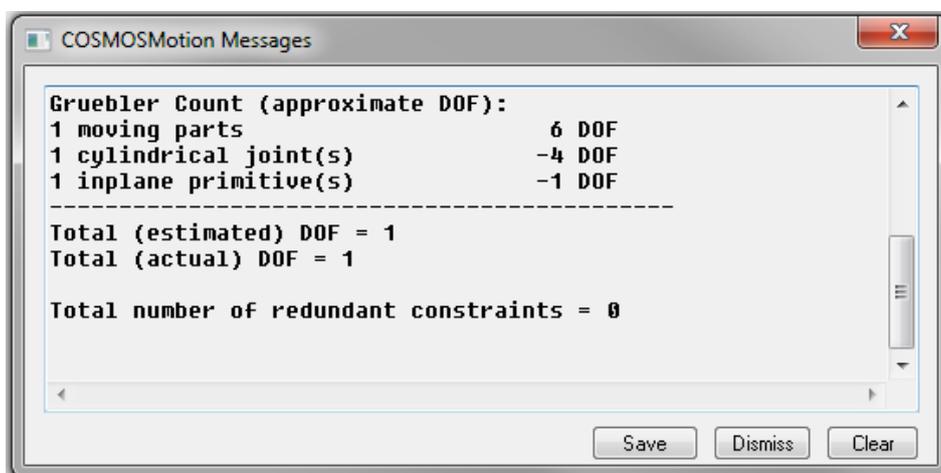
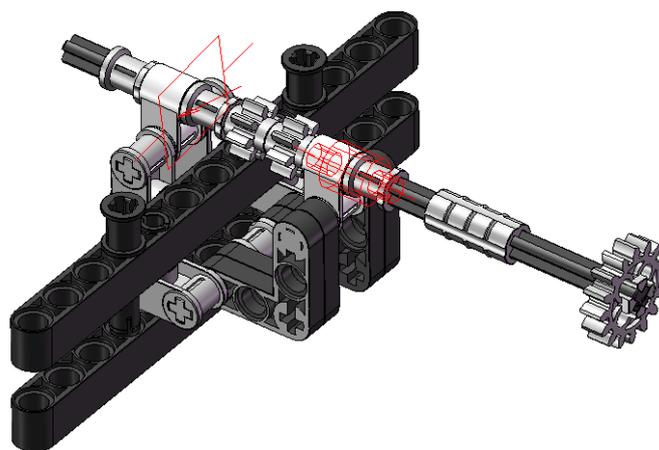
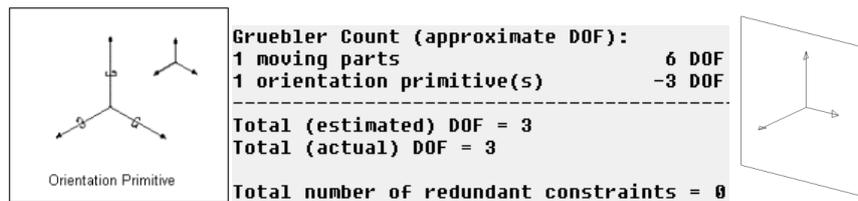


Ilustración 61. Análisis de la movilidad combinando un Par Cilíndrico con uno En el Plano.

4.9.5.3. Orientación.

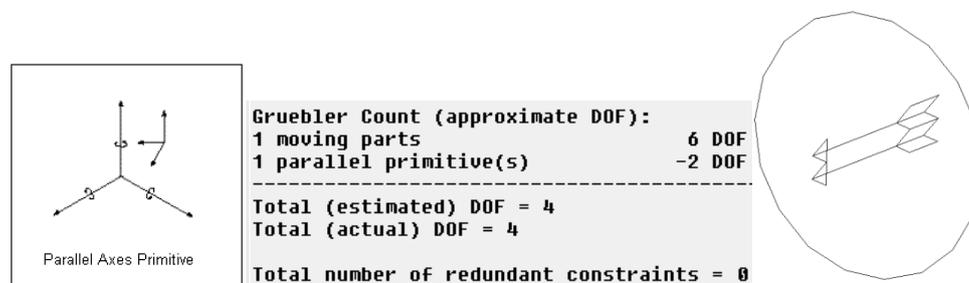
Impide que los dos cuerpos entre los que se define el par, giren uno respecto de otro. Por lo tanto únicamente se permite un movimiento de traslación de un cuerpo respecto del otro.



Il·lustració 62. Anàlisi de la mobilitat combinando un Par de Orientació y Simbología.

4.9.5.4. Paralelismo

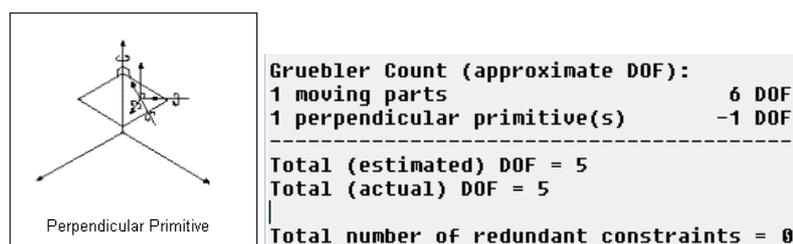
Impone que un eje del primer cuerpo debe mantenerse paralelo (misma dirección) a un eje del segundo cuerpo, ejes definidos por el usuario. Por lo que restringe 2 GDL de libertad de rotación y permite cualquier tipo de traslación relativa.



Il·lustració 63. Anàlisi de la de un Par de Paralelismo y Simbología.

4.9.5.5. Perpendicularidad.

En este caso COSMOSMotion impone una única restricción de rotación entre ambos cuerpos de modo que un eje de cada uno de los componentes se mantengan perpendiculares en el espacio.



Il·lustració 64. Anàlisi de la mobilitat de un Par de Perpendicularidad.

En este caso se debe elegir como anteriormente los cuerpos entre los que se establece la restricción, la localización y dos direcciones, una de cada uno de los cuerpos, que permanecerá perpendiculares a lo largo del movimiento.

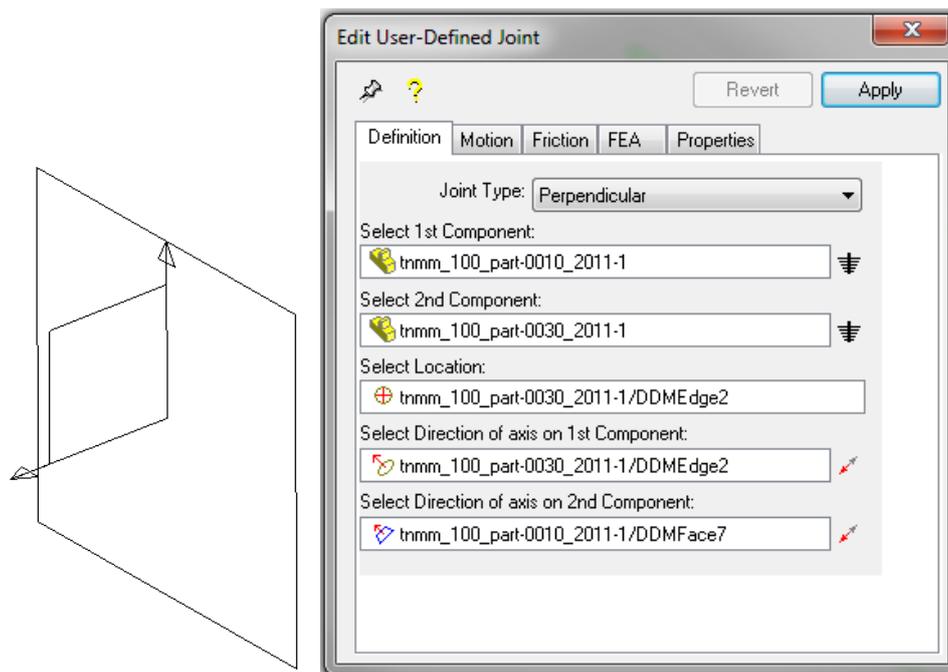


Ilustración 65. Simbología y Creación de un Par de Perpendicularidad.

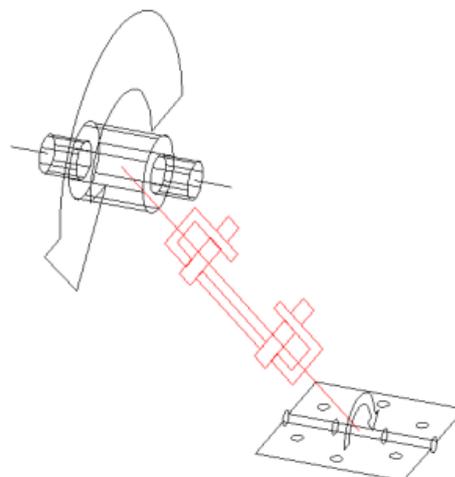
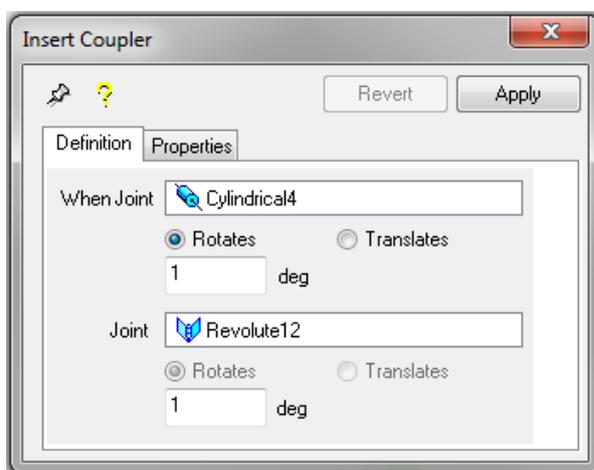
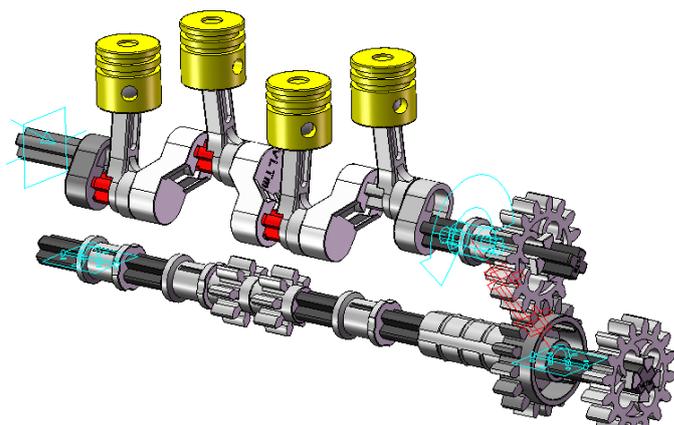
4.9.6. Engranajes.

Las restricciones de engranajes (“*Couplers*”) permiten que el movimiento, de rotación o traslación, de dos pares cinemáticos se relacione o “*engrane*” mediante una constante de proporcionalidad. Podremos aplicar engranajes entre los pares cinemáticos de revolución, cilíndricos y de traslación indistintamente. Cada engranaje adicional reducirá en uno los GDL del modelo.

Utilizamos este tipo de par para los engranajes comunes, engranajes de cremallera (dirección), engranajes de tornillos sin fin y también para las poleas. A continuación se expone brevemente cada uno de estos casos.

4.9.6.1. Engranaje Común.

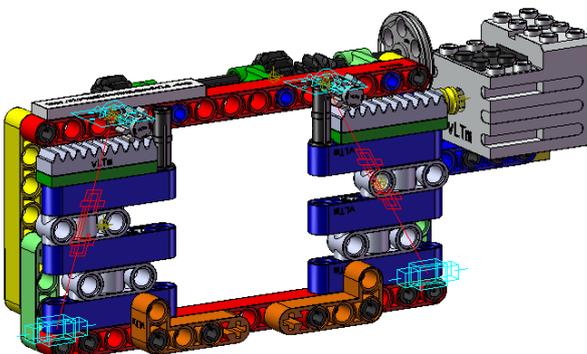
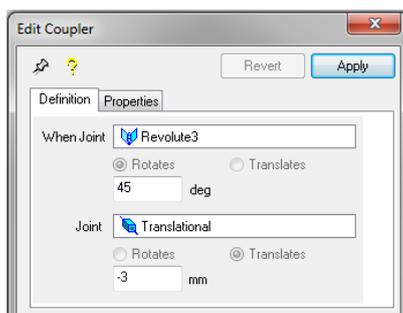
En este tipo de engranaje se relaciona pares de revolución o cilíndricos indistintamente. Se deben seleccionar los pares afectados e indicar los grados que gira el engranaje “*conducido*” por los grados de giro del “*conductor*”. La relación entre los grados de giro de cada par será la misma que la relación que existe entre el número de dientes de los engranajes. La condición de “*conductor*” o “*conducido*” vendrá dada por el origen del movimiento, pero la relación del engranaje es bidireccional.



Il·lustració 66. Engranaje común y simbología en CosmosMotion.

4.9.6.2. Engranaje Piñón-Cremallera.

Dependiendo de la construcción del mecanismo, hay diferentes formas de crear esta relación. La primera y más sencilla es crear un “Coupler” entre un par de revolución (o cilíndrico) y un par de traslación o prismático, en el que se relacione el giro del primero con el desplazamiento del segundo.



Il·lustració 66. Engranaje de Piñón-Cremallera.

Sin embargo, en la construcción de los modelos que se exponen más adelante y que cumplen la condición de auto-alineación, no siempre será posible realizar este engranaje de la forma expuesta anteriormente. Esto ocurre generalmente en la dirección con engranaje de cremallera que no contiene par de traslación. En este caso deberemos relacionar los pares de revolución y/o cilíndricos del piñón de dirección y el giro –de dirección- de las ruedas para conseguir el efecto deseado. Será necesario, por lo tanto, calcular la relación entre el giro del piñón de dirección y el giro de las ruedas.

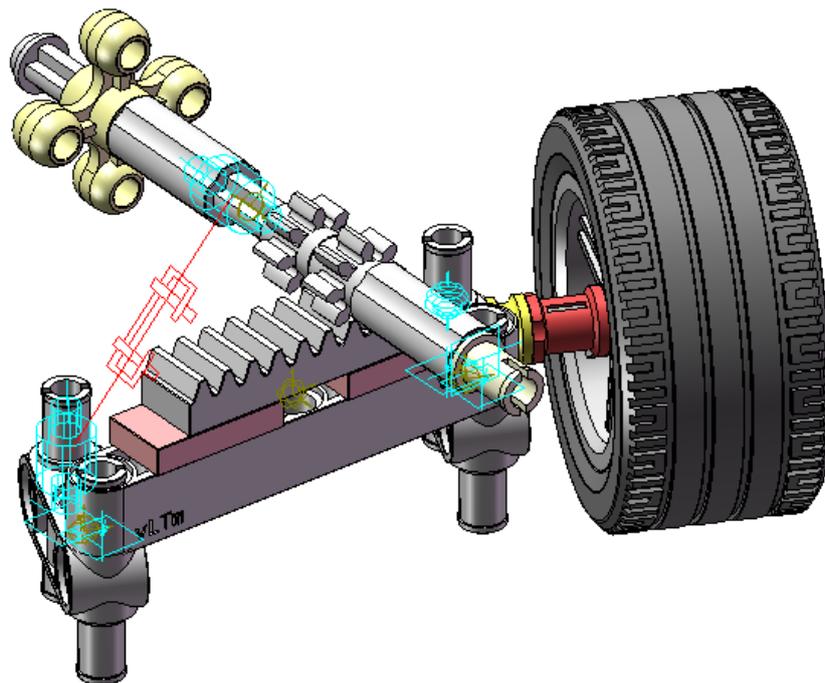
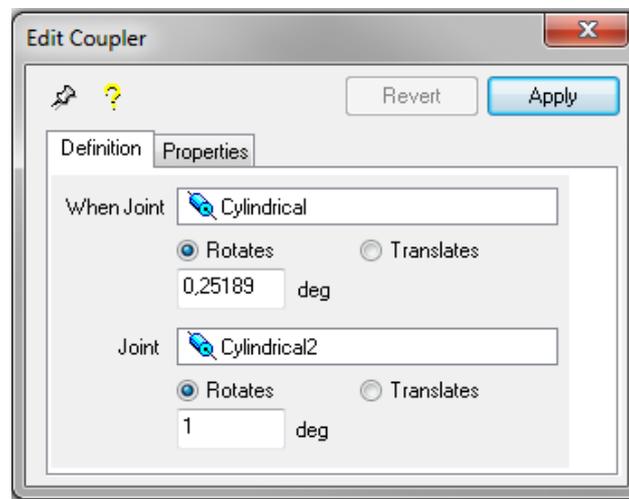


Ilustración 67. Simulación de una relación de Piñón-Cremallera con un Engranaje Común.

4.9.6.3. Engranaje Tornillo Sin Fin.

Se define de la misma manera que un engranaje común, sin embargo, se debe tener en cuenta su configuración para calcular la relación entre los ángulos de giro. En el caso de la imagen, 24 vueltas del tornillo sin fin se traducen en 1 vuelta de la rueda dentada.

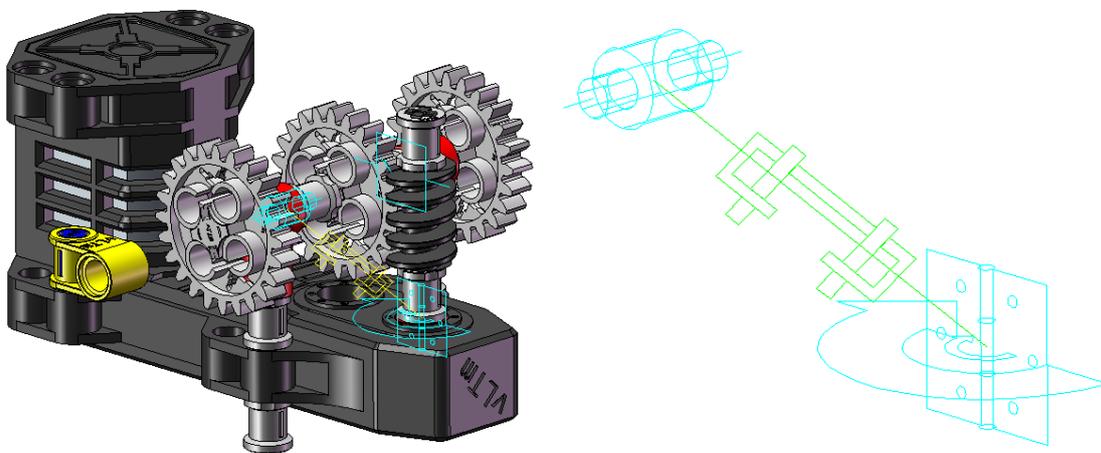
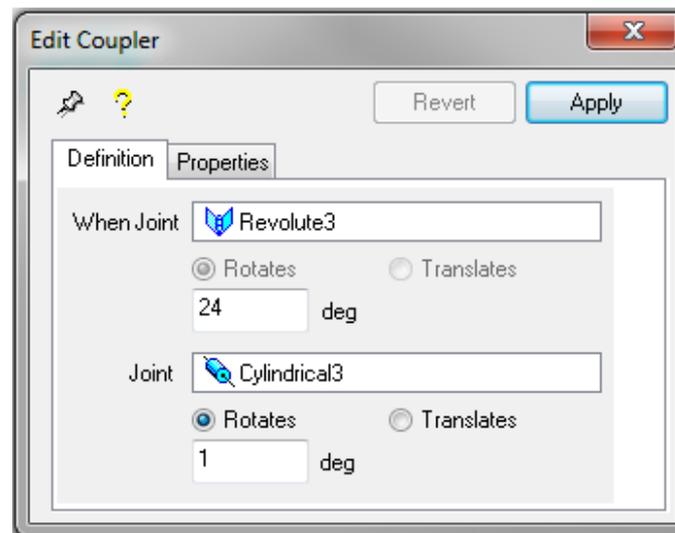


Ilustración 68. Engranaje de Tornillo Sin Fin.

4.9.6.4. Poleas.

Para construir poleas relacionaremos el giro de ambas ruedas según su tamaño. Se deberá tener en cuenta que a diferencia de los engranajes, el sentido de giro de ambas ruedas es el mismo.

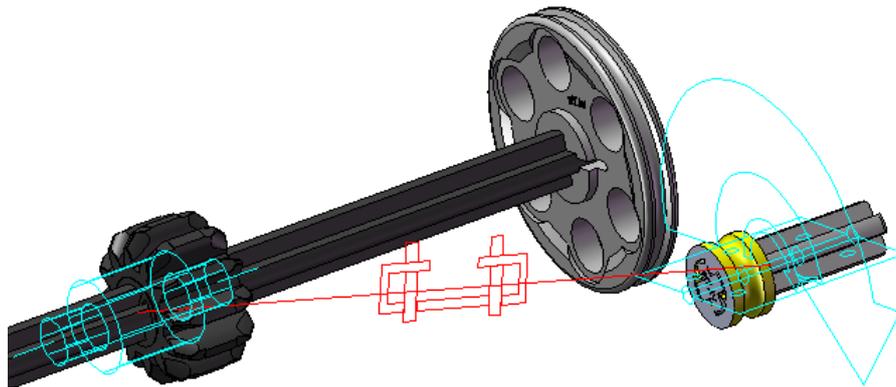


Ilustración 9. Polea en CosmosMotion.

4.9.7. Restricción de Movimiento.

Por último podemos dotar con un movimiento determinado a los GDL disponibles, por ejemplo a un par de revolución se le puede introducir la condición de girar a una velocidad determinada, con lo que se restringiría su único GDL. Cada condición de movimiento introducida reducirá en uno los GDL del sistema.

Dicho movimiento es libre por defecto, y puede ser determinado indicando un desplazamiento, una velocidad o una aceleración en un par cinemático mediante una constante, una función armónica, una función de “spline”, una función “step” o una expresión matemática. Este tema será tratado con más detalle en el apartado de simulación.

4.9.8. Grados de Libertad del Modelo (GDL).

Para saber los grados de libertad que posee el modelo, basta observar el panel de simulación. En el caso de la imagen DOF: 2 (*Degrees Of Freedom*).

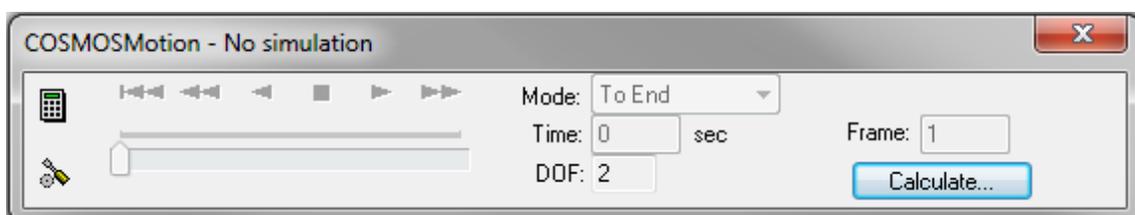


Ilustración 71. Panel de Simulación de CosmosMotion.

Si se desea obtener un detalle de la movilidad, es necesario pulsar en “*Calculate*” y COSMOSMotion muestra una ventana en la que se detallan las partes móviles, número y tipo de pares cinemáticos, engranajes, movimientos restringidos, grados de libertad y restricciones en exceso. Información vital para construir el modelo auto-alineador.

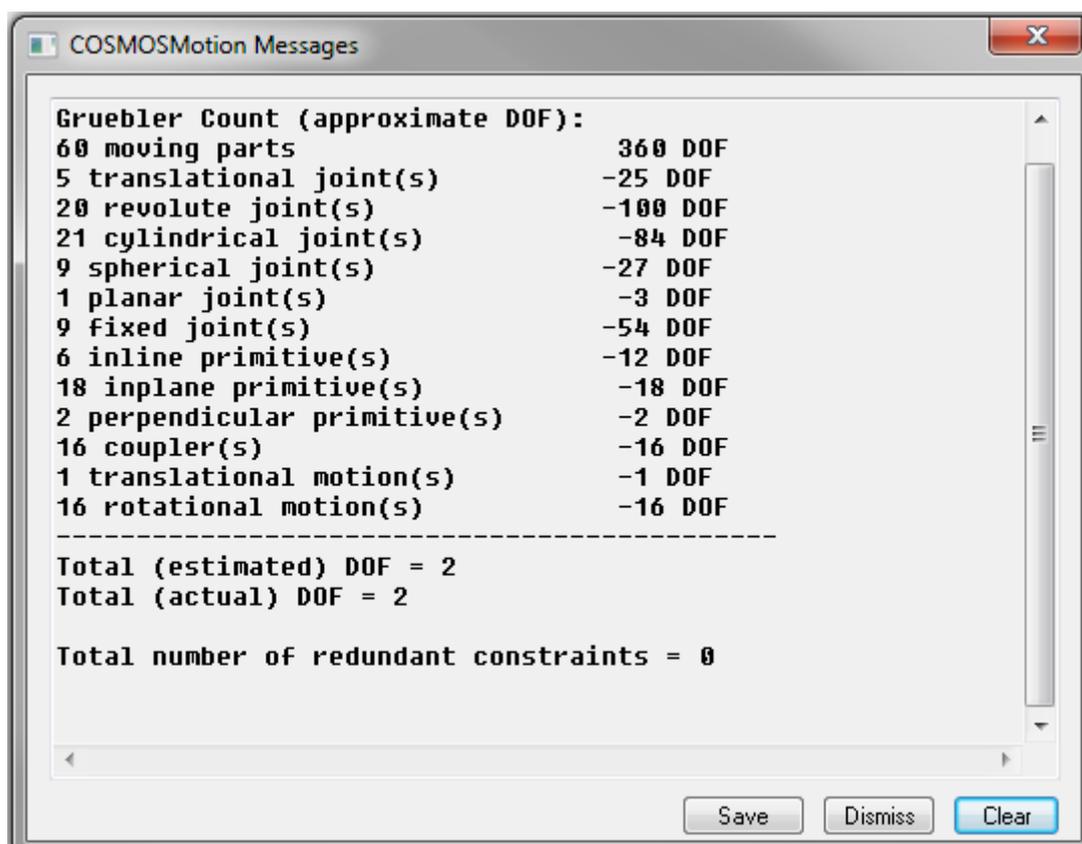


Ilustración 72. Mensaje de Cálculo de Movilidad de un Mecanismo en CosmosMotion.

5. Simulación Virtual del Modelo.

5.1. Simulación de Movimiento. Introducción y Objetivos.

Una vez disponemos del modelo virtual auto-alineador, el siguiente paso es dotarlo de movimiento. Para ello restringiremos los GDL que tenemos disponibles en el modelo con cierto movimiento. Por ejemplo a un par de revolución se le puede introducir la condición de girar a una velocidad determinada, con lo que se restringiría su único GDL. Cada condición de movimiento introducida reducirá en uno los GDL del sistema.

Dicho movimiento es libre por defecto, y puede ser determinado indicando un desplazamiento, una velocidad o una aceleración en un par cinemático mediante una constante, una función armónica, una función de “*spline*”, una función “*step*” o una expresión matemática. Con ello la aplicación utilizada (en este caso COSMOSMotion) aplica la fuerza o par necesario para cumplir la ley de movimiento impuesto. De este modo es posible hacerse una idea del tipo de motor o actuador necesario para conseguir el movimiento necesario.

El objetivo fundamental que persigue este apartado es, para el alumno, conocer cómo funcionará una máquina antes de construirla y saber modificarla en consecuencia si el funcionamiento no es el deseado.

De manera secundaria conocer más a fondo el funcionamiento de la aplicación ya utilizada anteriormente, COSMOSMotion.

5.2. Simulación de Movimiento en COSMOSMotion.

Una vez se tiene el modelo auto-alineador en COSMOSMotion se procede del siguiente modo:

- Configurar los parámetros de la simulación.



- Indicar las restricciones de movimiento: Indican cómo se debe comportar cada par cinemático y definen el movimiento del modelo.
- Completar el modelo con los conectores, fuerzas, contactos, rozamientos, etc que se consideren oportunos para refinar la simulación.
- A lo largo del proceso es aconsejable resolver la simulación y comprobar que todo funciona como se pretende.

Se utiliza COSMOSMotion para simular y evaluar sistemas mecánicos y obtener datos como por ejemplo:

- Desplazamientos, velocidades y aceleraciones de los cuerpos.
- Rangos de movimientos.
- Fuerzas de reacción, fuerzas de inercia y pares, y fuerzas y momentos transmitidos entre cuerpos.
- Posibles interferencias entre cuerpos.
- Capturar los estados de carga más desfavorables para realizar un estudio por elementos finitos.

5.2.1. Restricción del Movimiento.

Como se comentaba anteriormente, una vez disponemos del modelo auto-alineador, el siguiente paso es dotar de movimiento a los GDL disponibles. Para ello podemos indicar un desplazamiento, una velocidad o una aceleración en un par cinemático mediante una constante, una función armónica, una función de “*spline*”, una función “*step*” o una expresión matemática. A continuación vemos con más detalles cada una de estas opciones.

5.2.1.1. Constante.

Determina el desplazamiento, velocidad o aceleración de manera constante. Únicamente es necesario indicar el valor de la constante, que dependiendo de la magnitud tendrá unas unidades u otras.

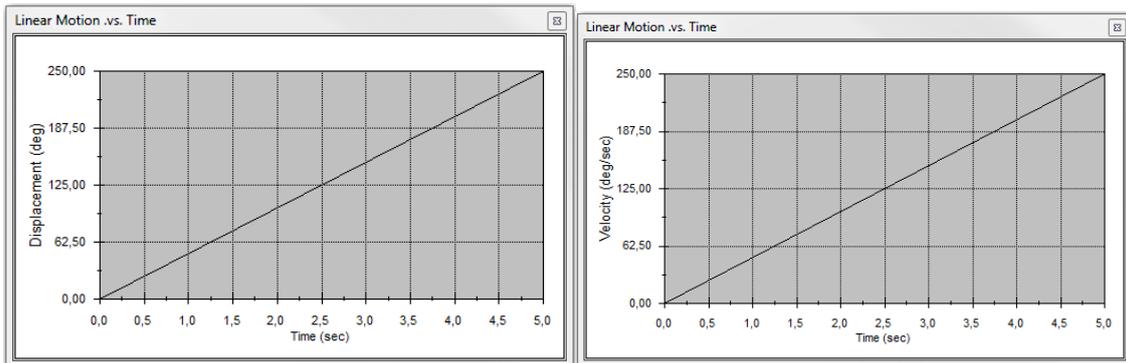


Ilustración 73. Gráficas del Desplazamiento y Velocidad Constantes.

5.2.1.2. Movimiento Armónico.

En este tipo de movimiento se rige el desplazamiento, velocidad o aceleración con una función armónica. Dicha función armónica viene definida por la siguiente ecuación:

$$f(t) = A * \sin(w * (t - T_0) - j) + B \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- $A \rightarrow$ Amplitud.
- $W \rightarrow$ Frecuencia.
- $T_0 \rightarrow$ Desfase.
- $j \rightarrow$ Desplazamiento de fase
- $B \rightarrow$ Valor medio.

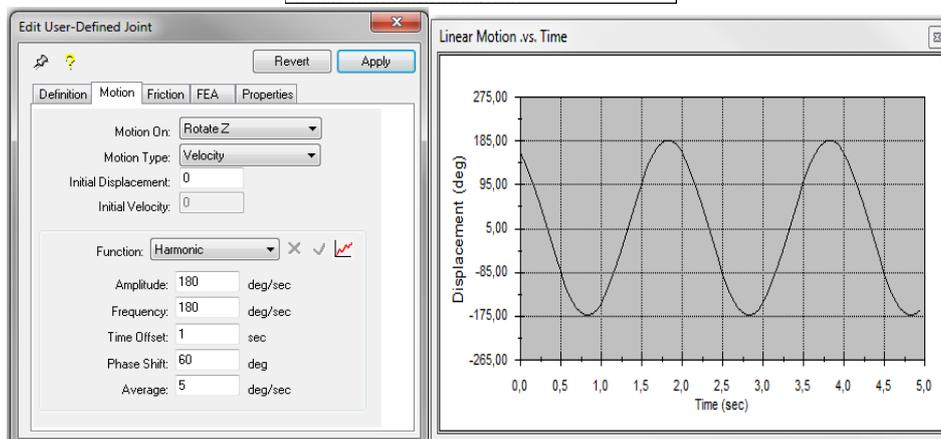
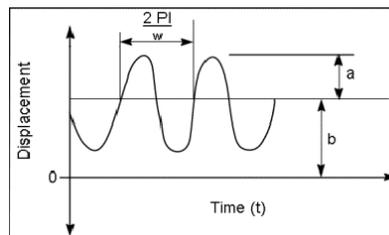


Ilustración 74. Movimiento de un Par Cinemático Controlado por una Función Armónica.

5.2.1.3. Función de Spline.

Permite definir el desplazamiento, velocidad o aceleración introduciendo los datos en una tabla. En la primera columna se introducen los valores del tiempo y en la segunda el valor que le corresponde de desplazamiento, velocidad o aceleración. ADAMS, crea una curva suave que pasa por los puntos definidos mediante interpolación.

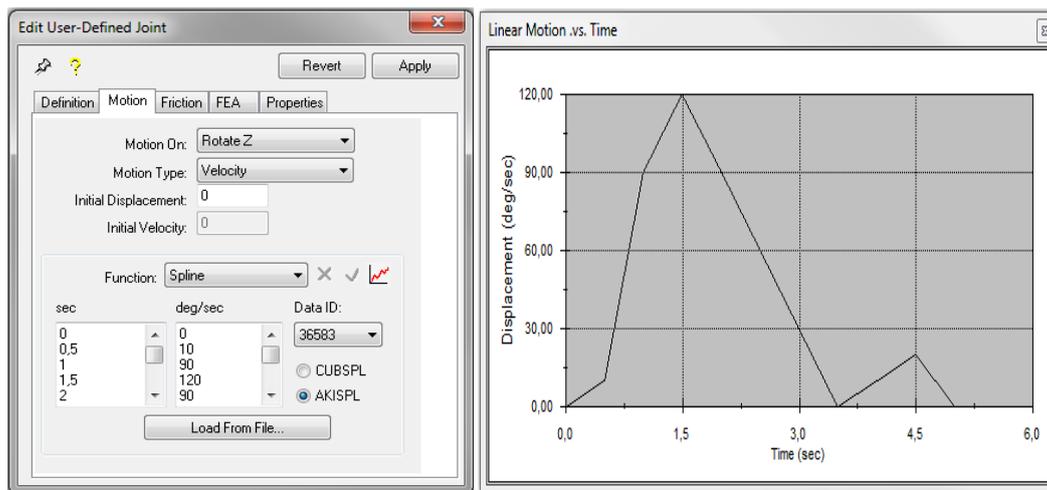


Ilustración 75. Movimiento de un Par Cinemático Controlado por una Función Spline (Definida a Trozos).

CUBSPL y AKIPL son diferentes tipos de interpolación, utilizando derivadas y polinomios cúbicos respectivamente.

Además los datos de la “Spline” pueden ser cargados desde un archivo de texto (.txt).

5.2.1.4. Función por Pasos.

En este caso la magnitud elegida cambia suavemente de un valor a otro en 2 puntos del tiempo indicados. Es necesario indicar los siguientes valores:

- Valor inicial (F1): Valor de la función antes del “step”.
- Valor Final (F2): Valor de la función después del “step”.
- Tiempo de comienzo del “step” (T1): Indica el momento en el que el “step” comienza.
- Tiempo de fin del “step” (T2): Indica el momento en el que el “step” finaliza.

Con los valores indicados anteriormente, ADAMS calcula el movimiento utilizando las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} & \text{If } (time \leq T1) F = F1 \\ & \text{If } (T1 < time < T2) F = F1 + (F2 - F1) * [(Time - T1)/(T2 - T1)]^2 * (3 - 2 * [(Time - T1)/(T2 - T1)]) \\ & \text{If } (time \geq T2) F = F2 \end{aligned}$$

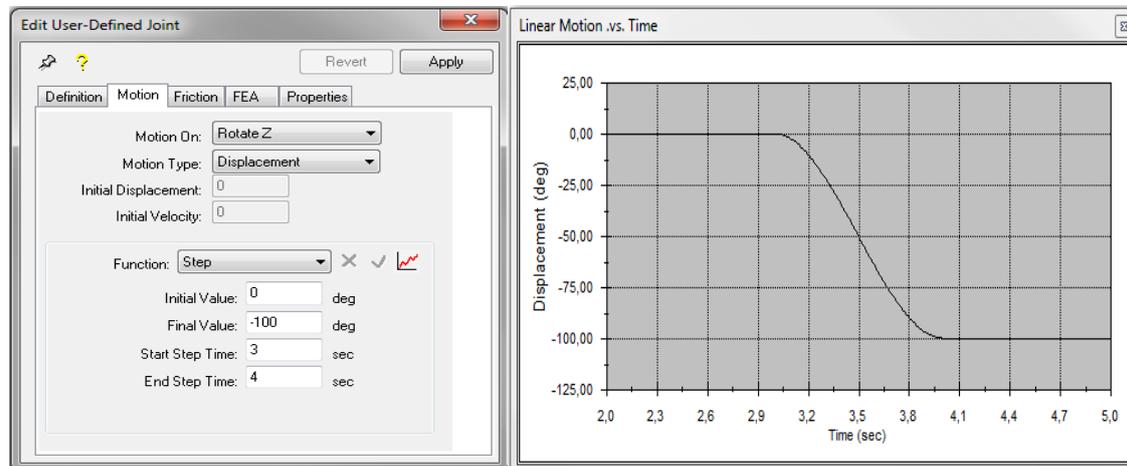


Ilustración 76. Movimiento de un Par Cinemático Controlado por una Función por Pasos.

5.2.1.5. Expresión Matemática.

Mediante expresiones matemáticas y combinaciones de ellas, podemos definir diferentes tipos de movimientos. COSMOSMotion reconoce muchas expresiones provenientes de MSC.ADAMS. Se debe respetar las normas de sintaxis exhaustivamente para que las expresiones sean reconocidas. Algunas de ellas las observamos en la siguiente tabla:

Function name:	Summary definition:
ABS	Absolute value of (a)
ACOS	Arc cosine of (a)
AINT	Nearest integer whose magnitude is not larger than (a)
ANINT	Nearest whole number to (a)
ASIN	Arc sine of (a)
ATAN	Arc tangent of (a)
ATAN2	Arc tangent of (a1, a2)
COS	Cosine of (a)
COSH	Hyperbolic cosine of (a)
DIM	Positive difference of a1 and a2
EXP	e raised to the power of (a)
LOG	Natural logarithm of (a)
LOG10	Log to base 10 of (a)
MAX	Maximum of a1 and a2
MIN	Minimum of a1 and a2
SIGN	Transfer sign of a2 to magnitude of a1
SIN	Sine of (a)
SINH	Hyperbolic sine of (a)
SQRT	Square root of a1
TAN	Tangent of (a)
TANH	Hyperbolic tangent of (a)

Tabla 3. Algunas Expresiones Matemáticas.

5.2.2. Contactos

Se diferencian los siguientes tipos de contacto:

- **Punto-Curva:** Obliga que un punto de un cuerpo se mantenga en contacto sobre una curva de otro cuerpo.
- **Curva-Curva:** Restringe a una curva a mantenerse en contacto con otra curva.
- **Intermitencia Curva- curva:** Aplica una fuerza para evitar que dos curvas penetren una en la otra. Solamente activa si las curvas entran en contacto.
- **Contacto 3D:** Aplica una fuerza cuando dos cuerpos entran en contacto para evitar que se superpongan. Solamente activo si los cuerpos entran en contacto.

En la tabla siguiente se observa los GDL que se restringen en cada uno de los casos anteriores.

Constraint:	Translational DOF:	Rotational DOF:	Total DOF Constrained:
Point-curve	2	0	2
Curve-curve	2	0	2
Curve-curve intermittent	0	0	0
3D	0	0	0

Tabla 4. Grados de Libertad que Restringen los diferentes Tipos de Contactos.

5.2.2.1. Contactos 3D.

Los contactos 3D se definen entre 2 ó más cuerpos. Es posible definir 2 grupos que el programa denomina “*Container 1*” y “*Container 2*” de modo que los cuerpos de un grupo pueden entrar en contacto con los cuerpos del segundo grupo. Cuando esto sucede se crea una fuerza que evita que un cuerpo atraviese al otro.

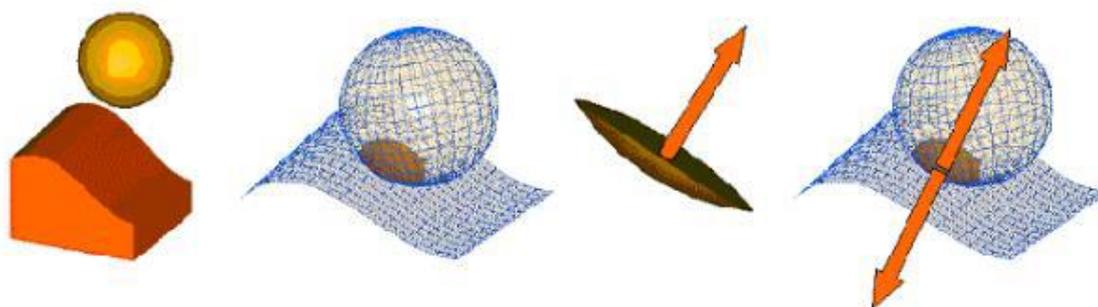


Ilustración 77. Contacto 3D en CosmosMotion SW2007.

Para definir las características del contacto se pueden definir uno a uno los diferentes parámetros (Rigidez, exponente de rigidez, amortiguación, penetración y el tipo de fricción). Para conseguir buenos resultados de una manera más rápida y eficaz podemos seleccionar “Use Materials” de este modo indicando el material para cada uno de los “Containers” COMOSMotion aplica los parámetro necesarios.

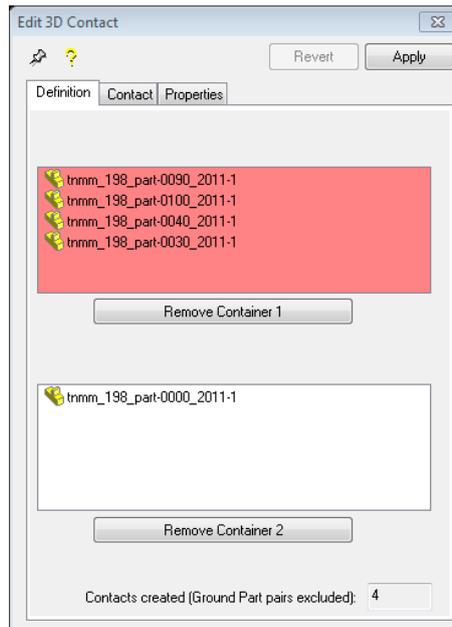


Ilustración 78. Contacto 3D en CosmosMotion SW2007.

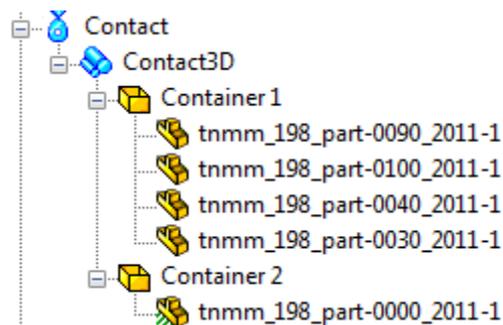


Ilustración 79. Visualización de un Contacto 3D en Cosmosmotion.

El ejemplo más claro en el que se han utilizado los contactos 3D ha sido para evaluar el funcionamiento de algunos modelos en un terreno. En una de las imágenes observamos el modelo 8854-2 preparado para ser simulado sobre una base.

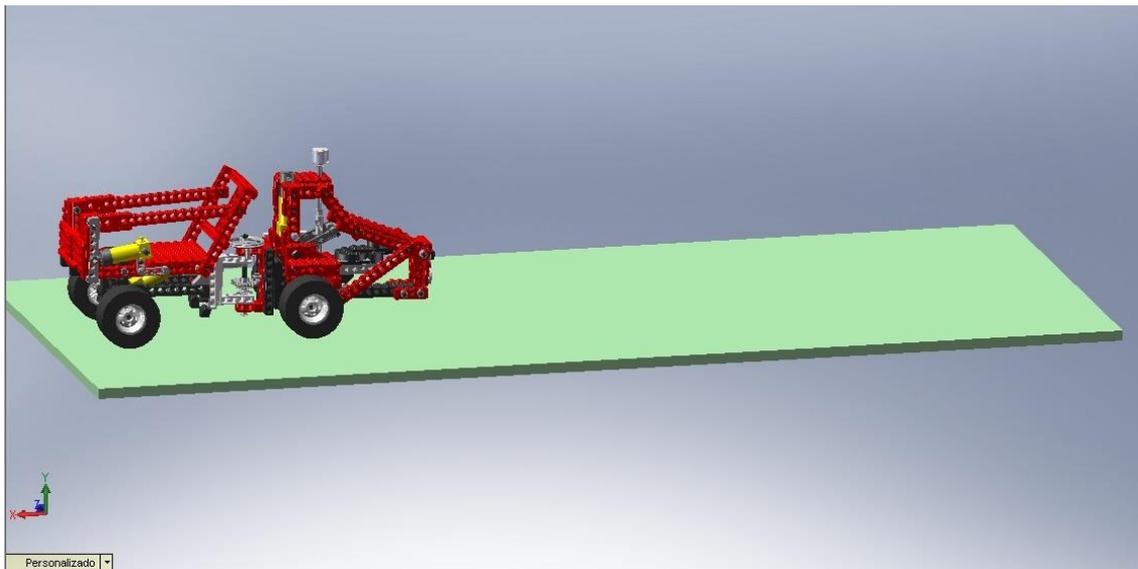


Ilustración 80. Modelo vLTm_8854-2_2014 sobre una Base

5.2.3. Solución y Análisis de Datos.

El primer paso para obtener una simulación es definir sus parámetros. En las diferentes pestañas de “*COSMOSMotion Options*” se define entre otras: Fuerza de gravedad, duración de la simulación, número de “*Frames*”, parámetros del motor de cálculo, opciones de visualización, etc.

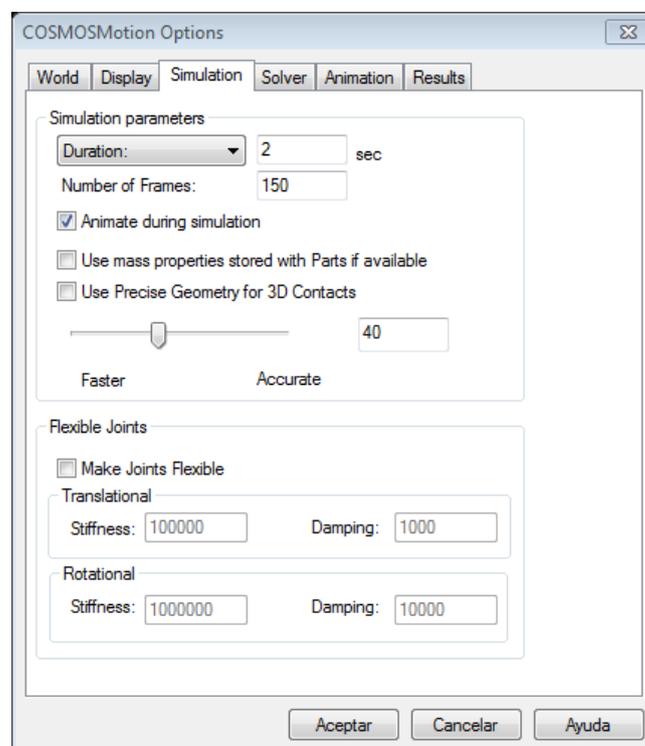


Ilustración 81. Opciones de Simulación en CosmosMotion.

Como se comentaba anteriormente es aconsejable a lo largo del proceso de creación del modelo cinemático ir comprobando el número GDL y el resultado de la simulación.

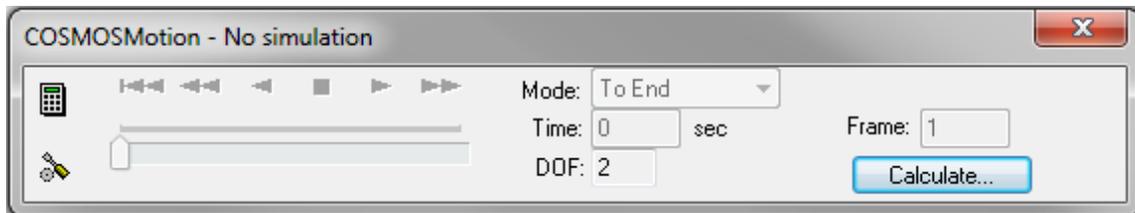


Ilustración 82. Panel de Simulación de CsomosMotion.

Una vez ejecutada la solución se puede proceder al análisis de datos entre otros:

- Exportar la animación en formato de video .avi
- Extracción de datos en forma de tablas y gráficos de desplazamiento, velocidades, aceleraciones, fuerzas de reacción...
- Trayectorias seguidas por las diferentes piezas del modelo.
- Comprobar interferencias.
- Medir distancias y ángulos entre objetos en movimiento.

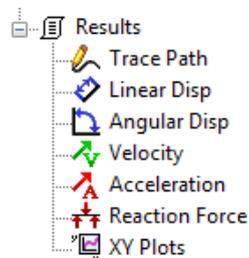


Ilustración 83. Análisis de Resultados en CosmosMotion.

5.2.3.1. Exportar la animación en formato “.avi”.

Tras resolver la simulación se puede observar visualmente cual será el movimiento del modelo con las condiciones impuestas y hacernos una idea, lo más próxima posible a cómo se comportará el modelos en la realidad. Dicha visualización puede ser exportada.

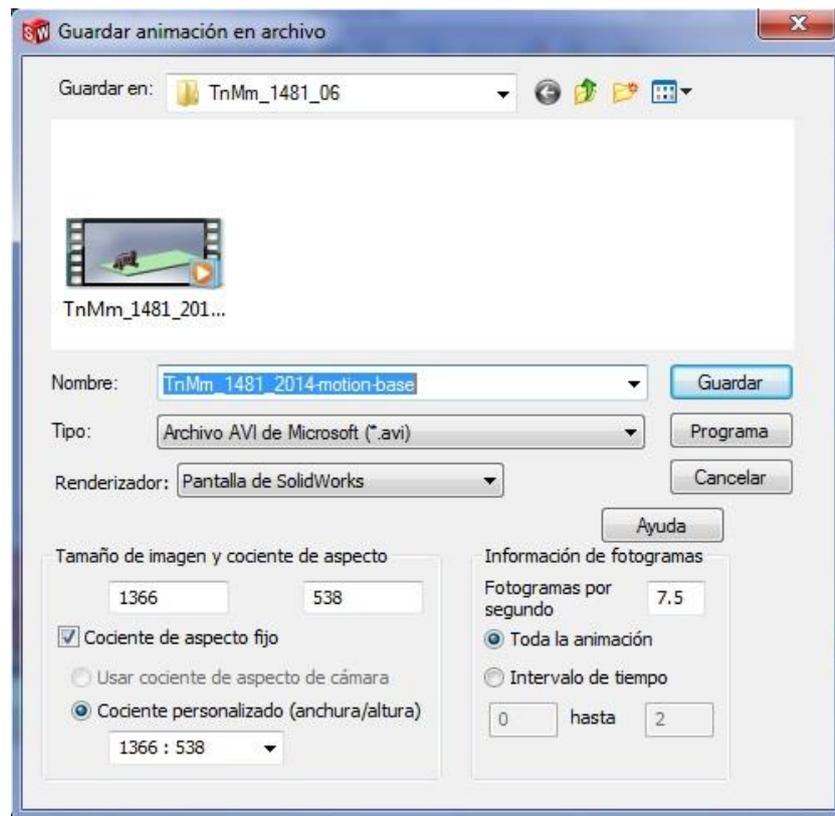


Ilustración 84. Menú de Exportar Animación en formato .AVI.

Esta herramienta es muy útil para configurar un vídeo explicativo para cada uno de los modelos simulados (en la versión digital de este proyecto es posible observar dichos vídeos en el apartado de cada uno de los modelos) y de esta manera que el alumno pueda conocer de antemano o posteriormente (según se considere adecuado y acorde al estado de aprendizaje del alumno) el modelo.

Para ello, se exportan diferentes vídeos de la simulación centrándonos en los diferentes mecanismos del modelo.

6. Creación de Modelos.

A continuación se presentan los diferentes modelos creados, para un mayor nivel de detalle, se recomiendo observar los modelos en el formato digital que se adjunta con este proyecto.

6.1. Modelos Isogawa Yoshihito.

Para comenzar con el montaje de modelos, se proponen diferentes ejemplos, más o menos sencillos, en los que aparecen una gran variedad de mecanismos. Estos modelos pertenecen a la colección de Isogawa Yoshihito.

Para los grandes aficionados a LEGO, este nombre no les resultará extraño. De entre los maestros constructores de LEGO cabe destacar la obra de Yoshihito Isogawa por su gran ingenio y estilo único. Con creaciones en apariencia sencillas, este autor presenta soluciones a retos de construcción haciendo gala de una gran creatividad e insistiendo siempre en la simplicidad.

Isogawa tiene publicados una serie de tres libros titulados “*The LEGO Technic Idea Book*” en los que expone algunas de sus invenciones para ser reproducidas. Eso sí, no se presentan en un “paso a paso” como es tradicional en los sets de LEGO, sino a través de fotos desde diferentes ángulos, de forma que puedan copiarse directamente, o servir de inspiración. Como todo lo relacionado con Yoshihito, la presentación en sí misma es parte de su cuidada obra.

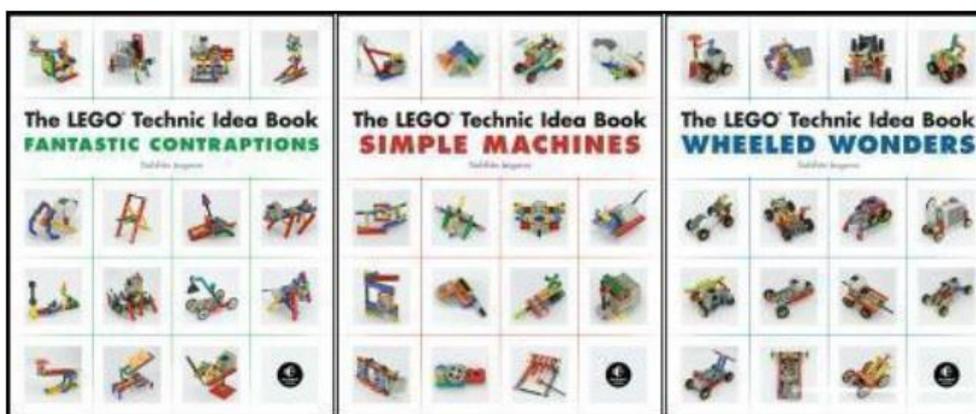


Ilustración 85. Libros de Isogawa Yoshihito “The LEGO Technic Idea Book”.

Dada la simplicidad de las maquinas Lego Technic que se pueden encontrar en el libro de Isogawa Yosihito, y como primera actividad práctica realizada en este proyecto, se propone construir de forma virtual, con la herramienta SOLIDWORKS 2007, dieciséis de sus modelos más simples, y dos más de un grado de complejidad mayor, que han sido cuidadosamente seleccionados entre los doscientos primeros que figuran en el documento “LEGO Technic Tora no Maki”, para que sean representativos de los tipos de uniones mecánicas habitualmente utilizadas en las máquinas. Sin olvidar que uno de los requisitos fundamentales es la localización de las PIEZAS que constituyen el modelo, consideradas como conjuntos de COMPONENTES Lego Technic que no poseen movimiento relativo entre ellos.

A continuación se exponen los modelos seleccionados, para un mayor detalle, ver la versión digital de este proyecto.

Los MODELOS seleccionados del documento mencionado son los siguientes:

6.1.1. Modelo T-0002.

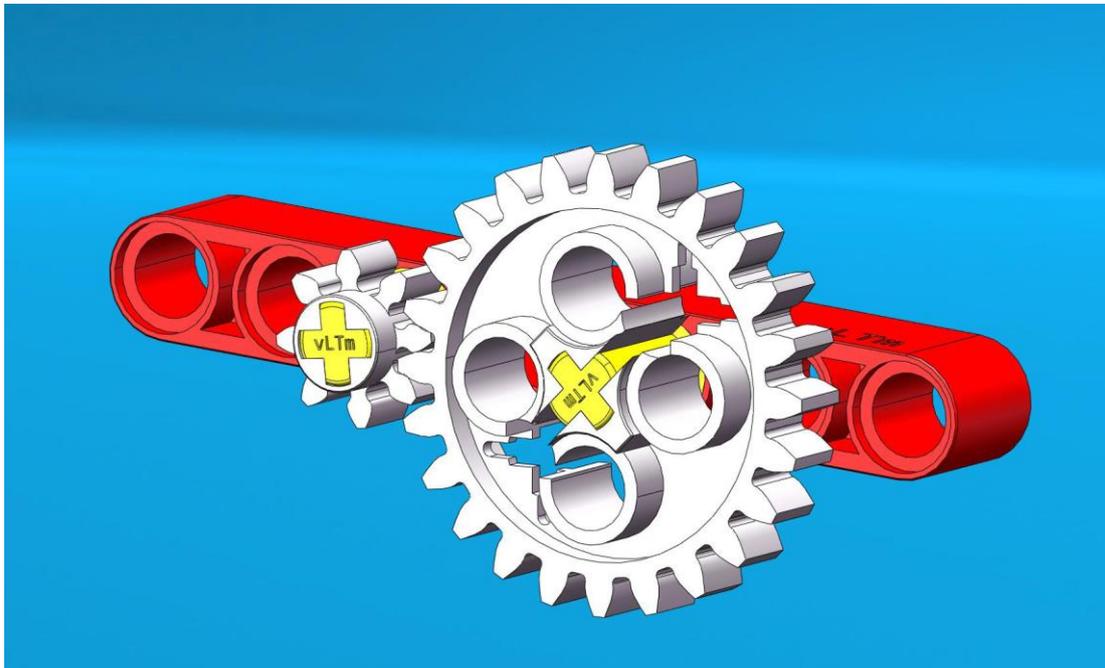


Ilustración 86. Modelo T-0002 – página 8.

Se trata de un modelo sencillo, compuesto por dos ruedas dentadas, formando un engranaje común de ejes paralelos, cilíndrico de dientes rectos. Se ha utilizado una relación de posición avanzada. Estas dos ruedas están unidas a la barra fija por sus ejes.

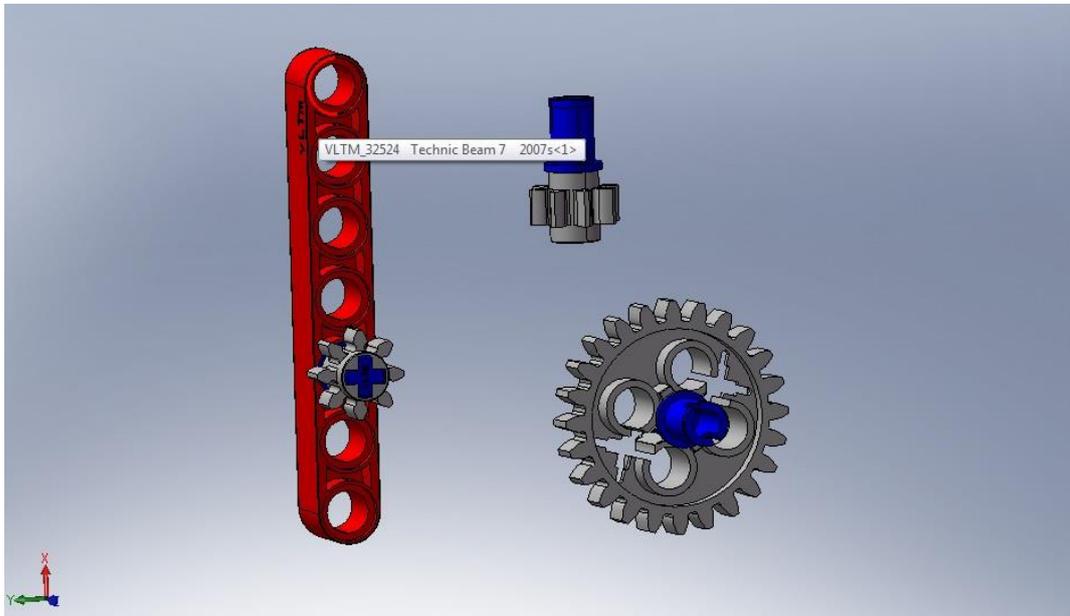


Ilustración 87. Piezas Modelo T-0002.

6.1.2. Modelo T-0008.

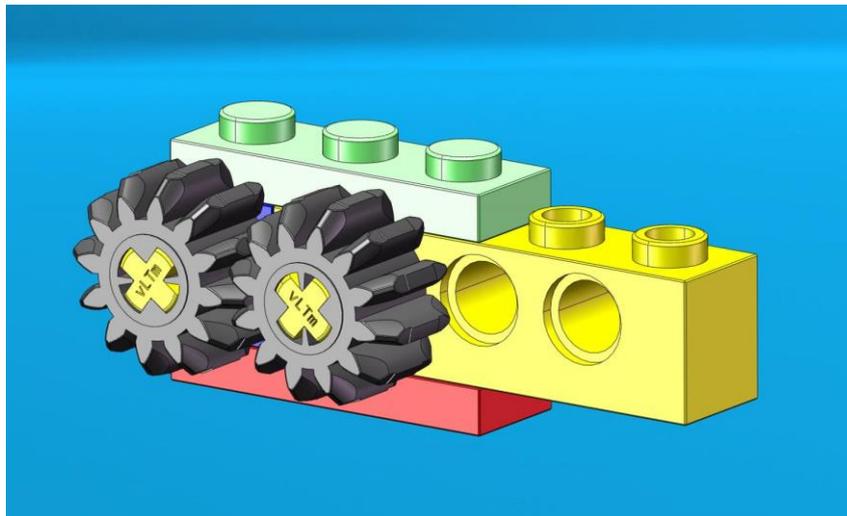


Ilustración 88. Modelo T-0008 – página 9.

Se trata de un mecanismo similar al anterior, con dos ruedas dentadas formando un engranaje común de ejes paralelos, cilíndrico de dientes rectos, unidos mediante una relación de posición avanzada.

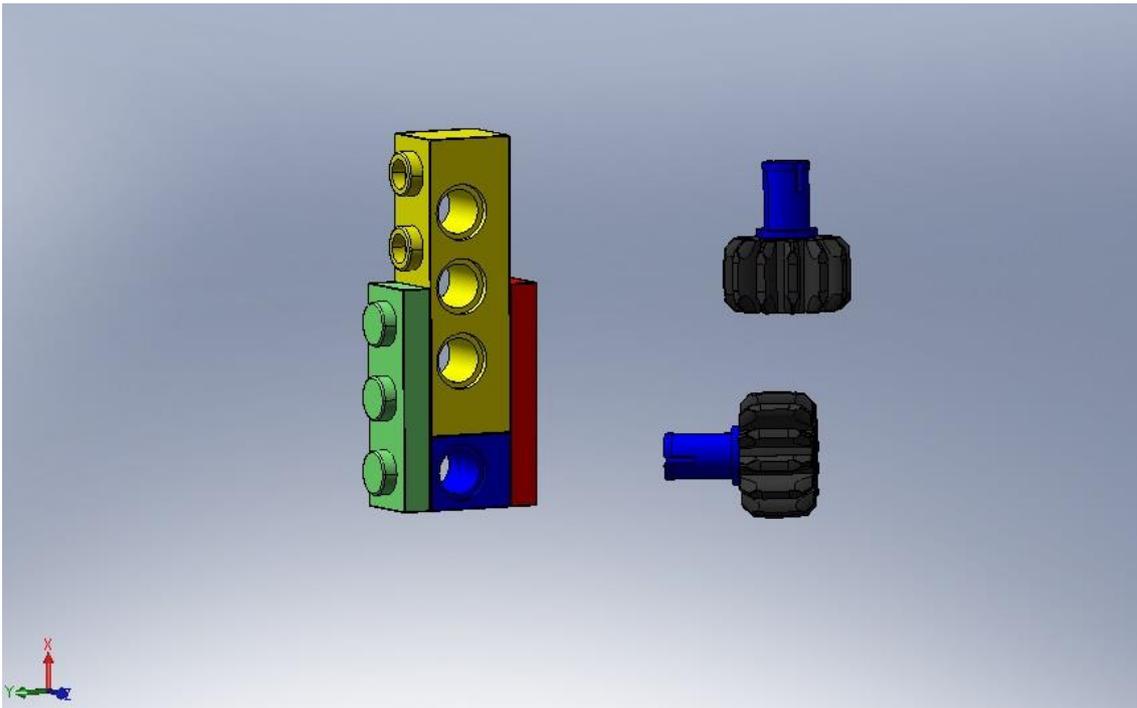


Ilustración 89. Piezas Modelo T-0008.

6.1.3. Modelo T-0009.

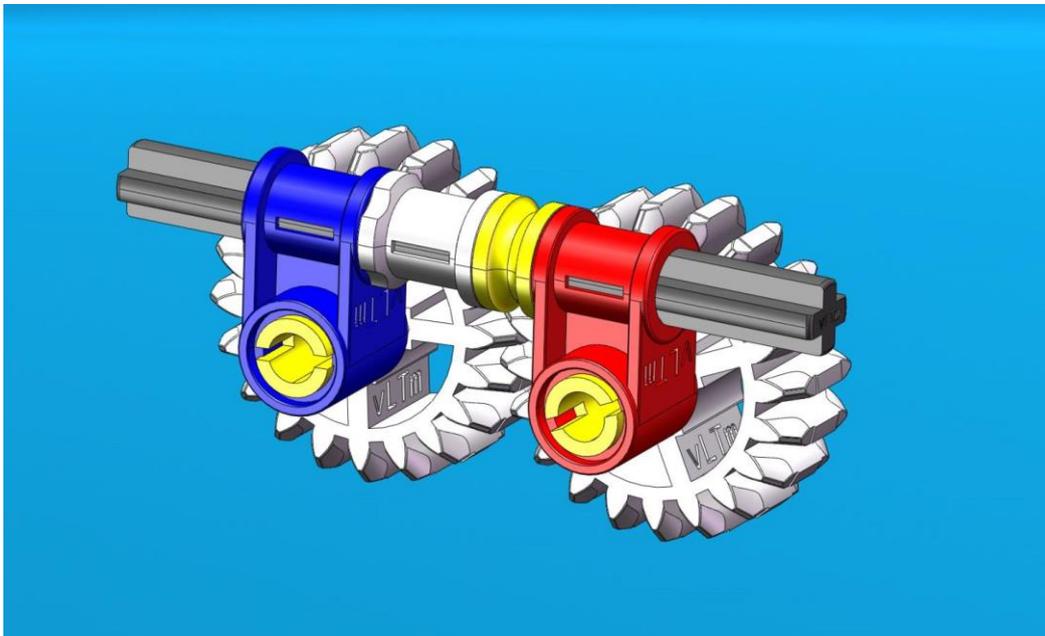


Ilustración 90. Modelo T-0009 – página 9.

Otro ejemplo en la línea de los dos anteriores, con dos ruedas dentadas formando un engranaje común de ejes paralelos, cilíndrico de dientes rectos.

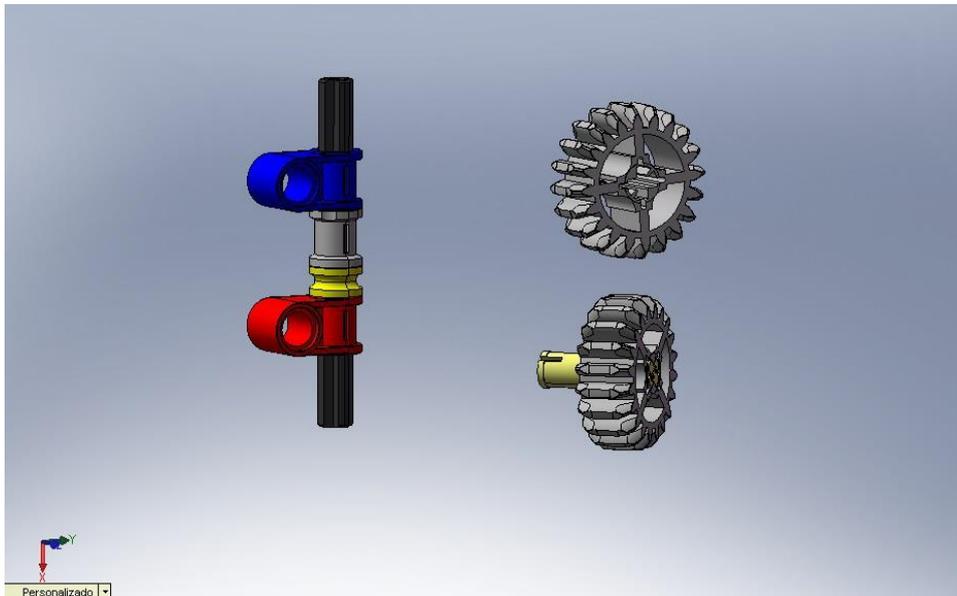


Ilustración 91. Piezas Modelo T-0009.

6.1.4. Modelo T-0013.

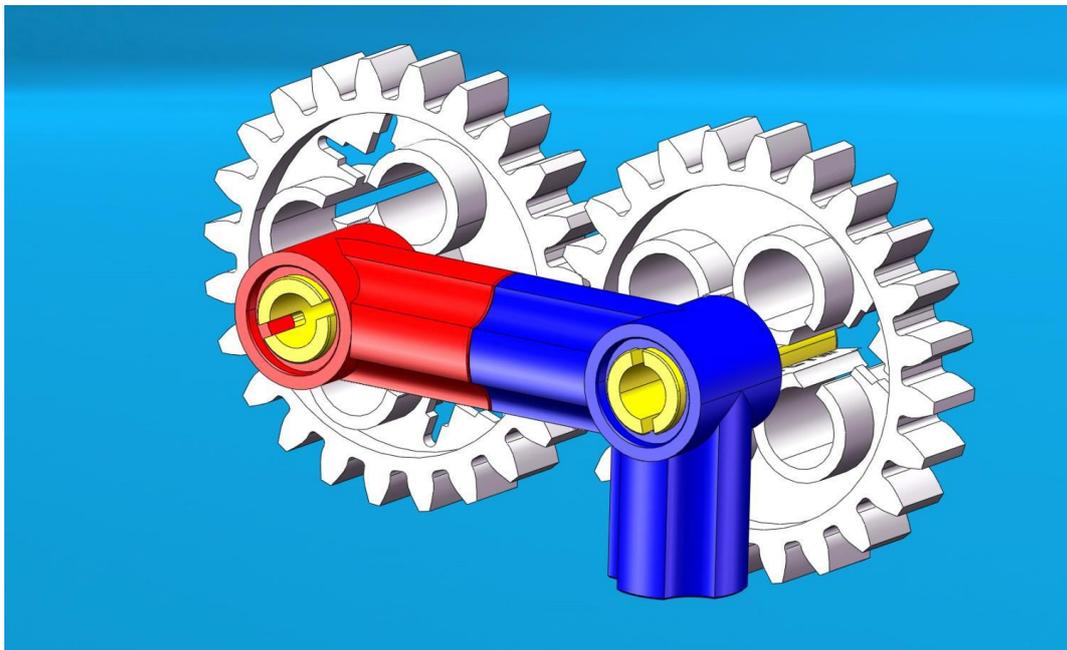
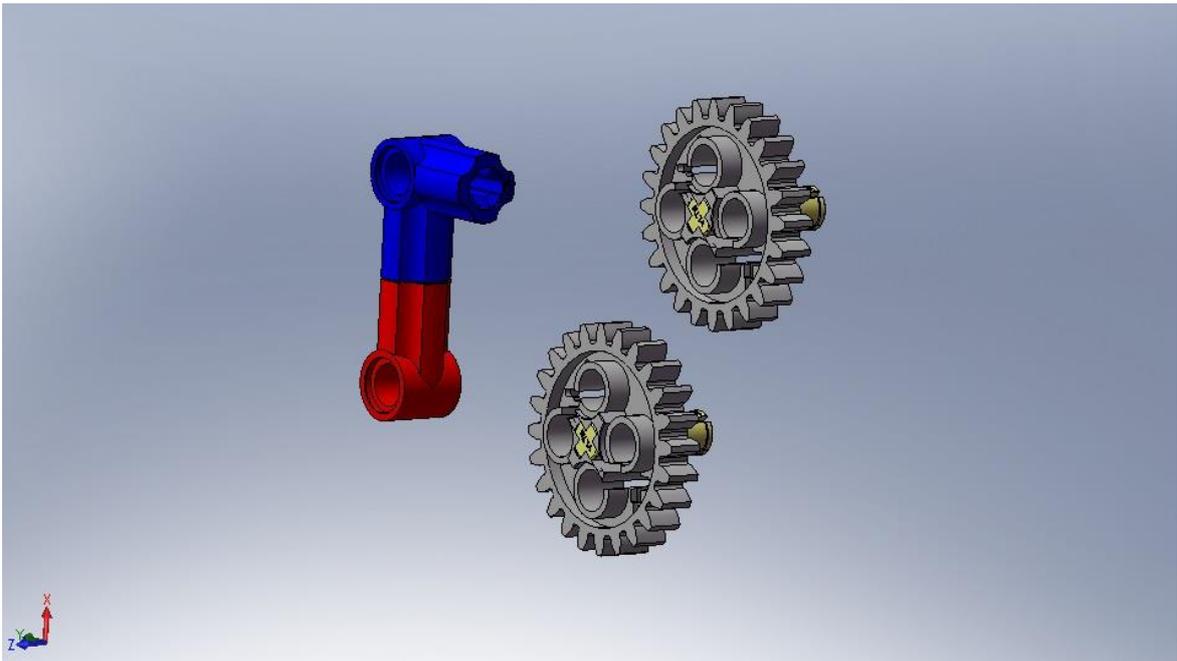


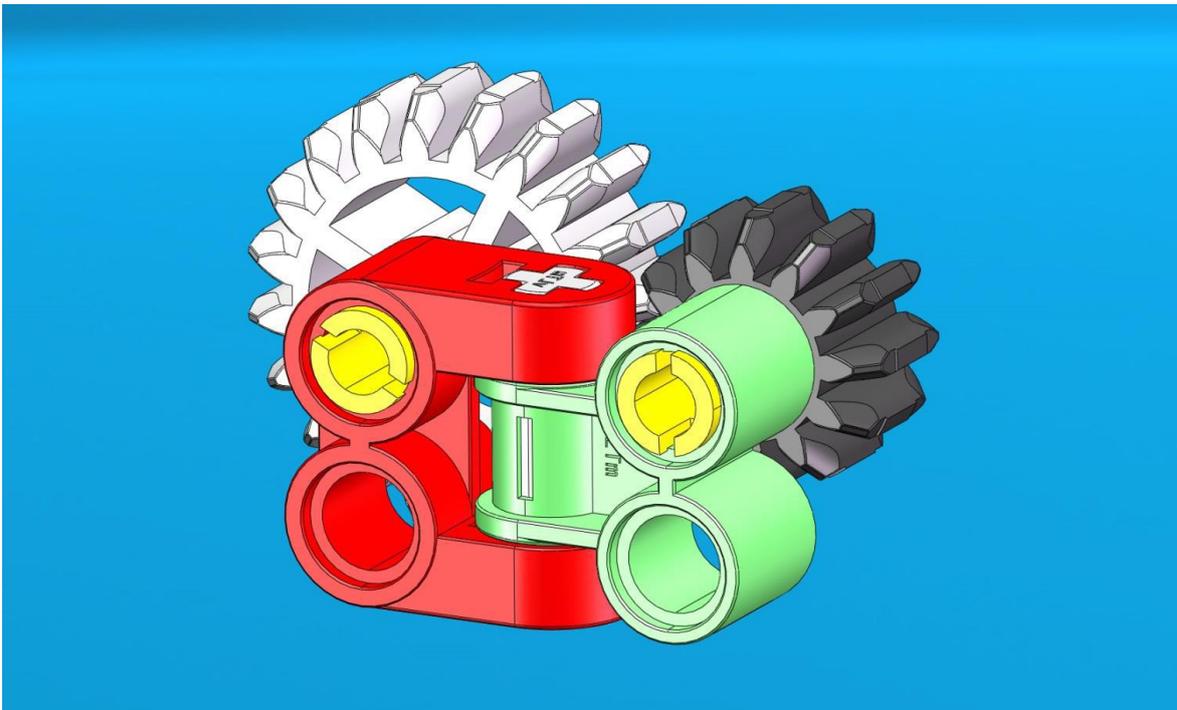
Ilustración 92. Modelo T-0013 – página 10.

De nuevo un mecanismo donde lo más relevante es el engranaje formado por las dos ruedas dentadas. Como en los modelos precedentes, se ha utilizado una relación de posición avanzada.



Il·lustració 93. Piezas Modelo T-0013.

6.1.5. Modelo T-0026.



Il·lustració 94. Modelo T-0026 pàgina 12.

Este modelo es, básicamente, idéntico a los anteriores.

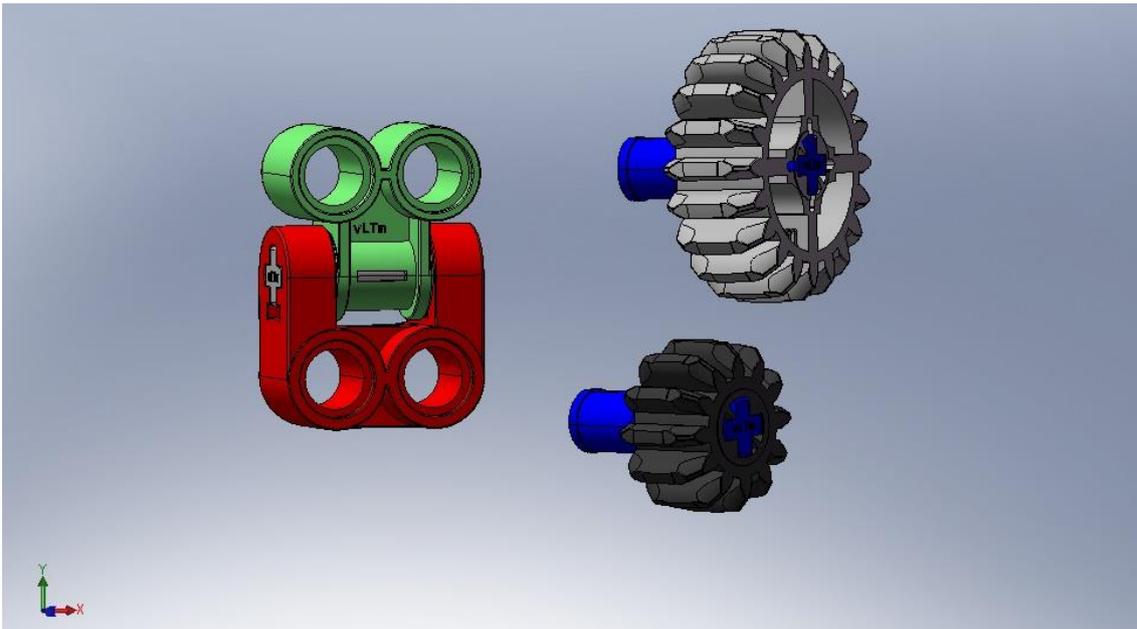


Ilustración 95. Piezas Modelo T-0026.

6.1.6. Modelo T-0037.

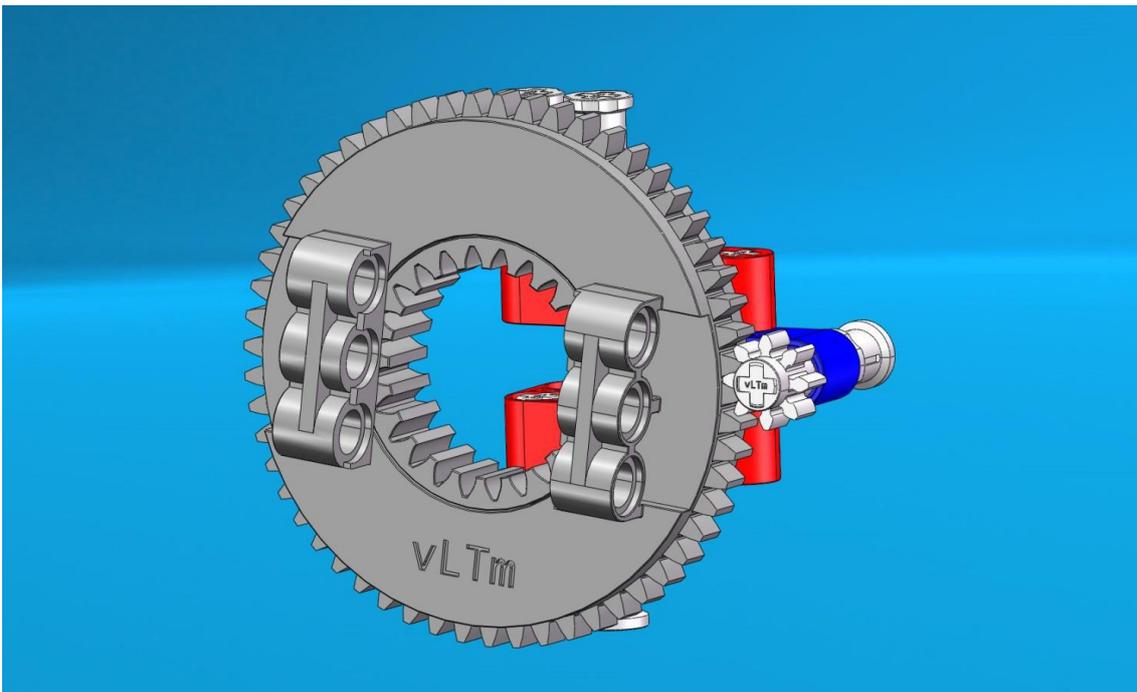


Ilustración 96. Modelo T-0037 – página 15.

Este modelo mantiene el engranaje común cilíndrico de dientes rectos como parte más representativa del mecanismo.

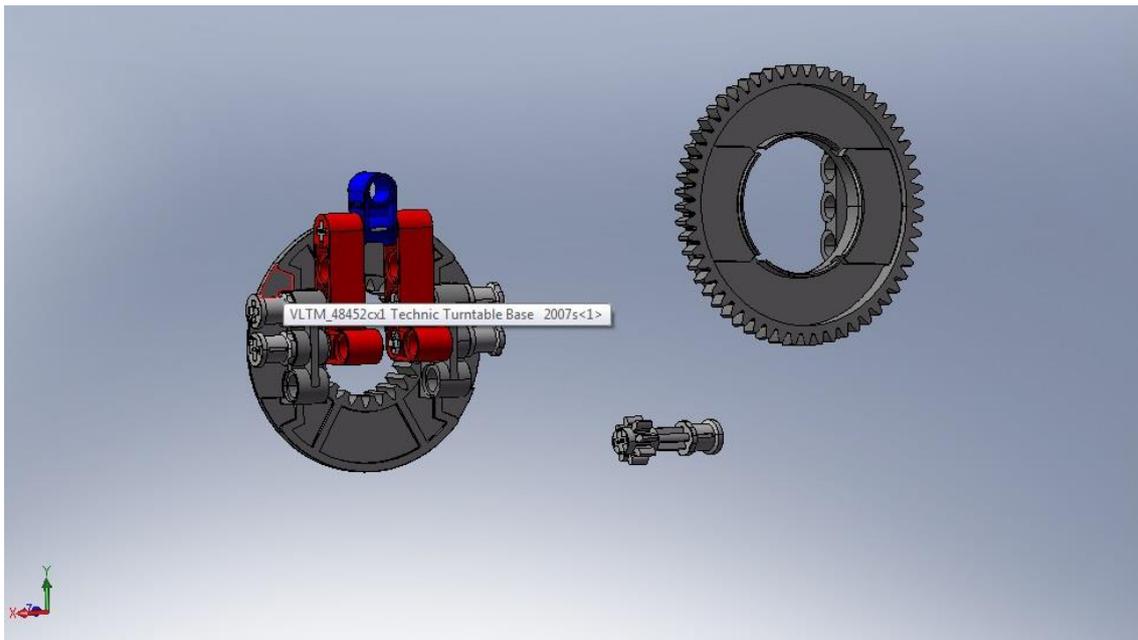


Ilustración 97. Piezas Modelo T-0037.

6.1.7. Modelo T-0040.

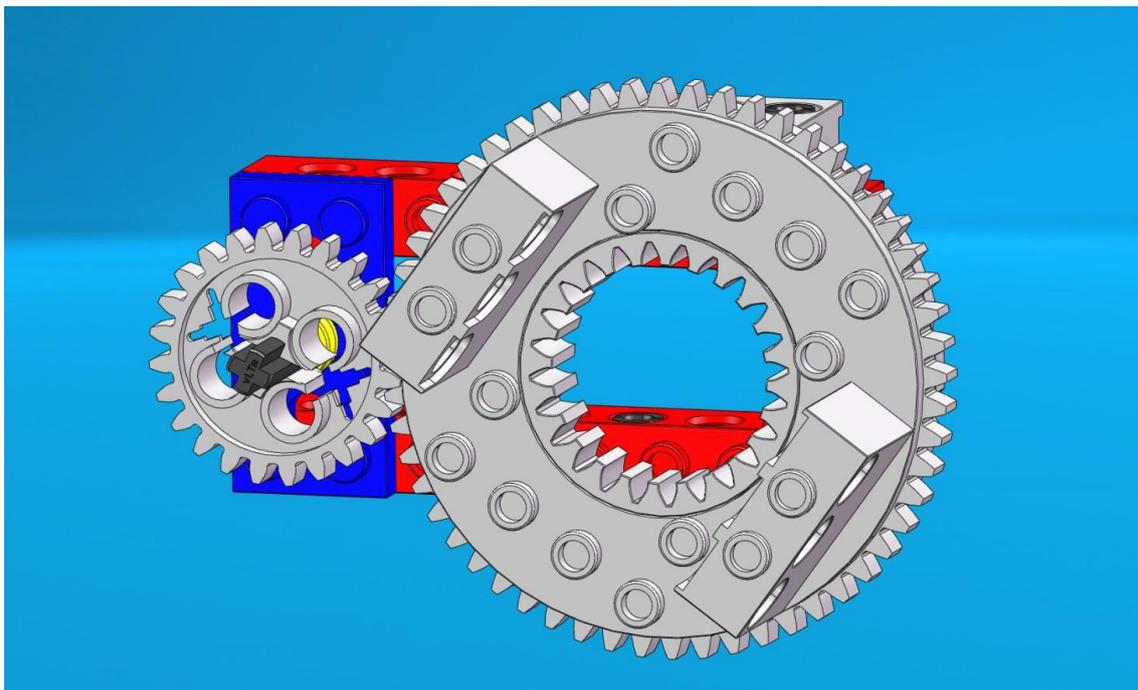
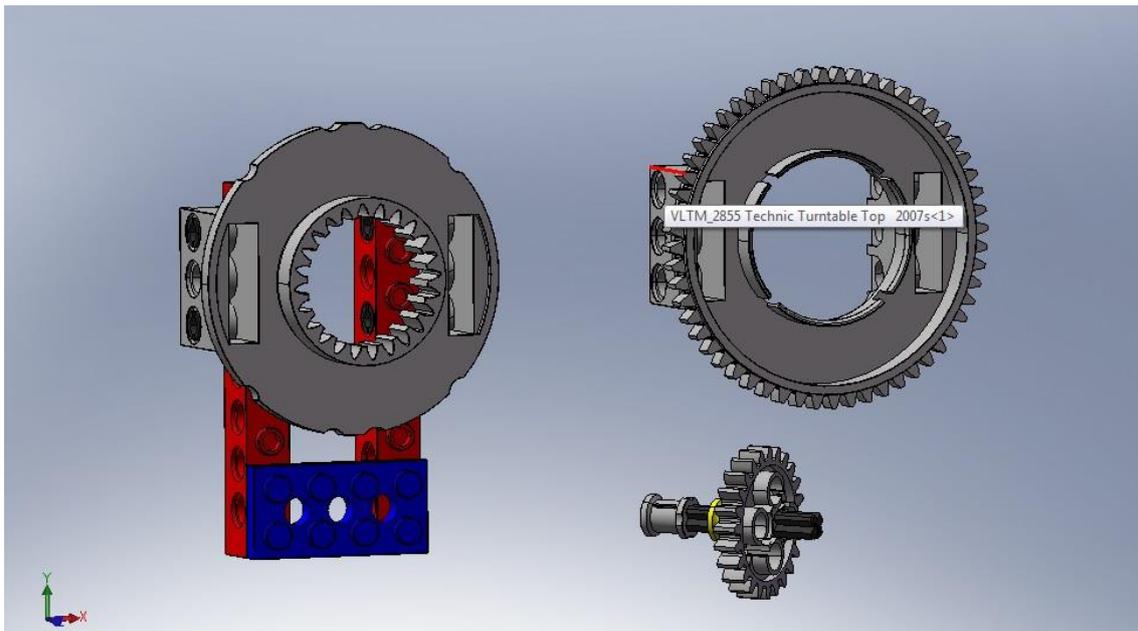


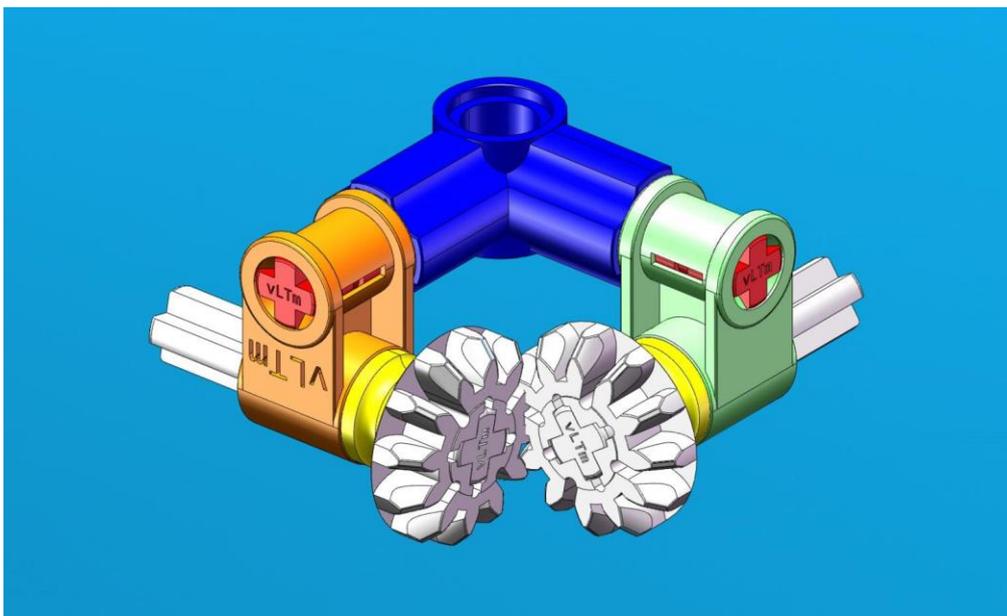
Ilustración 98. Modelo T-0040 – página 15.

Engranaje común de ejes paralelos, cilíndrico de dientes rectos.



Il·lustració 99. Piezas Modelo T-0040.

6.1.8. Modelo T-0051.



Il·lustració 100. Modelo T-0051 – pàgina 16.

En este modelo se ve de nuevo un engranaje común, pero no se trata de un engranaje cilíndrico de dientes rectos y ejes paralelos, como los vistos en los modelos anteriores, sino de un engranaje cónico de dientes rectos, cuyos ejes son perpendiculares. Para su construcción en SolidWorks, se ha utilizado la misma relación de posición avanzada que en los casos precedentes.

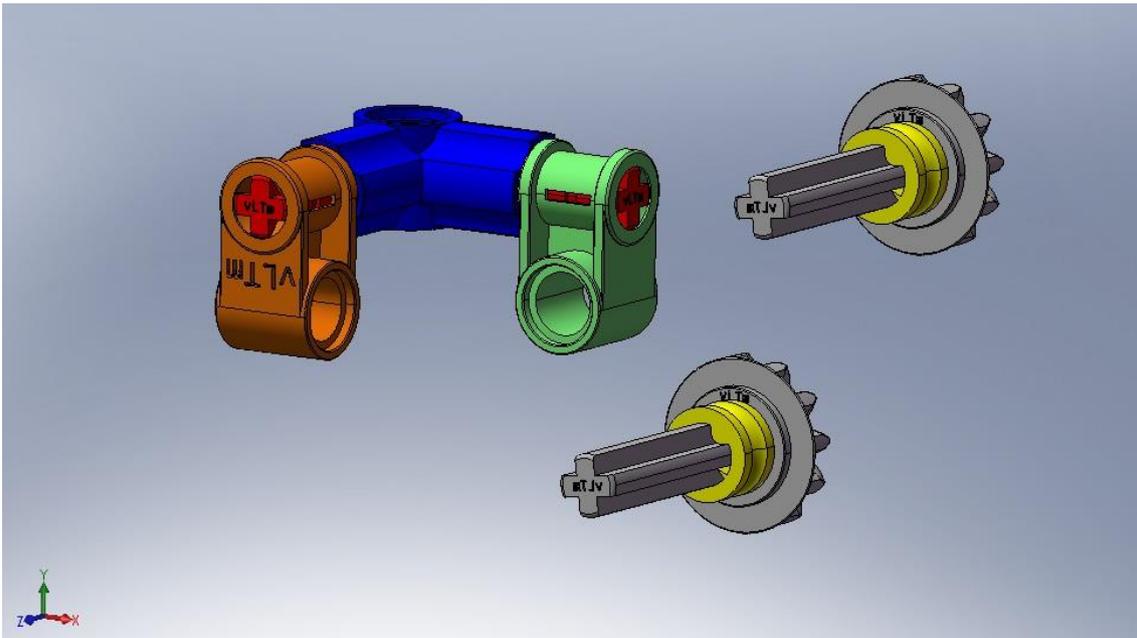


Ilustración 101. Piezas Modelo T-0051.

6.1.9. Modelo T-0059.

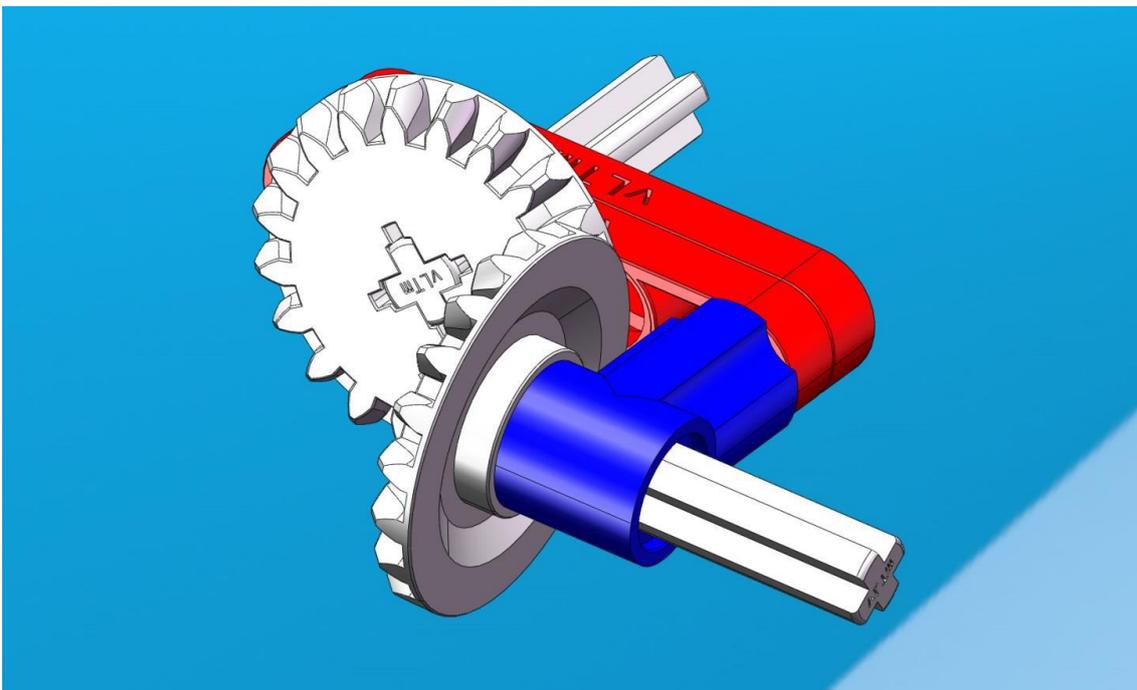


Ilustración 102. Modelo T-0059 - página 19.

Este modelo representa un nuevo caso de engranaje común de ejes perpendiculares, cónico de dientes rectos.

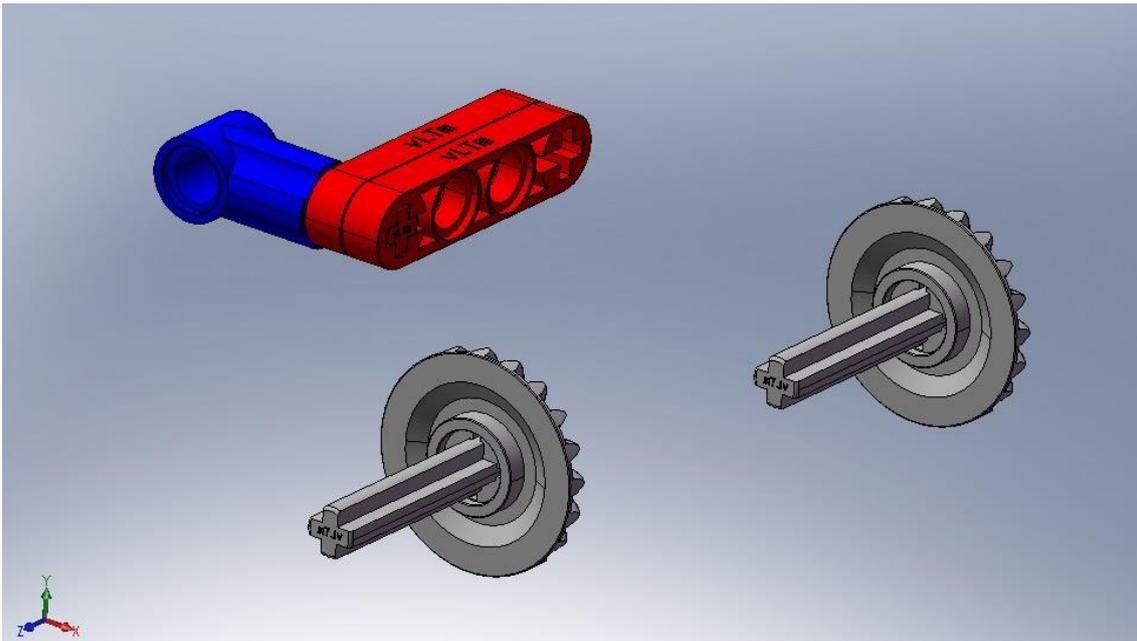


Ilustración 103, Piezas Modelo T-0059.

6.1.10. Modelo T-0062.

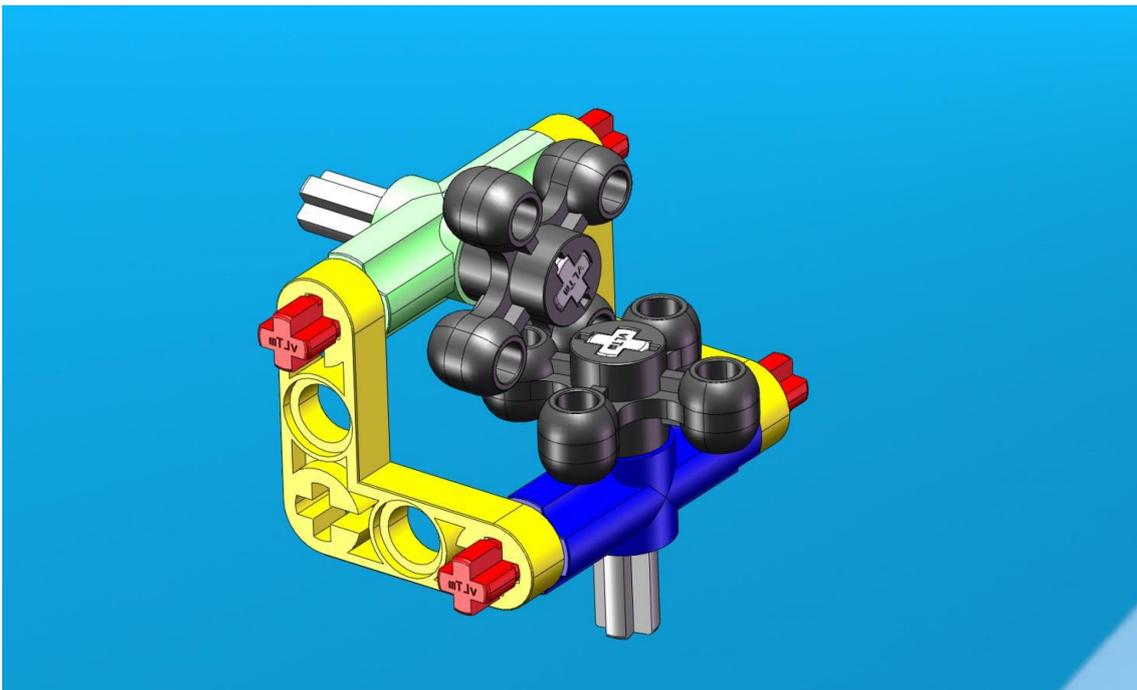


Ilustración 104. Modelo T-0062- página 19.

A efectos de la relación de posición a definir en SolidWorks, este modelo se puede considerar un engranaje común de ejes perpendiculares. La definición de la relación de posición es idéntica a las anteriores.

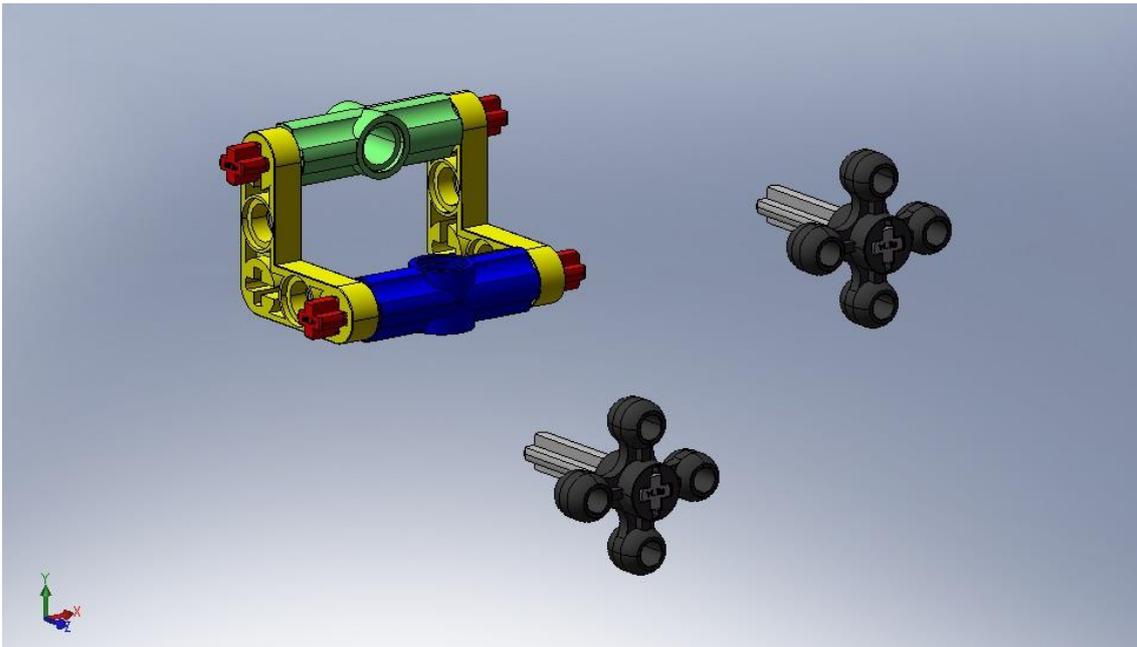


Ilustración 105. Piezas Modelo T-0062.

6.1.11. Modelo T-0075.

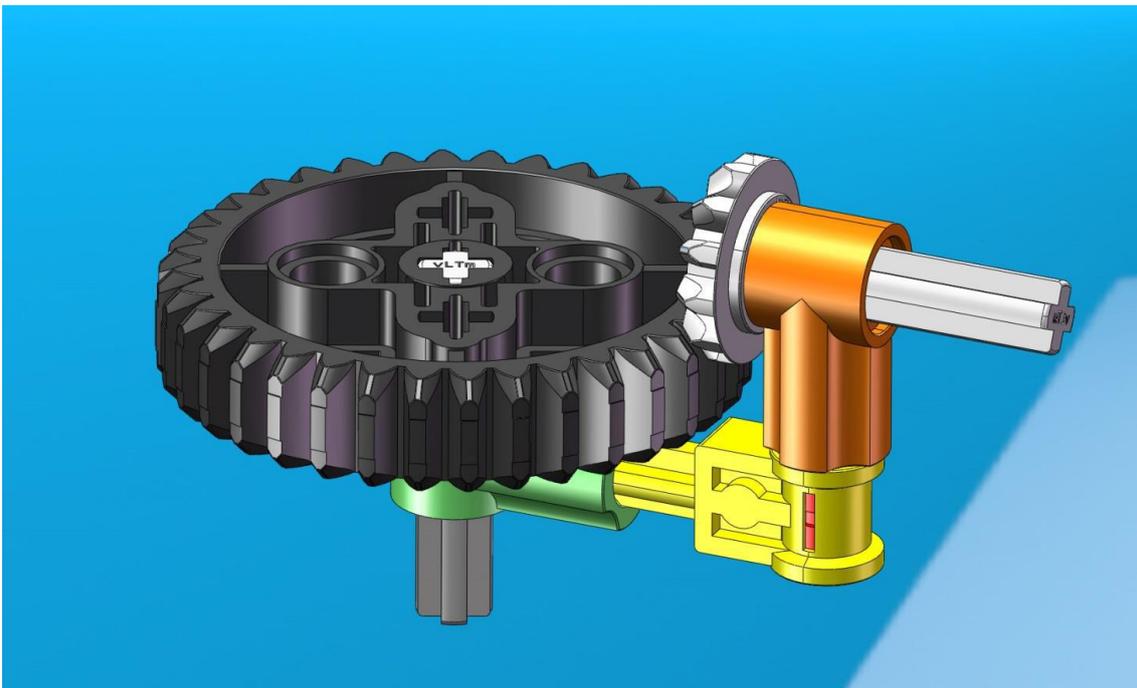


Ilustración 106. Modelo T-0075 - página 22.

En este modelo observamos un nuevo par de tipo engranaje común de ejes perpendiculares, cónica de dientes rectos.

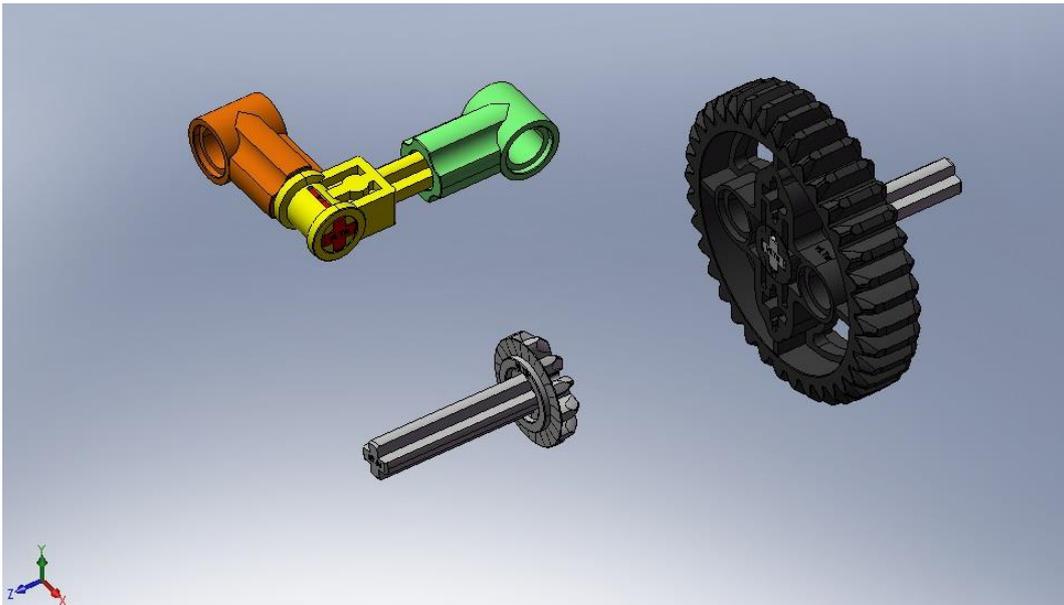


Ilustración 107. Piezas Modelo T-0075.

6.1.12. Modelo T-0079.

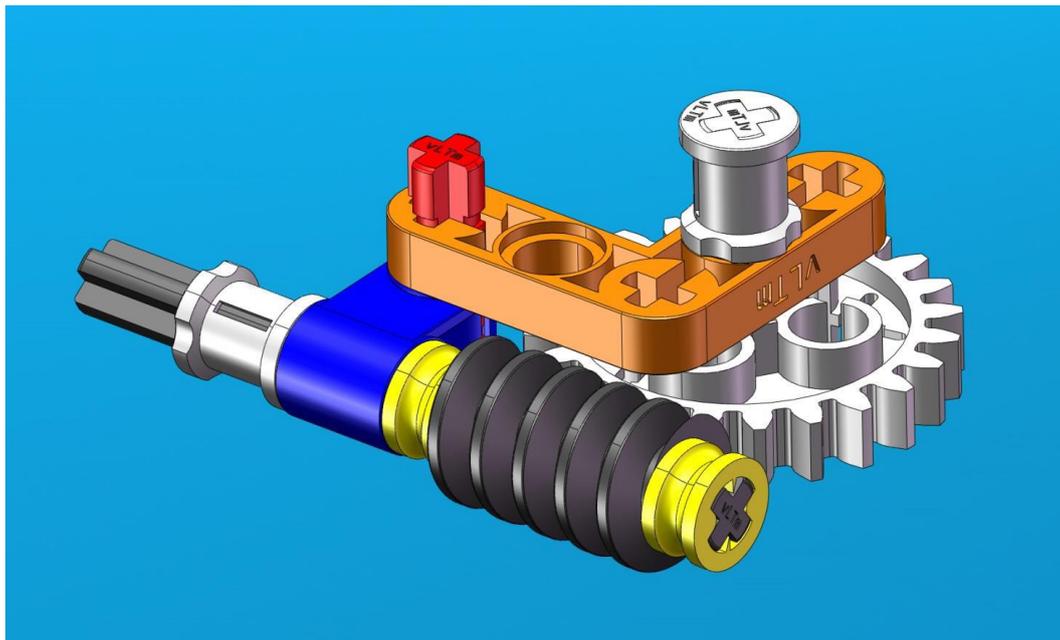


Ilustración 108. Modelo T-0079 - página 23.

En este modelo observamos por primera vez un engranaje tornillo sin fin. Se define de la misma manera que un engranaje común, En el caso de este modelo, 24 vueltas del tornillo sin fin se traducen en 1 vuelta de la rueda dentada.

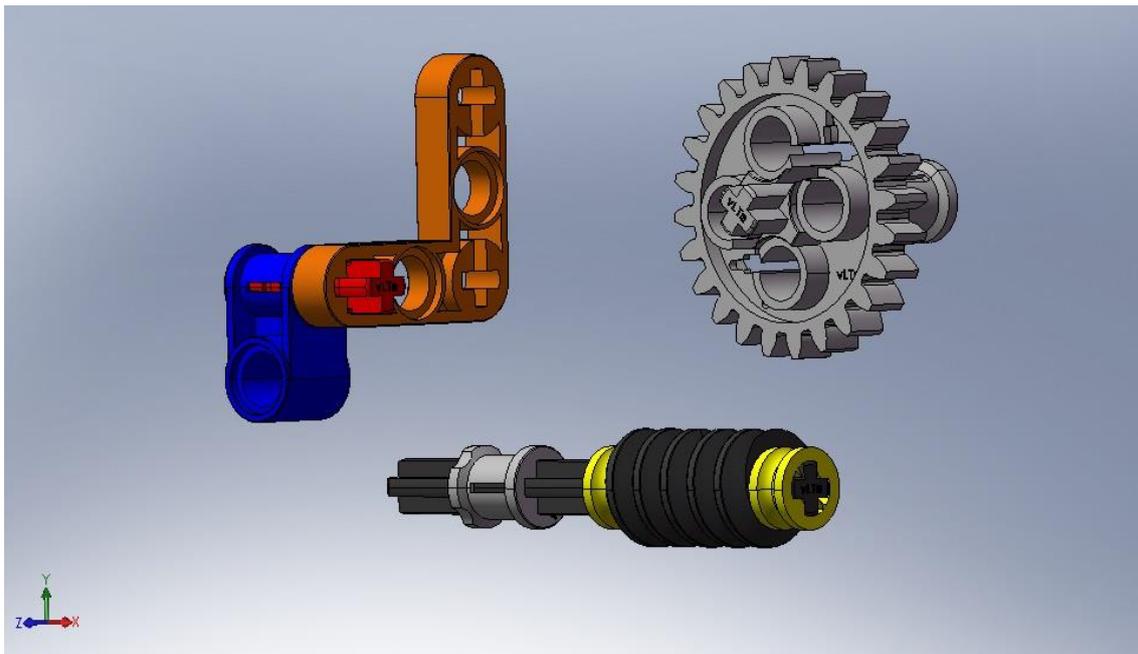


Ilustración 109. Piezas Modelo T-0079.

6.1.13. Modelo T-0093.

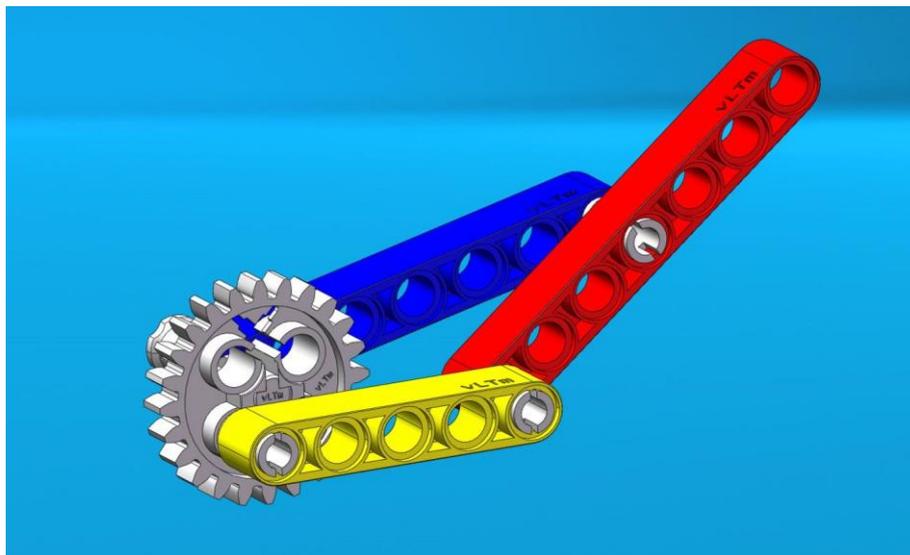


Ilustración 110. Modelo T-0093 - página 32.

En este modelo se observa un mecanismo de cuatro barras o cuadrilátero articulado, donde la rueda dentada se consideraría, en su diagrama cinemático, como una barra que reproduciría el mismo movimiento que se puede observar, en el archivo correspondiente a este modelo, en el formato digital que se adjunta con este proyecto. Se han definido relaciones de posición simples: coincidente y concéntrica.

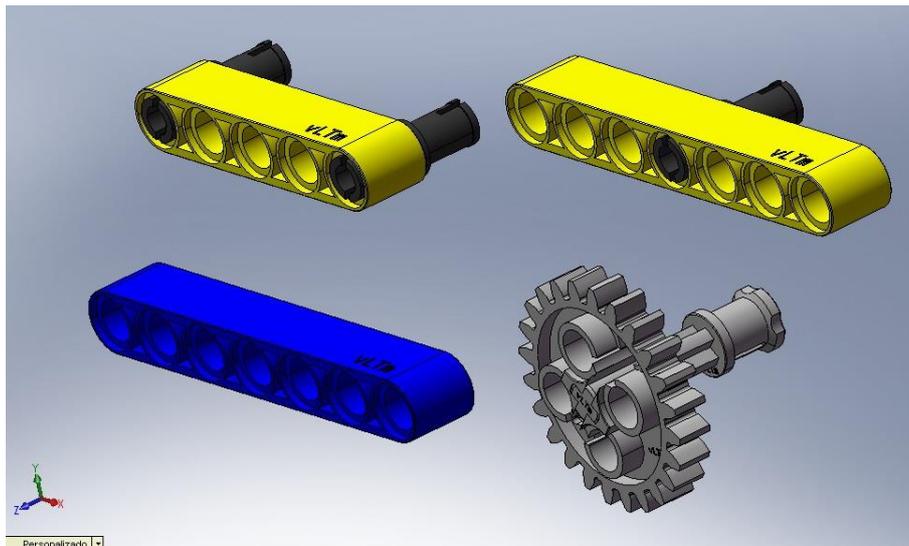


Ilustración 111. Piezas Modelo T-0093.

6.1.14. Modelo T-0098

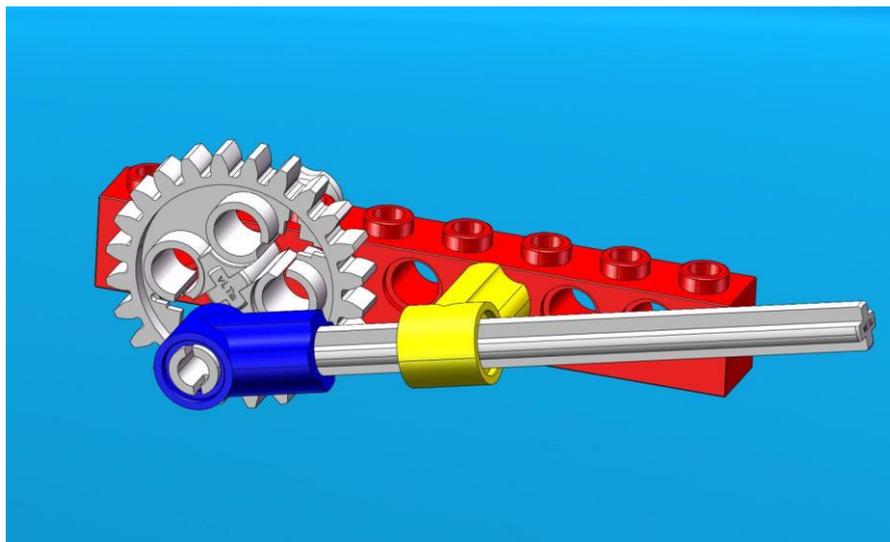


Ilustración 112. Modelo T-0098 - página 33.

Este modelo reproduce un mecanismo biela manivela, un mecanismo que transforma un movimiento circular en un movimiento de traslación, o viceversa. El ejemplo actual más común se encuentra en el motor de combustión interna de un automóvil, en el cual el movimiento lineal del pistón producido por la explosión de la gasolina se transmite a la biela y se convierte en movimiento circular en el cigüeñal. En el formato digital adjuntado se puede observar su movimiento arrastrando la manivela (rueda dentada) o la biela. Se han definido relaciones de posición simples: coincidente y concéntrica.

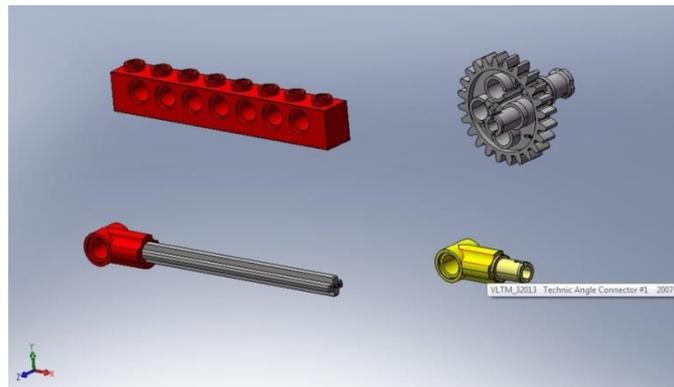


Ilustración 113. Piezas Modelo T-0098.

6.1.15. Modelo T-0102.

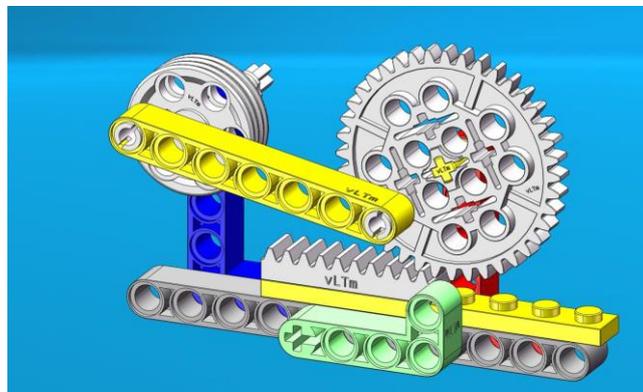


Ilustración 114. Modelo T-0102 - página 34.

En este modelo observamos un mecanismo que transforma un movimiento giratorio en un movimiento de traslación, a través de la unión de la rueda conductora (la más pequeña) con la conducida (la más grande) mediante una barra, y de la unión de la rueda conducida con una cremallera, formando un engranaje piñón-cremallera. Se han utilizado relaciones de posición simples y avanzadas de piñón cremallera.

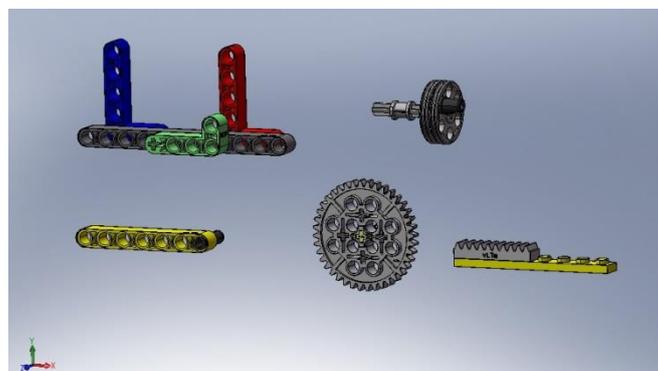


Ilustración 115. Piezas Modelo T-0102.

6.1.16. Modelo T-0107.

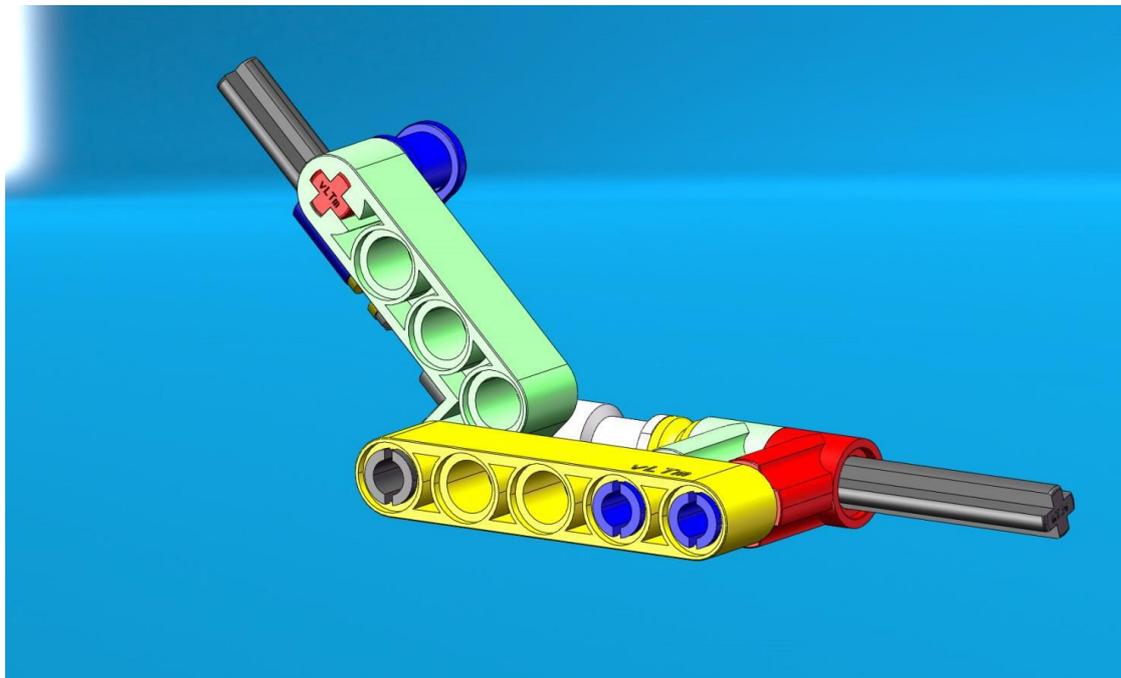
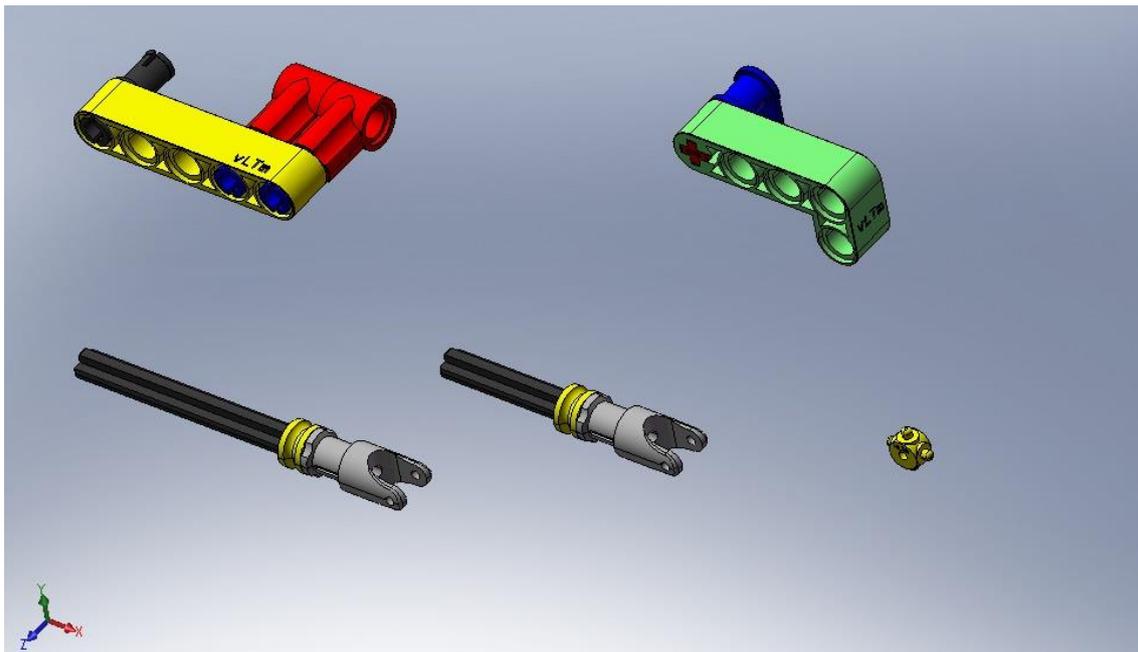


Ilustración 116. Modelo T-0107 - página 36.

En este modelo se observa un par universal. Este par permite transmitir la rotación de un cuerpo a otro.

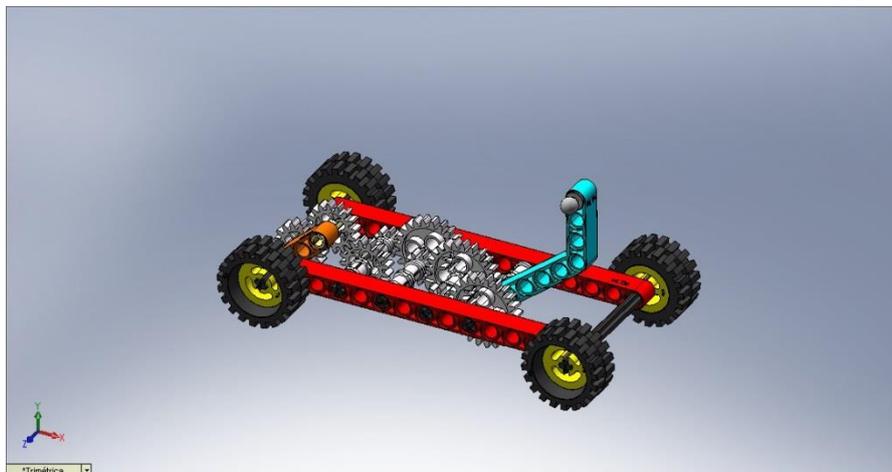


Ilustración 117. Modelo T-0107.



Il·lustració 118. Peces Model T-0107.

6.1.17. Modelo T-0259.



Il·lustració 119. Modelo T-0259 – pàgina 133.

En este modelo, más avanzado, observamos una transmisión a base de engranajes, concretamente se trata de un multiplicador de velocidad. La barra azul indica el sentido del movimiento del modelo, hacia delante o hacia atrás, según se mueva en sentido horario o anti-horario respectivamente.

En la ilustración 26 se puede observar con detalle su mecanismo plano.

En el formato digital del presente proyecto se puede observar de forma clara el movimiento descrito.

Como se puede ver en la siguiente ilustración, el modelo se ha dividido en 11 piezas de, como máximo, 10 componentes cada una.

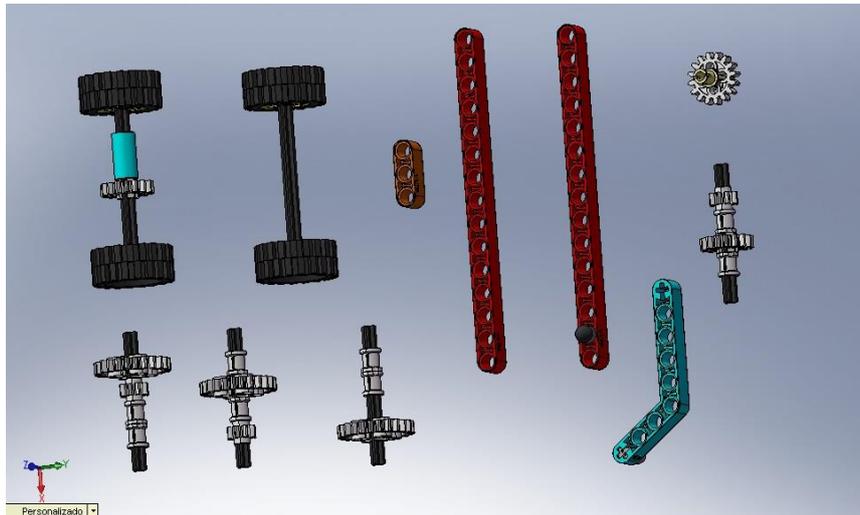


Ilustración 120. Piezas Modelo T-0259.

COMPONENTES:



Ilustración 121. Componentes Modelo T-0259.

- VLTM_2346 Tyre Medium
- VLTM_2736 Technic Axle Towball
- VLTM_3482 Wheel Centre Large 2007s
- VLTM_3647 Technic Gear 8 Tooth 2007s
- VLTM_3648 ~Moved to 3648a 2007s

- VLTM_3706 Technic Axle 6 2007s
- VLTM_3707 Technic Axle 8 2007s
- VLTM_3713 Technic Bush 2007s
- VLTM_3749 Technic Axle Pin 2007s
- VLTM_4019 Technic Gear 16 Tooth 2007s
- VLTM_5292 rotor moteur
- VLTM_6629 Technic Beam 4x6 Liftarm Bent 53.5 2007s
- VLTM_32278 Technic Beam 15 2007s
- VLTM_32523 Technic Beam 3 2007s

6.1.18. Modelo T-1950.

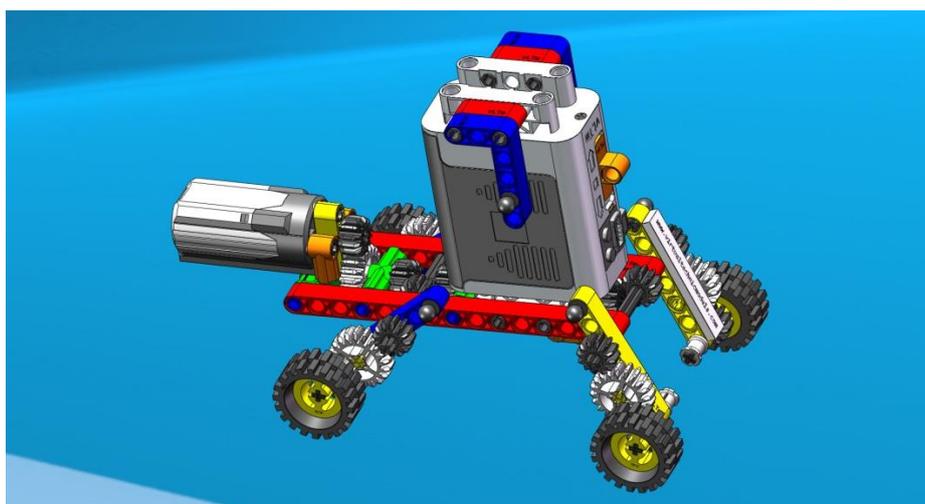


Ilustración 122. Modelo T-1950 – página 84.

Este modelo, se trata de un vehículo motorizado, en el cual el motor (parte izquierda de la ilustración 122) está alimentado por una batería (parte central de la ilustración 122) con dos modos de funcionamiento, hacia delante o hacia atrás.

El motor transmite el movimiento a las cuatro ruedas, mediante un mecanismo de engranajes comunes.

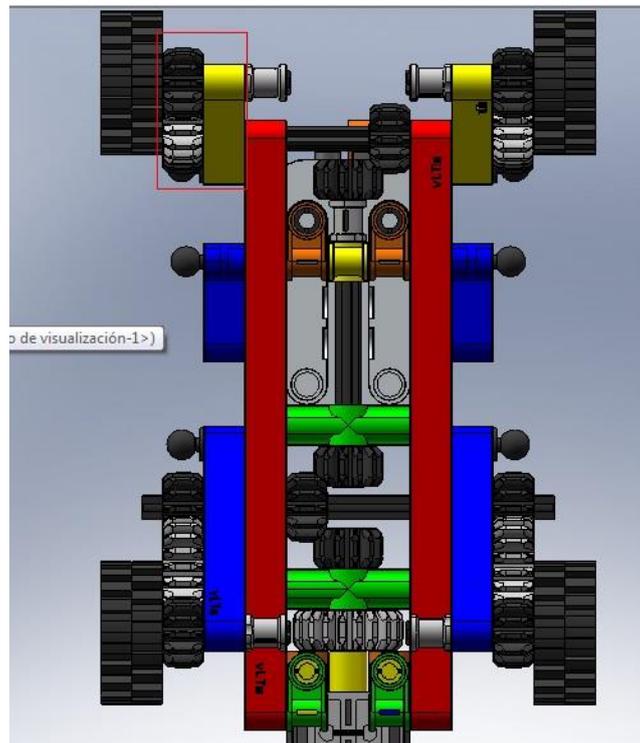


Ilustración 123. Mecanismo de transmisión de movimiento a las cuatro ruedas.

Como se puede ver en la siguiente ilustración, el modelo se ha dividido en 19 piezas de, como máximo, 10 componentes cada una.

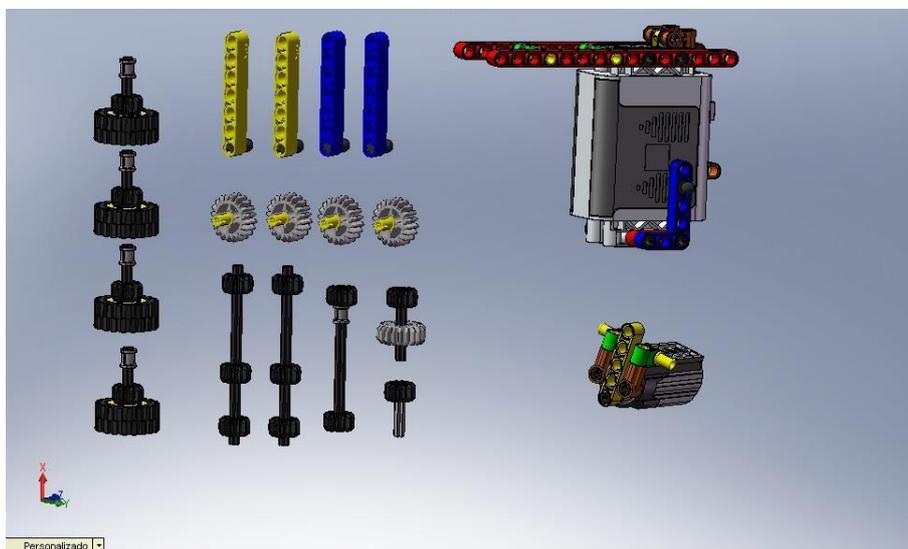


Ilustración 124. Piezas Modelo T-1950.

COMPONENTES:

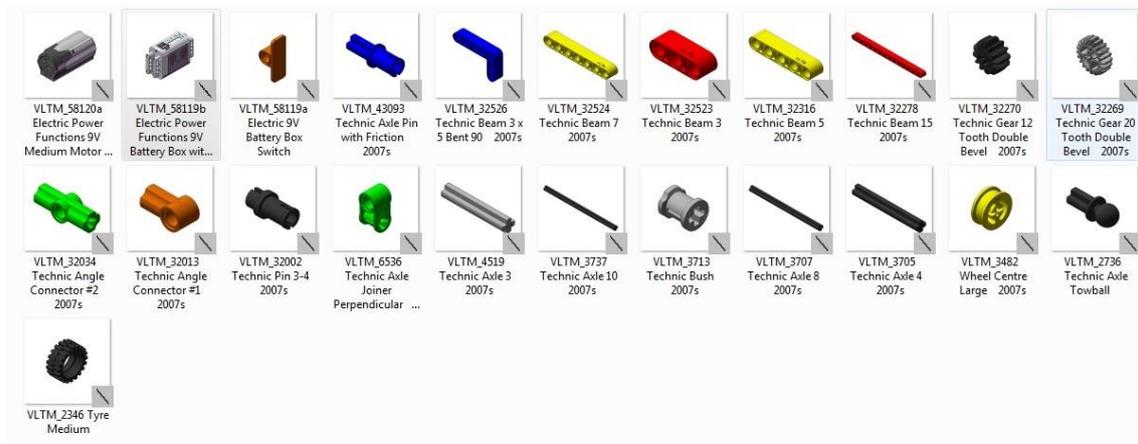


Ilustración 125. Componentes Modelo T-1950.

- VLTM_2346 Tyre Medium
- VLTM_2736 Technic Axle towball
- VLTM_3482 Wheel Centre Large 2007s
- VLTM_3705 Technic Axle 4 2007s
- VLTM_3707 Technic Axle 8 2007s
- VLTM_3713 Technic Bush 2007s
- VLTM_3737 Technic Axle 10 2007s
- VLTM_4519 Technic Axle 3 2007s
- VLTM_6536 Technic Axle Joiner Perpendicular 2007s
- VLTM_32002 Technic Pin 3-4 2007s
- VLTM_32013 Technic Angle Connector#1 2007s
- VLTM_32034 Technic Angle Connector#2 2007s
- VLTM_32269 Technic Gear 20 Tooth Double Bevel 2007s
- VLTM_32270 Technic Gear 12 Tooth Double Bevel 2007s
- VLTM_32278 Technic Beam 15 2007s
- VLTM_32316 Technic Beam 5 2007s
- VLTM_32523 Technic Beam 3 2007s
- VLTM_32524 Technic Beam 7 2007s

-VLTM_32526 Technic Beam 3 x 5 Bent 90 2007s

-VLTM_43093 Technic Axle Pin with Friction 2007s

-VLTM_58119a Electric 9V Battery Box Switch

-VLTM_58119b Electric Power Functions 9V Battery Box with DkStone Lids

-VLTM_58120a Electric Power Functions 9V Medium Motor – corps

6.2. Modelo LEGO Technic 8891-4.



Ilustración 126. Modelo LEGO Technic 8891-4.

Este modelo es una reproducción a escala de un ala delta motorizado. Cabe destacar, en este modelo, la fiel reproducción del motor de dos cilindros, el cual es el encargado de dotar de movimiento a la hélice trasera a través del cigüeñal.

Para la construcción del motor, en concreto para la unión biela-pistón, se utiliza geometría de referencia, es decir, se coloca un punto en el centro de la esfera de la biela, y se hace coincidir con el origen del pistón (definido por defecto en su centro). De esta manera conseguimos un par esférico (restringe las tres traslaciones y permite los tres giros) entre ambos componentes, que se convertirá en un par de revolución al unirlo con el cigüeñal.

Para conseguir la unión pistón-biela-cigüeñal sin que en el programa aparezca un error por relaciones en exceso, se ha de definir, únicamente, una relación de posición concéntrica entre biela y cigüeñal, una relación de posición coincidente entre los puntos de biela y pistón, como se ha comentado anteriormente, y una relación de posición concéntrica en el pistón y el cilindro del bloque del motor.

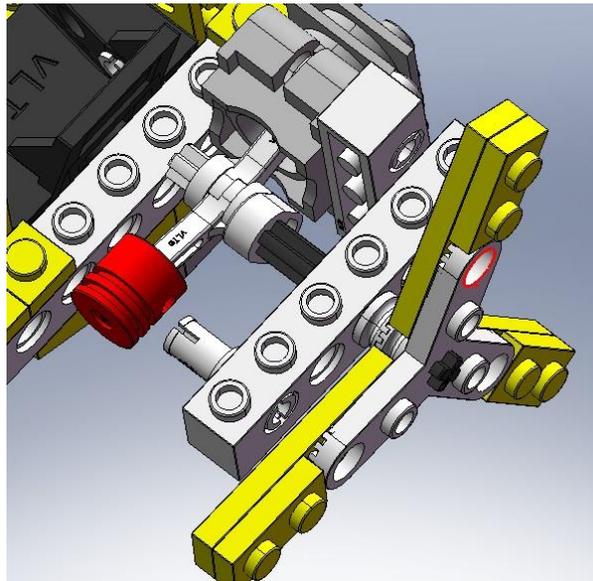


Ilustración 127. Mecanismo pistón-biela-cigüeñal del modelo 8891-4.

Como se puede ver en la siguiente ilustración, el modelo se ha dividido en 39 piezas de, como máximo, 10 componentes cada una.

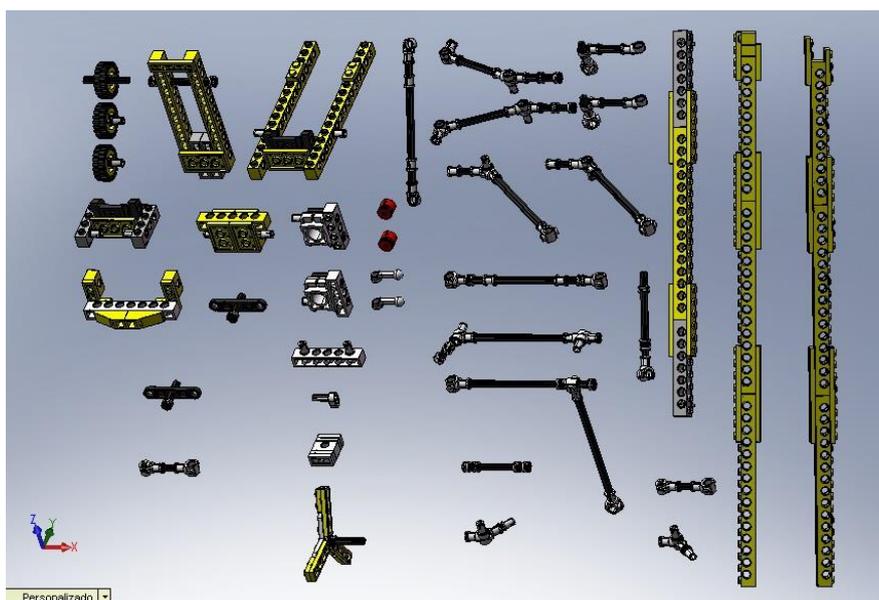


Ilustración 128. Piezas Modelo 8891-4.

COMPONENTES:

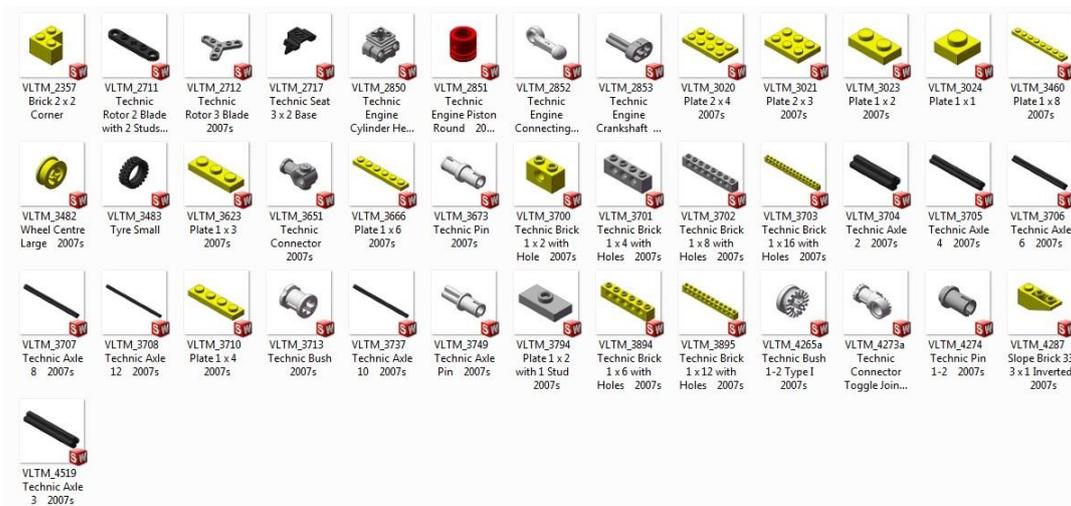


Ilustración 129. Componentes Modelo 8891-4.

- VLTM_2357 Brick 2x2 Corner
- VLTM_2711 Technic Rotor 2 Blade with 2 Studs 2007s
- VLTM_2712 Technic Rotor 3 Blade 2007s
- VLTM_2717 Technic Seat 3x2 Base
- VLTM_2850 Technic Engine Cylinder Head 2007s
- VLTM_2851 Technic Engine Piston Round 2007s
- VLTM_2852 Technic Engine Connecting Rod 2007s
- VLTM_2853 Technic Engine Crankshaft 2007s
- VLTM_3020 Plate 2x4 2007s
- VLTM_3021 Plate 2x3 2007s
- VLTM_3023 Plate 1x2 2007s
- VLTM_3024 Plate 1x1
- VLTM_3460 Plate 1x8 2007s
- VLTM_3482 Wheel Centre Large 2007s
- VLTM_3483 Tyre Small
- VLTM_3623 Plate 1x3 2007s
- VLTM_3651 Technic Connector 2007s



- VLTM_3666 Plate 1x6 2007s
- VLTM_3673 Technic Pin 2007s
- VLTM_3700 Technic Brick 1x2 with Holes 2007s
- VLTM_3701 Technic Brick 1x4 with Holes 2007s
- VLTM_3702 Technic Brick 1x8 with Holes 2007s
- VLTM_3703 Technic Brick 1x16 with Holes 2007s
- VLTM_3704 Technic Axle 2 2007s
- VLTM_3705 Technic Axle 4
- VLTM_3705 Technic Axle 4 2007s
- VLTM_3706 Technic Axle 6 2007s
- VLTM_3707 Technic Axle 8 2007s
- VLTM_3708 Technic Axle 12 2007s
- VLTM_3710 Plate 1x4 2007s
- VLTM_3713 Technic Bush 2007s
- VLTM_3737 Technic Axle 10 2007s
- VLTM_3749 Technic Axle Pin
- VLTM_3749 Technic Axle Pin 2007s
- VLTM_3794 Plate 1x2 with 1 Stud 2007s
- VLTM_3894 Technic Brick 1x6 with Holes 2007s
- VLTM_3895 Technic Brick 1x12 with Holes 2007s
- VLTM_4265a Technic Bush 1-2 Type I 2007s
- VLTM_4273a Technic Connector Toggle Joint Toothed with No Slots
- VLTM_4274 Technic Pin 1-2 2007s
- VLTM_4287 Slope Brick 33 3x1 Inverted 2007s
- VLTM_4519 Technic Axle 3 2007s

6.3. Modelo LEGO Technic 8890-2.

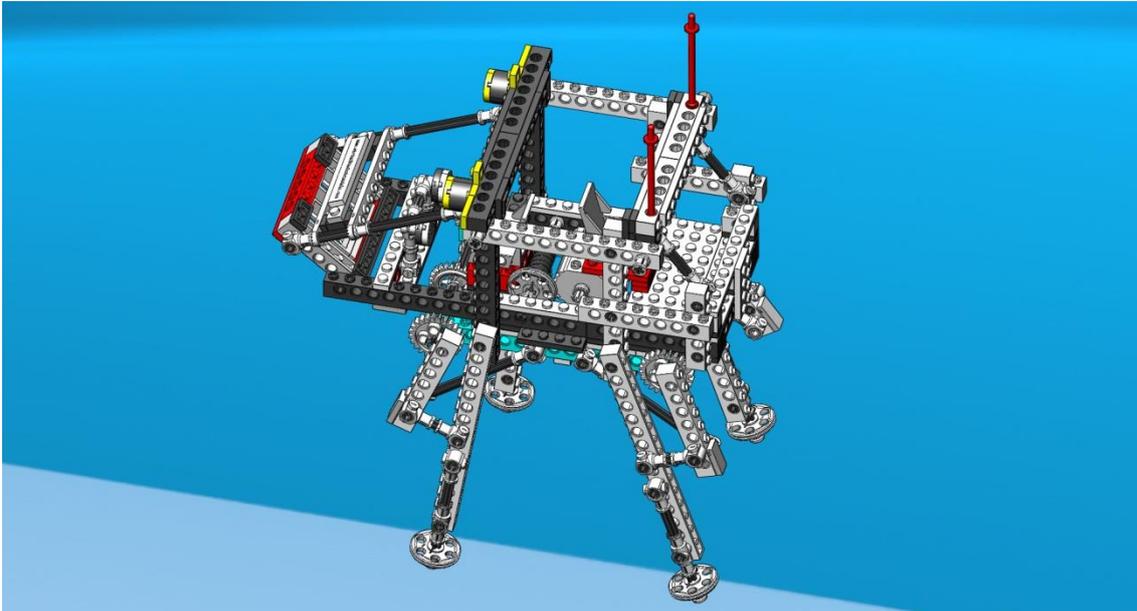


Ilustración 130. Modelo LEGO Technic 8890-2.

El modelo 8890-2 es un modelo andante, accionado a través de un motor, que transmite el movimiento por medio de una correa a un mecanismo de tornillo sin fin que mueve, a su vez, un eje que se encarga de dotar de movimiento a las patas delanteras y traseras.

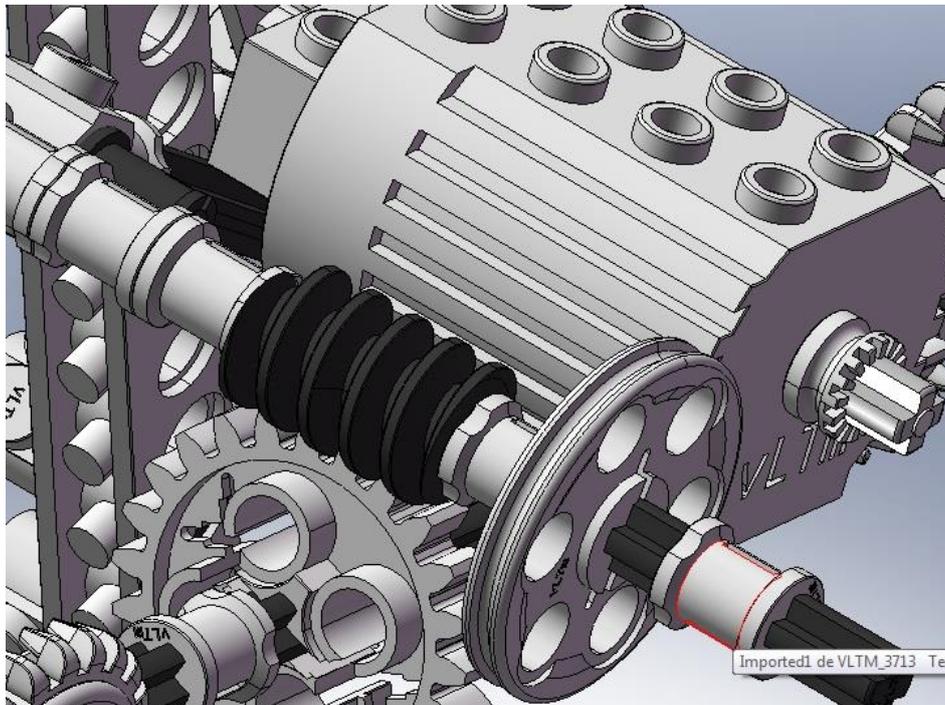


Ilustración 131. Mecanismo de transmisión de movimiento mediante correa y mecanismo tornillo sin fin.

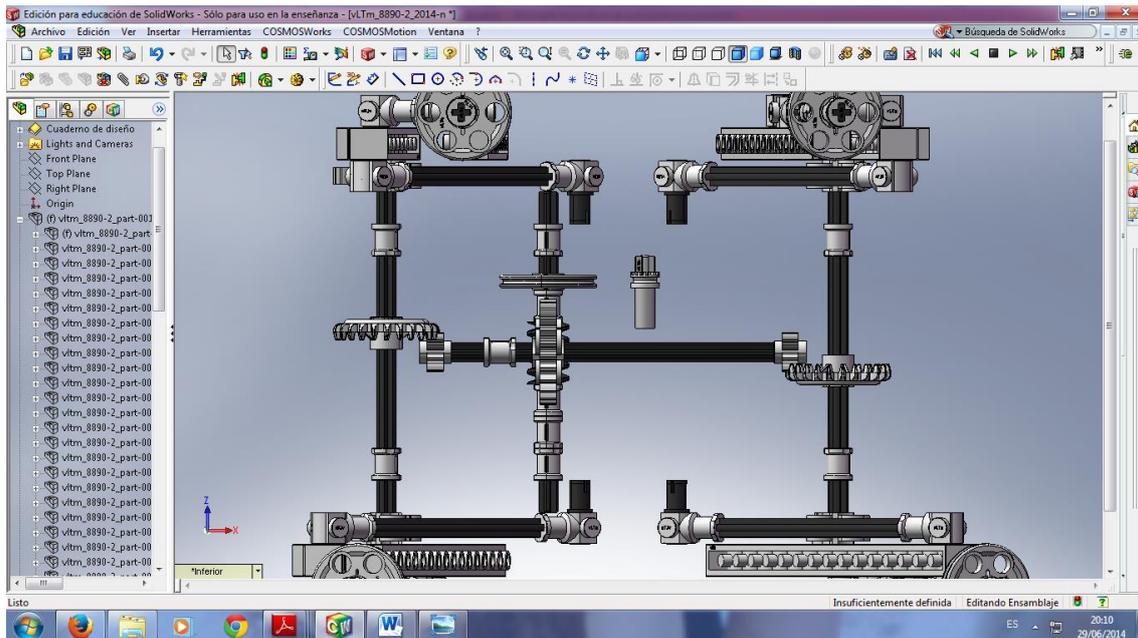


Ilustración 132. Mecanismo de transmisión a los ejes delantero y trasero.

En la siguiente ilustración podemos observar el mecanismo que mueve las patas, tanto delanteras como traseras. Se puede ver que se trata de un mecanismo de cuatro barras o cuadrilátero articulado. La movilidad de este mecanismo se estudió en el apartado 4.7.3.2 correspondiente a este modelo.

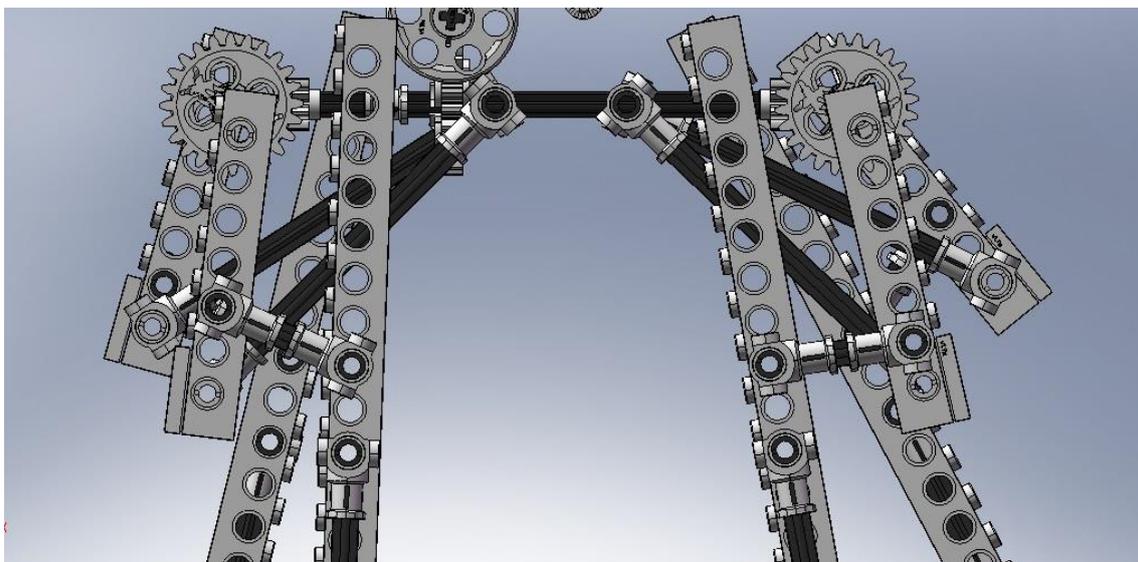


Ilustración 133. Cuadrilátero articulado patas delanteras y traseras.

En este modelo, como ya se comentó en el apartado 3.2.2, se introduce el concepto de trozo. La pieza principal del modelo (bastidor, chasis, barra fija, etc.) se trocea en 30 partes de no más de 10 componentes cada una, posteriormente estos trozos se ensamblan en un assembly pieza, que finalmente se ensamblará junto con el resto de piezas en el assembly final.

Por tanto, Como se puede ver en la siguiente ilustración, el modelo se ha dividido en 22 piezas (entre las que se encuentra el chasis, formado por sus 30 trozos) de, como máximo, 10 componentes cada una.

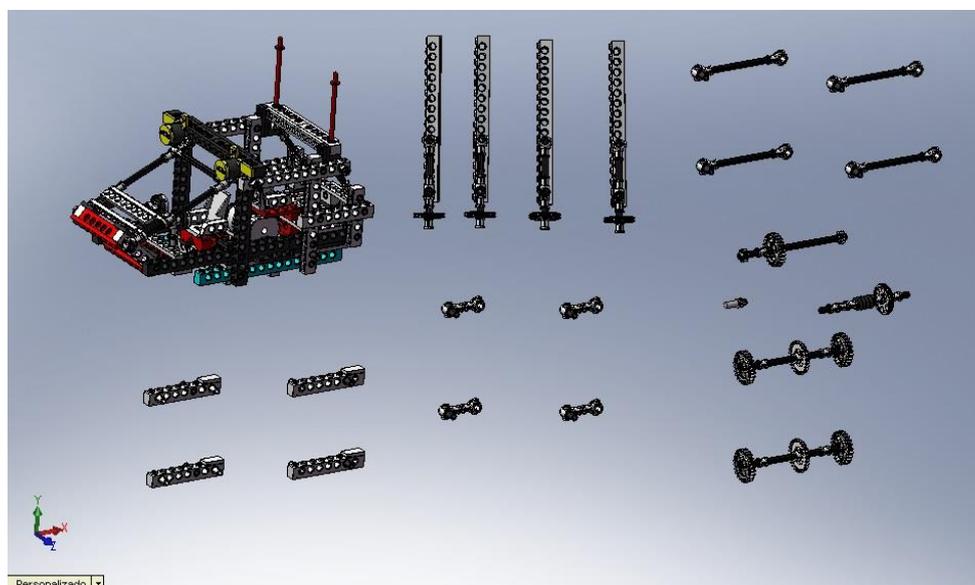


Ilustración 134. Piezas Modelo 8890-2.

COMPONENTES:

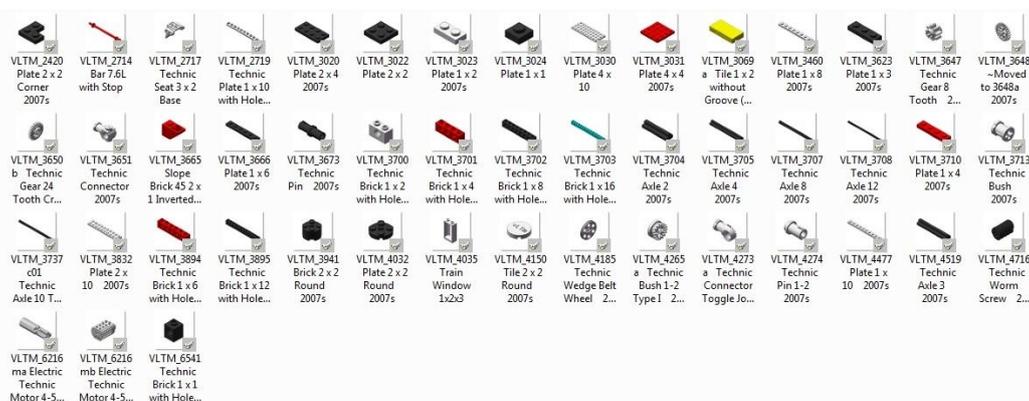


Ilustración 135. Componentes Modelo 8890-2.



- VLTM_2420 Plate 2x2 Corner 2007s
- VLTM_2714 Bar 7.6L with Stop
- VLTM_2717 Technic Seat 3x2 Base
- VLTM_2719 Technic Plate 1x10 with Holes
- VLTM_3020 Plate 2x4 2007s
- VLTM_3022 Plate 2x2
- VLTM_3023 Plate 1x2 2007s
- VLTM_3024 Plate 1x1
- VLTM_3030 Plate 4x10
- VLTM_3031 Plate 4x4 2007s
- VLTM_3069a Tile 1x2 without groove (Old Style)
- VLTM_3460 Plate 1x8 2007s
- VLTM_3623 Plate 1x3 2007s
- VLTM_3647 Technic Gear 8 Tooth 2007s
- VLTM_3648 ~Moved to 3648a 2007s
- VLTM_3650b Technic Gear 24 Tooth Crown Type II (long teeth)
- VLTM_3651 Technic Connector 2007s
- VLTM_3665 Slope Brick 45 2x1 Inverted
- VLTM_3666 Plate 1x6 2007s
- VLTM_3673 Technic Pin 2007s
- VLTM_3700 Technic Brick 1x2 with Holes 2007s
- VLTM_3701 Technic Brick 1x4 with Holes 2007s
- VLTM_3702 Technic Brick 1x8 with Holes 2007s
- VLTM_3703 Technic Brick 1x16 with Holes 2007s
- VLTM_3704 Technic Axle 2 2007s
- VLTM_3705 Technic Axle 4 2007s
- VLTM_3707 Technic Axle 8 2007s



- VLTM_3708 Technic Axle 12 2007s
- VLTM_3710 Plate 1x4 2007s
- VLTM_3713 Technic Bush 2007s
- VLTM_3737c01 Technic Axle 10 Threaded 2007s
- VLTM_3832 Plate 2x10 2007s
- VLTM_3894 Technic Brick 1x6 with Holes 2007s
- VLTM_3895 Technic Brick 1x12 with Holes 2007s
- VLTM_3941 Brick 2x2 Round 2007s
- VLTM_4032 Plate 2x2 Round 2007s
- VLTM_4035 Train Window 1x2x3
- VLTM_4150 Tile 2x2 Round 2007s
- VLTM_4185 Technic Wedge Belt Wheel 2007s
- VLTM_4265a Technic Bush 1-2 Type I 2007s
- VLTM_4273a Technic Connector Toggle Joint Toothed with No Slots
- VLTM_4274 Technic Pin 1-2 2007s
- VLTM_4477 Plate 1x10 2007s
- VLTM_4519 Technic Axle 3 2007s
- VLTM_4716 Technic Worm Screw 2007s
- VLTM_6216ma Electric Technic Motor 4-5V - Axe moteur 2007s
- VLTM_6216mb Electric Technic Motor 4-5V - Corps 2007s
- VLTM_6541 Technic Brick 1x1 with Hole 2007s

6.4. Modelo LEGO Technic 8865-1.

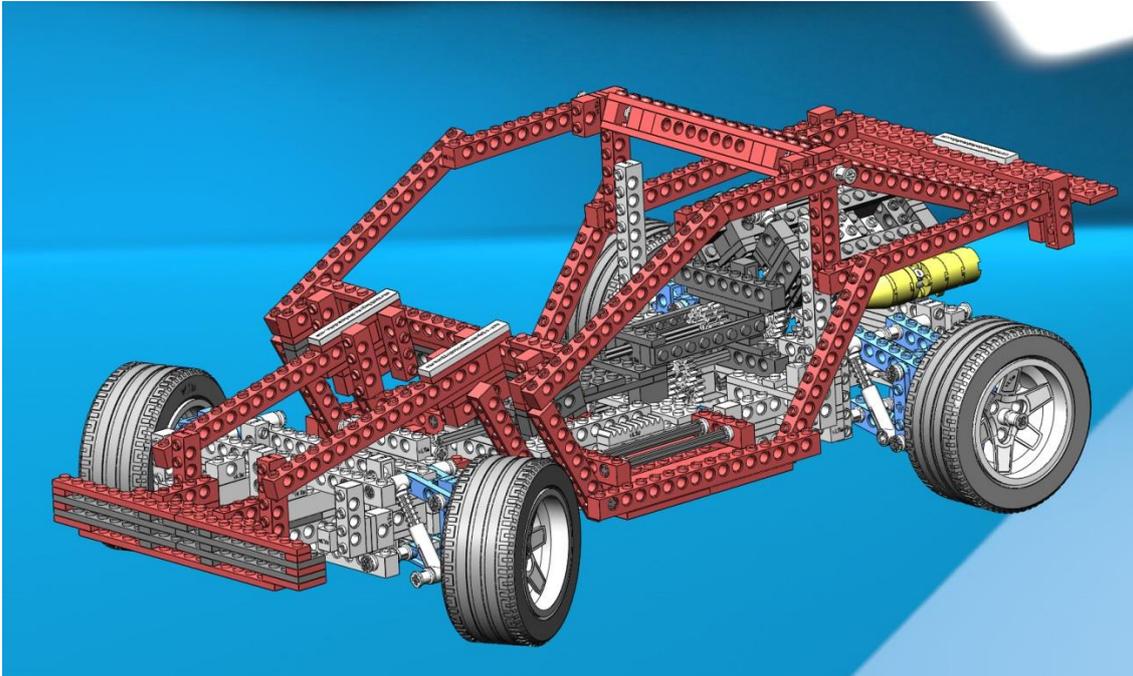


Ilustración 136. Modelo LEGO Technic 8865-1.

El modelo 8865-1, formado por 900 piezas, es un modelo propulsado por un motor de 4 cilindros en V. Posee tracción trasera diferencial con juntas Hooke para las ruedas.

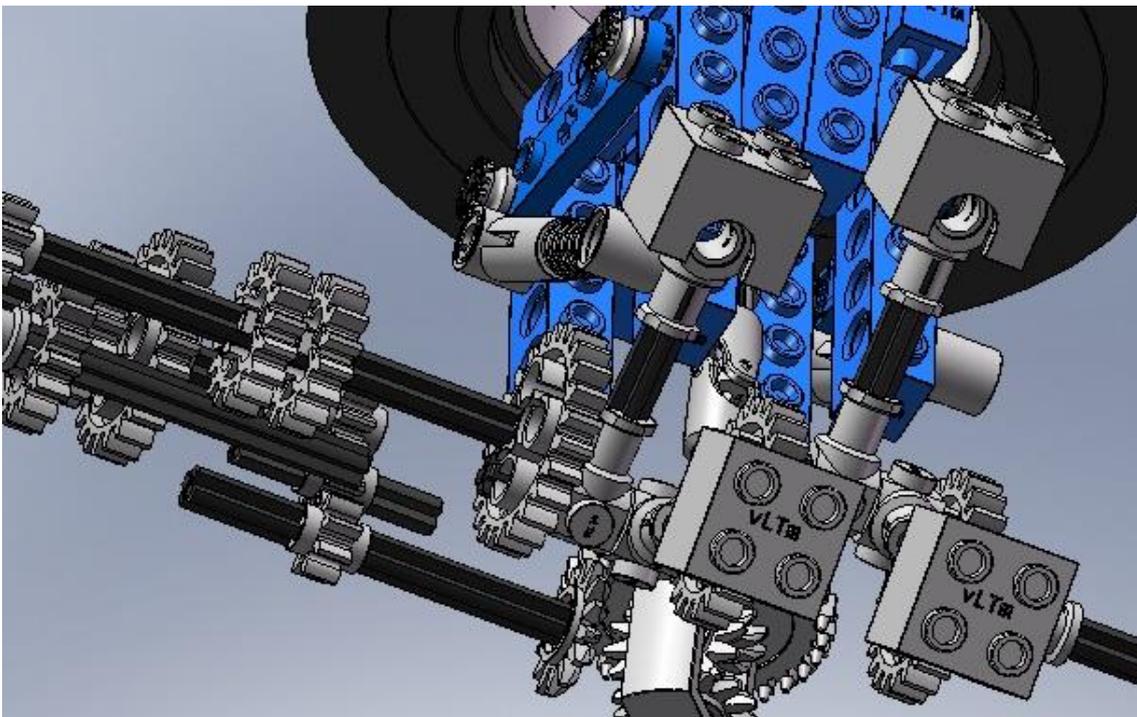


Ilustración 137. Motor de 4 Cilindros en V, se puede ver la transmisión hacia la caja de cambios.

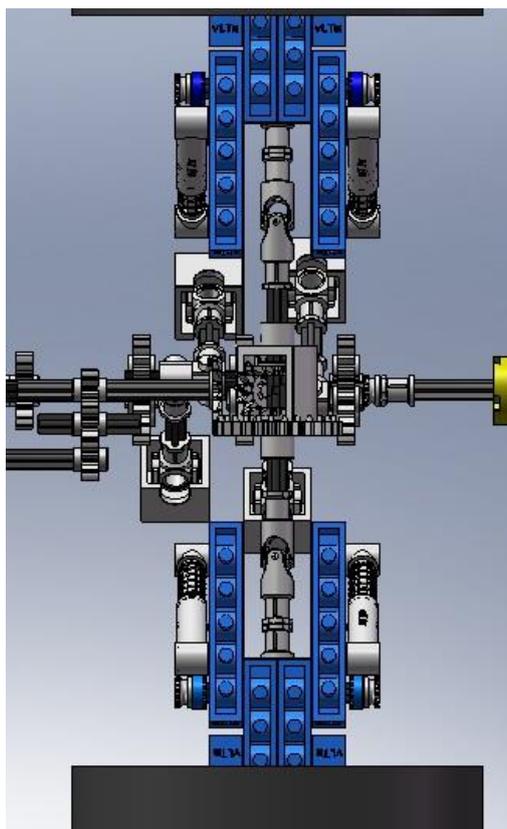


Ilustración 138. Tracción trasera.

La transmisión está regulado por una caja de cambios de 3 velocidades, todas ellas hacia delante. En la siguiente imagen se observan las posiciones de cada una de las marchas.

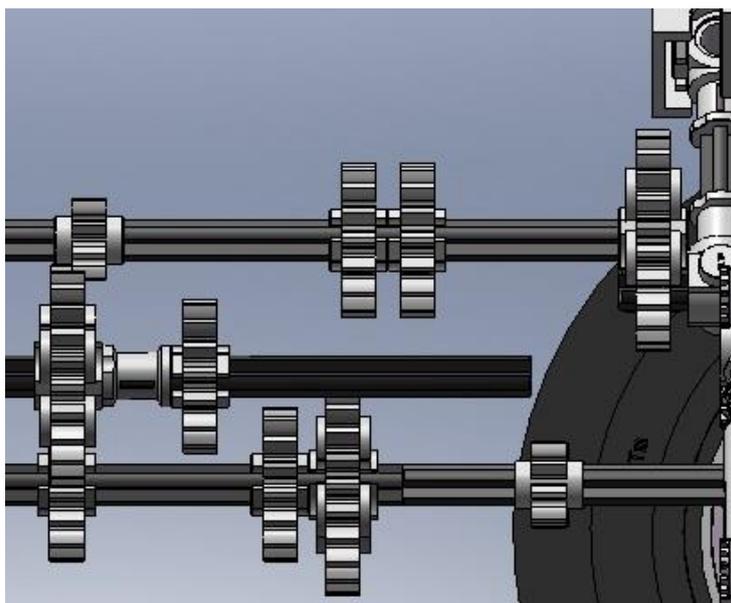
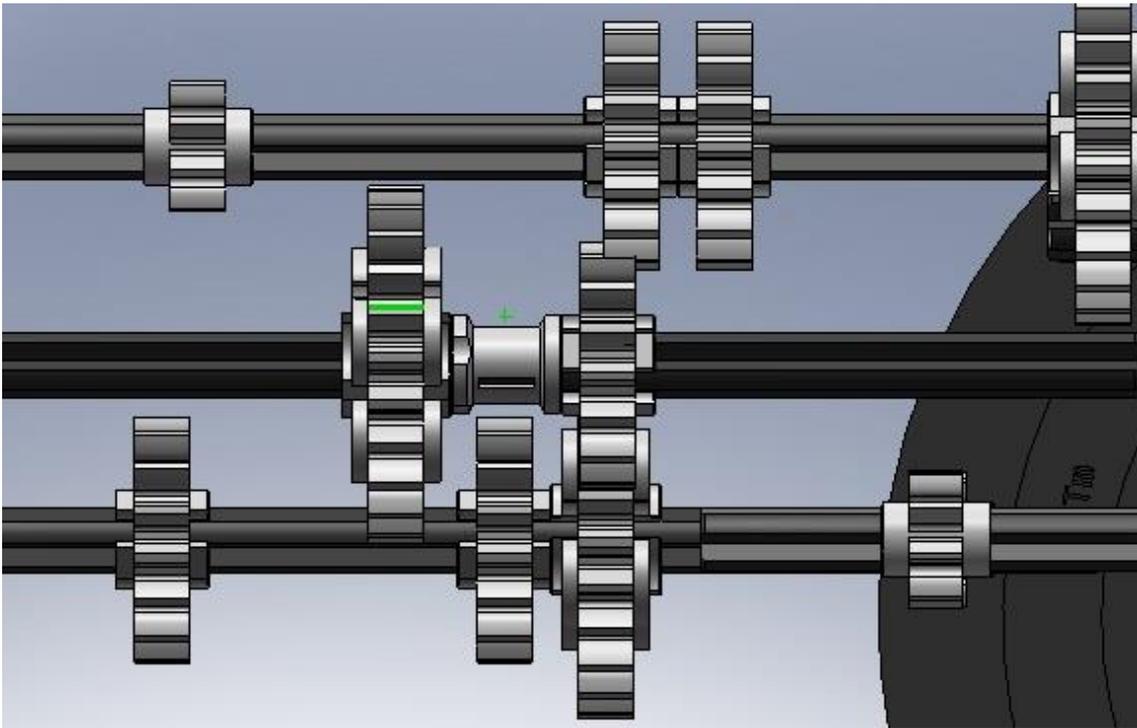
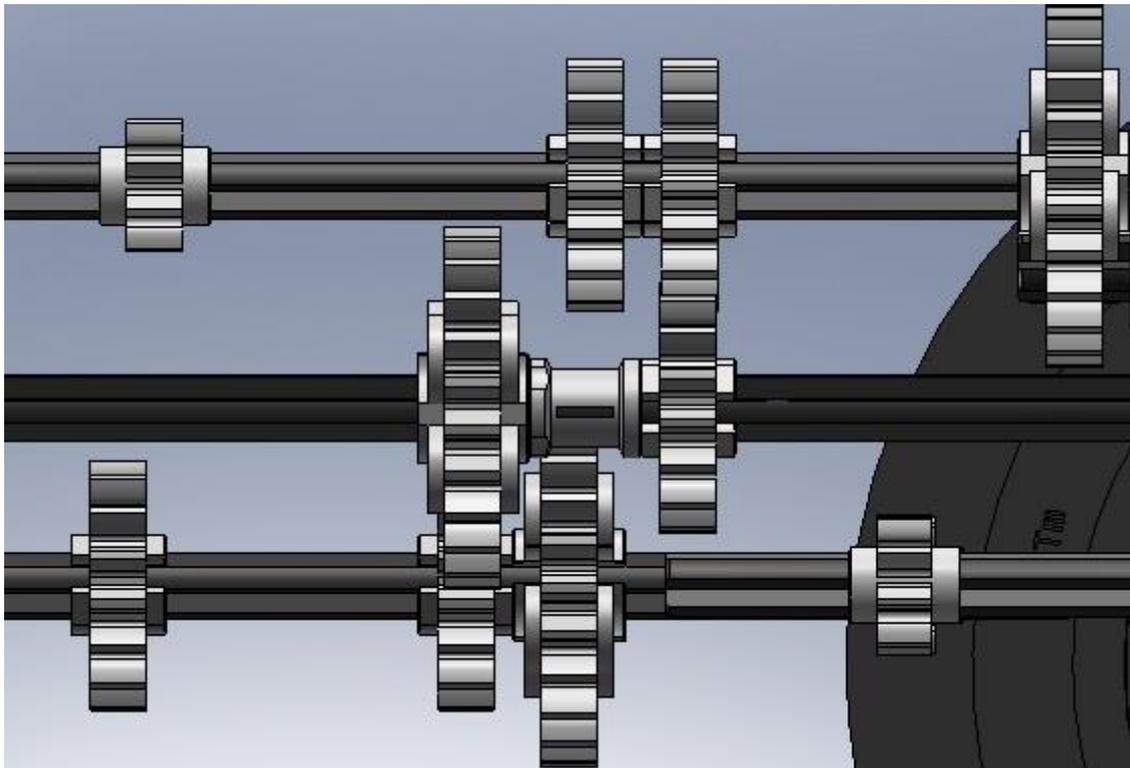


Ilustración 139. Primera Marcha



Il·lustració 14010. Segona Marcha



Il·lustració 141. Tercera Marcha.

La palanca de cambios y sus posiciones se muestran en la siguiente figura.

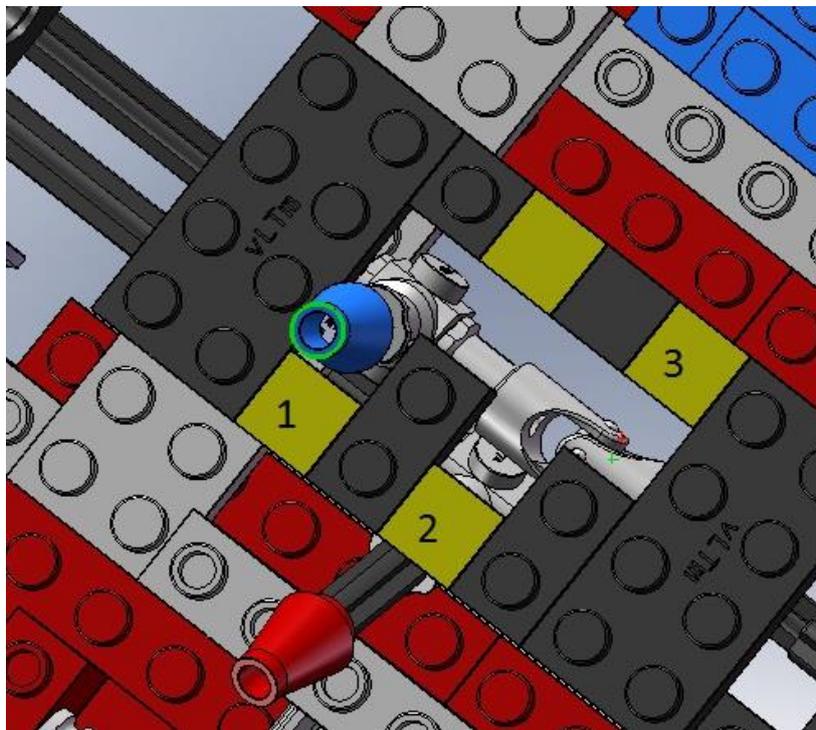


Ilustración 142. Palanca de cambios.

La dirección es de cremallera y se trasmite desde el volante a través de dos cardan.

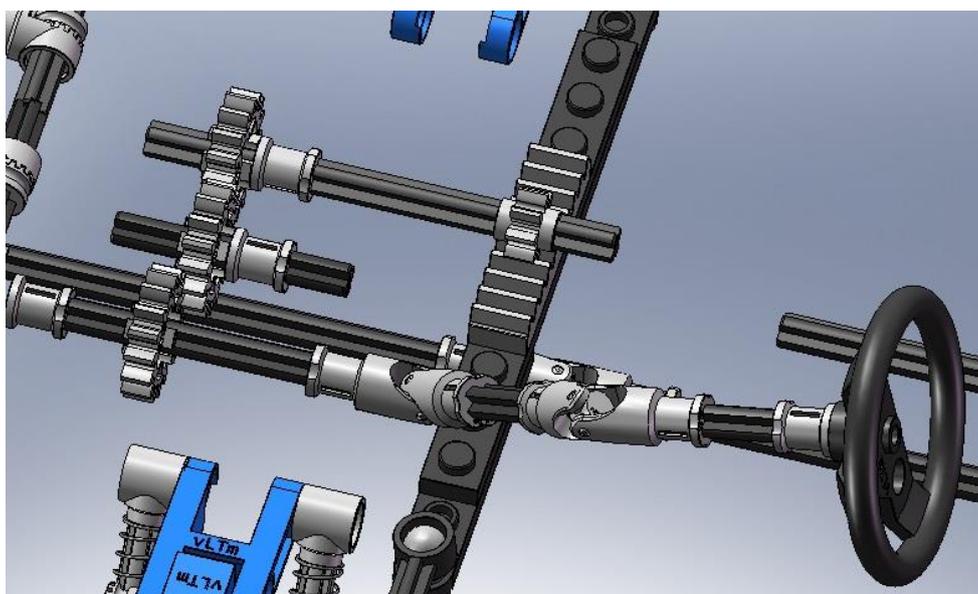


Ilustración 143. Dirección.

Tiene suspensión individual para cada una de las 4 ruedas, cilindros con sus respectivos resortes helicoidales.

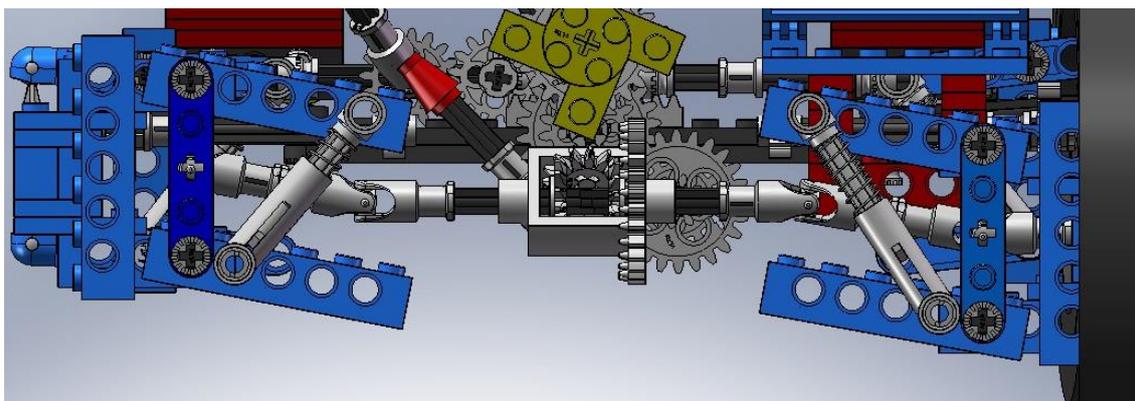


Ilustración 144. Suspensión trasera.

Es importante remarcar, que para que la suspensión trasera pueda montarse en SolidWorks y no de problemas, hay que tener en cuenta una consideración geométrica, esto es, el centro de la unión de la junta cardan (las dos juntas que hay por cada suspensión) debe coincidir exactamente con el eje que forman los dos agujeros extremos (el superior y el inferior, de cada lado) del basculante. En la siguiente ilustración se puede ver de forma clara.

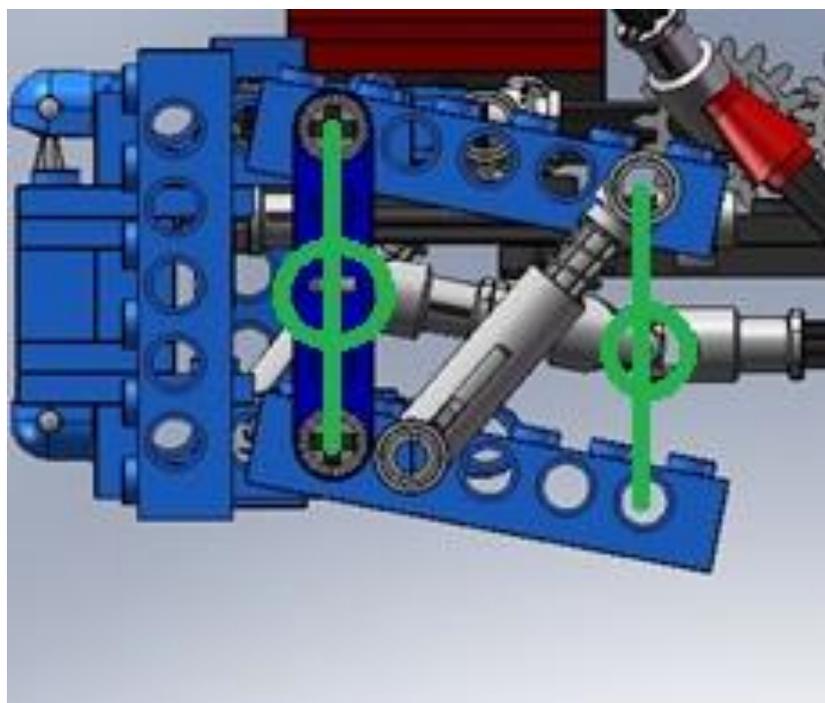


Ilustración 145. Consideración geométrica.

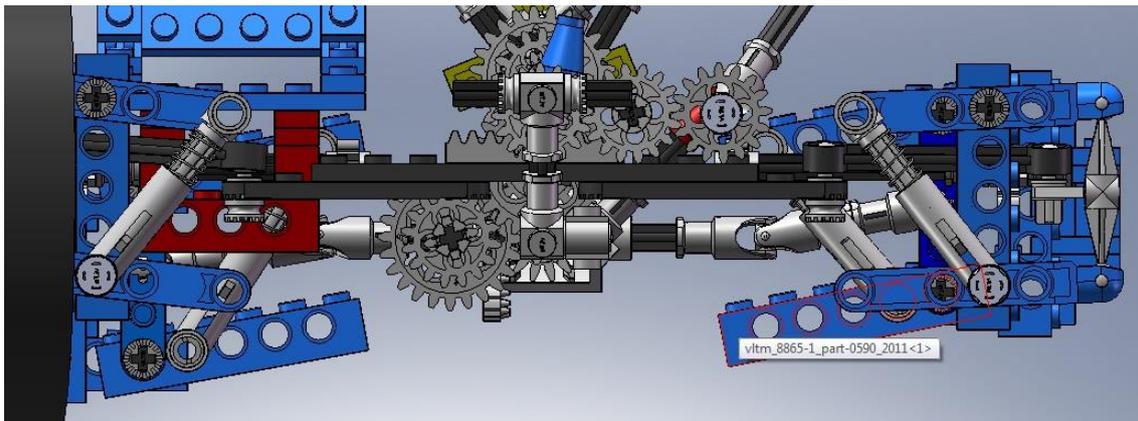


Ilustración 146. Suspensión delantera.

También tiene un mecanismo para ajustar el nivel de las luces delanteras, controlado por el piloto.

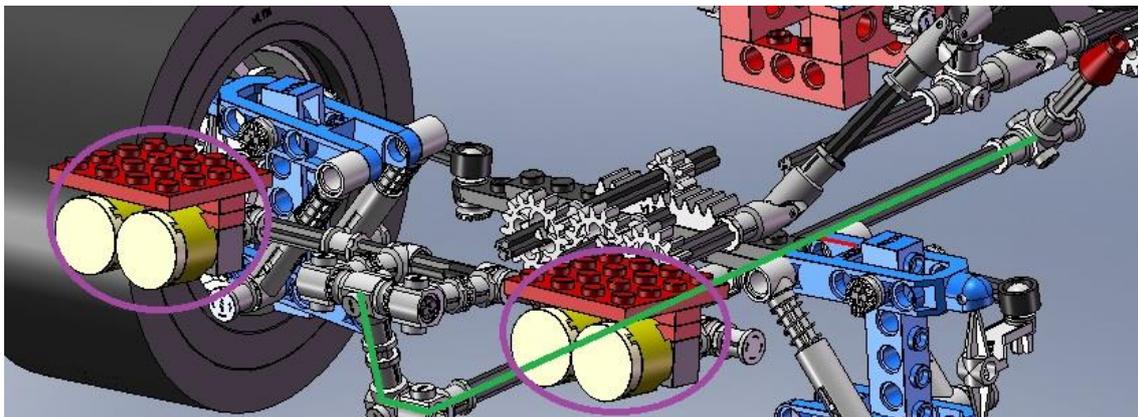


Ilustración 147. Regulación de luces delanteras.

Además dispone de un mecanismo piñón cremallera para regular cada uno de los asientos.



Ilustración 148. Mecanismo regulación asientos.

El modelo se ha dividido en 97 piezas.

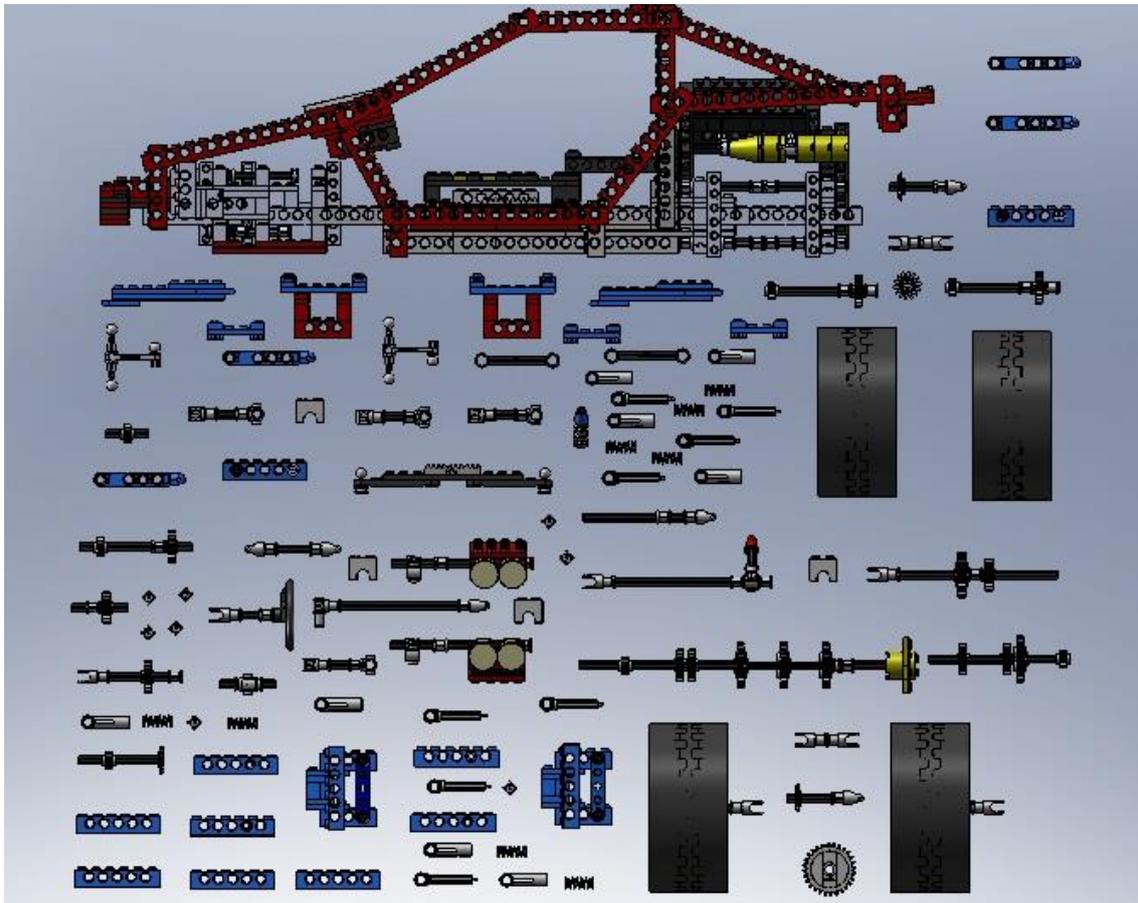
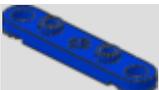
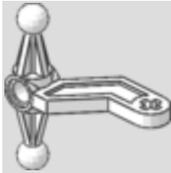
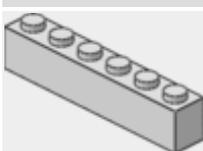


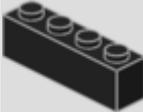
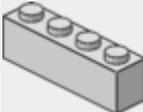
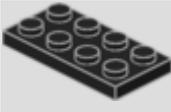
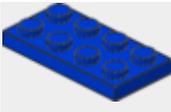
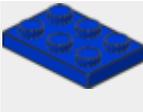
Ilustración 149. Piezas Modelo 8865-1.

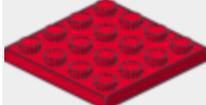
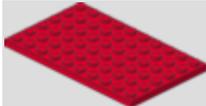
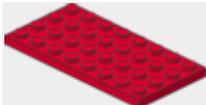
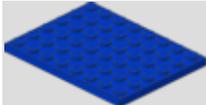
COMPONENTES:

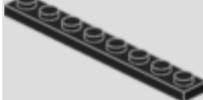
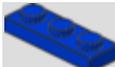
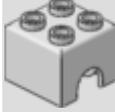
Desde la web www.peeron.com podemos obtener la lista de componentes que forman este modelo. La lista es la siguiente:

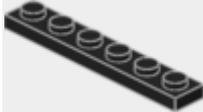
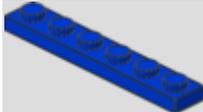
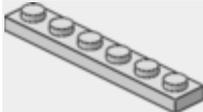
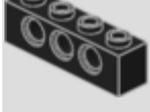
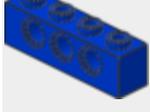
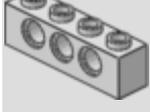
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
8	731c01	OldGray	Technic Shock Absorber 6.5L (Complete Assembly Shortcut)		
2	2420	Black	Plate 2 x 2 Corner		
4	2711	Blue	Technic Rotor 2 Blade with 2 Studs		

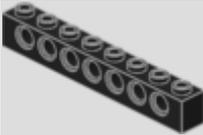
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	2736	OldGray	Technic Axle Towball		
2	2737	White	Technic Steering Arm Tall		
4	2738	Blue	Technic Beam Split 2 x 6 Towball Coupling		
2	2739	Black	~Moved to 2739b		
1	2741	Black	Technic Large Steering Wheel		
2	3003	Black	Brick 2 x 2		
10	3004	Black	Brick 1 x 2		
3	3004	OldGray	Brick 1 x 2		
2	3004	Red	Brick 1 x 2		
2	3005	Black	Brick 1 x 1		
4	3005	OldGray	Brick 1 x 1		
4	3005	Red	Brick 1 x 1		
2	3009	OldGray	Brick 1 x 6		

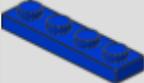
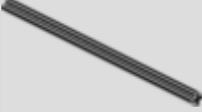
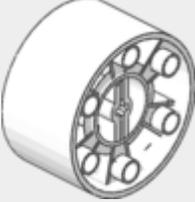
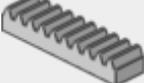
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u> ▼	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3010	Black	Brick 1 x 4		
3	3010	OldGray	Brick 1 x 4		
5	3020	Black	Plate 2 x 4		
2	3020	Blue	Plate 2 x 4		
2	3020	Red	Plate 2 x 4		
4	3021	Blue	Plate 2 x 3		
6	3021	OldGray	Plate 2 x 3		
2	3021	Red	Plate 2 x 3		
1	3022	Black	Plate 2 x 2		
4	3022	Blue	Plate 2 x 2		
12	3023	Black	Plate 1 x 2		
4	3023	Blue	Plate 1 x 2		
10	3023	OldGray	Plate 1 x 2		
8	3023	Red	Plate 1 x 2		

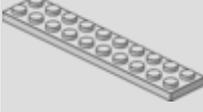
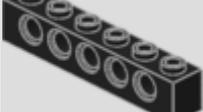
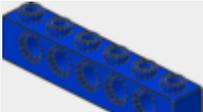
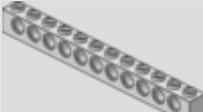
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3023	Yellow	Plate 1 x 2		
3	3024	Black	Plate 1 x 1		
11	3024	OldGray	Plate 1 x 1		1 is extra
2	3024	Red	Plate 1 x 1		
1	3030	Red	Plate 4 x 10		
2	3031	Red	Plate 4 x 4		
4	3033	Red	Plate 6 x 10		
1	3034	OldGray	Plate 2 x 8		
2	3034	Red	Plate 2 x 8		
1	3035	Red	Plate 4 x 8		
2	3036	Blue	Plate 6 x 8		
4	3065	TrRed	Brick 1 x 2 without Centre Stud		
2	3070b	Black	Tile 1 x 1 with Groove		1 is extra

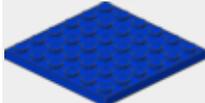
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	3070b	OldGray	Tile 1 x 1 with Groove		
2	3070b	Yellow	Tile 1 x 1 with Groove		1 is extra
2	3070bp01	Yellow	Tile 1 x 1 with Black 1 Pattern		1 is extra
2	3070bp02	Yellow	Tile 1 x 1 with Black 2 Pattern		1 is extra
2	3070bp03	Yellow	Tile 1 x 1 with Black 3 Pattern		1 is extra
14	3460	Black	Plate 1 x 8		
7	3460	OldGray	Plate 1 x 8		
1	3460	Red	Plate 1 x 8		
4	3623	Black	Plate 1 x 3		
4	3623	Blue	Plate 1 x 3		
2	3623	Red	Plate 1 x 3		
7	3647	OldGray	Technic Gear 8 Tooth		
21	3651	OldGray	Technic Connector		
4	3652	OldGray	Technic Piston 2 x 2 Block		

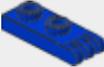
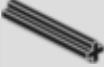
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3666	Black	Plate 1 x 6		
4	3666	Blue	Plate 1 x 6		
9	3666	OldGray	Plate 1 x 6		
4	3666	Red	Plate 1 x 6		
5	3673	OldGray	Technic Pin		
7	3700	Black	Technic Brick 1 x 2 with Hole		
4	3700	Blue	Technic Brick 1 x 2 with Hole		
9	3700	OldGray	Technic Brick 1 x 2 with Hole		
6	3700	Red	Technic Brick 1 x 2 with Hole		
14	3701	Black	Technic Brick 1 x 4 with Holes		
8	3701	Blue	Technic Brick 1 x 4 with Holes		
11	3701	OldGray	Technic Brick 1 x 4 with Holes		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
28	3701	Red	Technic Brick 1 x 4 with Holes		
8	3702	Black	Technic Brick 1 x 8 with Holes		
4	3702	OldGray	Technic Brick 1 x 8 with Holes		
8	3702	Red	Technic Brick 1 x 8 with Holes		
1	3703	Black	Technic Brick 1 x 16 with Holes		
12	3703	OldGray	Technic Brick 1 x 16 with Holes		
11	3703	Red	Technic Brick 1 x 16 with Holes		
6	3704	Black	Technic Axle 2		
10	3705	Black	Technic Axle 4		
17	3706	Black	Technic Axle 6		
7	3707	Black	Technic Axle 8		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
7	3708	Black	Technic Axle 12		
12	3710	Black	Plate 1 x 4		
8	3710	Blue	Plate 1 x 4		
12	3710	OldGray	Plate 1 x 4		
21	3710	Red	Plate 1 x 4		
60	3713	OldGray	Technic Bush		1 is extra
10	3737	Black	Technic Axle 10		
4	3739	White	Wheel Technic 24 x 43		
4	3740	Black	Tyre 24 x 43 Technic		
3	3743	OldGray	Technic Gear Rack 1 x 4		
8	3749	OldGray	Technic Axle Pin		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3795	OldGray	Plate 2 x 6		
1	3795	Red	Plate 2 x 6		
4	3832	Black	Plate 2 x 10		
1	3832	OldGray	Plate 2 x 10		
1	3832	Red	Plate 2 x 10		
1	3894	Black	Technic Brick 1 x 6 with Holes		
14	3894	Blue	Technic Brick 1 x 6 with Holes		
16	3894	OldGray	Technic Brick 1 x 6 with Holes		
4	3894	Red	Technic Brick 1 x 6 with Holes		
7	3895	OldGray	Technic Brick 1 x 12 with Holes		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3895	Red	Technic Brick 1 x 12 with Holes		
4	3941	Black	Brick 2 x 2 Round		
9	3941	Yellow	Brick 2 x 2 Round		
2	3942b	Yellow	Cone 2 x 2 x 2 with Hollow Stud		
2	3958	Blue	Plate 6 x 6		
10	4019	OldGray	Technic Gear 16 Tooth		
3	4032	Yellow	Plate 2 x 2 Round		
4	4070	Black	Brick 1 x 1 with Headlight		
4	4143	OldGray	Technic Gear 14 Tooth Bevel		
4	4150	White	Tile 2 x 2 Round		
4	4162	Red	Tile 1 x 8		
2	4262	Black	Technic Plate 1 x 6 with Holes		
43	4265a	OldGray	Technic Bush 1/2 Type I		1 is extra

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
8	4273a	OldGray	Technic Connector Toggle Joint Toothed with No Slots		
8	4275	Blue	~Moved to 4275b		
4	4276	Blue	~Moved to 4276b		
3	4282	Red	Plate 2 x 16		
114	4459	Black	Technic Pin with Friction and No Slots		1 is extra
3	4477	Black	Plate 1 x 10		
2	4477	OldGray	Plate 1 x 10		
2	4477	Red	Plate 1 x 10		
12	4519	Black	Technic Axle 3		
4	4531	Blue	Hinge Tile 1 x 2 with 2 Fingers		
1	4589	Blue	Cone 1 x 1		
1	4589	Red	Cone 1 x 1		
1	4716	Black	Technic Worm Screw		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u> ▼	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
8	9244	OldGray	~Moved to 3712c01		
1	73071	OldGray	Technic Differential		
5	x187	OldGray	Technic Gear 24 Tooth with Three Axleholes		

6.5. Modelo LEGO Technic 8421-1.

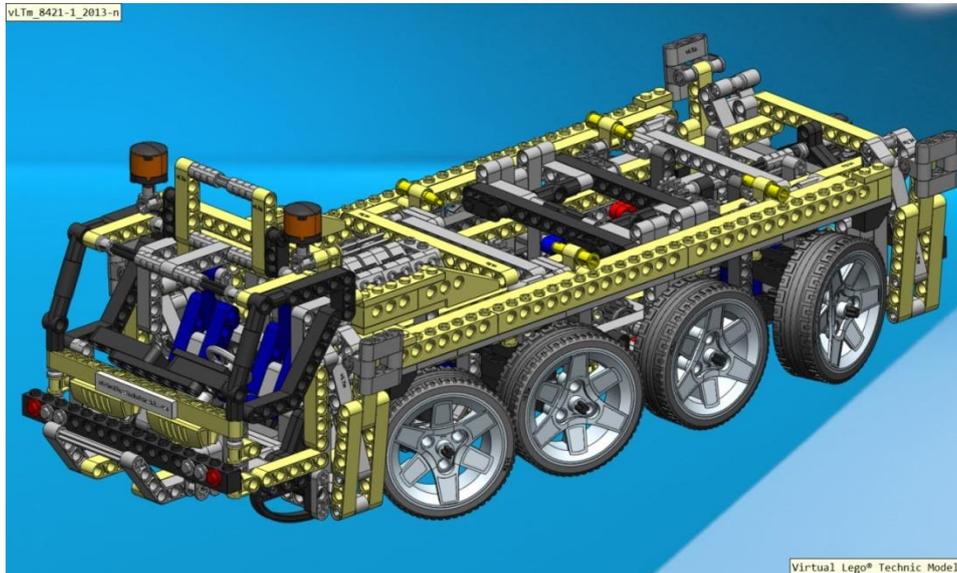


Ilustración 150. Modelo LEGO Technic 8421-1.

El modelo 8421-1, formado por 1887 componentes, es un camión propulsado por un motor de 6 cilindros en V. El cigüeñal envía la potencia a un tren de engranajes, que transmiten la potencia al diferencial trasero (situado en el eje correspondiente a la quinta y sexta rueda comenzando por delante). El estudio de la movilidad de este mecanismo plano (pistón-biela-cigüeñal-tren de engranajes) se realizó en el apartado 4.7.3.3.

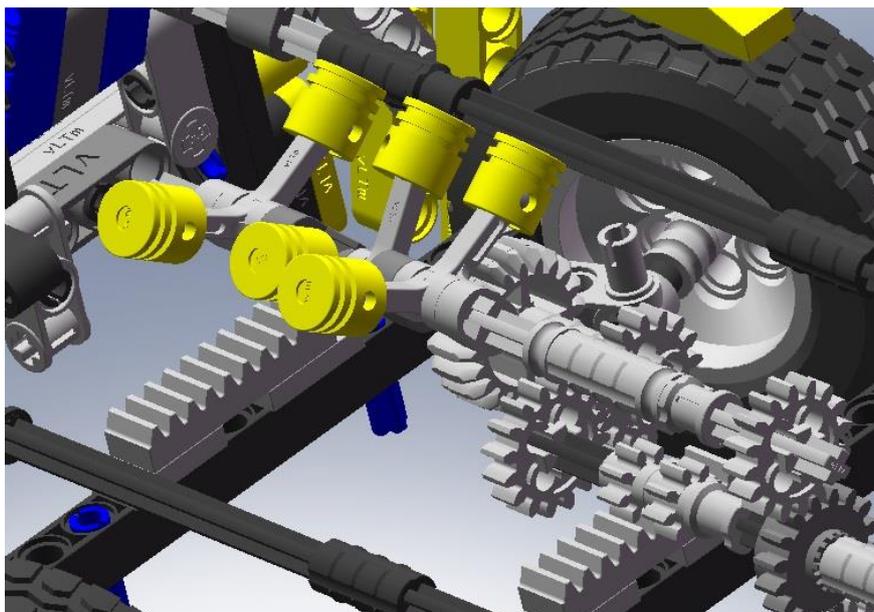
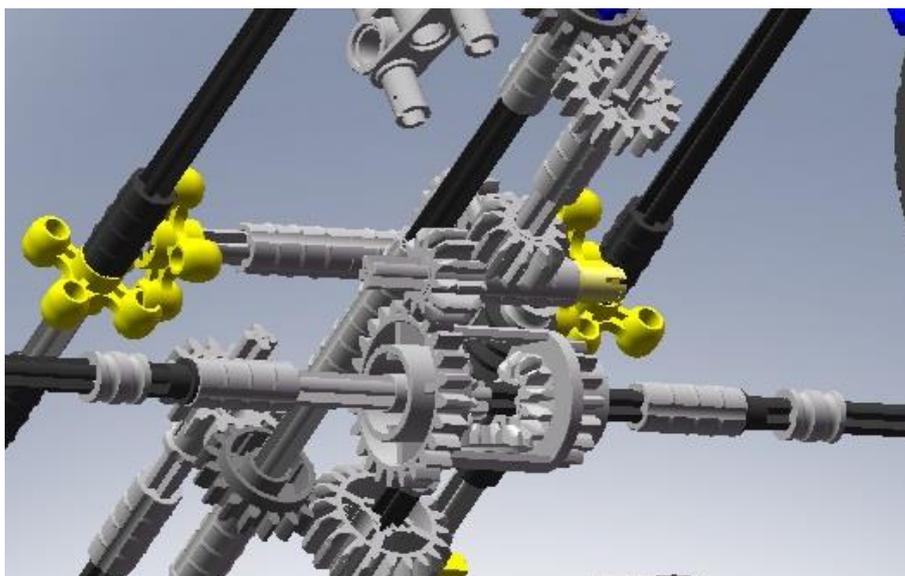
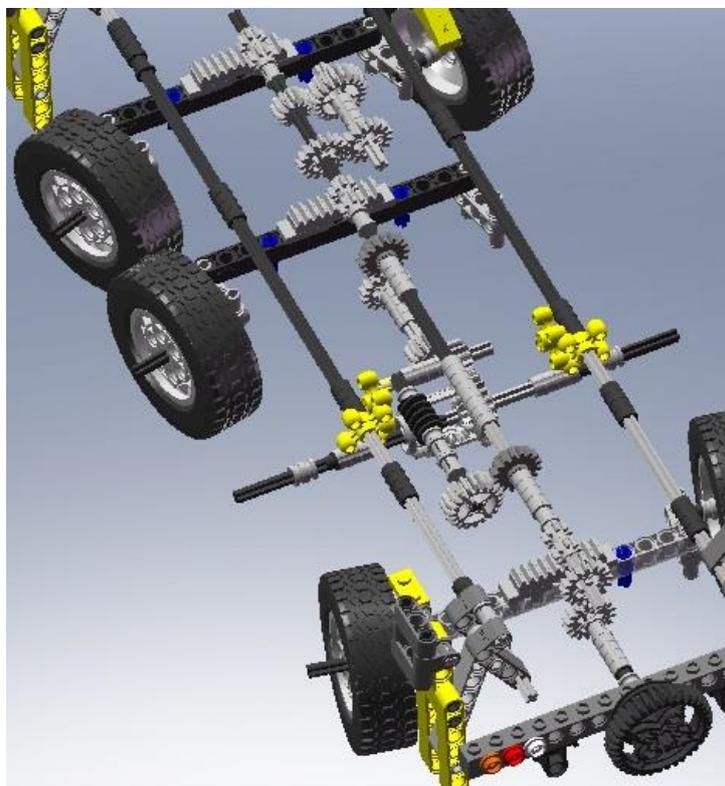


Ilustración 151. Motor de 6 cilindros en V y transmisión del movimiento desde el cigüeñal hasta el tren de engranajes.



Il·lustració 152. Transmissió del moviment des del tren d'engranajes hasta el diferencial.

La direcció es de cremallera, transmetent-se a través d'un eix longitudinal a tots els eixos de les rodes, excepte al eix de les rodes mencionades anteriorment, que és l'eix tractor. La direcció es controla a través d'una roda situada en la part posterior del camió.



Il·lustració 153. Se poden observar les tres direccions en cremallera, així com els eixos que les connecten i la roda (negra) que les mou.

Es importante remarcar que, las dos ruedas delanteras giran un ángulo mayor que las dos inmediatamente posteriores, para que el centro de giro sea común a todas las ruedas y se produzca un adecuado giro. Esto se consigue gracias a un multiplicador que hay justo antes del eje delantero.

El camión posee un mecanismo de anclaje, debido a que puede incorporar una grúa en su parte superior. Este mecanismo se acciona mediante una rueda situada en la parte trasera (esta rueda está justo arriba de la rueda que controla la dirección), que transmite el movimiento giratorio de la rueda a través de un tren de engranajes, hasta un mecanismo de tornillo sin fin, el cual a su vez, transmite el movimiento a dos ejes longitudinales laterales, que hacen bajar o subir las sujeciones, de forma síncrona.

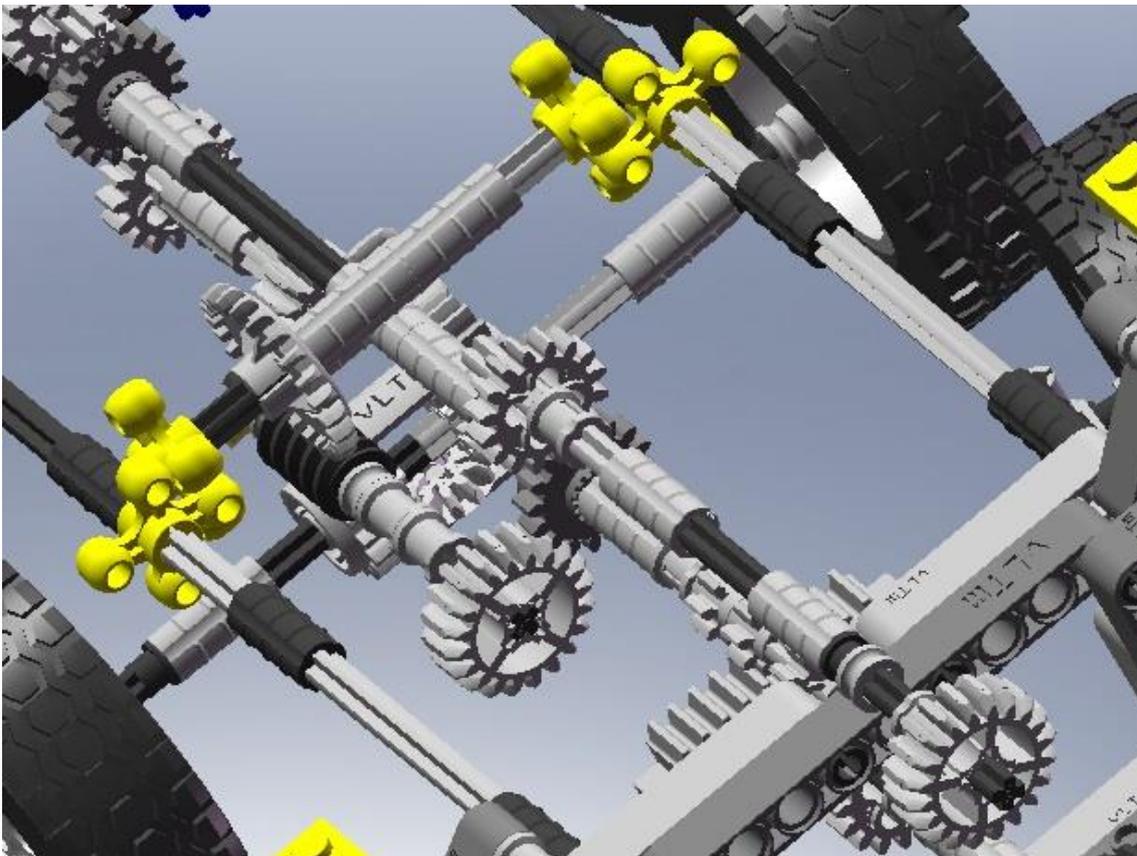


Ilustración 154. Mecanismo encargado de subir y bajar las patas de anclaje, también se observa la rueda (gris) que acciona el mecanismo.

Para un mayor nivel de detalle mirar el archivo correspondiente a este modelo en el formato digital.

Como se puede ver en la siguiente ilustración, el modelo se ha dividido en 88 piezas.

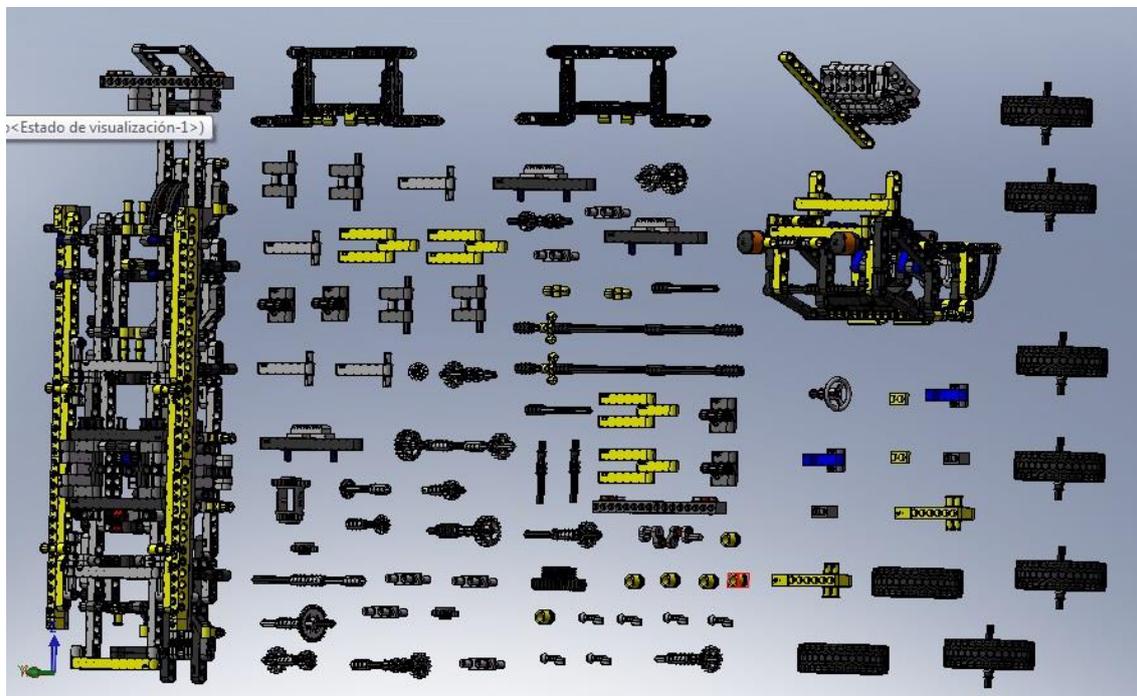
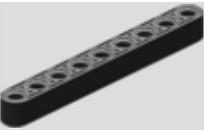
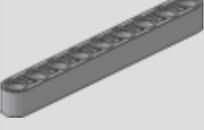
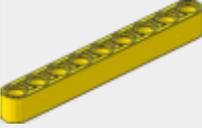
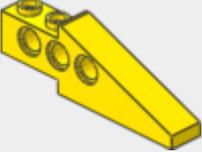
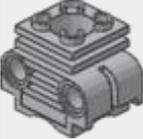
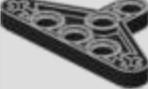


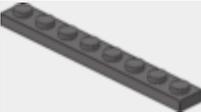
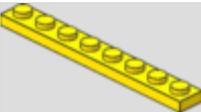
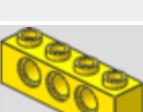
Ilustración 155. Piezas Modelo 8421-1.

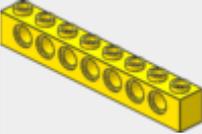
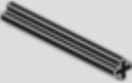
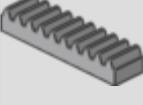
COMPONENTES:

Visitando la web www.peerom.com podemos obtener la lista de componentes de este modelo.

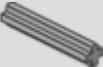
Qty	PartNum	Color	Description	Picture	Note
2	120	Black	~Moved to 40490		
11	120	DkStone	~Moved to 40490		1 Extra
1	120	MdStone	~Moved to 40490		

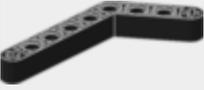
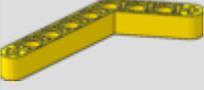
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	120	Yellow	~Moved to 40490		
1	2431	Black	Tile 1 x 4		
2	2431	Yellow	Tile 1 x 4		
3	2654	Black	Round Dish 2 x 2		
6	2744	Yellow	Technic Wing Back		
238	2780	Black	Technic Pin with Friction and Slots		4 Extra
1	2819	MdStone	Technic Steering Wheel Small		
6	2850	MdStone	Technic Engine Cylinder Head		
6	2851	Yellow	Technic Engine Piston Round		
6	2852	MdStone	Technic Engine Connecting Rod		
2	2853	MdStone	Technic Engine Crankshaft		
2	2854	DkStone	Technic Engine Crankshaft Centre		
14	2905	Black	Technic Triangle		

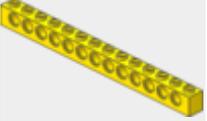
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	3023	DkStone	Plate 1 x 2		
13	3023	Yellow	Plate 1 x 2		
8	3460	DkStone	Plate 1 x 8		
6	3460	Yellow	Plate 1 x 8		
2	3623	DkStone	Plate 1 x 3		
6	3623	Yellow	Plate 1 x 3		
11	3647	MdStone	Technic Gear 8 Tooth		
1	3650	MdStone	Technic Gear 24 Tooth Crown Type III (x pattern)		
4	3665	DkStone	Slope Brick 45 2 x 1 Inverted		
1	3666	Black	Plate 1 x 6		
1	3666	MdStone	Plate 1 x 6		
10	3666	Yellow	Plate 1 x 6		
4	3701	Yellow	Technic Brick 1 x 4 with Holes		

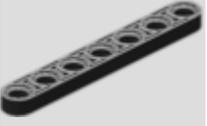
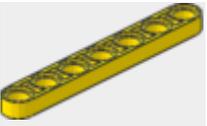
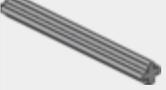
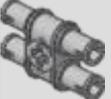
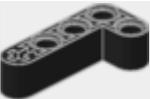
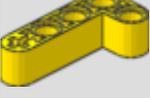
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3702	Yellow	Technic Brick 1 x 8 with Holes		
2	3703	DkStone	Technic Brick 1 x 16 with Holes		
16	3703	Yellow	Technic Brick 1 x 16 with Holes		
34	3705	Black	Technic Axle 4		2 Extra
5	3706	Black	Technic Axle 6		
7	3707	Black	Technic Axle 8		
2	3708	Black	Technic Axle 12		
18	3713	Black	Technic Bush		1 Extra
55	3713	MdStone	Technic Bush		3 Extra
5	3737	Black	Technic Axle 10		
9	3743	MdStone	Technic Gear Rack 1 x 4		
2	3749	Tan	Technic Axle Pin		

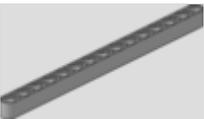
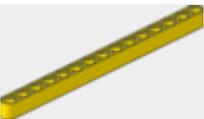
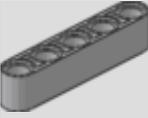
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
6	3794	MdStone	Plate 1 x 2 with 1 Stud		
2	3794	Yellow	Plate 1 x 2 with 1 Stud		
3	3941	TrNeonOrange	Brick 2 x 2 Round		
8	4019	MdStone	Technic Gear 16 Tooth		
3	4032	Black	Plate 2 x 2 Round		
8	4073	Clear	Plate 1 x 1 Round		2 Extra
6	4073	TrNeonOrange	Plate 1 x 1 Round		2 Extra
3	4073	TrRed	Plate 1 x 1 Round		1 Extra
2	4185	Black	Technic Wedge Belt Wheel		
3	4185	MdStone	Technic Wedge Belt Wheel		
34	4265c	MdStone	Technic Bush 1/2 Smooth		4 Extra
6	4265c	Yellow	Technic Bush 1/2 Smooth		2 Extra
23	4274	MdStone	Technic Pin 1/2		3 Extra

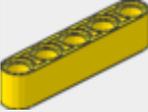
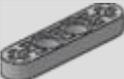
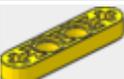
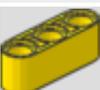
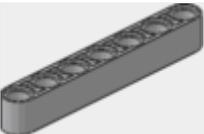
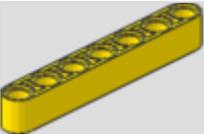
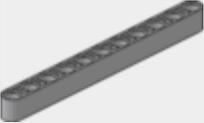
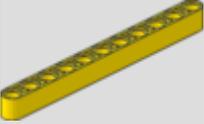
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
55	4519	MdStone	Technic Axle 3		2 Extra
1	4716	Black	Technic Worm Screw		
1	4716	MdStone	Technic Worm Screw		
17	6536	Black	Technic Axle Joiner Perpendicular		
8	6536	DkStone	Technic Axle Joiner Perpendicular		1 Extra
18	6536	MdStone	Technic Axle Joiner Perpendicular		
34	6536	Yellow	Technic Axle Joiner Perpendicular		
15	6538b	Black	Technic Axle Joiner Offset		1 Extra
27	6538b	MdStone	Technic Axle Joiner Offset		1 Extra
2	6541	Yellow	Technic Brick 1 x 1 with Hole		
5	6542	DkStone	Technic Gear 16 Tooth with Clutch		
158	6558	Black	Technic Pin Long with Friction		
1	6573	DkStone	Technic Differential New		
1	6587	DkStone	Technic Axle 3 with Stud		

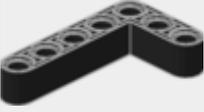
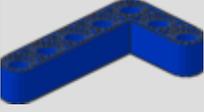
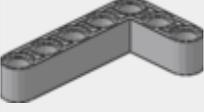
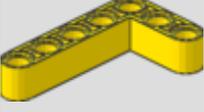
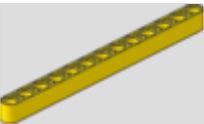
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
5	6589	MdStone	Technic Gear 12 Tooth Bevel		
3	6629	Black	Technic Beam 4 x 6 Liftarm Bent 53.5		
3	6629	Yellow	Technic Beam 4 x 6 Liftarm Bent 53.5		
15	6632	MdStone	Technic Beam 3 x 0.5 Liftarm		1 Extra
2	6632	Yellow	Technic Beam 3 x 0.5 Liftarm		
2	30622	Yellow	Technic Grille 1 x 4 with 2 Pins		
15	32002	DkStone	Technic Pin 3/4		3 Extra
2	32009	Black	Technic Beam 3 x 3.8 x 7 Liftarm Bent 45 Double		
8	32009	DkStone	Technic Beam 3 x 3.8 x 7 Liftarm Bent 45 Double		
1	32009	Yellow	Technic Beam 3 x 3.8 x 7 Liftarm Bent 45 Double		
1	32013	Black	Technic Angle Connector #1		
8	32013	MdStone	Technic Angle Connector #1		
12	32013	Yellow	Technic Angle Connector #1		
2	32015	Black	Technic Angle Connector #5		

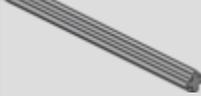
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	32016	Black	Technic Angle Connector #3		
2	32018	Black	Technic Brick 1 x 14 with Holes		
5	32018	Yellow	Technic Brick 1 x 14 with Holes		
8	32019	Black	Tyre 62.4 x 20 S		
8	32020	MdStone	Wheel 62.4 x 20 S		
5	32034	Black	Technic Angle Connector #2		
2	32034	MdStone	Technic Angle Connector #2		
2	32039	Black	Technic Connector with Axlehole		
6	32039	Yellow	Technic Connector with Axlehole		
4	32054	Black	Technic Pin Long with Stop Bush		
17	32054	MdStone	Technic Pin Long with Stop Bush		
29	32054	Yellow	Technic Pin Long with Stop Bush		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
14	32056	Blue	Technic Beam 3 x 3 x 0.5 Liftarm Bent 90		
24	32062	Red	Technic Axle 2 Notched		
1	32065	Black	Technic Beam 7 x 0.5		
1	32065	Yellow	Technic Beam 7 x 0.5		
4	32072	Yellow	Technic Knob Wheel		
40	32073	MdStone	Technic Axle 5		
1	32136	Black	Technic Pin 3L Double		
3	32136	MdStone	Technic Pin 3L Double		
2	32140	Black	Technic Beam 2 x 4 Liftarm Bent 90		
3	32140	Blue	Technic Beam 2 x 4 Liftarm Bent 90		
32	32140	DkStone	Technic Beam 2 x 4 Liftarm Bent 90		1 Extra
6	32140	Yellow	Technic Beam 2 x 4 Liftarm Bent 90		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
28	32184	Black	Technic Axle Joiner Perpendicular 3L		1 Extra
7	32184	MdStone	Technic Axle Joiner Perpendicular 3L		
15	32209	DkStone	Technic Axle 5.5 with Stop		
6	32250	Black	Technic Beam 3 x 5 x 0.5 Liftarm Bent 90 Quarter Ellipse		
5	32269	MdStone	Technic Gear 20 Tooth Double Bevel		1 Extra
5	32270	MdStone	Technic Gear 12 Tooth Double Bevel		
6	32278	Black	Technic Beam 15		
20	32278	MdStone	Technic Beam 15		1 Extra
8	32278	Yellow	Technic Beam 15		
1	32316	Black	Technic Beam 5		
24	32316	MdStone	Technic Beam 5		1 Extra

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
18	32316	Yellow	Technic Beam 5		
2	32333	MdStone	Technic Engine Block 1 x 5 x 3		
2	32348	MdStone	Technic Beam 4 x 4 Liftarm Bent 53.5		
17	32449	MdStone	Technic Beam 4 x 0.5 Liftarm		1 Extra
4	32449	Yellow	Technic Beam 4 x 0.5 Liftarm		
12	32523	DkStone	Technic Beam 3		1 Extra
2	32523	MdStone	Technic Beam 3		
7	32523	Yellow	Technic Beam 3		
29	32524	MdStone	Technic Beam 7		1 Extra
10	32524	Yellow	Technic Beam 7		
6	32525	MdStone	Technic Beam 11		
3	32525	Yellow	Technic Beam 11		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
8	32526	Black	Technic Beam 3 x 5 Bent 90		
6	32526	Blue	Technic Beam 3 x 5 Bent 90		
11	32526	MdStone	Technic Beam 3 x 5 Bent 90		
4	32526	Yellow	Technic Beam 3 x 5 Bent 90		
2	32529	Black	Technic Pin Joiner Plate 1 x 2 x 1 1/2		
4	33299	Black	Technic Beam 3 x 0.5 Liftarm with Boss and Pin		
14	41239	Black	Technic Beam 13		1 Extra
2	41239	MdStone	Technic Beam 13		
7	41239	Yellow	Technic Beam 13		
2	41677	Black	Technic Beam 2 x 0.5 Liftarm		
6	41677	DkStone	Technic Beam 2 x 0.5 Liftarm		
4	41677	MdStone	Technic Beam 2 x 0.5 Liftarm		
12	41677	Red	Technic Beam 2 x 0.5 Liftarm		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	41678	Yellow	Technic Axle Joiner Perpendicular Double Split		
19	42003	MdStone	Technic Axle Joiner Perpendicular with 2 Holes		
3	42003	Yellow	Technic Axle Joiner Perpendicular with 2 Holes		
2	43857	Black	Technic Beam 2		
2	43857	Blue	Technic Beam 2		
1	43857	MdStone	Technic Beam 2		
2	43857	Yellow	Technic Beam 2		
30	44294	MdStone	Technic Axle 7		1 Extra
14	48989	MdStone	Technic Axle Joiner Perpendicular 3L with 4 Pins		
2	75535	Black	Technic Pin Joiner Round		
1	x403	Black	Technic Gear 36 Tooth Double Bevel		

6.6. Modelo LEGO Technic 8458-2.



Ilustración 156. Modelo LEGO Technic 8458-2.

El modelo 8458-2, formado por 1413 componentes, es un camión propulsado por un motor de 10 cilindros en V, posee tracción trasera con diferencial, se aprecian 2 juntas Hooke (juntas universales o cardan) por cada una de las ruedas, para finalmente, unirse mecánicamente a los brazos de la amortiguación.

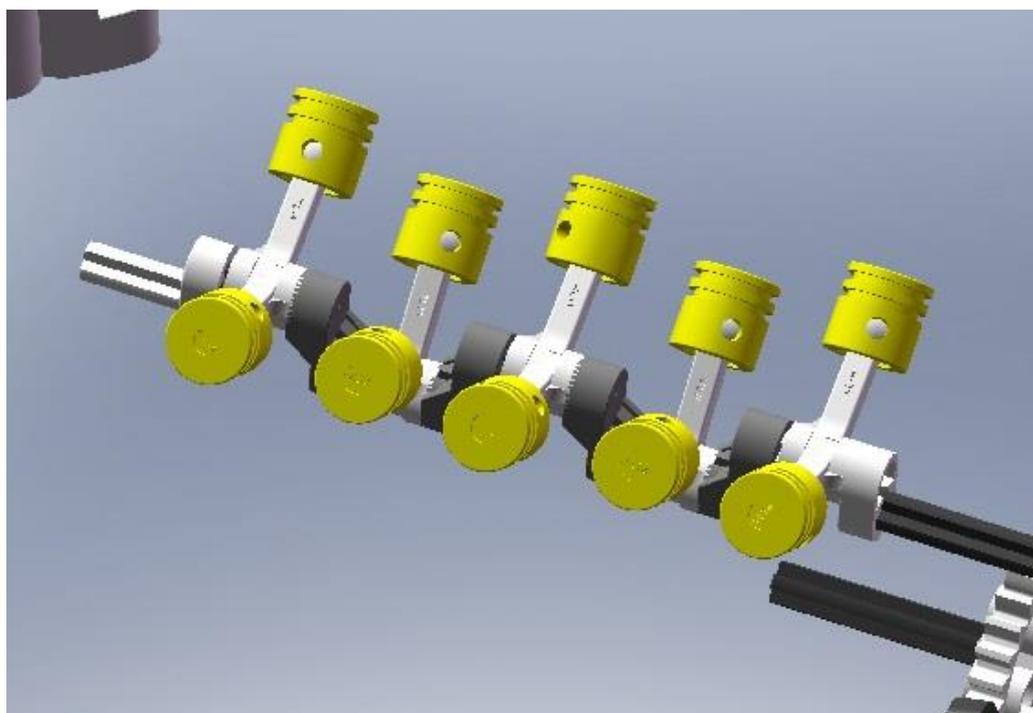


Ilustración 157. Motor de 10 de cilindros en V

En la imagen se observa la amortiguación de las ruedas traseras, que constan de 2 cilindros hidráulicos y su correspondiente resorte helicoidal.

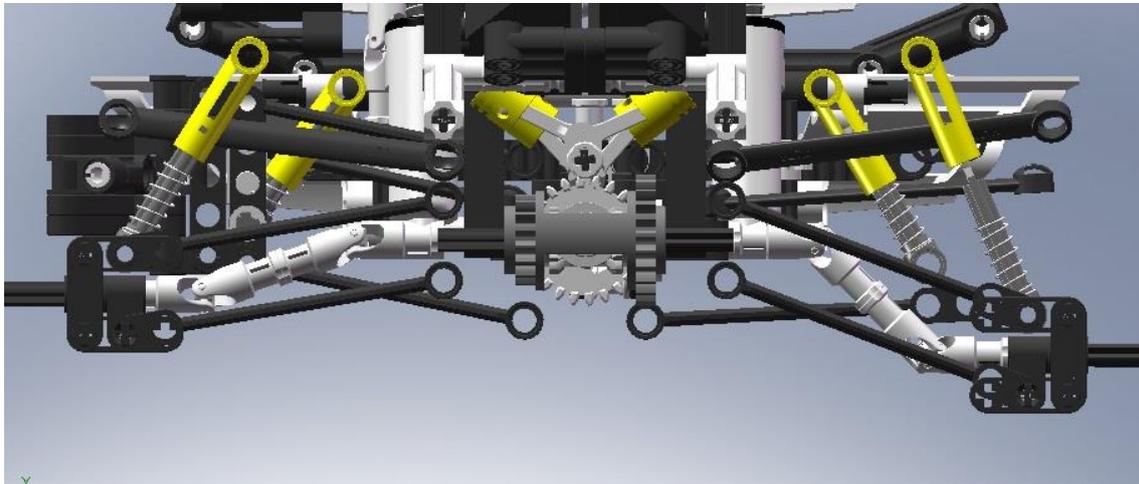


Ilustración 158. Tracción y Amortiguación traseras.

En la ilustración 146, se puede apreciar la amortiguación delantera.



Ilustración 159. Amortiguación delantera.

La dirección, transmite el movimiento de rotación del volante, a través de varios ejes y un cardan, hasta el engranaje de piñón cremallera.

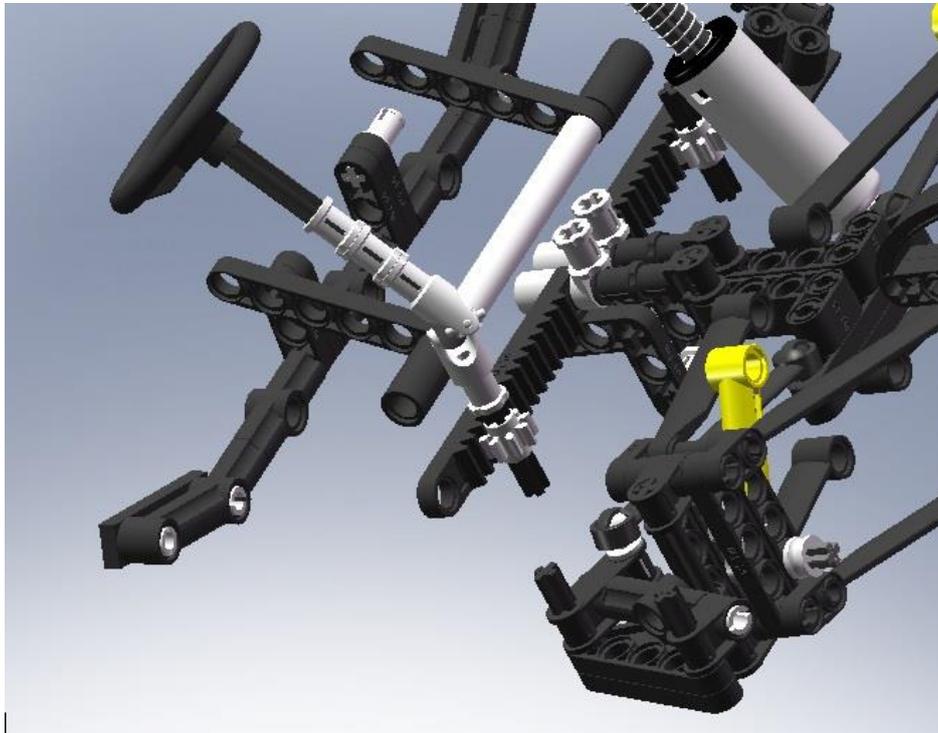


Ilustración 160. Dirección delantera.

Este modelo dispone de un mecanismo que permite levantar la cabina del camión. Para ello dispone de dos cilindros hidráulicos.

En el apartado 4.7.3.4, se vio la movilidad de este mecanismo plano.

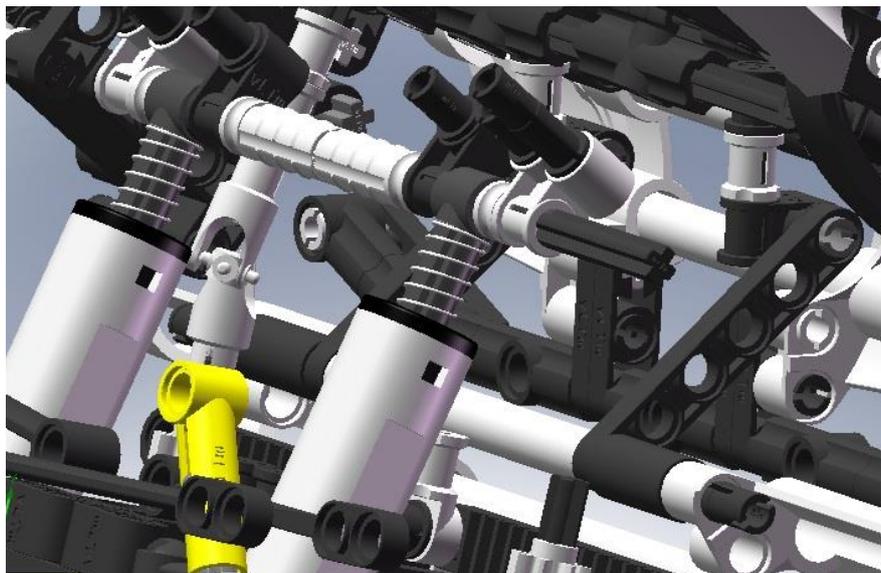


Ilustración 161. Mecanismo de movimiento de la cabina.

Para un mayor nivel de detalle mirar el archivo correspondiente a este modelo en el formato digital.

Como se puede ver en la siguiente ilustración, el modelo se ha dividido en 127 piezas.

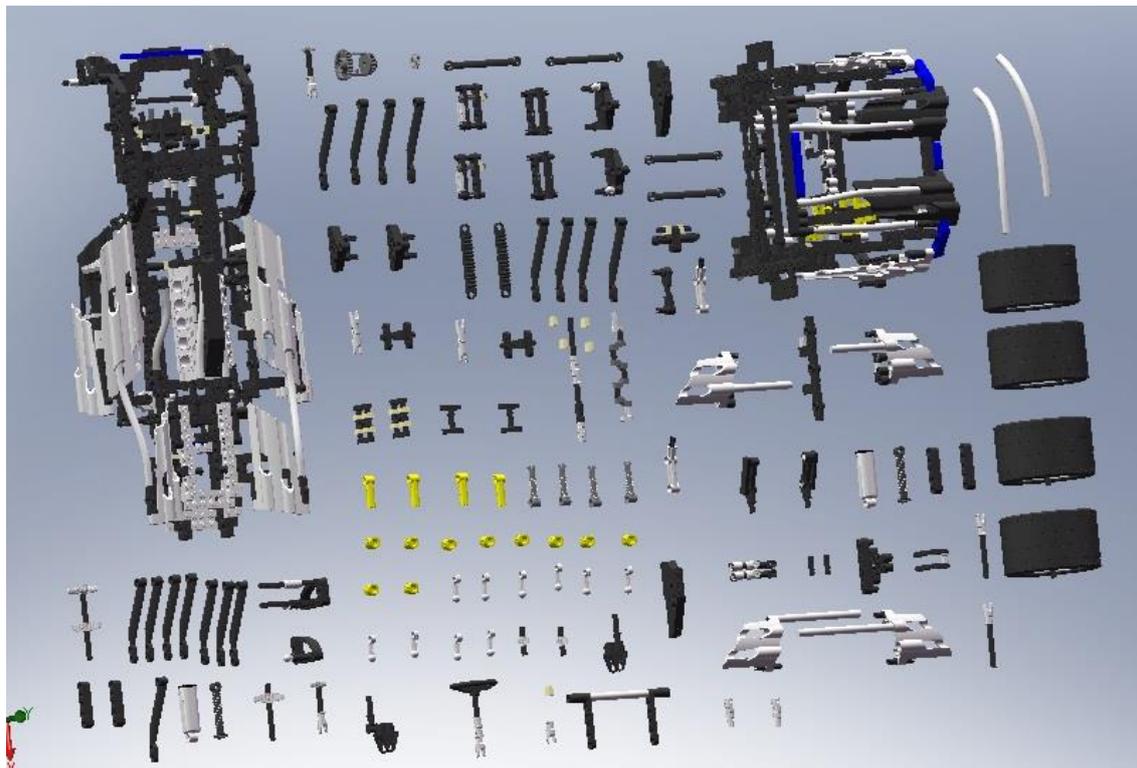
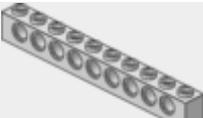


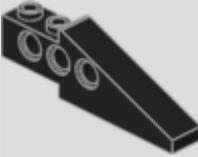
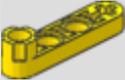
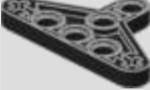
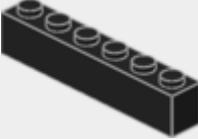
Ilustración 162. Piezas del Modelo 8458-2.

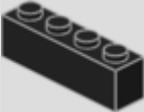
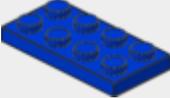
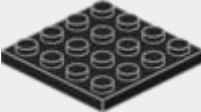
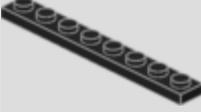
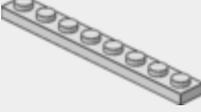
COMPONENTES:

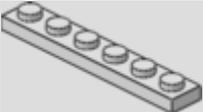
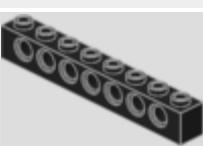
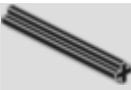
Visitando la web www.peeron.com Podemos obtener la lista de componentes de este modelo.

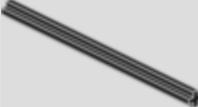
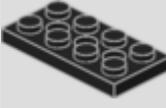
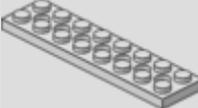
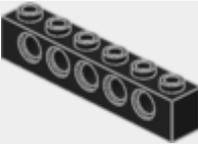
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	44	OldGray	Technic Connector Toggle Joint Smooth		
8	50	Black	~Moved to 6628		
28	78	PearlSilver	Technic Ribbed Hose		18L, 11L, 7L, 9L, 5L

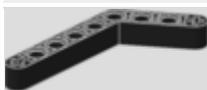
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	152	Black	~Moved to 32271		
4	731c01	Yellow	Technic Shock Absorber 6.5L (Complete Assembly Shortcut)		
4	2412b	Black	Tile 1 x 2 Grille with Groove		
12	2412b	OldGray	Tile 1 x 2 Grille with Groove		
6	2420	Black	Plate 2 x 2 Corner		
4	2420	OldGray	Plate 2 x 2 Corner		
9	2431	Black	Tile 1 x 4		
4	2444	Black	Plate 2 x 2 with Hole		
1	2445	OldGray	Plate 2 x 12		
5	2730	Black	Technic Brick 1 x 10 with Holes		
2	2730	OldGray	Technic Brick 1 x 10 with Holes		
6	2736	OldGray	Technic Axle Towball		
1	2741	Black	Technic Large Steering Wheel		

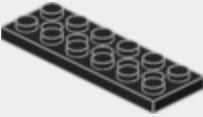
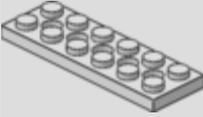
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	2744	Black	Technic Wing Back		
193	2780	Black	Technic Pin with Friction and Slots		1 Extra
16	2825	Black	Technic Beam 4 x 0.5 Liftarm with Boss		
2	2825	Blue	Technic Beam 4 x 0.5 Liftarm with Boss		
4	2825	Yellow	Technic Beam 4 x 0.5 Liftarm with Boss		
10	2850	Clear	Technic Engine Cylinder Head		
10	2851	Yellow	Technic Engine Piston Round		
10	2852	OldGray	Technic Engine Connecting Rod		
4	2853	OldGray	Technic Engine Crankshaft		
4	2854	OldDkGray	Technic Engine Crankshaft Centre		
12	2905	Black	Technic Triangle		
2	3009	Black	Brick 1 x 6		

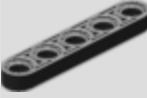
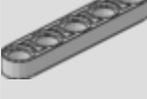
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	3010	Black	Brick 1 x 4		
1	3020	Blue	Plate 2 x 4		
5	3021	OldGray	Plate 2 x 3		
11	3023	Black	Plate 1 x 2		
2	3023	Blue	Plate 1 x 2		
8	3023	OldGray	Plate 1 x 2		
2	3031	Black	Plate 4 x 4		
4	3040b	Black	Slope Brick 45 2 x 1		2 Extra
2	3069b	White	Tile 1 x 2 with Groove		
9	3176	OldGray	Plate 3 x 2 with Hole		
1	3460	Black	Plate 1 x 8		
2	3460	OldGray	Plate 1 x 8		
6	3623	Black	Plate 1 x 3		
2	3623	OldGray	Plate 1 x 3		

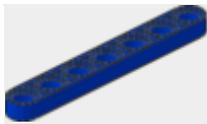
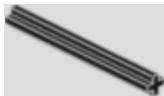
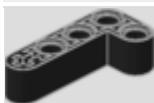
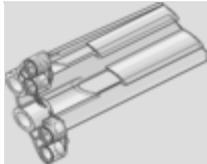
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
4	3647	OldGray	Technic Gear 8 Tooth		2 Extra
2	3648	OldGray	~Moved to 3648a		1 Extra
1	3650	OldGray	Technic Gear 24 Tooth Crown Type III (x pattern)		
4	3666	Black	Plate 1 x 6		
2	3666	OldGray	Plate 1 x 6		
3	3700	Black	Technic Brick 1 x 2 with Hole		
3	3700	OldGray	Technic Brick 1 x 2 with Hole		
2	3701	Black	Technic Brick 1 x 4 with Holes		
3	3702	Black	Technic Brick 1 x 8 with Holes		
8	3703	Black	Technic Brick 1 x 16 with Holes		
40	3705	Black	Technic Axle 4		

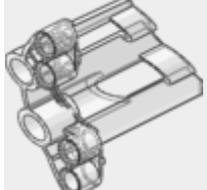
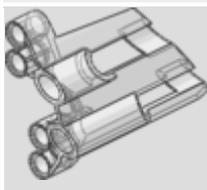
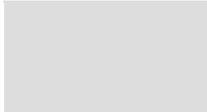
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
10	3706	Black	Technic Axle 6		
12	3707	Black	Technic Axle 8		
5	3708	Black	Technic Axle 12		
2	3709b	Black	Technic Plate 2 x 4 with Holes		
1	3709b	OldGray	Technic Plate 2 x 4 with Holes		
23	3713	OldGray	Technic Bush		1 Extra
1	3738	Black	Technic Plate 2 x 8 with Holes		
1	3738	OldGray	Technic Plate 2 x 8 with Holes		
8	3743	OldGray	Technic Gear Rack 1 x 4		
34	3749	OldGray	Technic Axle Pin		
8	3894	Black	Technic Brick 1 x 6 with Holes		
7	3895	Black	Technic Brick 1 x 12 with Holes		

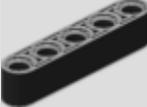
<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
1	3941	OldGray	Brick 2 x 2 Round		
4	4162	Black	Tile 1 x 8		
37	4265c	OldGray	Technic Bush 1/2 Smooth		
29	4274	OldGray	Technic Pin 1/2		1 Extra
49	4519	Black	Technic Axle 3		
51	6536	Black	Technic Axle Joiner Perpendicular		
2	6536	Yellow	Technic Axle Joiner Perpendicular		
12	6538b	Black	Technic Axle Joiner Offset		
6	6538b	OldGray	Technic Axle Joiner Offset		
8	6541	Black	Technic Brick 1 x 1 with Hole		
66	6558	Black	Technic Pin Long with Friction		
1	6573	OldDkGray	Technic Differential New		
14	6587	OldDkGray	Technic Axle 3 with Stud		
3	6589	OldGray	Technic Gear 12 Tooth Bevel		
4	6629	Black	Technic Beam 4 x 6 Liftarm Bent 53.5		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
3	6630	Black	Technic Gear Rack 1 x 8 with Holes		
40	6632	Black	Technic Beam 3 x 0.5 Liftarm		
2	6632	Blue	Technic Beam 3 x 0.5 Liftarm		
2	6632	Yellow	Technic Beam 3 x 0.5 Liftarm		
4	22969	MetallicSilver	Wheel Technic Racing		
15	32000	Black	Technic Brick 1 x 2 with Holes		
5	32001	Black	Technic Plate 2 x 6 with Holes		
1	32001	OldGray	Technic Plate 2 x 6 with Holes		
19	32002	OldDkGray	Technic Pin 3/4		1 Extra
7	32009	Black	Technic Beam 3 x 3.8 x 7 Liftarm Bent 45 Double		
2	32009	Blue	Technic Beam 3 x 3.8 x 7 Liftarm Bent 45 Double		
16	32013	Black	Technic Angle Connector #1		
16	32013	OldGray	Technic Angle Connector #1		
4	32014	Black	Technic Angle Connector #6		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	32016	Black	Technic Angle Connector #3		
2	32016	OldGray	Technic Angle Connector #3		
8	32017	Black	Technic Beam 5 x 0.5		
2	32017	Blue	Technic Beam 5 x 0.5		
1	32017	OldGray	Technic Beam 5 x 0.5		
27	32034	Black	Technic Angle Connector #2		
4	32034	OldGray	Technic Angle Connector #2		
12	32039	Black	Technic Connector with Axlehole		
4	32039	Yellow	Technic Connector with Axlehole		
24	32054	Black	Technic Pin Long with Stop Bush		
8	32056	Black	Technic Beam 3 x 3 x 0.5 Liftarm Bent 90		2 Extra
54	32062	Black	Technic Axle 2 Notched		
9	32063	Black	Technic Beam 6 x 0.5		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
2	32065	Blue	Technic Beam 7 x 0.5		
8	32068	Black	Technic Axle Joiner Perpendicular 3 Long		
4	32069	Black	Technic Steering Arm with Connectors		
20	32073	Black	Technic Axle 5		
6	32136	Black	Technic Pin 3L Double		
14	32140	Black	Technic Beam 2 x 4 Liftarm Bent 90		
2	32181c02	TrLtBlue	Technic Shock Absorber 10L Damped (Complete Assembly Shortcut)		
14	32184	Black	Technic Axle Joiner Perpendicular 3L		
3	32188	Black	Technic Panel Fairing #3		
6	32188	MetallicSilver	Technic Panel Fairing #3		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
3	32189	Black	Technic Panel Fairing #4		
6	32189	MetallicSilver	Technic Panel Fairing #4		
4	32190	MetallicSilver	Technic Panel Fairing #1		
4	32191	MetallicSilver	Technic Panel Fairing #2		
4	32209	Black	Technic Axle 5.5 with Stop		
2	32235	PearlSilver	Technic Axle Flexible 19		
4	32249	Black	Technic Beam 3 x 3 x 0.5 Liftarm Bent 90 Quarter Circle		
12	32250	Black	Technic Beam 3 x 5 x 0.5 Liftarm Bent 90 Quarter Ellipse		
6	32278	Black	Technic Beam 15		
15	32291	Black	Technic Axle Joiner Perpendicular Double		

<u>Qty</u>	<u>PartNum</u>	<u>Color</u>	<u>Description</u>	<u>Picture</u>	<u>Note</u>
12	32291	OldGray	Technic Axle Joiner Perpendicular Double		
6	32293	Black	Technic Steering Link 9L		
4	32296	Black	Tyre Technic Racing		
16	32316	Black	Technic Beam 5		
2	32333	Clear	Technic Engine Block 1 x 5 x 3		
2	32348	Black	Technic Beam 4 x 4 Liftarm Bent 53.5		
14	75535	Black	Technic Pin Joiner Round		
16	x136	Black	Technic Wishbone Suspension Arm		

7. Simulación de Modelos.

A continuación se muestran una serie de modelos ensamblados, autoalineados y simulados en este proyecto.

Se muestran 4 modelos, 1 modelo del libro de Isogawa, y 3 modelos LEGO Technic, se estudia su movilidad y se comenta el funcionamiento de sus mecanismos. Los modelos, de menor a mayor dificultad, son: Modelo T-1481 del libro de Isogawa Yoshihito, Modelo LEGO Technic 8816-1, Modelo LEGO Technic 8854-2 y Modelo LEGO Technic 8421-1 con grúa elevadora incorporada(8421-3).

Para el apartado de simulación, el profesor nos proporciona las piezas compactadas, es decir, aptas para ser ensambladas y simuladas. Esto ha sido así en todos los modelos simulados excepto en el modelo 8421-1, en el cual, a diferencia de los otros, las piezas han sido las creadas en el apartado de creación y compactadas posteriormente para poder simularlas.

Para un mayor nivel de detalle se aconseja ver los videos de la simulación de cada modelo, en el formato digital de este proyecto.

7.1 Modelo LEGO Technic 8816-1.

En este modelo el profesor nos ha proporcionado las piezas ya compactadas, la labor ha consistido en simular su movimiento. Para ello hemos hecho uso de la herramienta de SolidWorks COSMOS Motion.

En primer lugar hemos establecido la pieza chasis como parte fija respecto a la cual vamos a referenciar todos los pares de las partes móviles. Por tanto se trata de ir definiendo cada pieza como parte móvil y definir sus pares allí donde haya contacto con el chasis o cualquier otra pieza (ya se definieron los tipos de pares existentes en los apartados 4.9.4 y 4.9.5).

Lo primero que debemos de hacer cuando establecemos una pieza como parte móvil, es eliminar los joints que aparecen automáticamente, debido a las relaciones de posición creadas, y definir unos nuevos joints.

A continuación se muestra el modelo cinemático completo del modelo.

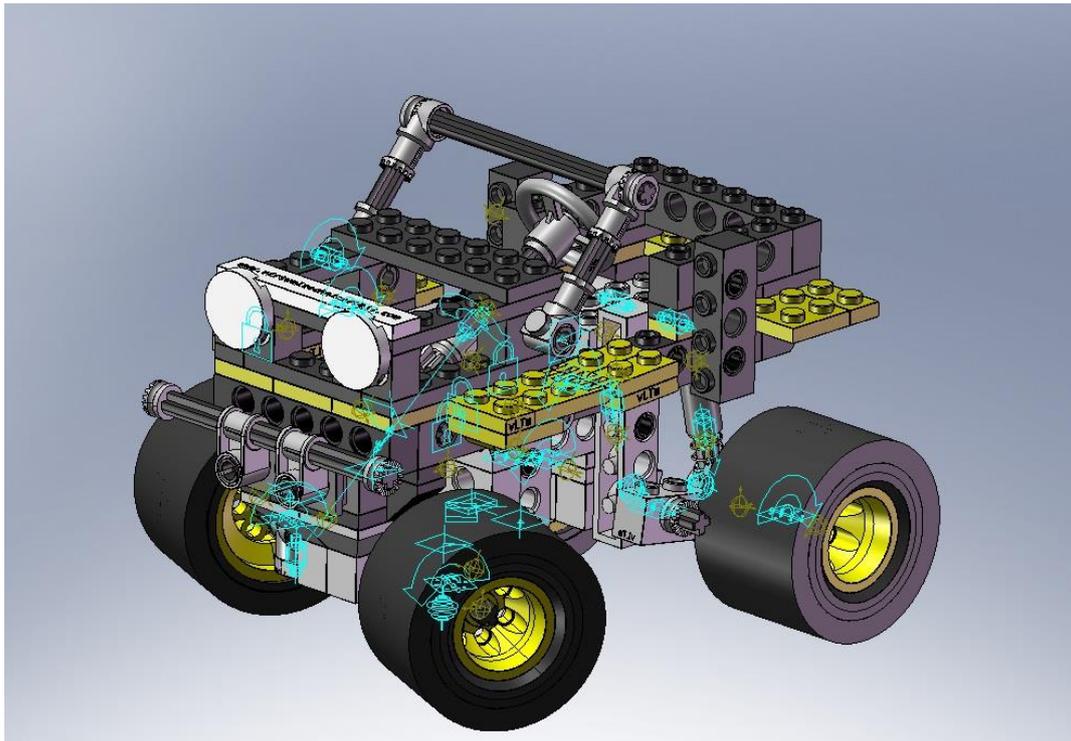


Ilustración 163. Modelo cinemático auto-alineador del modelo 8816-1 con todos sus pares definidos.

El modelo cinemático es auto-alineador y no presenta restricciones en exceso tal y como se puede comprobar en la siguiente imagen.

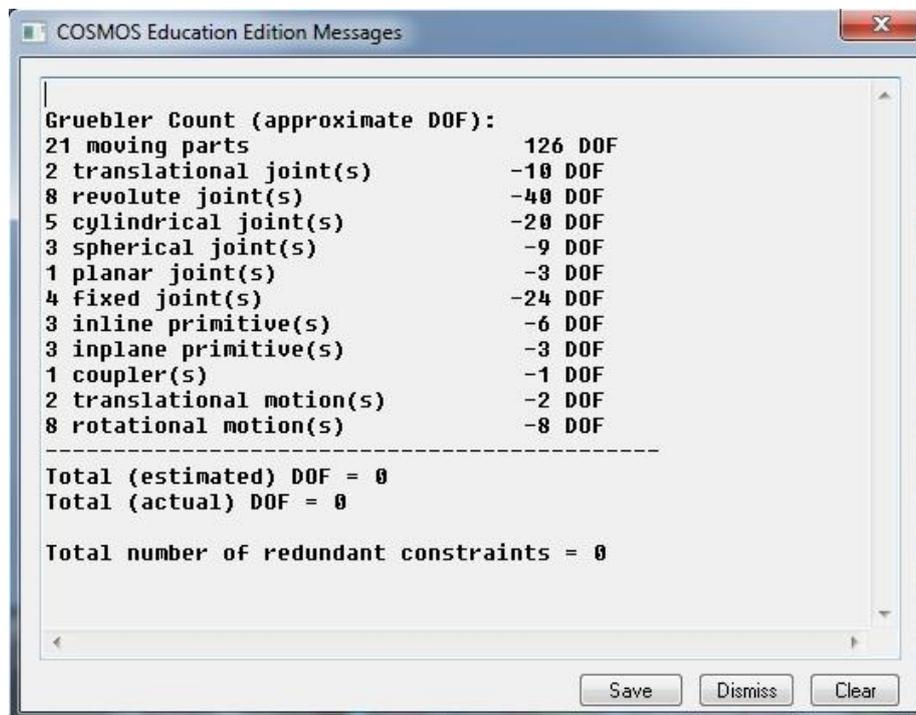


Ilustración 164. Movilidad del modelo 8816-1 sin restricciones en exceso.

Se pueden observar los diferentes pares definidos y los grados de libertad restringidos por ellos.

En este mecanismo hay varios mecanismos que procedemos a comentar.

En primer lugar, comentamos las dos piezas laterales amarillas y el conjunto de barras rígidas que conformarían el “parabrisas”. Ambos mecanismos poseen un par de revolución, es decir, tienen un grado de libertad cada uno, que ha sido convenientemente definido para la simulación.

En el caso del parabrisas, y como ya se comentó, de forma equivalente a definir un par de revolución, se ha optado por definir dos pares, uno en cada unión, en la línea o en el plano en un lado y esférico o cilíndrico en el otro, lo que equivale a restringir 5 grados de libertad que es lo mismo que definir un solo par de revolución en un lado. De esta manera, facilitamos el cálculo posterior de las fuerzas de reacción.

Para las dos piezas laterales amarillas basta con definir un par de revolución y acotarlo.

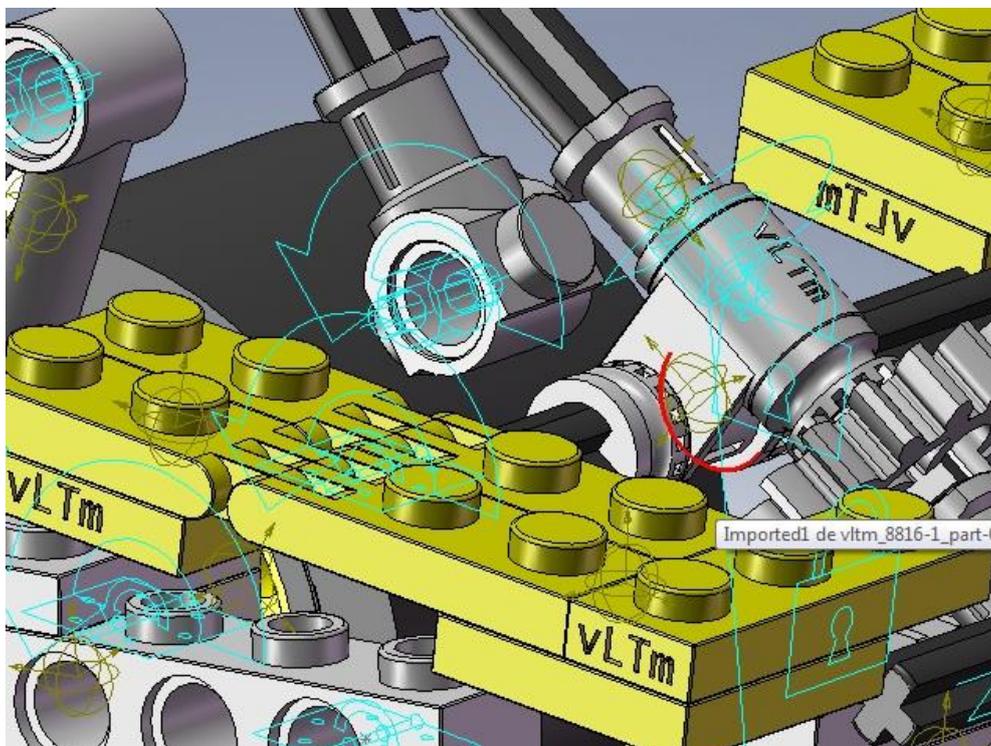


Ilustración 165. Par de revolución pieza amarilla lateral y par cilíndrico uno de los lados del parabrisas.

Otro mecanismo a tener en cuenta son las suspensiones traseras. Formadas, en cada lado, por la rueda, un basculante y el amortiguador propiamente dicho. El conjunto rueda-suspensión posee dos grados de libertad (el de la rueda y el del basculante-amortiguador) que se han definido convenientemente para la simulación.

El basculante se ha unido al chasis mediante un par de revolución, que no hará falta definir, ya que el movimiento del basculante quedara definido por el amortiguador.

Para la definición del amortiguador, se ha utilizado un par traslacional para unir el cilindro y el actuador, y se han establecido pares de revolución para unir el cilindro con el chasis y el actuador con el basculante. Si lo hacemos de esta forma, salen restricciones en exceso. Para solucionar el problema, se sustituye el par de revolución actuador-basculante por un par cilíndrico y el par de revolución cilindro-chasis por un esférico o viceversa.

De este modo ya tenemos completamente definida la suspensión, debiendo actuar de la misma forma en el otro conjunto rueda-basculante-amortiguador. Solo faltaría definir el grado de libertad de cada rueda y el grado de libertad del par traslacional creado en cada amortiguador.

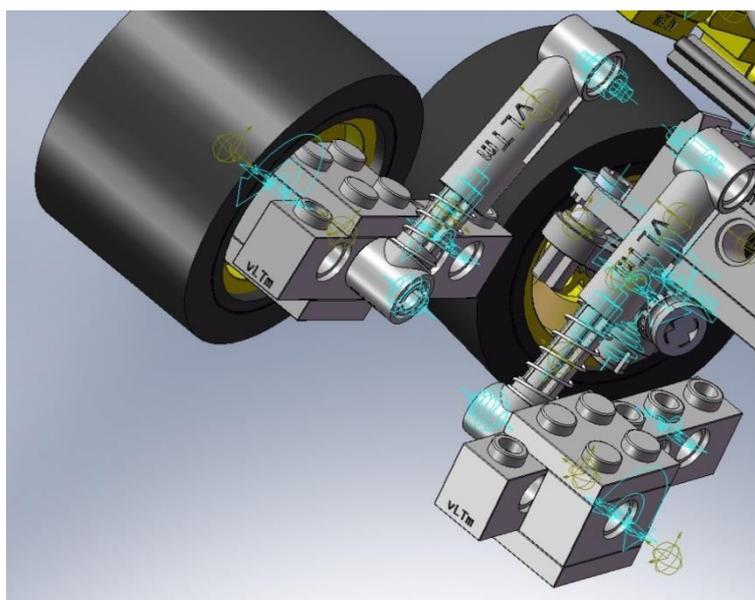


Ilustración 166. Modelo cinemático suspensión trasera.

El mecanismo que queda por comentar es la dirección. La dirección es de cremallera y posee un grado de libertad, tres grados de libertad si contamos las dos ruedas delanteras. El grado de libertad de la dirección hay que definirlo mediante lo que se llama un acoplamiento (en SolidWorks se encuentra como “coupler”, acoplamiento en inglés). Por tanto, lo que hay que acoplar es el par cilíndrico que dota de movimiento de giro al volante, con el otro par cilíndrico que hay definido en el componente que une la rueda delantera derecha con el chasis. Es importante resaltar que el acoplamiento no se podría producir con el par esférico definido en el componente equivalente de la rueda delantera izquierda, debido a que los acoplamientos solo se pueden definir con pares de revolución o pares cilíndricos. Volviendo al acoplamiento en sí, habría que calcular cuantos grados gira la rueda por cada milímetro que se desplaza la cremallera, introduciendo este valor quedaría definido el acoplamiento.

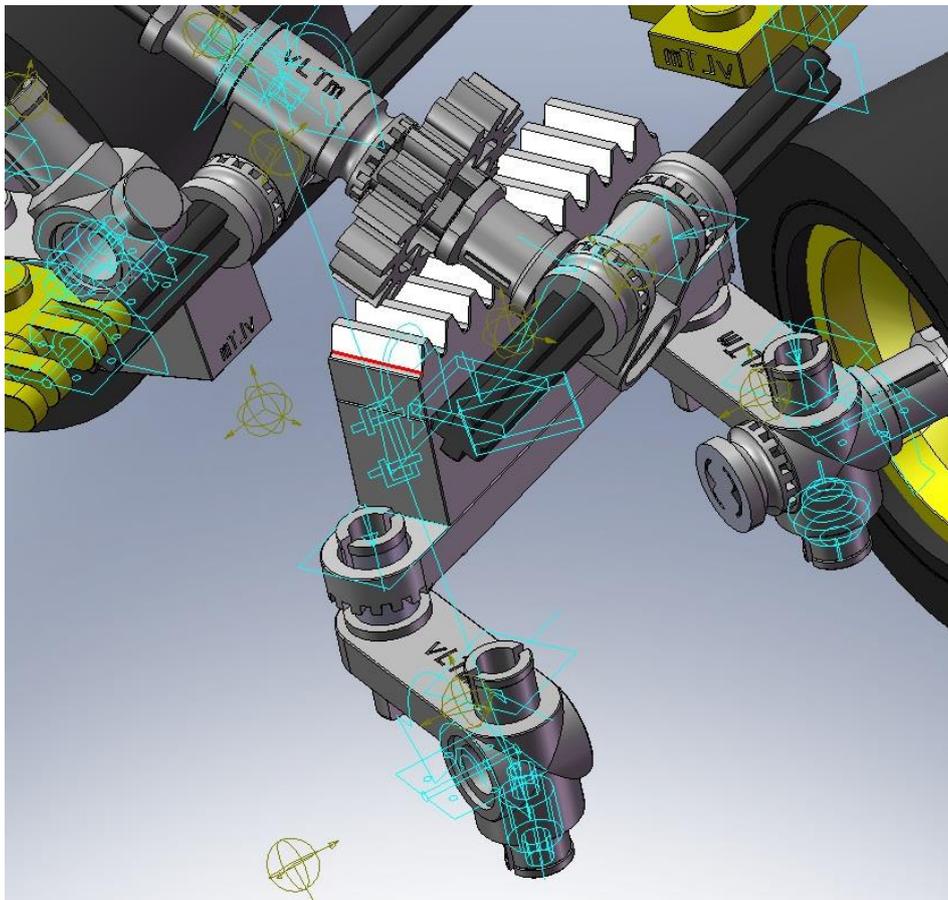
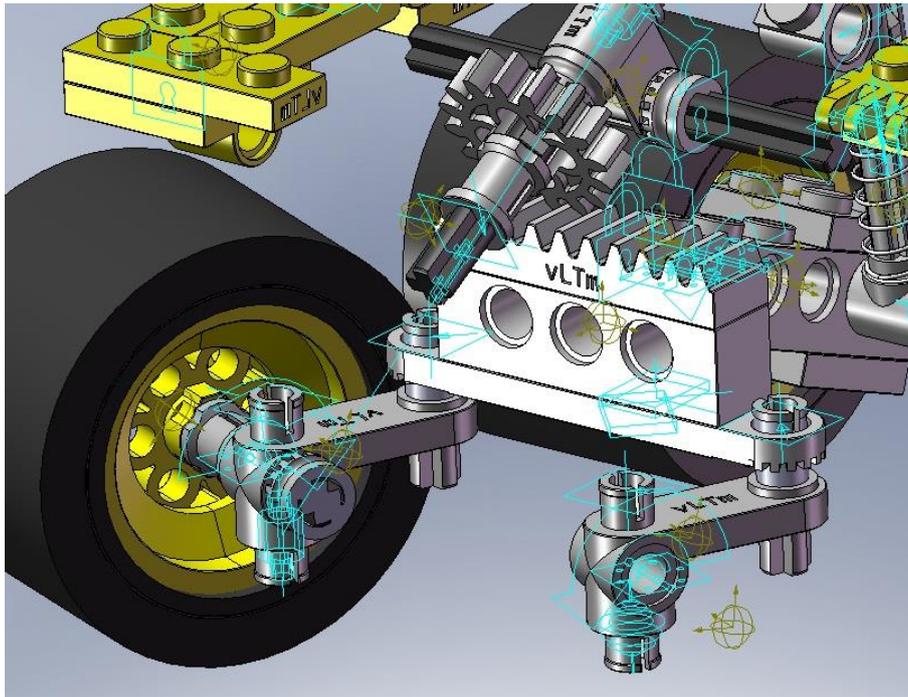


Ilustración 167. Dirección (rueda delantera derecha).



Il·lustració 168. Direcció (rueda delantera esquerra).

Así pues, ya tendríamos completamente definido el modelo cinemático auto-alineador del modelo, con ausencia de restricciones en exceso.

El siguiente paso sería simular el movimiento del modelo sobre una base. Para ello, deberíamos primero crear la base como si de una pieza se tratase, su referencia sería "..._part-0000_2014".

Una vez creada la base, habría que "acomodar" el modelo para ser simulado, esto es, definir los grados de libertad de forma que en la simulación se observe el rango de movimiento en su totalidad.

Por último, se definirían los contactos entre las ruedas y la base teniendo la precaución de que, debido a la geometría compleja de las ruedas, los contactos serían muy complejos y el programa nos daría problemas. La solución a este problema pasa por modificar la geometría de las ruedas de forma que esta sea sencilla, basta con convertirlas en cilindros perfectos, para que el contacto sea totalmente plano.

Por fin nuestro modelo está listo para ser simulado sobre una base. El vídeo de la simulación se puede encontrar en la carpeta correspondiente a este modelo en el formato digital de este proyecto.

7.2. Modelo Isogawa T-1481.

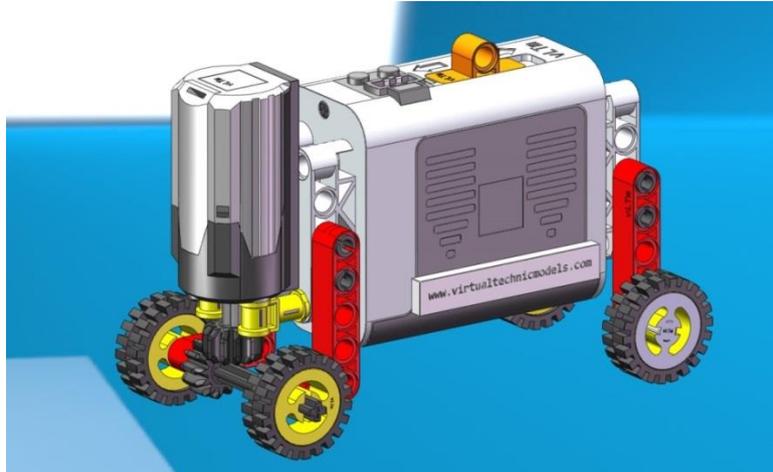


Ilustración 169. Modelo Isogawa Yoshihito T-1481.

El modelo T-1481, se trata de un sencillo vehículo motorizado, con el motor situado en la parte delantera en vertical, y alimentado por una batería que conforma el “cuerpo” del vehículo.

El motor transmite el movimiento a las ruedas delanteras con un sencillo engranaje.

La batería tiene un interruptor con dos posibles posiciones, estas posiciones determinan si el modelo avanza hacia delante o hacia atrás.

Acopladas a las baterías están las ruedas.

A continuación se muestra el resultado del cálculo de la movilidad del modelo.

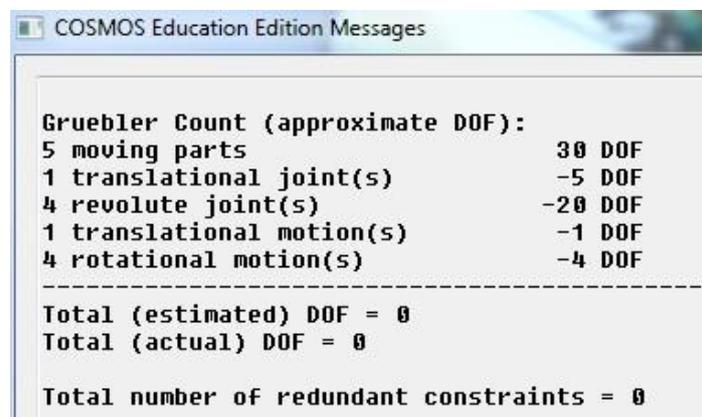


Ilustración 170. Movilidad del modelo T-1481.

El mecanismo motor, se ha definido mediante un par de revolución. Para “acoplar” el movimiento de la rueda dentada del motor con la rueda dentada del eje delantero, se ha definido el grado de libertad correspondiente a cada rueda teniendo en cuenta que ambas tienen el mismo número de dientes. Así las ruedas engranan sin interferencias.

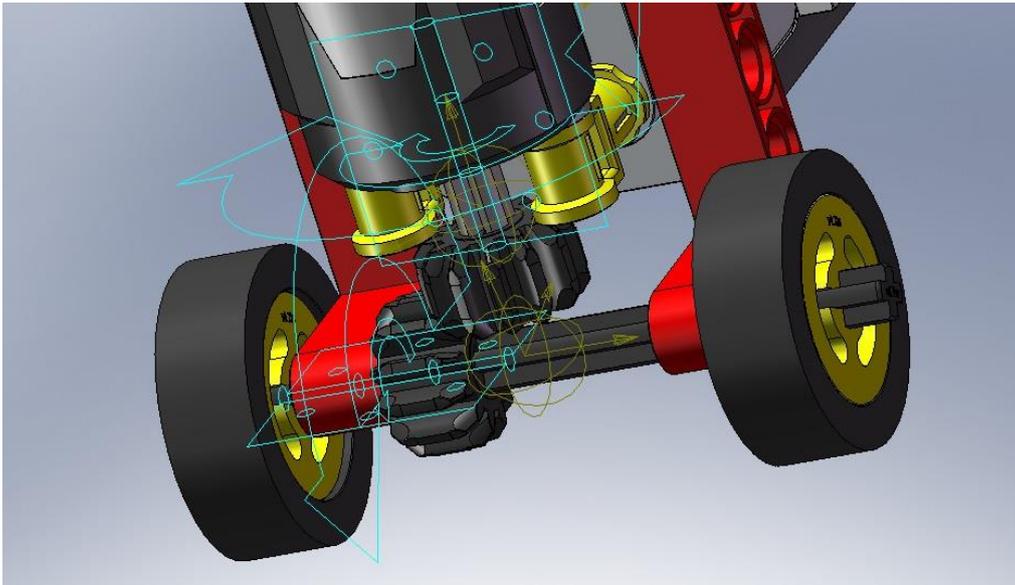


Ilustración 171. Tracción.

En cuanto a las ruedas traseras, se han definido con un par de revolución, dotándolas de la velocidad necesaria para que concuerden con el movimiento de las ruedas delanteras y la simulación sea coherente.

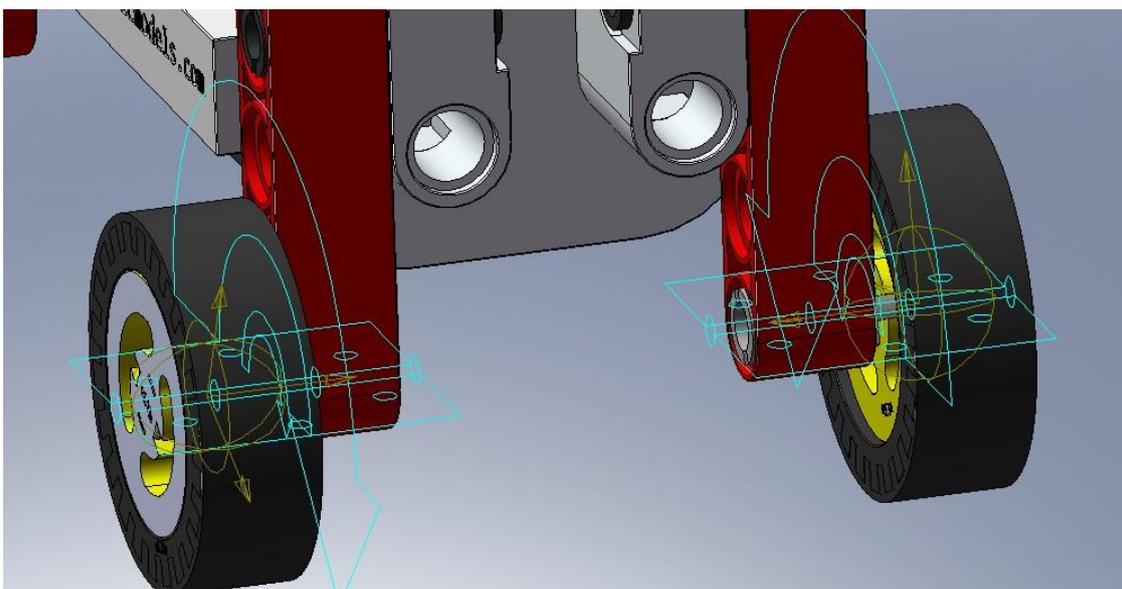


Ilustración 172. Ruedas traseras.

El interruptor de la batería también se ha simulado mediante un par traslacional.

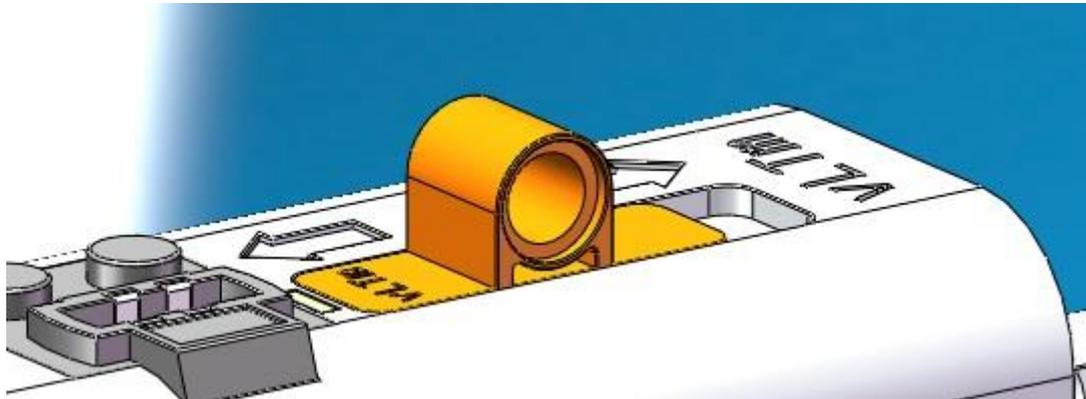


Ilustración 173. Interruptor.

En el video correspondiente a este modelo se observa lo descrito.

7.3. Modelo LEGO Technic 8854-2.

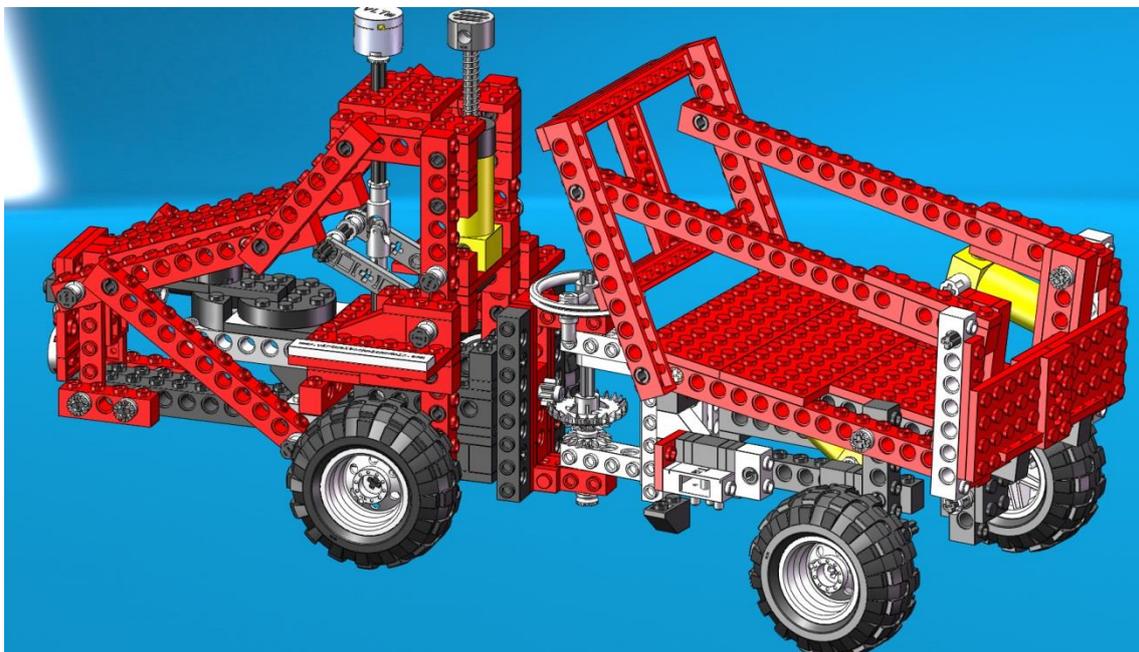


Ilustración 174. Modelo LEGO Technic 8854-2.

El modelo 8854-2, es un tractor. Lo interesante de este modelo está en los dos cilindros hidráulicos de la parte trasera, uno que permite elevar el remolque, y otro que permite la apertura de la puerta trasera del remolque. Pero vayamos por partes.

En primer lugar hay que comentar la dirección, que no es tal, pero se ha considerado para sacar mayor provecho en la simulación, es decir, no existe dirección propiamente dicha ya que en el modelo físico original las ruedas delanteras no giran, es la unión con el remolque trasero la que permite el movimiento relativo entre la parte delantera y el remolque. Pero, como se ha comentado, se ha considerado adecuado considerar una dirección delantera para la simulación, que permitirá el movimiento de las ruedas de forma independiente con la parte delantera.

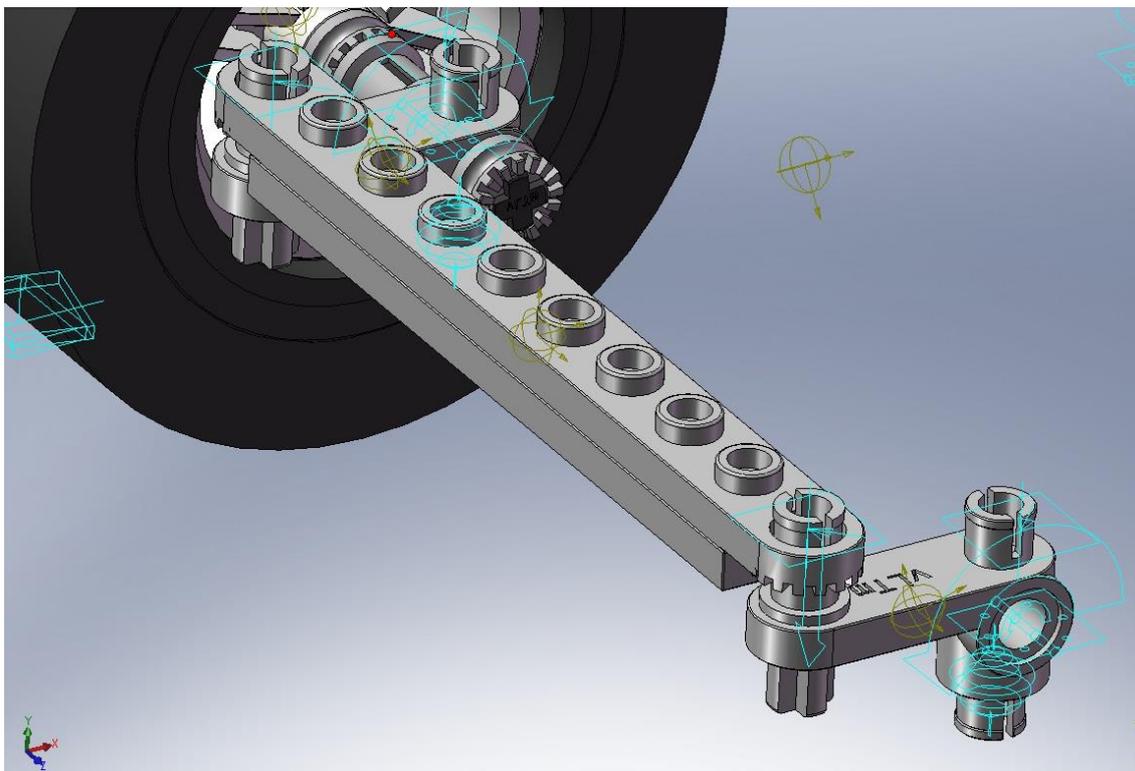
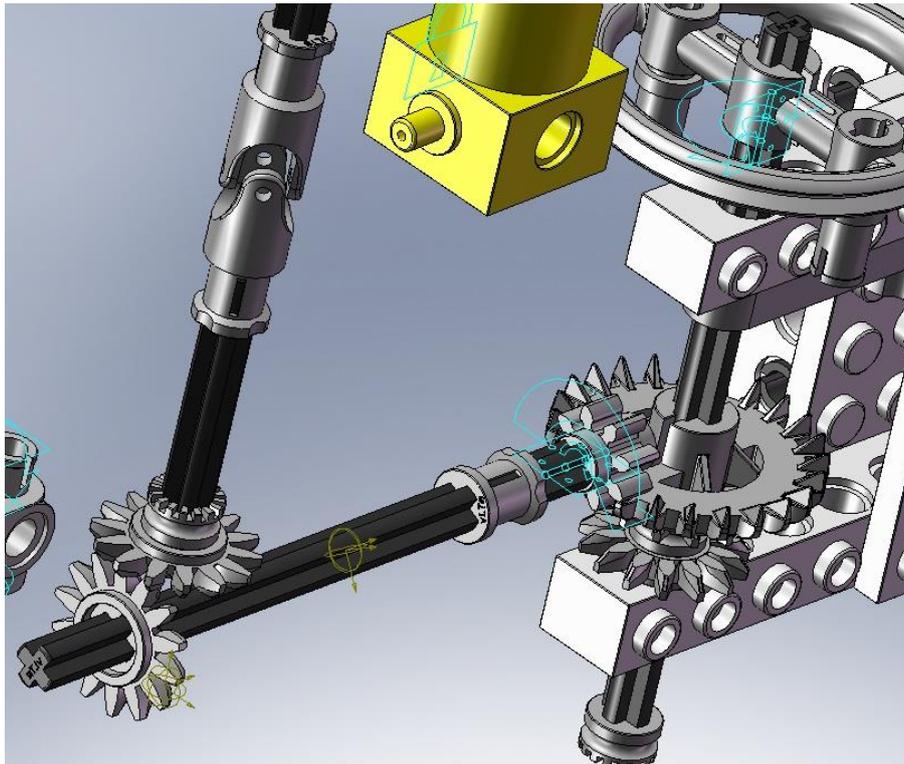


Ilustración 175. Dirección.

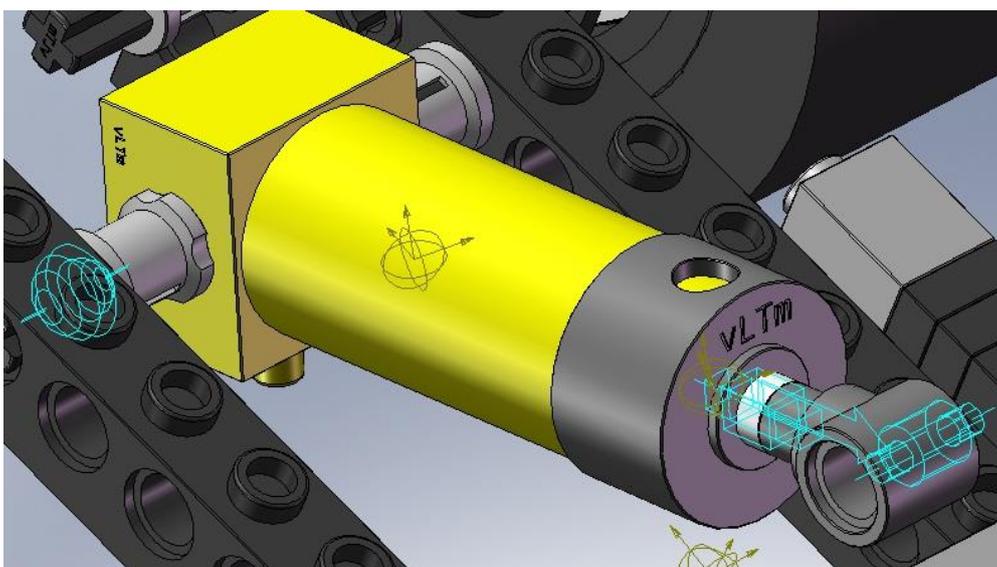
En el modelo original, al ser rígida, la dirección no tiene ningún grado de libertad, pero con la consideración hecha, posee un grado de libertad, además del que aporta cada rueda. En la imagen anterior se pueden ver los pares cinemáticos.

En segundo lugar comentamos la unión de la parte delantera con el remolque. Esta unión se realiza con un tren de engranajes, y se puede controlar con el eje que sobresale por la parte de arriba del modelo. Esta unión tiene un grado de libertad, que le permite girar alrededor del eje perpendicular al plano del suelo.



Il·lustració 176. Giro del remolque.

Pasamos ya a comentar los cilindros. Comenzamos con el cilindro que eleva el remolque. Formado por un par traslacional, que nos deja un grado de libertad para ser definido. El cilindro ha sido unido a la estructura por un par esférico, y el actuador al remolque por uno cilíndrico (podría ser al revés, no pasaría nada), emulando un par de revolución.



Il·lustració 177. Cilindro del remolque.

En cuanto al cilindro que mueve la puerta trasera, actúa de modo similar al cilindro del remolque. El cilindro y el actuador se han unido mediante un par traslacional, que nos deja un grado de libertad que será definido posteriormente. El cilindro está conectado al remolque por un par esférico y el actuador a la puerta trasera por uno cilíndrico (podría ser al revés), lo que de nuevo emula a un par de revolución.

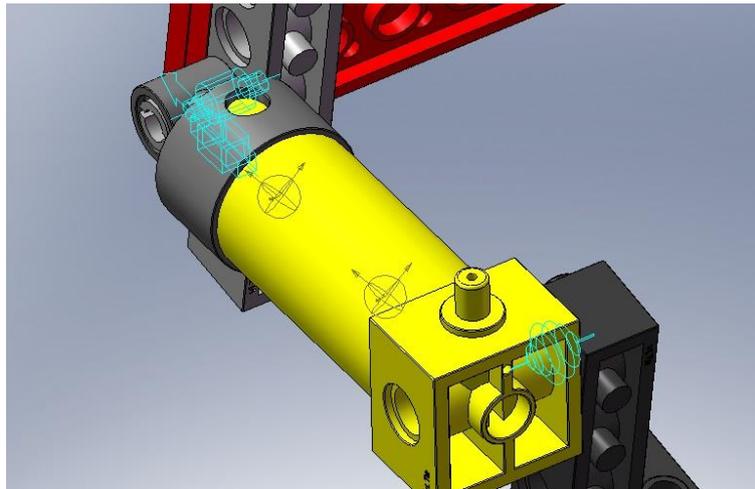


Ilustración 178. Cilindro puerta trasera.

Por último, queda comentar la unión de las ruedas traseras, que simplemente se han unido a la estructura por sendos pares de revolución, permitiendo un grado de libertad cada una.

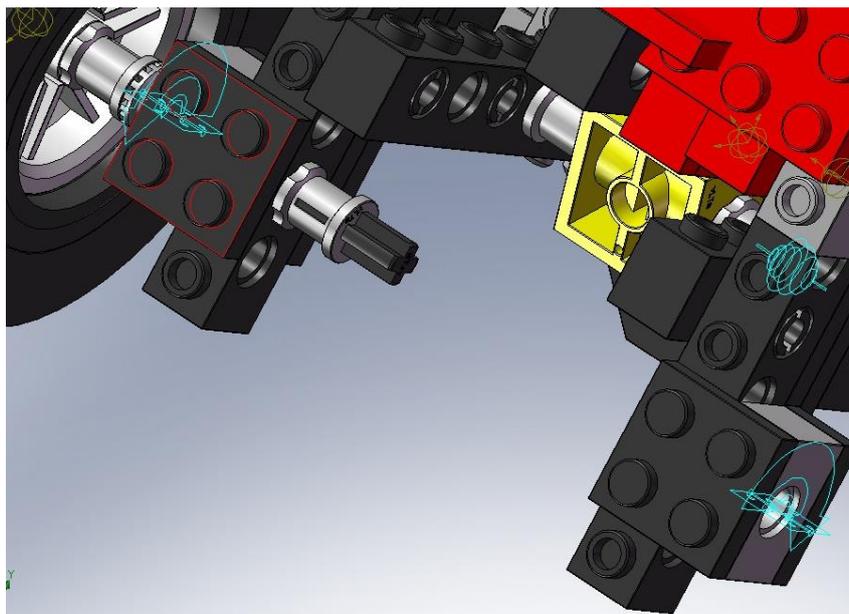


Ilustración 179. Ruedas traseras.

Para terminar, definimos los grados de libertad de las cuatro ruedas, la dirección, la unión con el remolque y los dos cilindros, y obtenemos la movilidad del modelo.

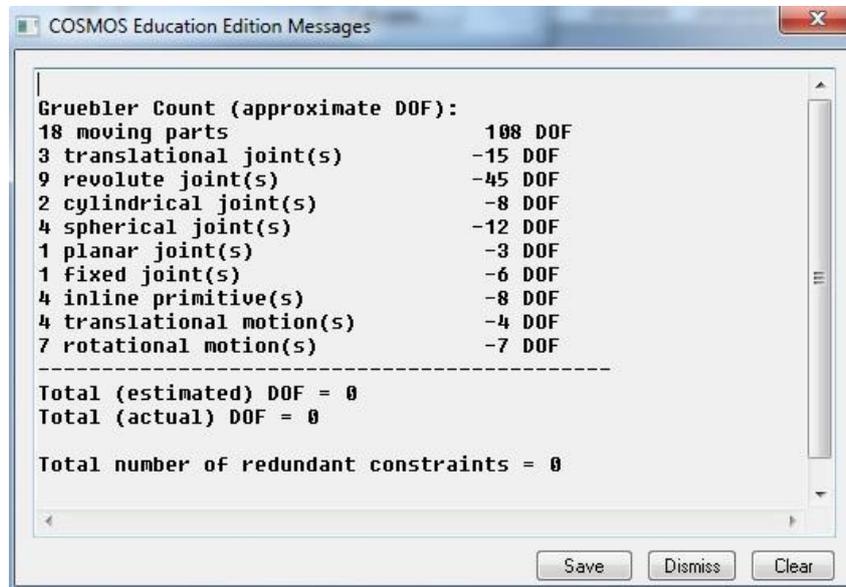


Ilustración 180. Movilidad del modelo 8854-2.

Por tanto, se ha obtenido un modelo cinemático auto-alineador de este modelo, que ya está listo para ser simulado sobre una base.

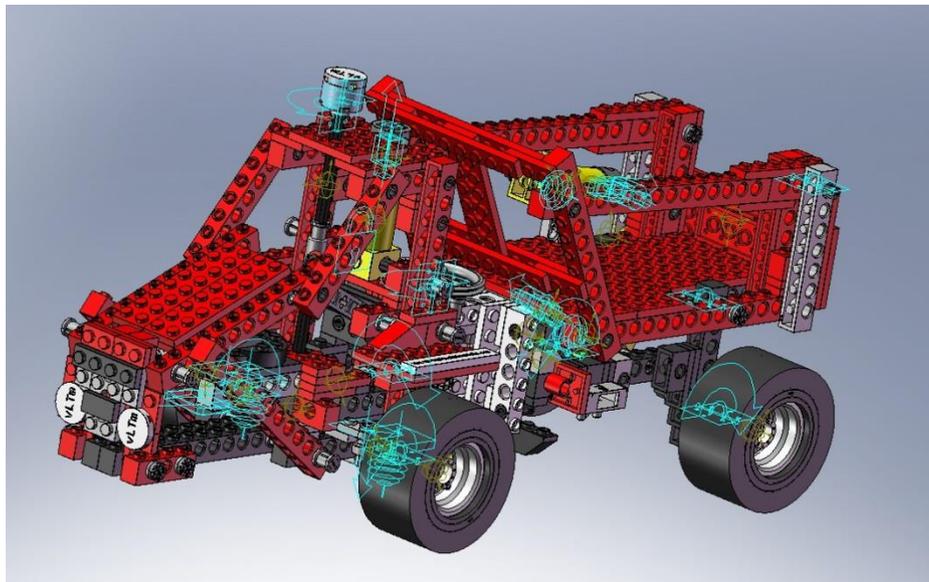


Ilustración 181. Modelo cinemático auto-alineador.

Se aconseja ver el vídeo de la simulación de este modelo para comprender su movilidad.

7.4. Modelo LEGO Technic 8421-1 + 8421-3.



Ilustración 182. Modelo LEGO Technic 8421-1 + 8421-3.

Este modelo LEGO Technic es un camión (8421-1) con grúa móvil incorporada (8421-3). Tras haber montado virtualmente el modelo 8421-1, el profesor ha compactado las piezas creadas y las ha proporcionado junto con las piezas del modelo 8421-3. Una vez se tienen todas las piezas disponibles, se procede a su montaje y simulación, quedando como se puede observar a continuación.



Ilustración 183. Modelo cinemático auto-alineador del prototipo LEGO Technic 8421-1 + 8421-3

Después de haber confeccionado el modelo cinemático auto-alineador del modelo, el siguiente paso sería simularlo sobre una base, pero a esto volveremos más tarde.

A continuación vamos a estudiar los diferentes mecanismos de interés que conforman este modelo y que tan representativos son de modelos a escala real.

Los mecanismos del modelo 8421-1 ya se vieron en el apartado 6.5 de este proyecto, por tanto vamos a centrarnos en los pares que se han empleado para su simulación.

En primer lugar vamos a hablar del mecanismo de transmisión del camión. Este camión está propulsado por un motor de 6 cilindros en V, que transmite el movimiento por medio del cigüeñal, y a través de un tren de engranajes hasta el diferencial del eje tractor. Este mecanismo plano, sin incluir el diferencial, puede verse en el diagrama cinemático del apartado 4.7.3.3.

Este mecanismo, el formado por pistón-biela-cigüeñal-tren de engranajes-diferencial, posee un grado de libertad, definido en el par de revolución del cigüeñal. Definiendo este grado de libertad podemos controlar la velocidad del camión.

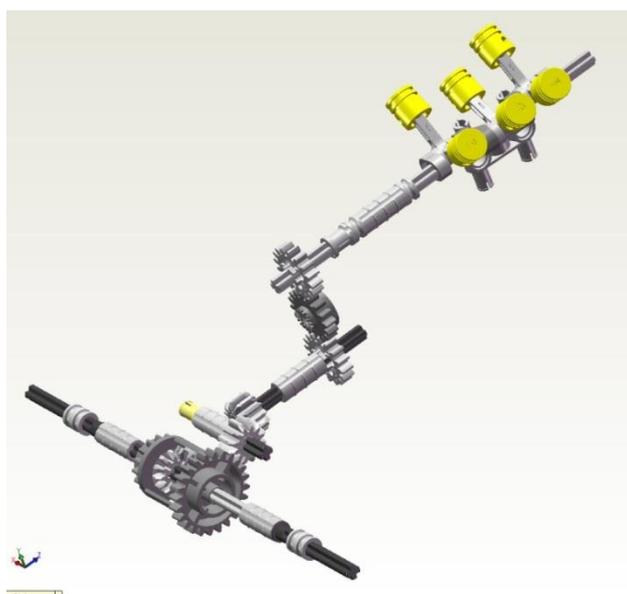


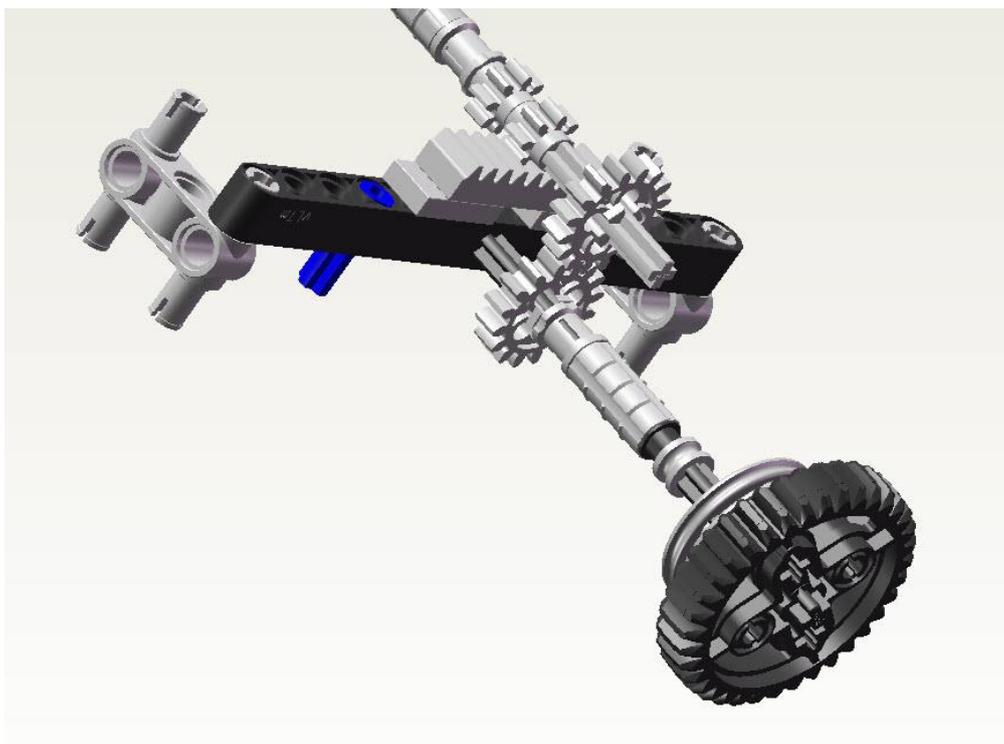
Ilustración 184. Transmisión.

En segundo lugar vamos a hablar de la dirección de las ruedas. En este caso, la dirección no está controlada por el volante, sino que se controla a través de una rueda de color negro situada en la parte trasera del camión. La rueda gris controla el mecanismo de anclaje del que hablaremos más tarde.

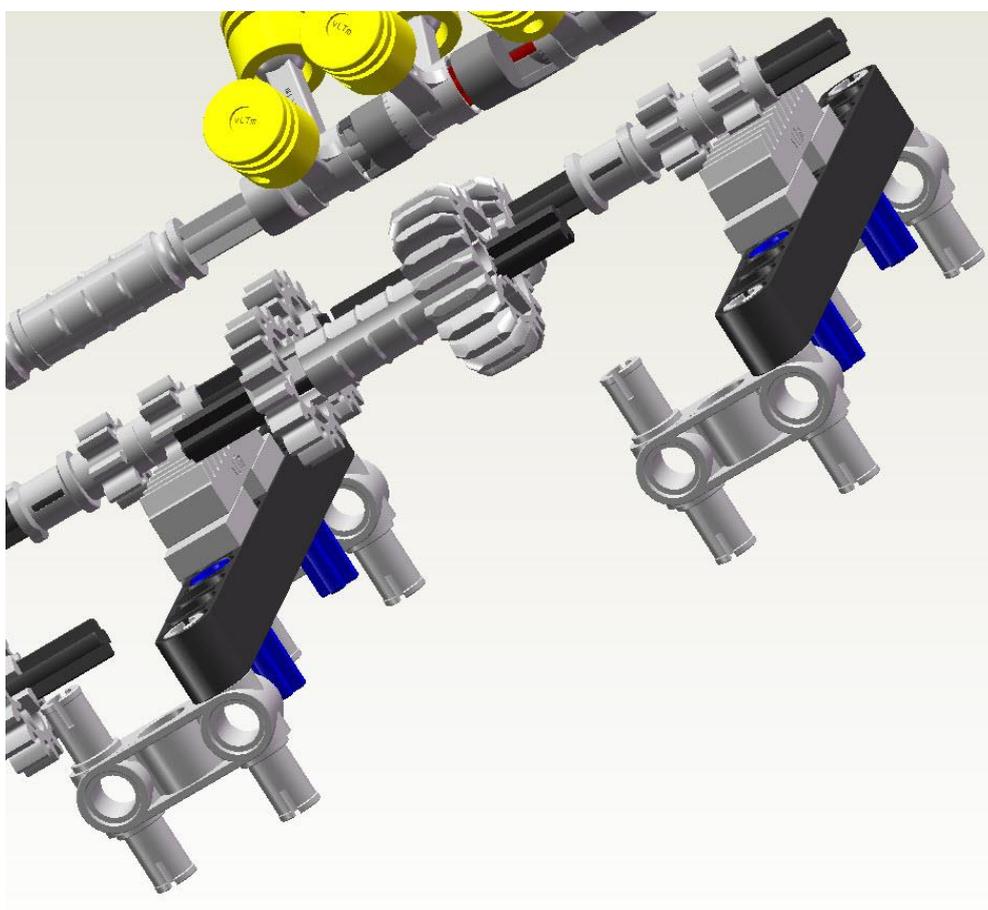


Ilustración 185. Control de la dirección (rueda negra) y del sistema de anclaje (rueda gris).

La dirección es de cremallera, y está presente en todos los ejes excepto en el eje motor. Estos ejes transversales están conectados mediante un largo eje longitudinal, que mueve las tres cremalleras situadas en los dos ejes delanteros y en el trasero.



Il·lustración 186. Dirección eje trasero.



Il·lustración 187. Dirección ejes delanteros.

Este mecanismo vuelve a tener un grado de libertad, que está definido en el par de revolución de la rueda negra.

Para seguir, hablaremos del mecanismo de anclaje del modelo. Como se ha dicho antes, este mecanismo está controlado por la rueda gris. Consiste en un tren de engranajes que deriva en el movimiento de los ejes longitudinales laterales, y que permite que los cuatro apoyos se muevan de forma sincronizada. Tal y como se observa en la imagen.

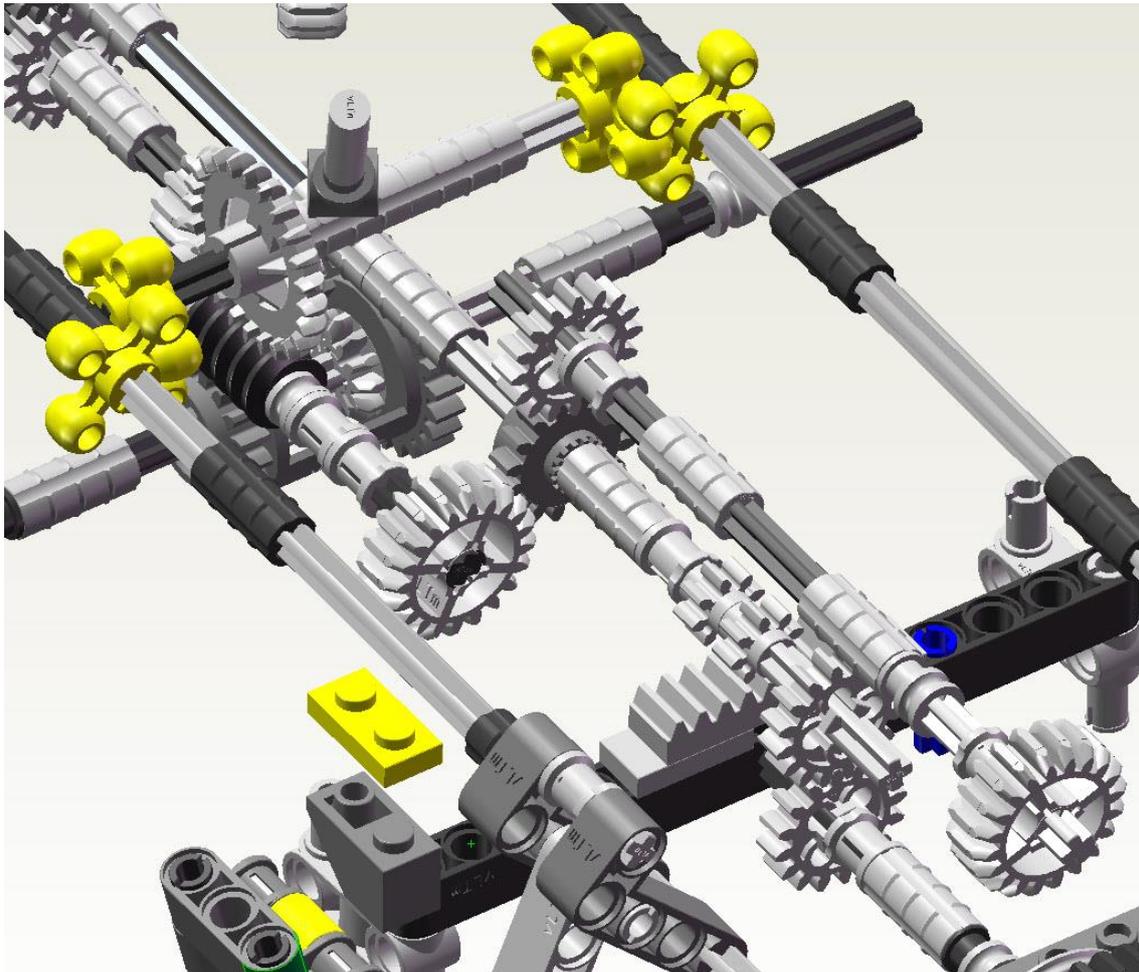


Ilustración 188. Mecanismo de anclaje.

Este mecanismo posee un grado de libertad, y está definido en el par cilíndrico de la pieza que incluye la rueda gris. Los anclajes propiamente dichos, conforman un mecanismo de cuatro barras, se puede ver en la siguiente ilustración.

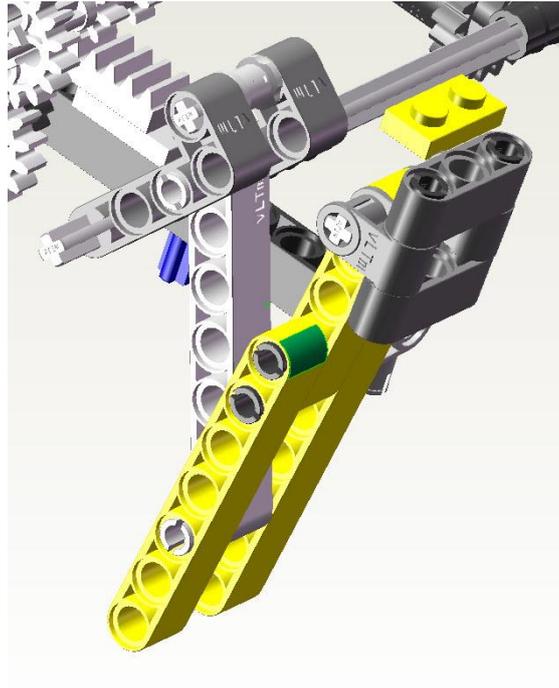


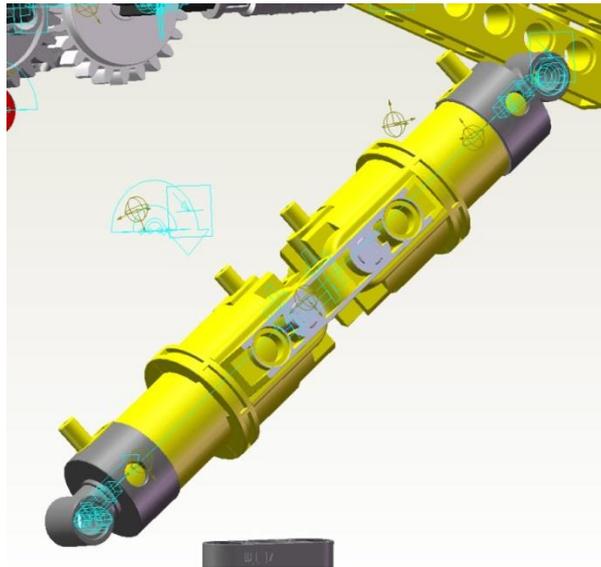
Ilustración 189. Anclaje.

Estos son los mecanismos más significativos del camión, modelo 8421-1, pero hay más, como el volante o los reposacabezas, que poseen un grado de libertad y que han sido convenientemente definidos.

Es importante decir que, para unir los diferentes engranajes y algunos componentes que forman estos mecanismos, como las ruedas, se han utilizado acoplamientos, que han permitido amoldar su movimiento y simularlo de forma adecuada.

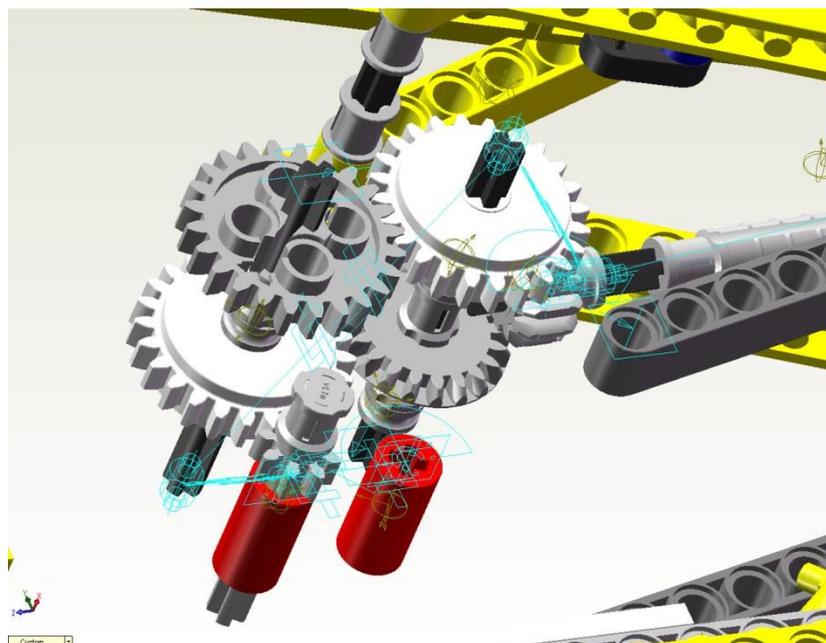
Vamos a entrar ahora al detalle con la grúa, modelo 8421-3. La grúa está unida al chasis del camión mediante un par de revolución, que le permite girar respecto de él. Este par, de un grado de libertad, se define convenientemente para obtener el movimiento deseado.

A continuación nos encontramos con el mecanismo elevador de la grúa, que consiste en un cilindro hidráulico, con dos actuadores que se extienden y se contraen en sus dos extremos. Los actuadores están unidos a la estructura de la grúa mediante pares de revolución, y unidos al cilindro por sendos pares de traslación. Este mecanismo posee un grado de libertad, y se ha definido en uno de los pares de traslación.

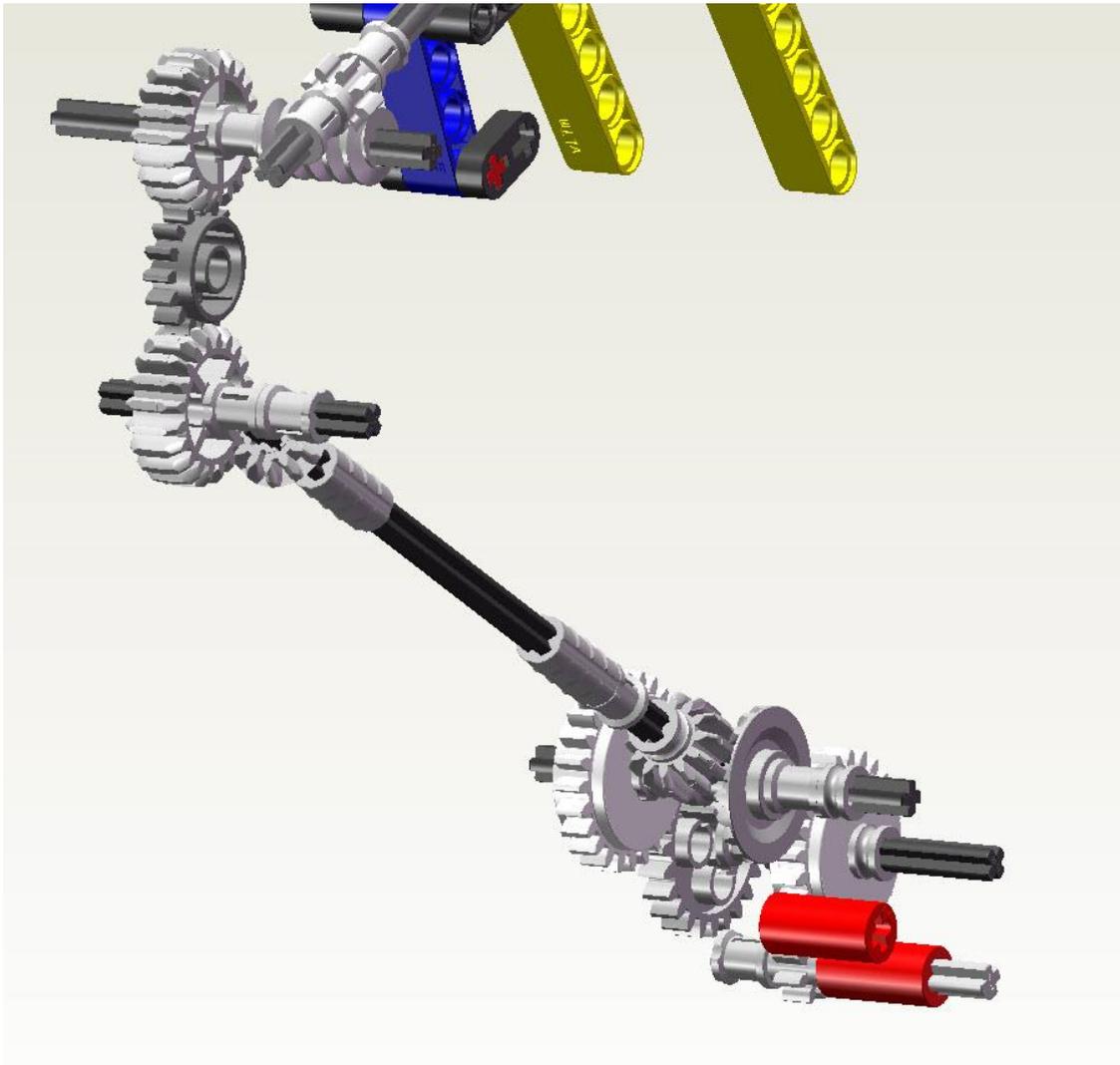


Il·lustració 190. Cilindro elevador de la grúa.

Seguidamente se observa el mecanismo de engranajes que permite el movimiento de la pluma, tanto de expansión como de contracción. La pluma se mueve a través de un largo tren de engranajes, pasando por un mecanismo de tornillo sin fin y terminando en un mecanismo piñón cremallera que es el que posibilita el movimiento de la pluma. Este mecanismo posee un grado de libertad y está definido en el cilindro rojo que, mediante un acoplamiento, permite el movimiento de la rueda que forma el engranaje del motor.

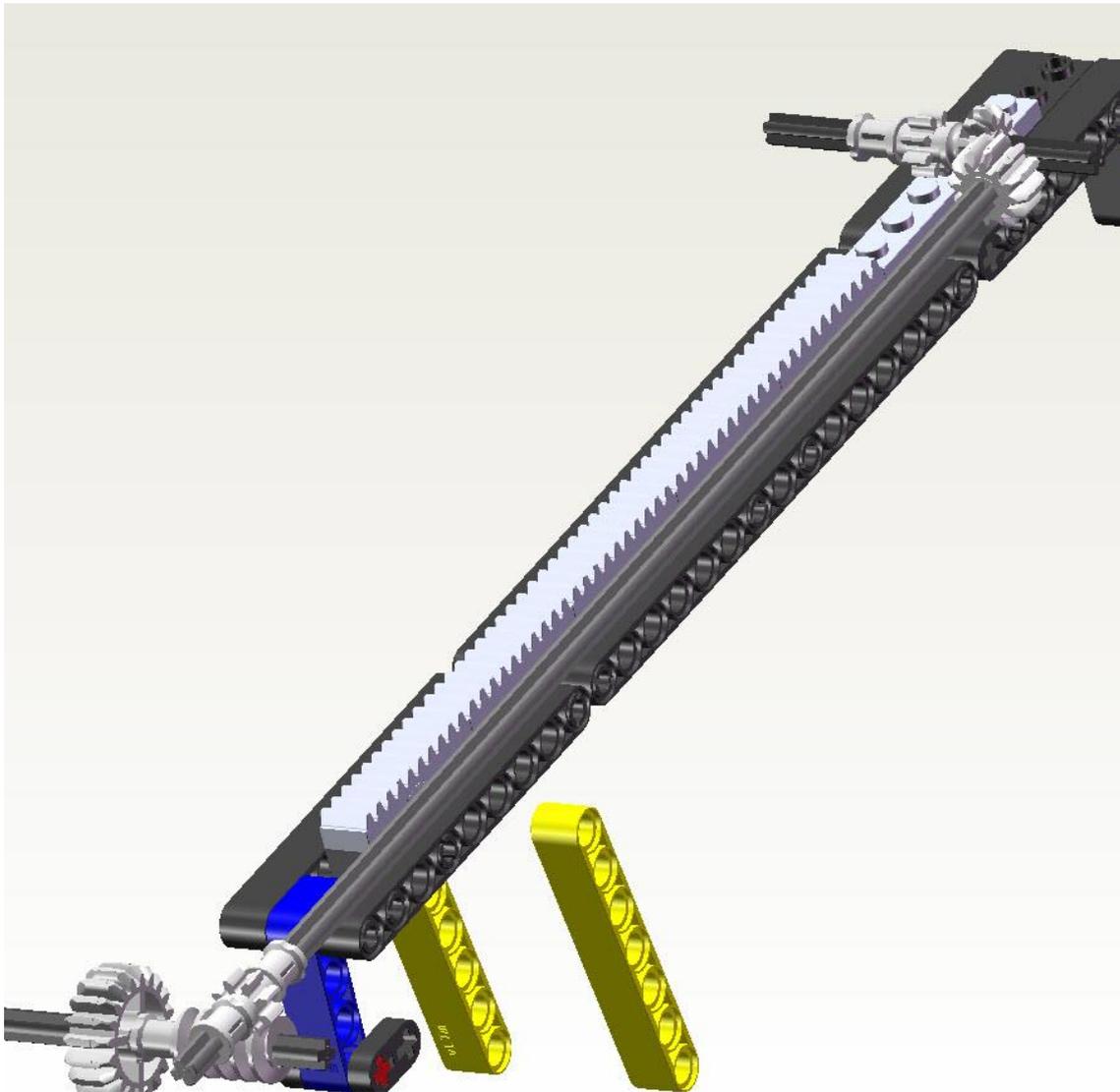


Il·lustració 191. Mecanismo de expansión-contracción de la pluma.



Il·lustració 192. Tren de engranajes y mecanismo tornillo sin fin.

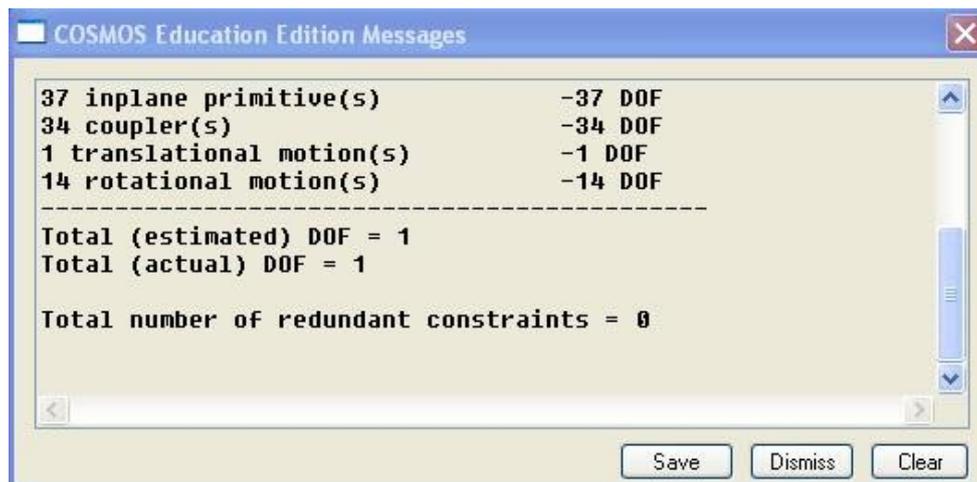
El mecanismo tornillo sin fin, posee una relación de transmisión de 1 a 8, es decir, para que la rueda (de ocho dientes) de una vuelta completa, el tornillo tiene que dar 8 vueltas. Este hecho trae consigo la necesidad de tener que aplicar una alta velocidad de giro en el motor de la grúa, para que la pluma se expanda o contraiga lo deseado. Esto se consigue definiendo el grado de libertad del cilindro rojo del motor de la grúa de forma adecuada.



Il·lustració 193. Mecanismo piñón-cremallera.

Solo falta por comentar el habitáculo de la grúa, que es donde iría subido el operario. Este elemento posee un grado de libertad aportado por el par de revolución que lo une a la pluma. En este caso, se deja libre, a merced de la gravedad, puesto que así sucede en la realidad.

De este modo ya se han tratado todos los mecanismos del modelo 8421-1 + 8421-3, y se ha auto-alineado el modelo, quedando un grado de libertad que es el aportado por el habitáculo.



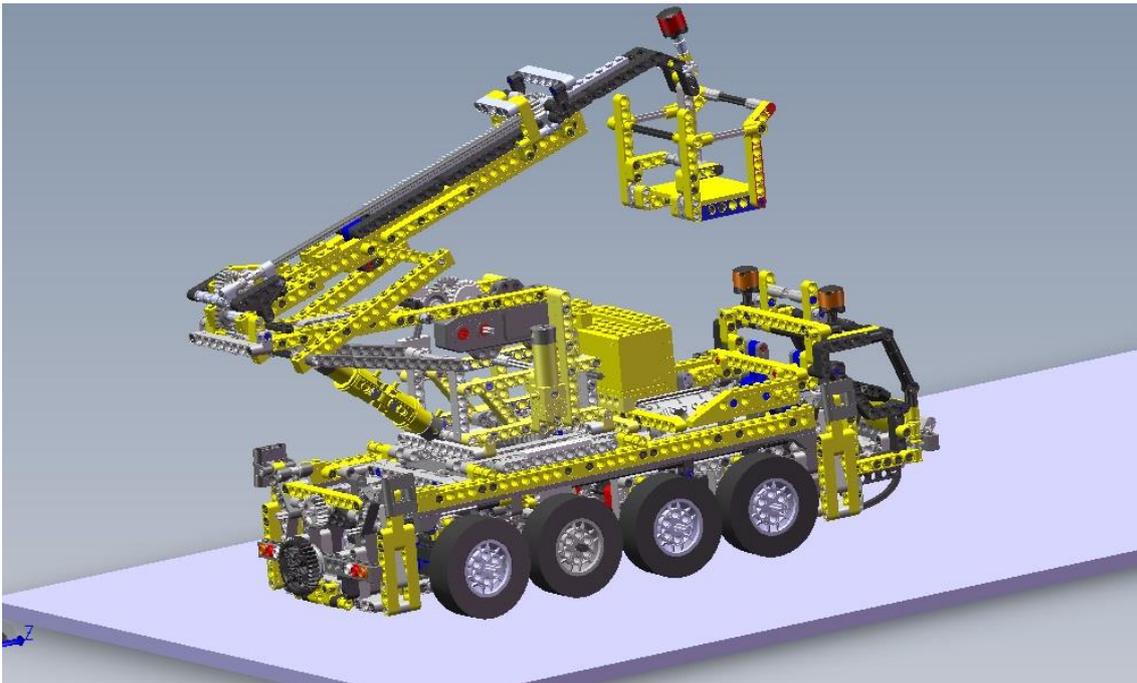
Il·lustració 194. Movilidad.

El siguiente paso, consistiría es simularlo sobre una base, definiendo los contactos de forma adecuada. Para ello, las ruedas se convertirían en ruedas perfectamente cilíndricas, para simplificar el contacto y ahorrar tiempo y posibles errores.

Otra de las cosas que habría que realizar, es constituir la base como fija, y el chasis como parte móvil. De esta manera, conseguiríamos 7 grados de libertad, los 6 del chasis, respecto al cual están definidos todos los grados de libertad, y por lo que todo el modelo se movería conjuntamente, y el grado de libertad aportado por el habitáculo.

Cuando realizamos el cambio de parte fija a móvil y viceversa del chasis y de la base respectivamente, hay que tener en cuenta que se crearan nuevos “joints”, que es como se nombran los pares en SolidWorks, que habrá que eliminar. Para ello, lo más adecuado es capturar la pantalla con todos los joints asociados al chasis, convertirlo en móvil, y luego ir eliminando los que no estén en esa captura.

También es conveniente simular el modelo de forma ordenada y coherente, de forma que la simulación permita ver el movimiento de todos y cada uno de los grados de libertad del modelo de forma adecuada. Para ello se definen los grados de libertad con funciones STEP, que permiten sincronizar los movimiento de los elementos del modelo de forma que puedan ser consecutivos, y reproducir una simulación real de como se movería el modelo.



Il·lustració 195. Simulació sobre una base.

Una vez hecho esto, estaríamos en disposición de simular el modelo sobre una base. Obteniéndose unos resultados muy interesantes y fidedignos. Para entender todo este proceso se recomienda observar el video de la simulación, que se encuentra en el formato digital de este proyecto.

8. Aplicaciones Reales.

8.1. Introducción.

Los modelos Lego Technic constituyen una aplicación Real en sí, sin embargo, representan un modelo Real a escala. En este apartado lo que se pretende es ver cómo se podrían aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo del proceso de aprendizaje a otras aplicaciones industriales.

8.2. Modelos a Escala.

Los modelos LEGO Technic están basados en modelos reales, como por ejemplo el modelo “8421-1 mobile crane” está basado en modelos reales de grúas móviles.



Ilustración 196. A la izquierda, modelo real de una grúa móvil; a la derecha, modelo LEGO Technic a escala de una grúa móvil. El modelo de arriba a la derecha ha sido creado y simulado en este proyecto.

El modelo a escala posee numerosas características provenientes del modelo real, un motor de gran potencia (hasta 8 cilindros), transmisión central con diferencial, anclaje para contrapeso, accionamiento hidráulico de la grúa, pluma extensible, etc.



De este modo, por esta gran similitud aplicando escala a las piezas o modificando ciertos parámetros adecuadamente, sería posible obtener el modelo Lego Technic virtual a una escala similar a la del modelo real.

A continuación, se podrían modificar las piezas de manera que se parecieran más a las reales y añadir otras en los lugares necesarios, de manera que se podría obtener un modelo a escala real y muy similar a éste.



9. Bibliografía.

- LEGO Technic Tora no Maki – Isogawa Yoshihito
- PDFs facilitados por el profesor
- CREACIÓN Y SIMULACIÓN DE MODELOS VIRTUALES LEGO TECHNIC. MODELOS: 8081-1; 8448-1; 8292-1; 8868-1; 8284-2. – PFC Jorge Pérez Villaroya
- Ayuda de SolidWorks 2007
- www.virtualtechnicmodels.com
- www.peeron.com
- www.bricklink.com
- www.brickset.com
- www.brickshelf.com
- www.lego.com
- www.wikipedia.com



PRESUPUESTO

1. Introducción.

A continuación, se expone de una manera detallada el presupuesto de este proyecto, sin embargo, antes, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones que se han adoptado para su realización.

El presupuesto ha sido dividido en 5 Apartados detallados, estos son:

- Apartado 1: Software.
- Apartado 2: Equipo Informático.
- Apartado 3: Modelos LEGO TECHNIC.
- Apartado 4: Modelos Virtuales LEGO TECHNIC.

Es importante tener en cuenta que el presupuesto se ha realizado dando un enfoque de proyecto a medida, es decir, todo el trabajo realizado se efectúa a petición de un único “cliente” que solicita el trabajo y obviamente, corre con todos los gastos (Coste del equipo informático, programas, virtualización de componentes necesarios, etc). De esta manera se cuantifica mejor el tiempo y recursos invertidos. El coste será elevado, pues es mucho el tiempo dedicado.

Por otro lado, se planteará otro punto de vista, esto es, si el proyecto se destinara a un uso comercial, es decir, los componentes no se diseñan para un sólo modelo y los modelos no se simulan para un único cliente. En ese caso, deberíamos tener una visión más global, realizar una serie de estimaciones, previsiones, estudios de mercado, evaluación de la utilización de los diferentes componentes y modelos virtuales para poder realizar un presupuesto en el que se reflejara el precio de venta de cada uno de los modelos auto-alineados.

I. Apartado 1: Software.

Se ha utilizado la Aplicación CAD *SolidWorks 2007*. En este tipo de programa es necesario realizar el primer año una primera inversión más elevada para obtener la licencias, y posteriormente, si se desea, pagar una cuota anual de mantenimiento para tener actualizado el software.

Se ha utilizado el SolidWorks 2007 para ensamblar los modelos Lego Technic 8891-4, 8890-2, 8421-1, 8458-2 y los 18 modelos Isogawa. Se ha utilizado la aplicación de SolidWorks COSMOS Motion para auto-alinear y simular los modelos 8816-1, T-1481, 8854-2 y 8421-1 junto con el 8421-3 (grúa incorporada al 8421-1). Para la simulación sobre una base de alguno de los modelos se ha utilizado, de forma adicional, la versión 2013 de SolidWorks.

Programa	Unidades	Horas/año	Horas de proyecto	Precio unitario (€/ud.)	Coste (€)
SolidWorks 2007 + COSMOS Motion	1	1920	300	5300	5300
				TOTAL	5300

Tabla 5. Capítulo 1: Software.

II. Apartado 2: Equipo Informático.

La herramienta principal para la realización de este proyecto es un PC que cumpla con los requisitos mínimos exigidos por la aplicación. Se ha considerado un periodo de amortización de 3,8 años.

Equipo	Unidades	Horas/año	Horas de proyecto	Precio unitario (€/ud.)	Amortización	Coste (€)
Ordenador de mesa	1	1920	300	1500	26%	390
TOTAL						390

Tabla 6. Capítulo 2: Equipo Informático.

III. Apartado 3: Modelos LEGO Technic.

Como se ha comentado a lo largo del proyecto, es de gran utilidad desde el punto de vista docente disponer de los modelos reales Lego Technic. El Director de este proyecto posee una extensa colección recopilada a lo largo de los años, entre los cuales se encuentran los analizados en este documento.

Modelo LEGO Technic	Unidades	Precio unitario (€/ud.)	Coste (€)
8891-4	1	15,99	15,99
8890-2	1	24,45	24,45
8421	1	218,31	218,31
8458-2	1	124,49	124,49
8816	1	12,46	12,46
8854-2	1	37	37
8865-1	1	85	85
TOTAL			517,71

Tabla 7. Capítulo 3: Modelos LEGO Technic.

IV. Apartado 4: Modelos Virtuales LEGO Technic.

En el siguiente capítulo se detalla el coste de ensamblar, auto-alinear, simular y realizar un informe en forma de vídeo para presentar el modelo a los alumnos (se aconseja la visualización de dichos vídeos para entender mejor la simulación de movimiento) de cada uno de los modelos Lego Technic Virtuales.

Se considera que la mano de obra de un ingeniero en prácticas es de 25 (€/h) (30,25 (€/h) si consideramos el IVA, en la siguiente tabla se ha redondeado a 30 (€/h)).

Modelo LEGO Technic Virtual	Tareas	Horas	Precio (€/h)	Precio Tarea (€)	Coste del Modelo (€)
8891-4	Montaje del Modelo Virtual	9	30	270	270
8890-1	Montaje del Modelo Virtual	10	30	300	300
8458-2	Montaje del Modelo Virtual	100	30	3000	3000
8865-1	Montaje del Modelo Virtual	30	30	900	900
8816	Montaje del Modelo Virtual	1	30	30	120
	Auto-alineación	2	30	60	
	Simulación + Vídeo	1	30	30	
8854-2	Montaje del Modelo Virtual	3	30	90	300
	Auto-alineación	5	30	150	
	Simulación + Vídeo	2	30	60	
8421	Montaje del Modelo Virtual	120	30	3600	4110
	Auto-alineación	10	30	300	
	Simulación + Vídeo	7	30	210	
				TOTAL	9000

Tabla 8. Capítulo 4: Modelos Virtuales LEGO Technic.

2. Resumen.

A continuación se expone en una tabla resumen el total de cada uno de los diferentes capítulos y la suma total. Además en la siguiente tabla se incluirá un 6% de Beneficio Industrial y un 21 % en concepto de IVA.

Como se indicaba al principio del documento de presupuesto, el precio que se indica como total es desde un punto de vista de realización del trabajo a medida y no un posible precio de venta de los modelos virtualizados. Para obtener dicho precio debería realizarse un estudio de mercado y una previsión de la demanda.

Capítulo	Coste (€)
1. Software	5600
2. Equipo Informático	390
3. Modelos LEGO Technic	517,17
4. Modelos LEGO Technic Virtuales	9000
SUBTOTAL	15507,71

Tabla 9. Resumen Presupuesto.

Para obtener el total, debemos incluir un 6% de beneficio industrial y sumar 21% de IVA.

Subtotal	15507,71 €
Beneficio Industrial (6%)	930,46 €
IVA (21%)	3256,62 €
TOTAL	19694,8 €

Tabla 10. Total del Presupuesto.

El presupuesto total del proyecto asciende a un total, en Euros, de: *diecinueve mil seiscientos noventa y cuatro con ocho.*