



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

CONTENIDO

MEMORIA.....1

PRESUPUESTO.....103



Memoria

1	OBJETO DEL PROYECTO.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1	Enfoque del proyecto.....	3
2.2	Legó© Technic.....	5
2.3	Legó© Technic virtual.....	6
2.4	Utilidad de Legó© Technic.....	6
2.5	Componentes Legó©.....	7
2.6	Mecanismo real vs mecanismo Legó©.....	8
2.7	Proceso de aprendizaje.....	9
3	ENSAMBLADO.....	11
3.1	Presentación.....	11
3.2	Procedimiento.....	11
3.2.1	Selección del modelo.....	11
3.2.2	Identificación de componentes y piezas.....	12
3.2.3	Jerarquización y nomenclatura.....	13
3.2.4	Ensamblado.....	14
3.3	Proceso de ensamblado en SolidWorks.....	14
3.3.1	Interfaz.....	15
3.3.2	Relaciones de posición.....	15
3.3.3	Uniones características Legó© en SolidWorks.....	20
3.3.4	Comprobación e identificación del modelo conseguido.....	23
4	Proceso de compactación.....	25
5	Modelo cinemático auto-alineado.....	27
5.1	Presentación.....	27
5.2	Sistemas mecánicos.....	27
5.3	Conceptos básicos.....	28
5.3.1	Impulsor, seguidor.....	28
5.3.2	Consideraciones.....	29
5.3.3	Cinemática enfocada a mecanismos Legó©.....	29
5.4	Movilidad en mecanismos.....	32
5.4.1	Cálculo de movilidad sobre mecanismos planos.....	33
5.4.2	Cálculo de movilidad sobre mecanismos tridimensionales.....	33

5.4.3	Diagramas cinemáticos	33
5.5	Mecanismo auto-alineado	35
5.6	Modelo cinemático auto-alineado. COSMOS Motion.....	36
5.6.1	Interfaz	36
5.6.2	Piezas fijas y móviles	37
5.6.3	Pares cinemáticos.....	37
5.6.4	Otros pares	43
5.6.5	Resumen pares cinemáticos y primitivos.....	46
5.7	Transmisión del movimiento: acoplamientos	47
5.7.1	Piñón-cremallera	48
5.7.2	Tornillo sin fin.....	49
5.8	Comprobación.....	50
6	SIMULACIÓN DE MODELOS VIRTUALES LEGO© TECHNIC	51
6.1	Presentación.....	51
6.2	Establecimiento de movimiento en los pares	51
6.2.1	Constante	52
6.2.2	Escalón (Step).....	52
6.2.3	Armónico	53
6.3	Creación de la base	54
6.3.1	Contactos 3D	56
6.3.2	Comprobación y opciones de la simulación.....	56
7	CREACIÓN Y SIMULACIÓN DE MODELOS VIRTUALES.....	59
7.1	Familiarización con el modelado: Modelos Isogawa.	61
7.1.1	TORA-002	61
7.1.2	TORA-008	61
7.1.3	TORA-009	62
7.1.4	TORA-013	63
7.1.5	TORA-026	63
7.1.6	TORA-037	64
7.1.7	TORA-040	64
7.1.8	TORA-051	65
7.1.9	TORA-059	65
7.1.10	TORA-062.....	66
7.1.11	TORA-075.....	66



7.1.12	TORA-079.....	67
7.1.13	TORA-093.....	67
7.1.14	TORA-098.....	68
7.1.15	TORA-102.....	68
7.1.16	TORA-107.....	69
7.1.17	Modelo TnMm-0289.....	70
7.2	Familiarización con el simulado cinemático.....	72
7.2.1	TnMm-0325.....	72
7.2.2	Modelo vLTm-8064-2.....	73
7.2.3	Modelo vLTm-8419-1.....	73
7.2.4	Modelo vLTm-8852.....	74
7.2.5	Modelo vLTm-8858-2.....	74
7.2.6	Modelo vLTm-8460-2.....	75
7.3	Modelo vLTm-8271-1.....	76
7.3.1	Mecanismo auto-alineado y simulación.....	78
7.4	Modelos TnMn-0281 y TnMn-0285.....	79
7.5	Modelo vLTm_8891-9.....	81
7.5.1	Diagramas cinemáticos.....	83
7.5.3	Mecanismo auto-alineado y simulación.....	85
7.6	Modelo vLTm-8865-1.....	86
7.6.1	Diagramas cinemáticos.....	88
7.6.2	Mecanismo auto-alineado y simulación.....	89
7.7	Modelo vLTm-8868-1.....	90
7.7.1	Diagramas cinemáticos.....	92
7.7.2	Mecanismo auto-alineado y simulación.....	93
7.8	Modelo 9397-1.....	95
7.8.1	Mecanismo auto-alineado y simulación.....	97
7.9	Modelo vLTm-9397-2.....	99
7.9.1	Mecanismo auto-alineado y simulación.....	100
8	COMPETENCIAS ADQUIRIDAS Y CONCLUSIÓN.....	103
9	BIBLIOGRAFÍA.....	105

1 OBJETO DEL PROYECTO

Existen actualmente ciertas tendencias que afectarán en los próximos años tanto a los procesos de fabricación como a las plataformas de diseño. Entre ellas destacan el diseño o modelado virtual, la simulación, y la visualización virtual de máquinas o procesos de fabricación. Mediante el empleo de datos extrapolados del proceso de fabricación en cuestión, es posible actualmente emplear sistemas avanzados computacionales con el fin de crear un modelo digital de todo el proceso, posibilitando incluso la creación de una “fabrica digital” en la cual se incluyan todas las máquinas, que permita simular todo el sistema de producción. Este tipo de métodos ha sido empleado activamente en empresas como pueden ser empresas líderes automovilísticas, y ha llevado a considerables mejoras en la productividad de las plantas. Por ejemplo, la implantación de sistemas de simulación en las plantas de producción de la multinacional americana P&G supuso aumentar un 44% la productividad de las fábricas, con lo que ello implica en cuanto a ahorro en costes de producción. Estos métodos posibilitan a su vez una mejor experimentación a nivel de diseño de producto, pudiendo hacer pruebas sobre el producto modificando los parámetros pertinentes en la simulación. En definitiva, la simulación cinemática ha permitido reducir costes y tiempos de desarrollo en multitud de empresas, que van desde un 30 a un 50% en empresas como Toyota, Fiat o Nissan.¹

Por ello, y dada la importancia que tanto el diseño como la simulación de máquinas tiene en la actualidad en la industria, se optó en este proyecto por ampliar y mejorar el conocimiento sobre herramientas de diseño y simulación, conocimientos que hacen competente a un ingeniero industrial en materia de diseño mecánico. Teniendo en cuenta que el empleo de estas herramientas en un futuro entorno profesional es cada vez más una necesidad, decidimos emplear aplicaciones informáticas que fuesen representativas a nivel profesional, intentando así familiarizarnos con las mismas.

Para lograr alcanzar estos objetivos consideramos adecuada la utilización en el proceso de aprendizaje de un material base simple, se trata de un sistema de construcción modular que goza de gran popularidad no solo por su accesibilidad a todas las edades, sino también por su notable complejidad técnica, este es el sistema “Lego®”. Concretamente emplearemos el sistema denominado comercialmente “Lego® Technic”, orientado a modelos con partes mecánicas de mayor complejidad, que nos permite obtener una amplia gama de modelos de distintos tamaños y funcionando con distintos mecanismos internos de distinta complejidad, todos ellos de gran interés. Este planteamiento viene siendo utilizado en el ámbito docente muchos años por el profesor responsable de este proyecto, aplicándolo a las asignaturas que él imparte, y se sigue impartiendo actualmente. El proceso a seguir para la identificación, modelación y por último simulación es el siguiente:

1. En una primera etapa se obtienen los componentes virtuales de los modelos reales Lego® Technic mediante un programa de CAD, que serán suministrados por el profesor encargado del proyecto para el posterior montaje del modelo, y su simulación

¹ Fuente: *Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation*. McKinsey Global Institute

cinemática. En nuestro caso utilizamos dos versiones del programa informático “SolidWorks”, que goza de gran representación a nivel profesional y nos permitirá trabajar con estos componentes virtuales independientemente del programa de CAD en el cual estén creados. Concretamente emplearemos las versiones “SolidWorks 2007” y “SolidWorks 2014-2015”.

2. Tras haber escogido alguno de los modelos del amplio catálogo a disposición de cualquier usuario, procedemos al modelado del mismo partiendo de los componentes Lego© virtualizados obtenidos de la biblioteca virtual. Para ello cabe remarcar la distinción que haremos entre componente y pieza, siendo un componente la entidad básica Lego© con el cual crearemos cada una de las piezas, y una pieza un conjunto de componentes Lego© que no tienen movimiento relativo entre los mismos (o con movimiento poco representativo a nuestro nivel de estudio). Por tanto antes de comenzar con el modelado deberemos llevar a cabo una etapa de identificación de cada una de las piezas distinguiendo claramente el movimiento a seguir de cada una de ellas. Una vez identificadas, las crearemos en el entorno de la aplicación informática partiendo de cada uno de los componentes que los conforman.
3. Con el fin de simplificar el proceso de ensamblado del modelo final a partir de cada una de sus piezas, se lleva a cabo un proceso de compactación de las mismas, de forma que cada pieza pase de ser un conjunto de entidades o componentes a una única entidad.
4. Tras disponer de cada una de las piezas que constituyen el modelo procedemos al montaje virtual del mismo en el entorno del programa de CAD escogido, “SolidWorks”, mediante el establecimiento de las relaciones de posición adecuadas entre cada una de las piezas, lo que implica restringir de una forma u otra ciertos grados de libertad. Esto nos permitirá al final del proceso de ensamblaje comprobar el movimiento del modelo, a fin de evitar equivocaciones en el posterior módulo de simulación, lo cual supone una gran ventaja de la herramienta informática escogida frente a otras de la misma gama.
5. Una vez creado y ensamblado el modelo virtual, es posible llevar a cabo un proceso de simulación cinemática del mismo, realizando en primer lugar una labor técnica compleja en ingeniería mecánica consistente en la creación de un modelo cinemático auto-alineado, de tal manera que no existan restricciones en exceso. Mediante la herramienta COSMOS Motion podremos, partiendo del mecanismo auto-alineado, llevar a cabo una simulación de los movimientos del modelo “Lego© Technic” como si del modelo real se tratase, lo que nos permite analizar cada uno de los movimientos con exactitud.

Tras haber realizado el proyecto, podemos ver con claridad la estrecha relación entre los mecanismos utilizados en los modelos “Lego© Technic” y los mecanismos reales que se usan a diario en multitud de ámbitos, ya sean industriales o no, lo que justifica el uso del sistema Lego© para adquirir conocimientos acerca de estos mecanismos.

Por tanto los conocimientos adquiridos con el proyecto no solo nos ayudarán a la hora de emplear herramientas de CAD y/o simulación en un entorno industrial, sino que también nos ayudan a comprender mejor multitud de máquinas y mecanismos a los que los modelos Lego© emulan.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Enfoque del proyecto

Hemos de entender, por tanto, que se trata de un trabajo enfocado al empleo de herramientas de diseño y simulación para conseguir nuestro objetivo: satisfacer las necesidades de un cliente concreto.

Este cliente acude al despacho profesional con un prototipo de máquina que desea construir a escala real. Decide crear el prototipo con componentes Lego® Technic tanto por su accesibilidad a la hora de conseguir los componentes necesarios (fácilmente obtenibles a través de, por ejemplo, la web www.bricklink.com de la cual hablaremos posteriormente) como por su fiabilidad a la hora de emular mecanismos reales. Necesita saber qué tipo de cojinetes emplear en cada una de las piezas que conforman la máquina para conseguir una máquina “auto-alineada”, ya que sabe que esto implica no solo una reducción en costes como podría ser el de mantenimiento sino también una mayor fiabilidad de servicio, consiguiendo una vida útil más prolongada (nuestro cliente por tanto busca obtener una máquina con la mayor fiabilidad posible).

Este proyecto surge de la aceptación de este encargo del cliente, y conlleva pasar por una serie de etapas: en primer lugar se procederá al modelado virtual del prototipo en cuestión, posteriormente la creación del mecanismo auto-alineado en COSMOS Motion y, por último, la simulación cinemática del prototipo.

En la primera etapa de creación virtual conseguiremos, siguiendo las pautas establecidas en la sección de ensamblado de la memoria y ciñéndonos siempre a las condiciones impuestas, el prototipo del cliente operativo en el entorno de SolidWorks, que permite no solo una visualización 3D del mismo sino también una interacción directa con cada uno de los impulsores de esta máquina.

Posteriormente empleando la herramienta COSMOS Motion integrada en SolidWorks, estableceremos todos los pares cinemáticos entre cada una de las piezas del modelo, identificando el tipo de par necesario para eliminar las restricciones en exceso y, por tanto, conseguir el mecanismo auto-alineado buscado por el cliente. Esto supone una serie de ventajas respecto a una máquina en la cual debido a los tipos de cojinetes empleados existan restricciones en exceso, tal y como se explica bajo el título de modelo cinemático auto-alineado, aun dentro de la sección de ensamblado. En esta sección podemos encontrar a su vez el procedimiento a seguir y las posibilidades que las herramientas informáticas nos ofrecen en cuanto a empleo de cada uno de los pares cinemáticos y comprobación de restricciones.

Por último, crearemos una simulación del prototipo dotando de movimiento a los pares impulsores de la máquina tal y como se detalla en la sección correspondiente al simulado, que podrá ayudar al cliente a la hora de hacer cualquier tipo de mejora o modificación sobre esta, pudiendo incluso formar parte de la información comercial del producto final.

Así, simulando que un cliente nos ha encargado la creación de los cuatro modelos que este trabajo tiene por objeto (8865-1, 8868-1, 9397-1 y 9397-2) pasaremos, tras un necesario proceso de aprendizaje y familiarización con las herramientas a utilizar (en el cual se crearon y simularon multitud de modelos y mecanismos distintos), por cada una de las etapas anteriormente nombradas convirtiendo cada modelo Lego©© Technic real (en el caso de los modelos 9397-1 y 9397-2) o cada visualización en 3D de los mismos gracias al programa eDrawings (modelos 8865-1 y 8868-1) en un modelo virtual auto-alineado y su simulación correspondiente.

En este proyecto hemos desarrollado los conocimientos necesarios tanto a nivel mecánico como a nivel de uso del programa informático que nos ha permitido satisfacer las demandas de nuestro cliente, así como adquirir ciertas competencias en la creación y simulación cinemática de máquinas lo que, sin duda, nos permitirá enfrentarnos a las necesidades de futuros clientes.

2.2 Lego© Technic

La serie de modelos Technic dentro de Lego© está formada por un conjunto muy amplio de componentes de plástico de fácil interconexión. El objetivo de esta serie de modelos difiere de la línea normal de Lego©, enfocándose a modelos más avanzados que posean partes mecánicas más complejas, como pueden ser cilindros neumáticos, sistemas de suspensión y dirección, diferenciales, etc. Esto nos permite crear modelos que representen máquinas reales de una forma más precisa. El concepto en cuestión apareció por primera vez en la compañía en la serie “Expert Builder”, pasando a denominarse “Technic Lego©” en 1977.

Cada “set” de Lego© Technic se caracteriza por la presencia de ciertos componentes característicos, además de los componentes Lego© habituales del resto de líneas. Estos componentes especiales (pasadores, cilindros, engranajes...) nos permitirán construir nuestro modelo asegurando una máxima fiabilidad a la hora de representar una máquina existente en la realidad. El estilo de estos “sets” que desembocan en la creación de un modelo ha ido cambiando a lo largo del tiempo, pasando de utilizar los característicos botones de los componentes “ladrillo” Lego© tradicionales a componentes más avanzados como pasadores y vigas. Podríamos comparar en cierta medida la gama Technic con la línea “Mindstorms”, utilizada ampliamente en ámbitos docentes relacionados con la ingeniería de control, pues comparten multitud de componentes y mecanismos Lego©.

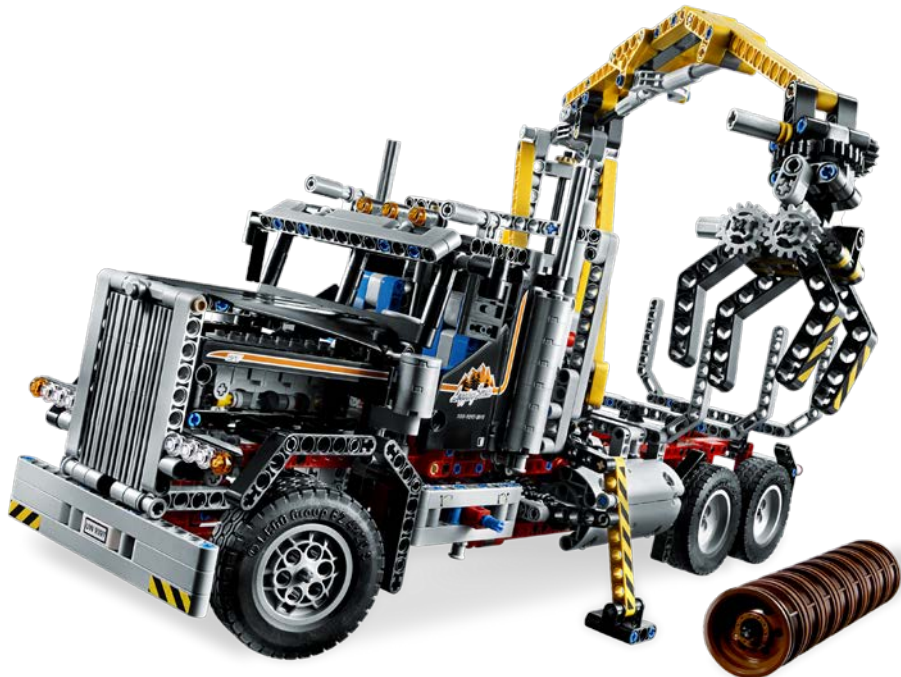


Figura 1-Lego© Technic 9397-1, que posteriormente se modelará y simulará²

² Fuente: www.brickpicker.com

2.3 Lego® Technic virtual

Tras haber llevado a cabo el montaje de un modelo Lego® Technic, y posteriormente su modelo virtual asociado, podemos ver que las diferencias entre cada uno de los métodos a seguir para el montaje son meramente anecdóticas. Al igual que ocurre en la construcción tradicional del modelo Lego®, para disponernos a construir virtualmente el modelo necesitaremos llevar a cabo una primera etapa de identificación de cada una de los componentes que vamos a necesitar. En el montaje de estas máquinas virtuales, después de la etapa de identificación, contamos con los componentes Lego® virtuales necesarios para la creación del modelo. Por tanto, como si de un modelo real se tratase, es posible montar mediante el programa de CAD cada una de las piezas siguiendo las instrucciones de montaje del “set” o modelo escogido. Conseguiríamos así un modelo virtual equiparable al real con una única diferencia: en el proceso de montaje del virtual reunimos los componentes que no tienen movimiento relativo entre sí en piezas, ensamblando finalmente las piezas en un modelo final. Lo que se pretende extraer de esta tarea es obvio, identificar en el modelo real cada uno de los componentes y su movimiento, de forma que se puedan agrupar en conjuntos llamados piezas, controlando por tanto la totalidad de movimientos del modelo Lego®. Esto permite una fiel representación tanto a nivel visual como funcional del modelo Lego® Technic en cuestión.



Figura 2-Componentes virtuales Lego®

2.4 Utilidad de Lego® Technic

Como sabemos en la actualidad el diseño mecánico se lleva a cabo en programas informáticos de CAD como pueden ser SolidWorks, CATIA, Inventor, etc. Esto supone una etapa de aprendizaje asociada a estos programas para poder llegar a utilizar cada una de las herramientas que nos ofrecen. En esta etapa de formación será imprescindible trabajar con mecanismos sencillos en el inicio del aprendizaje, e ir avanzando en complejidad de las máquinas

y mecanismos creados. El desarrollo de múltiples mecanismos implicará una posterior facilidad de trabajo, así como un mayor entendimiento de los mismos, posibilitando la creación de máquinas a partir de estos mecanismos y, básicamente, permitiéndonos su empleo en un futuro entorno profesional según nuestro criterio.

A efectos prácticos, todos estos factores nos llevan a plantear la necesidad de un sistema basado en múltiples mecanismos desde muy simples hasta con alta complejidad y, a ser posible, que cuente con accesibilidad. Aquí es donde entra en juego la colección de modelos Lego® Technic virtuales, cuyos beneficios son: que están creados en un entorno de CAD que nos permite practicar con aplicaciones informáticas y que se dispone de una amplia variedad de modelos (más o menos complejos) con toda clase de mecanismos ingeniosos. Cabe decir que, uno de los objetivos principales de la creación de mecanismos virtuales es poder representar fielmente y en 3D el modelo y sus mecanismos permitiendo así examinar cada uno de los mismos sin hacer uso de la visión espacial e intuición.

2.5 Componentes Lego®

Los componentes Lego® gozan de una característica que nos permite sistematizar la tarea de montaje de los modelos virtuales, y esta es la dimensión o dimensiones de cualquiera de los componentes Lego® a emplear, es posible montar con los mismos componentes cualquier máquina que se desee, sea o no sea del mismo “set”, ya que todos los componentes encajan a la perfección.

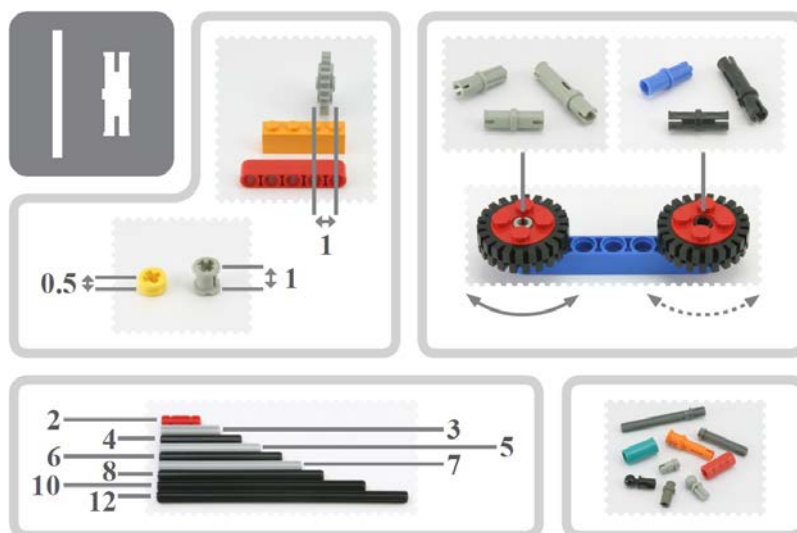


Figura 3-Componentes Lego® con sus dimensiones características.³

Como podemos observar en la Figura 4, es posible emular cualquier tipo de componente Lego® Technic a la perfección sin ningún tipo de problema.

³ Fuente: *LEGO® Technic Tora no Maki*, Isogawa Yosihito.

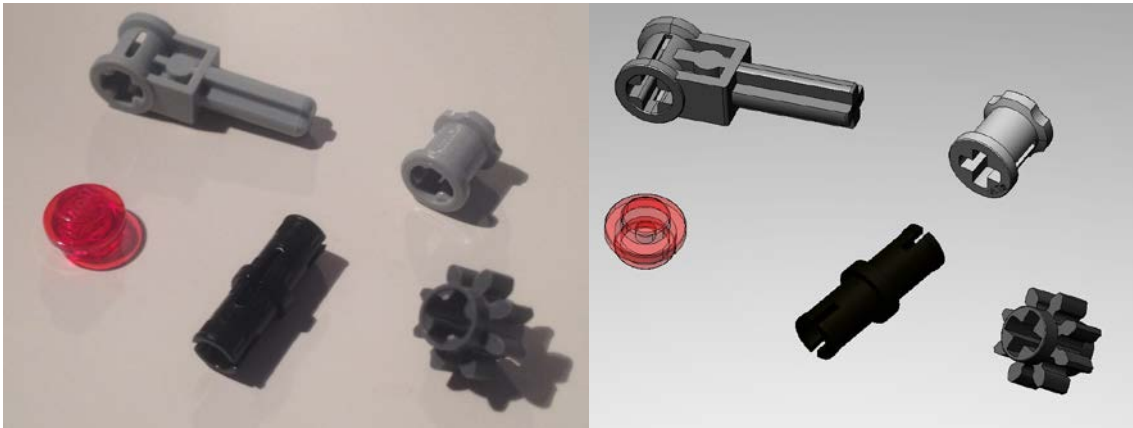


Figura 4-Comparación componentes reales y virtuales.

2.6 Mecanismo real vs mecanismo Lego©

Como hemos visto anteriormente, uno de los motivos de la realización de este proyecto es profundizar en el estudio de mecanismos reales que podemos encontrar en multitud de ocasiones en la vida cotidiana empleando para ello un sistema que nos ayude a trabajar con los mismos de una forma más sencilla. Podemos tomar esto como una justificación a la hora de utilizar mecanismos Lego© en este trabajo de fin de grado.

A continuación presentamos un ejemplo en el que se aprecia claramente la similitud, tanto en apariencia como en funcionalidad, con mecanismos reales. En este caso, se presenta un brazo de una excavadora basado en el empleo de cilindros neumáticos, con sus posibles equivalentes Lego©.



Figura 5-Comparación entre cilindros neumáticos reales y cilindros Lego© Technic⁴

⁴ Imagen de excavadora real extraída de www.cat.com

2.7 Proceso de aprendizaje

Con el fin de poder ir ampliando conocimientos y, teniendo en cuenta que partimos de cero en cuanto a conocimientos acerca de la aplicación informática a utilizar, necesitábamos una base en la cual apoyarnos que nos sirviera de punto de partida. Por ello utilizamos en el proceso el conjunto de mecanismos dispuestos en el libro “LEGO® Technic Tora no Maki” del escritor japonés Isogawa Yoshihito. En esta obra se recogen un conjunto de mecanismos Lego® convenientemente organizados y estructurados, con imágenes en las que se puede observar claramente el mecanismo del modelo, permitiendo así una rápida localización de los componentes a utilizar para su posterior construcción virtual.

Este libro nos permite familiarizarnos con el entorno del programa a utilizar para las etapas de modelado y simulado de los modelos, al presentar una serie de mecanismos simples con los cuales resulta sencillo trabajar.

Posteriormente mostraremos los modelos Isogawa creados explicando los mecanismos de los mismos.

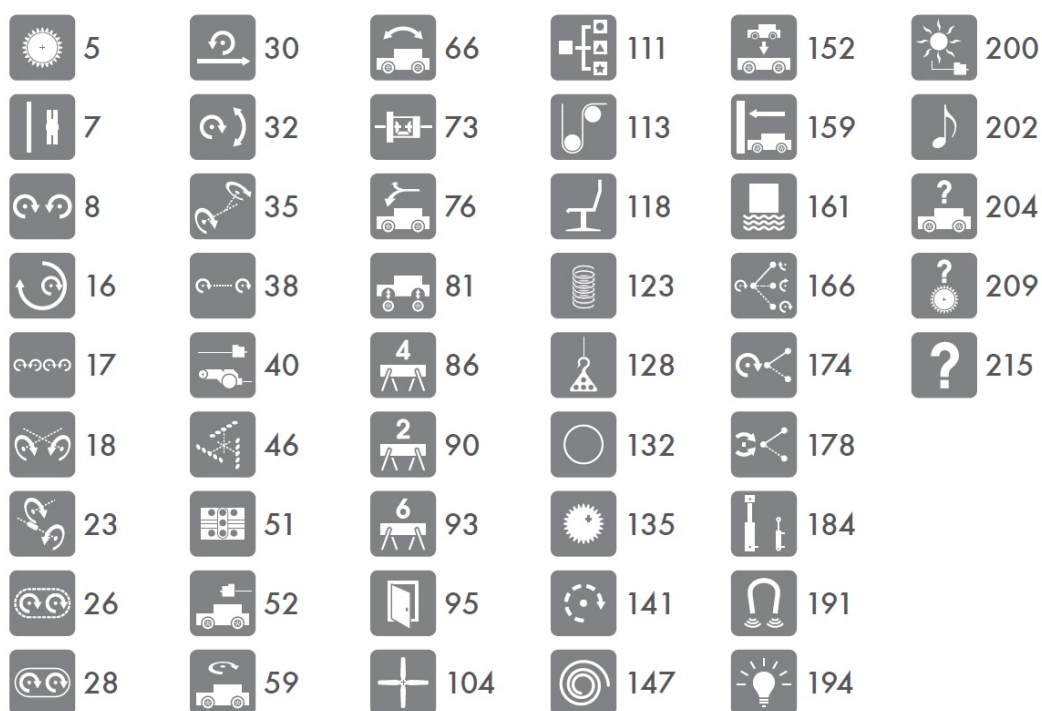


Figura 6-Leyenda de tipos de mecanismos existentes en el libro LEGO® Technic Tora no Maki.

3 ENSAMBLADO

3.1 Presentación

En el ensamblado es posible distinguir tres tareas: la identificación de los componentes a utilizar, la creación de cada una de las piezas que compone el modelo final, y el ensamblado de estas piezas en un todo que representa el modelo virtual.

Tras la primera etapa de identificación de cada uno de los componentes Lego© a utilizar, y habiendo reunido el conjunto de componentes virtuales necesarios, nos encontramos en la misma situación que si de un modelo real se tratase, deberemos seguir las instrucciones Lego© para el montaje. Sin embargo, el montaje virtual difiere en varios aspectos que debemos destacar.

Tal y como está planteado el proyecto, disponemos de cada uno de los componentes virtuales a utilizar en la creación del modelo o “set” correspondiente, de forma que podremos montar en el entorno de “SolidWorks” el set basándonos en la observación del modelo real, y en las instrucciones Lego© correspondientes. El ensamblado difiere de la realidad en un aspecto, ya que como hemos visto anteriormente deberemos ensamblar los componentes que no posean movimiento relativo entre sí, que quedarán conformados como piezas, para posteriormente ensamblar las piezas formando ya el modelo virtual.

Por tanto podemos establecer un claro objetivo en esta tarea de ensamblado, poder obtener una máquina Lego© virtual de forma que podamos diferenciar a simple vista en el entorno virtual cada una de las piezas, lo cual implica identificar cada parte “móvil” del modelo con su movimiento relativo asociado. Por otro lado la tarea nos permitirá familiarizarnos con el entorno de la aplicación y en el empleo de herramientas de ensamblado, emulando a las restricciones cinemáticas existentes en la máquina real.

3.2 Procedimiento

Independientemente del modelo a construir, nos ceñiremos a una serie de pautas para su creación: selección del modelo, identificación de los componentes a utilizar y de las piezas y ensamblado.

3.2.1 Selección del modelo

El modelo deberá ser seleccionado en base a su dificultad tanto a nivel del tipo de mecanismo a emplear, como según el número de piezas. Tal y como hemos explicado anteriormente, en el inicio hemos utilizado la creación de mecanismos virtuales simples

extraídos del libro del autor “Isogawa” tanto por la claridad como por su amplia variedad de mecanismos. Esto nos ha aportado no solo la posibilidad de familiarizarnos con el programa, sino también con muchos de los mecanismos Lego© que posteriormente emplearemos en modelos Lego© Technic de mayor dificultad.

3.2.2 Identificación de componentes y piezas

A la hora de identificar tanto componentes como piezas es posible emplear diversos métodos. En el proyecto podemos destacar dos métodos que, por su sencillez, resultan muy apropiados.

El primero de ellos supone consultar una de las páginas webs a este propósito, en www.bricklink.com se pueden encontrar multitud de los “sets” conocidos con cada una de los componentes que los conforman. El segundo método supone recurrir a un documento **eDrawings** (*.easm) si el modelo a construir ha sido creado virtualmente por otra persona, en tal caso será posible hacer uso de una visión en 3D del mismo pudiendo identificar con claridad cada uno de los componentes a utilizar.



Figura 7-Componentes Lego© extraídos de la biblioteca virtual de componentes.

Posteriormente deberemos identificar cada una de las piezas que conformarán el modelo virtual. Esta tarea, si bien puede parecer sencilla a la vista de máquinas simples, resulta una tarea complicada en modelos Lego© con multitud de piezas. Por ello, la disponibilidad de un archivo eDrawings supone una gran ayuda en la creación de las piezas, ya que podemos aislar cada una de ellas independientemente del resto para una identificación más sencilla. En el caso de no existir archivo eDrawings por no estar el modelo creado de forma virtual por otra persona, el proceso será más complicado, ya que partiremos de la identificación visual del mecanismo real, necesitando por tanto tener físicamente el modelo a ensamblar.

3.2.3 Jerarquización y nomenclatura

Con el fin de conseguir un menor coste computacional del programa, establecemos un sistema de jerarquización, en el cual el ensamblaje del modelo final estará compuesto por un conjunto de ensamblajes, que se corresponden con cada una de las piezas, y estos a su vez podrán estar compuestos de otros ensamblajes, a los cuales llamaremos trozos para diferenciarlos de las piezas. Será requisito indispensable que cada uno de estas piezas, o en su defecto trozos, este formada por no más de 10 componentes, consiguiendo así una notable mejora en el rendimiento de la aplicación informática.

Para establecer cierto orden a seguir en la creación de cada uno de los modelos, consideramos que mantener la nomenclatura impuesta por la biblioteca de componentes a la cual accedemos sería apropiado. De esta forma, cada una de las piezas se nombrará utilizando el siguiente formato:

vltm_xxxx-x_part-0yy0_2015.sldasm

Donde las equis representan el numero asociado al “set” Lego© que vamos a crear, y la letra “y” representa el número de pieza dentro de ensamblaje final. Seguiremos la secuencia de forma que si tuviésemos trozos dentro de una parte, quedaría numerada a partir del cero que figura detrás de la última letra “y”, añadiendo más ceros si fuese necesario. Por tanto, y siguiendo esta nomenclatura, cada una de las partes con el formato anteriormente explicado será ensamblada en un archivo de nombre:

vltm_xxx-x_2015.sldasm

Como vemos en la nomenclatura, el archivo de ensamblaje creado en SolidWorks tendrá extensión **.sldasm** mientras que los componentes serán llamados piezas en SolidWorks, y su extensión será **.sldprt**

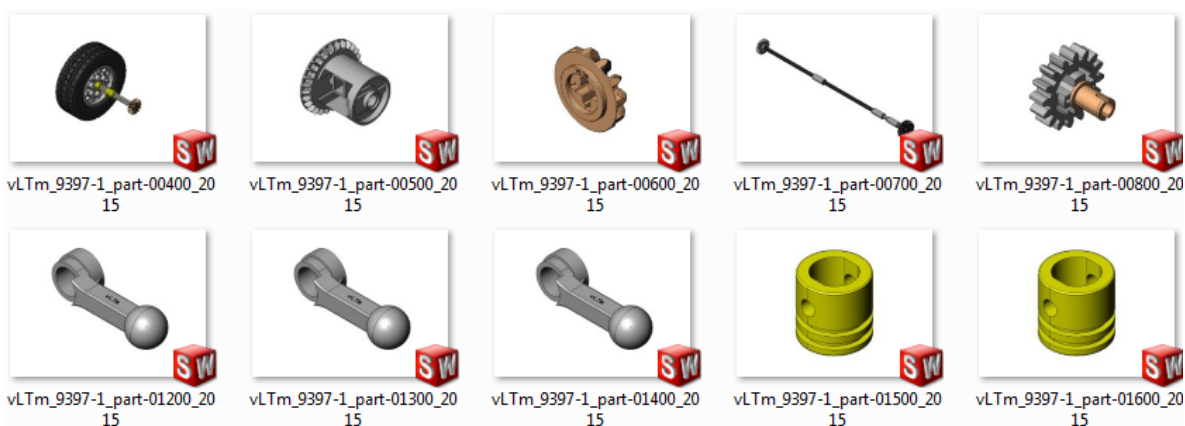


Figura 8-Ejemplo de nomenclatura en algunas piezas.

3.2.4 Ensamblado

Tras haber creado cada una de las piezas que conforman el modelo, habiendo respetado en ellas la nomenclatura establecida, solo resta utilizar las relaciones de posición que posteriormente explicaremos para realizar el ensamblaje del modelo final. En él encontraremos cada una de las piezas que lo componen, debiendo quedar el modelo completamente funcional.

3.3 Proceso de ensamblado en SolidWorks

Explicaremos a continuación el procedimiento a seguir en el entorno de SolidWorks para la creación tanto de cada una de las piezas que conforman la máquina, como de la máquina en si formada por ensamblajes pieza.

Establezcamos primero una serie de condiciones a cumplir, que hemos de tener siempre presentes a la hora de plantear la creación de uno de los modelos Lego© Technic.

Tal y como hemos planteado anteriormente, será condición necesaria que cada pieza este formada por un máximo de diez componentes, pudiendo dividir esta en varios ensamblajes a los que denominamos “trozos” en caso de superar este número de componentes máximo por pieza. Esto último debe considerarse como una excepción aplicada sobre todo a partes grandes del modelo como puede ser el chasis del vehículo a crear, tratando de conseguir siempre piezas formadas únicamente por componentes.

Basándonos en la nomenclatura anteriormente expuesta, la pieza fija del modelo o chasis deberá ser nombrada como pieza 1, quedando así el nombre del ensamblaje precedido por part-0010_2014.sldasm. Dado que se trata del chasis, cada uno de los trozos que lo compongan tendrá nomenclatura diferente, por ejemplo el trozo 65 de la pieza 1 tendrá el siguiente formato:

vltm_xxxx-x_part-0165_2015.sldasm

A su vez, de cada ensamblaje completado crearemos otro ensamblaje similar en el cual las piezas se encuentren separadas entre sí, para favorecer a la identificación de las mismas a un futuro usuario. Este ensamblaje, se nombrará:

vltm_xxxx-x_part-0165_2015-parts.sldasm

Una vez hemos llevado a cabo los pasos anteriores, y teniendo presentes tanto las condiciones que hemos de cumplir, como la nomenclatura y jerarquía a seguir, nos disponemos a crear en el entorno virtual cada una de las piezas partiendo de los componentes Lego© virtuales. Para conseguir esto deberemos emplear las relaciones de posición.

3.3.1 Interfaz

Antes de comenzar con la explicación de cada una de las relaciones de posición, no está de más explicar la interfaz con la que hemos tratado a la hora de realizar este proyecto. Podemos ver claramente el lugar reservado para la visualización del modelo (1), la situación de las herramientas de relación de posición (3), la lista de cuerpos que conforma el modelo (2), o herramientas que nos permiten girar y medir el modelo, editar su apariencia, etc. (4).

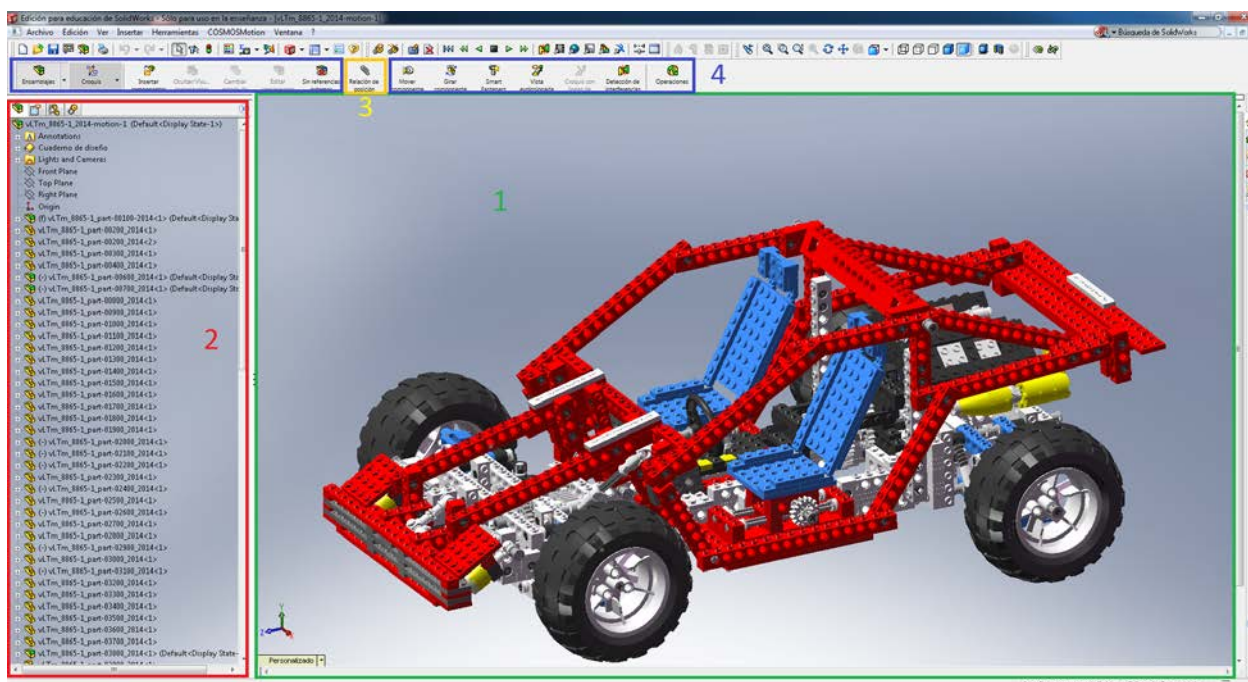


Figura 9-Interfaz de SolidWorks.

3.3.2 Relaciones de posición

La función de las mencionadas relaciones de posición es la restricción de determinados grados de libertad de la pieza sobre la que se aplica. Al haber fijado la primera pieza del ensamblaje en el origen (chasis), las restricciones sobre las piezas nos permitirán comprobar el movimiento de las mismas sin mayor dificultad que arrastrar el ratón.

En el entorno de SolidWorks 2007 podemos encontrar dos tipos de relaciones de posición. Las primeras son las llamadas en el entorno **relaciones de posición estándar** y, como vemos en la imagen, comprende relaciones como coincidencia, paralelismo, perpendicularidad o tangencia. Todas estas relaciones tienen como objetivo restringir grados de libertad, desde uno solo hasta todos los que posea la pieza, lo cual implicaría fijarla. En este proyecto hemos hecho uso de todas las relaciones estándar, que nos han permitido una sencilla comprobación del movimiento que pretendíamos conseguir de la pieza en cuestión. En segundo lugar tenemos acceso a otro tipo de relaciones de posición llamadas **relaciones de posición avanzadas**. Estas son las que nos permiten establecer la transmisión de movimiento mediante, por ejemplo, engranajes (Figura 10).

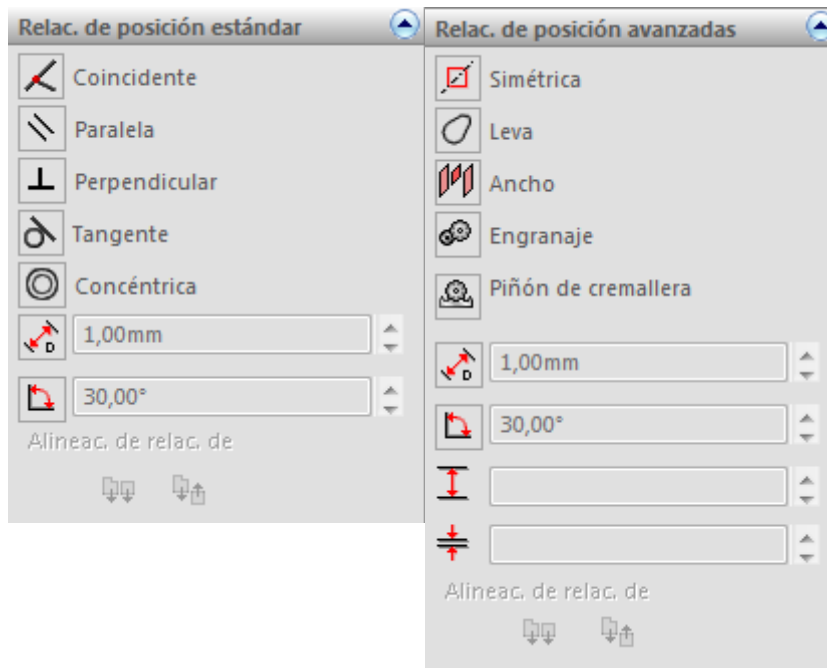


Figura 10-Tipos de relaciones de posición.

Las diferencias entre esta versión de SolidWorks y la del 2014-2015 son mínimas de cara al uso que le hemos dado en el proyecto. Esta última versión goza de multitud de herramientas nuevas, clasificando la relación de engranajes en relaciones de posición mecánicas y no en avanzadas, y aportándonos una gran variedad de relaciones de posición nuevas que no hemos empleado en este proyecto. De ahora en adelante nos referiremos siempre al SolidWorks 2007 por ser el más empleado en esta fase del proyecto.

A continuación explicaremos cada una de las relaciones de posición utilizadas en la creación de cada uno de los modelos virtuales.

- a) **Coincidente:** supone que las caras, aristas o puntos sobre las que se aplica se toquen o alineen, tal y como vemos en la figura.

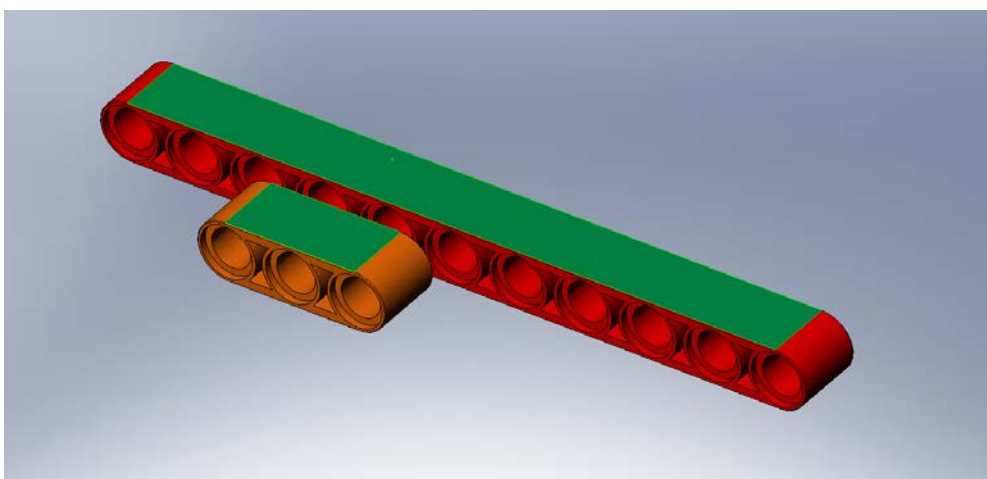


Figura 11-Relación de posición coincidente.

- b) **Paralelismo y perpendicularidad:** define que dos caras o rectas de componentes o piezas distintas sean paralelas o perpendiculares.

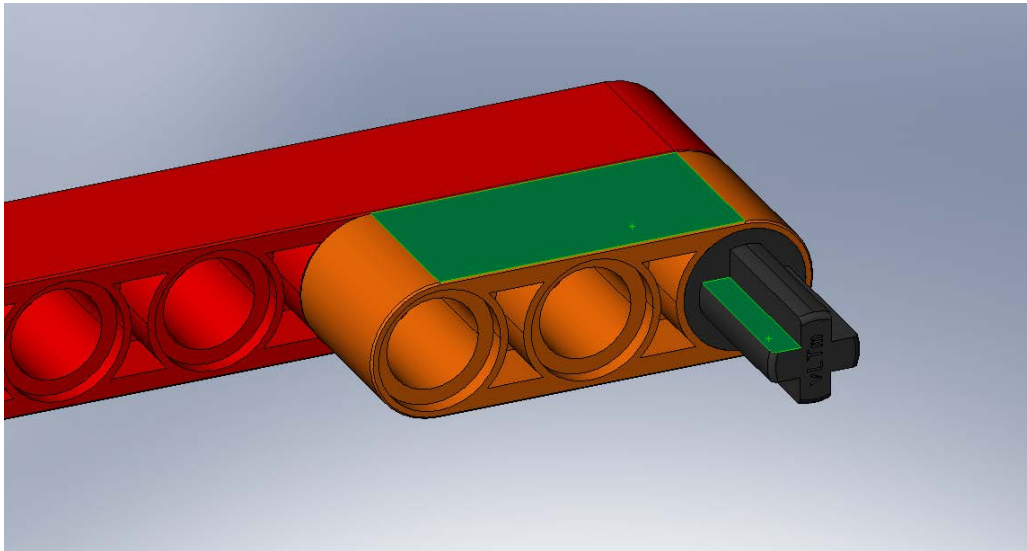


Figura 12-Relación de posición de paralelismo.

- c) **Tangente:** supone que dos superficies o curvas sean tangentes entre sí, resulta especialmente útil en la parte del proyecto referente a la simulación, para poder situar el modelo en una base, como veremos más adelante.

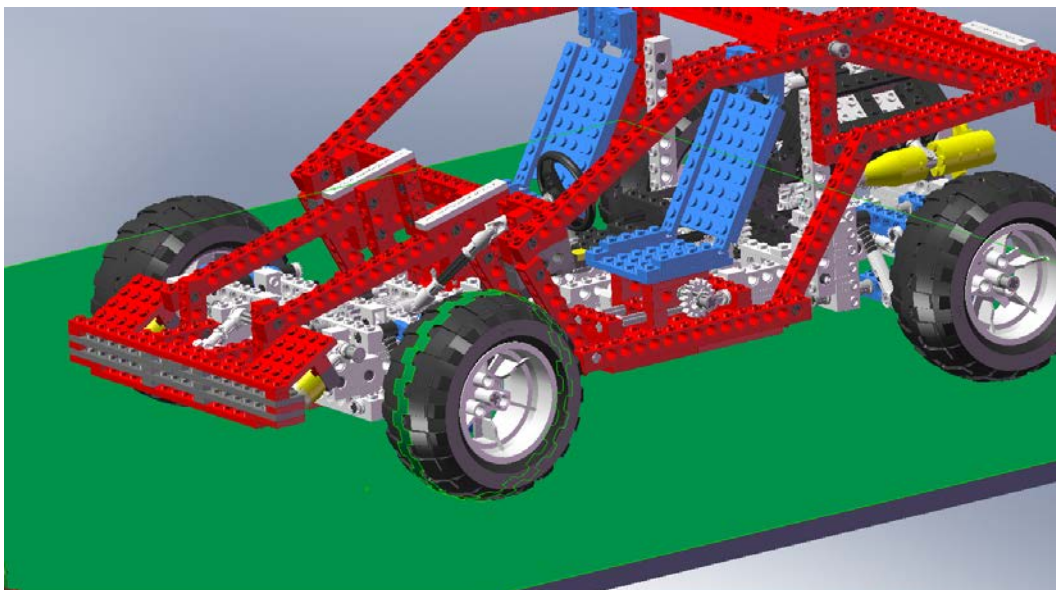


Figura 13-Relación de posición tangente.

- d) **Concéntrica:** resulta muy útil en la creación de mecanismos Lego®, ya que nos permite situar, por ejemplo, un eje en el centro de una superficie circular.

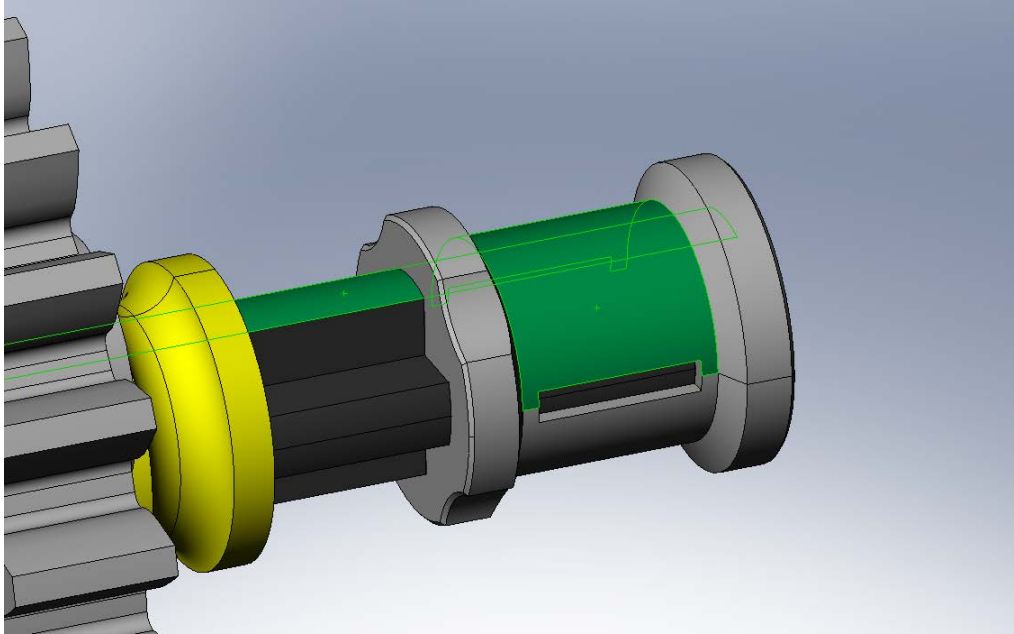


Figura 14-Relación de posición concéntrica.

e) **Ángulo y distancia:** fijan respectivamente, el ángulo y/o la distancia entre dos caras.

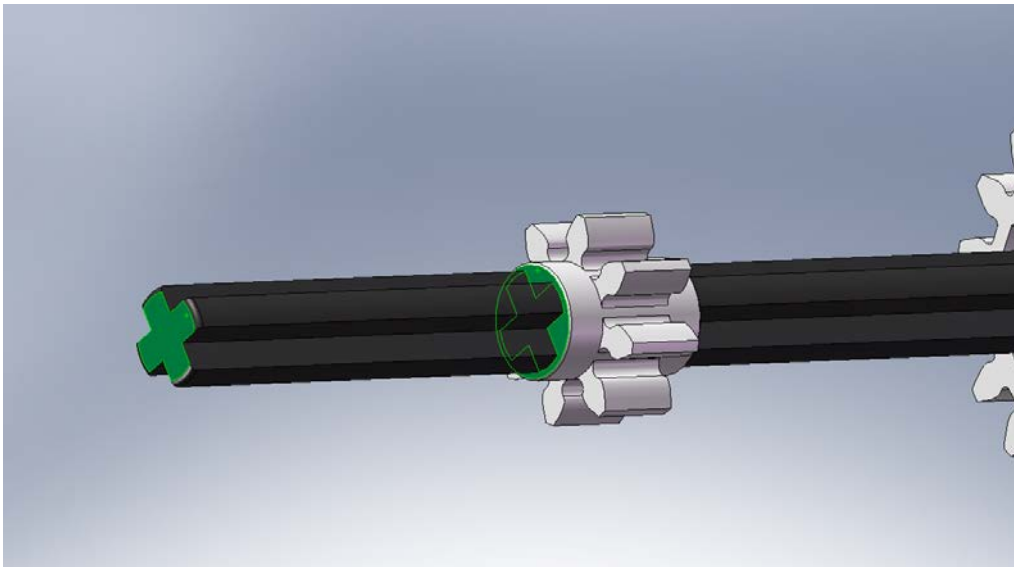


Figura 15-Relación de posición de distancia

Por otra parte encontramos en la interfaz otro tipo de relaciones ampliamente utilizadas con el fin de transmitir movimiento entre distintos ejes o mecanismos, las más destacadas son las relaciones de engranaje y la de piñón-cremallera:

a) **Engranaje:** la relación de posición engranaje no será utilizada simplemente para componentes que transmiten movimiento tipo engranaje, sino también para mecanismos como pueden ser poleas o tornillos sin fin. El principio básico, como vemos

en la Figura 16, es relacionar dos componentes en base a su diámetro (en el caso de tratarse de una polea sólo podríamos emplear este método) o según su número de dientes, consiguiendo una correcta transmisión del movimiento de un eje a otro. En cuanto a mecanismos que utilicen un tornillo sin fin, el procedimiento a seguir será el mismo, tomando en el caso del tornillo sin fin el número de dientes igual a la unidad.

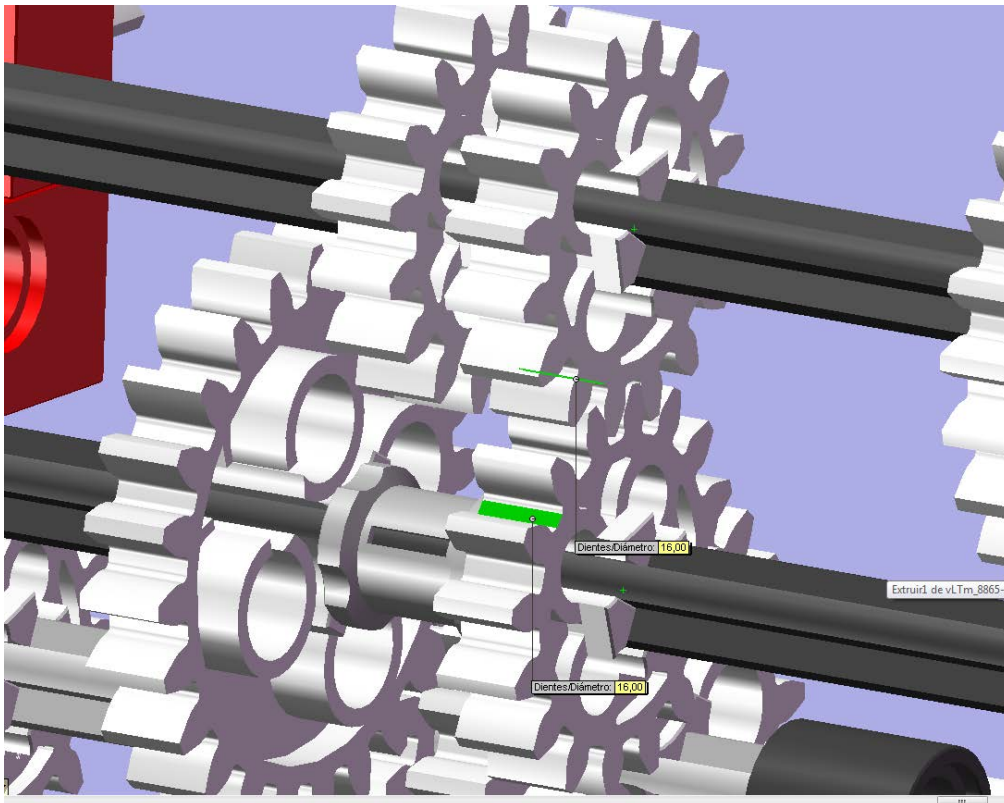


Figura 16-Relación de posición de engranaje.

- b) **Piñón-cremallera:** de igual forma, podremos establecer una relación piñón-cremallera en la cual la propia interfaz nos pedirá que seleccionemos el piñón y posteriormente una línea que se tomara como la dirección de desplazamiento. Tras haber calculado cuanto se desplazará la cremallera tras una vuelta completa del piñón, introducimos este dato quedando establecida correctamente esta relación de posición.

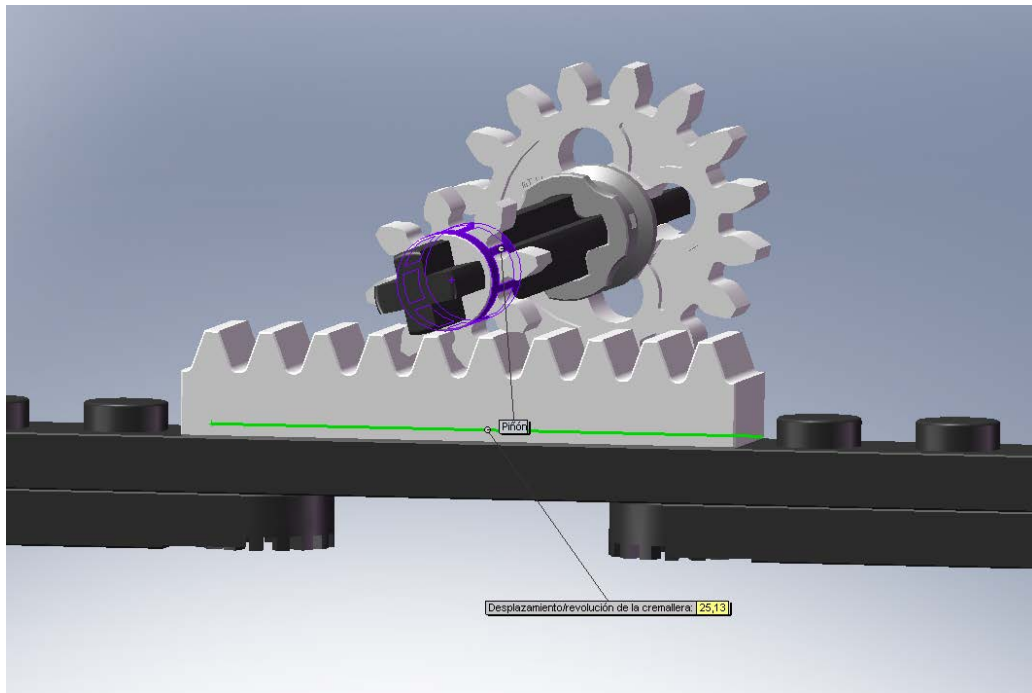


Figura 17-Relación de posición piñón-cremallera.

Si bien estas relaciones son las que más hemos utilizado en el proyecto, existen muchas otras que contribuyen a aumentar la similitud entre el mecanismo virtual y el real, como puede ser la limitación tanto en distancia como angular, para limitar el movimiento de una pieza más allá de lo considerado físicamente posible.

3.3.3 Uniones características Lego© en SolidWorks

Hablaremos ahora de ciertas formas de unir componentes en SolidWorks ya que, aplicando estos métodos, se pueden realizar la mayoría de uniones entre componentes y piezas en el entorno de SolidWorks. Haremos referencia a uniones características como puede ser la de dos “ladrillos” Lego© mediante el sistema de botones, que podría considerarse lo más sencillo, situar ejes mediante concentricidad, etc.

En primer lugar hemos de describir los pasos a seguir para la creación de la unión quizás más utilizada, y esta es la de dos “ladrillos” o cualquier componente básico Lego© basado en el sistema de botones. Como vemos en la Figura 18, para conseguir eliminar los grados de libertad fijando uno de los componentes respecto del otro deberemos, o bien fijar dos relaciones de posición concéntricas entre los dos botones de ambos componentes, y posteriormente utilizar una relación de coincidencia, o utilizar una concentricidad, una relación de paralelismo y por último la de coincidencia. Si bien estos métodos son los más empleados, estos no son únicos a la hora de definir la posición relativa entre dos componentes.

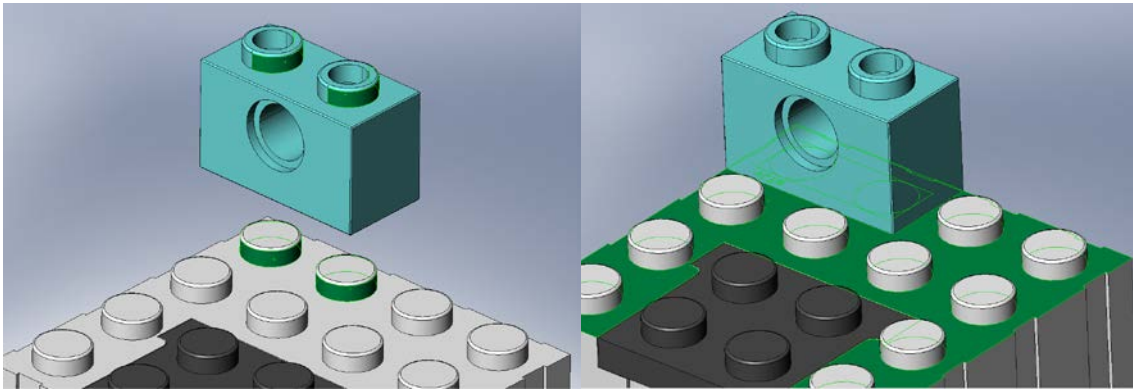


Figura 18-Relaciones concéntricas y coincidentes necesarias.

Posteriormente tenemos que detallar los tipos de unión entre cualquier eje (ya sea un eje como tal, un pin cuyo fin es fijar dos componentes Lego®, etc.) y un componente Lego®, ya que como vemos en la imagen muchos ejes Lego® se caracterizan por no poseer el grado de libertad que implica rotación libre, en estos casos necesitaremos establecer una relación de posición basada en el paralelismo y una relación concéntrica entre eje y donde vaya a estar situado el eje (Figura X). En el caso en el que no se desee establecer la restricción del grado de libertad nombrado, una relación concéntrica bastará para emular al mecanismo real de Lego®.

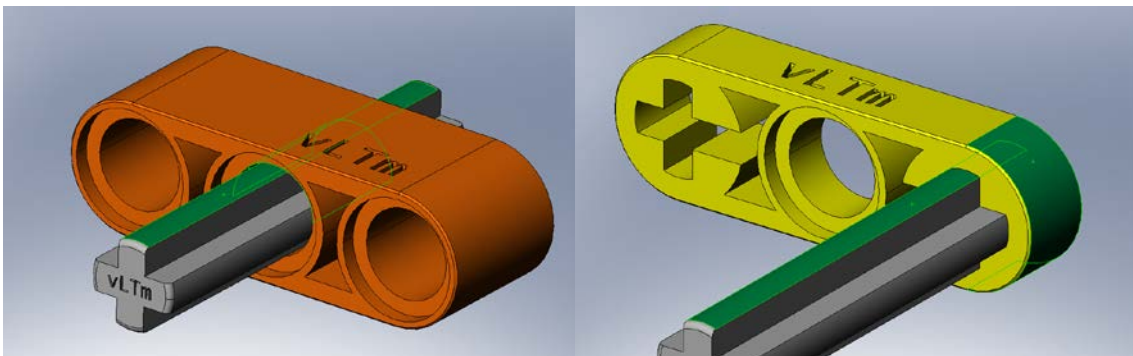


Figura 19-Relaciones necesarias concéntrica (izquierda) y concéntrica y paralela (derecha).

A partir de estas uniones de ejes podemos crear uniones entre otros componentes, como puede ser conseguir fijar otro componente al eje, consiguiendo que éste se encuentre a su vez fijo al componente inicial. De esta forma podremos, a partir de estas uniones, conseguir fijar o restringir varios grados de libertad según se desee, pudiendo construir así prácticamente cualquier modelo Lego® Technic. Más adelante detallaremos la construcción de uniones y mecanismos más complejos.

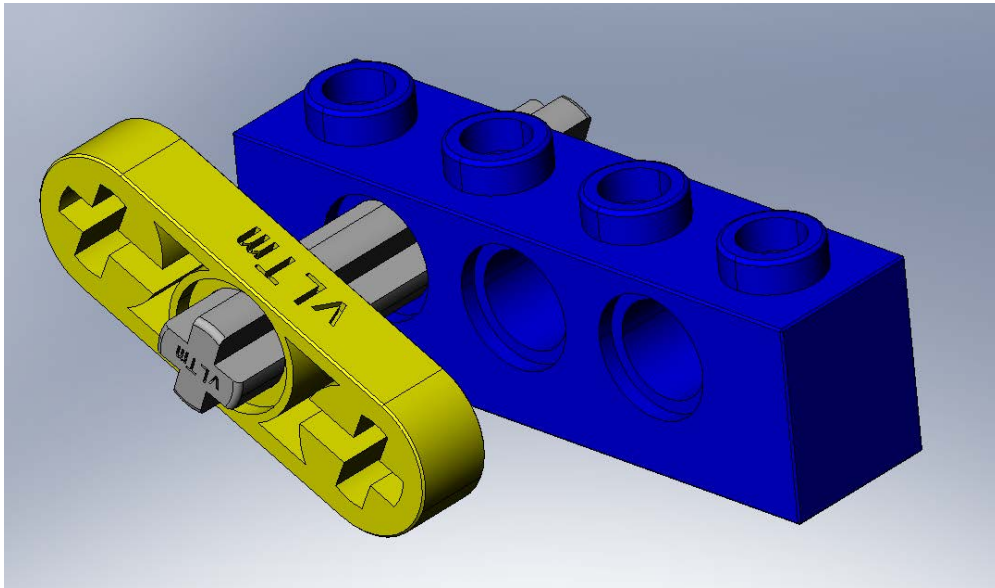


Figura 20-Componentes con posibilidad de rotación.

Cabe destacar que existen ciertas uniones que no se consiguen con una relación de posición concreta, por ejemplo, uniones equivalentes a un par esférico requerirán la coincidencia de dos puntos, que habremos de crear en el centro del componente esférico y en el centro del agujero con el que lo fuésemos a unir. Por tanto, en ciertos casos necesitaremos el empleo tanto de geometrías de referencia como pueden ser puntos líneas o planos, siendo necesario en el módulo de simulación emplear para ello croquis, y no geometría de referencia, para conseguir un correcto funcionamiento del programa. En la Figura 21 vemos dos puntos superpuestos tras haber aplicado la relación de coincidencia.

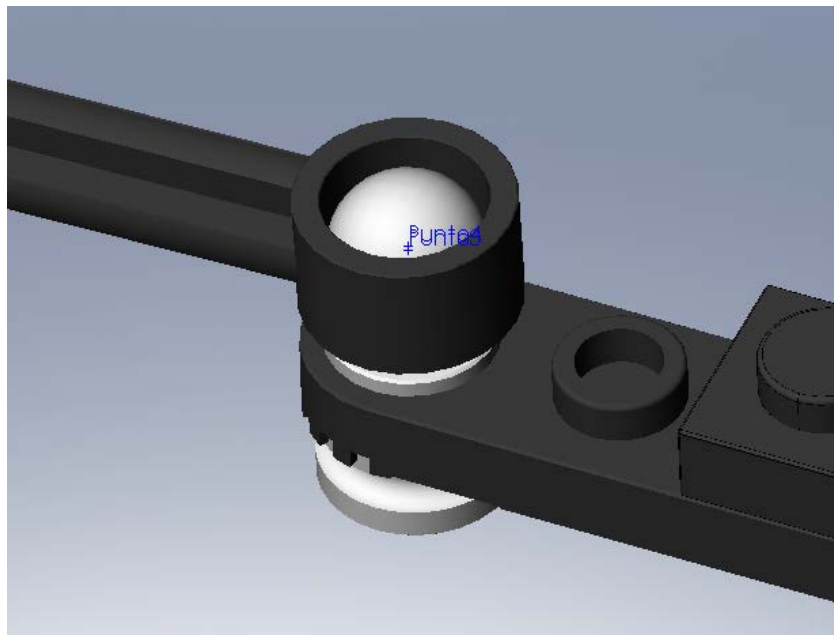


Figura 21-Unión esférica.

3.3.4 Comprobación e identificación del modelo conseguido

Una vez hemos ensamblado cada una de las piezas con los métodos anteriormente descritos, queda una etapa de comprobación en la creación del modelo virtual. Esto es debido a que dado el gran número de relaciones de posición que pueden existir en una sola máquina Lego®, cualquier error en la definición de las mismas puede conllevar problemas graves a la hora de transmitir movimiento entre cada una de las piezas creadas.

Debido a esto, y sin entrar en ningún tipo de módulo de simulación (que obviamente detallaría de una forma más clara el movimiento a seguir por el modelo virtual), procedemos a provocar el movimiento de los actuadores, comprobando si el movimiento que observamos en el modelo se corresponde con el que posee el “set” montado físicamente, o en su defecto con el movimiento que, mediante visión espacial, hemos deducido que tiene.

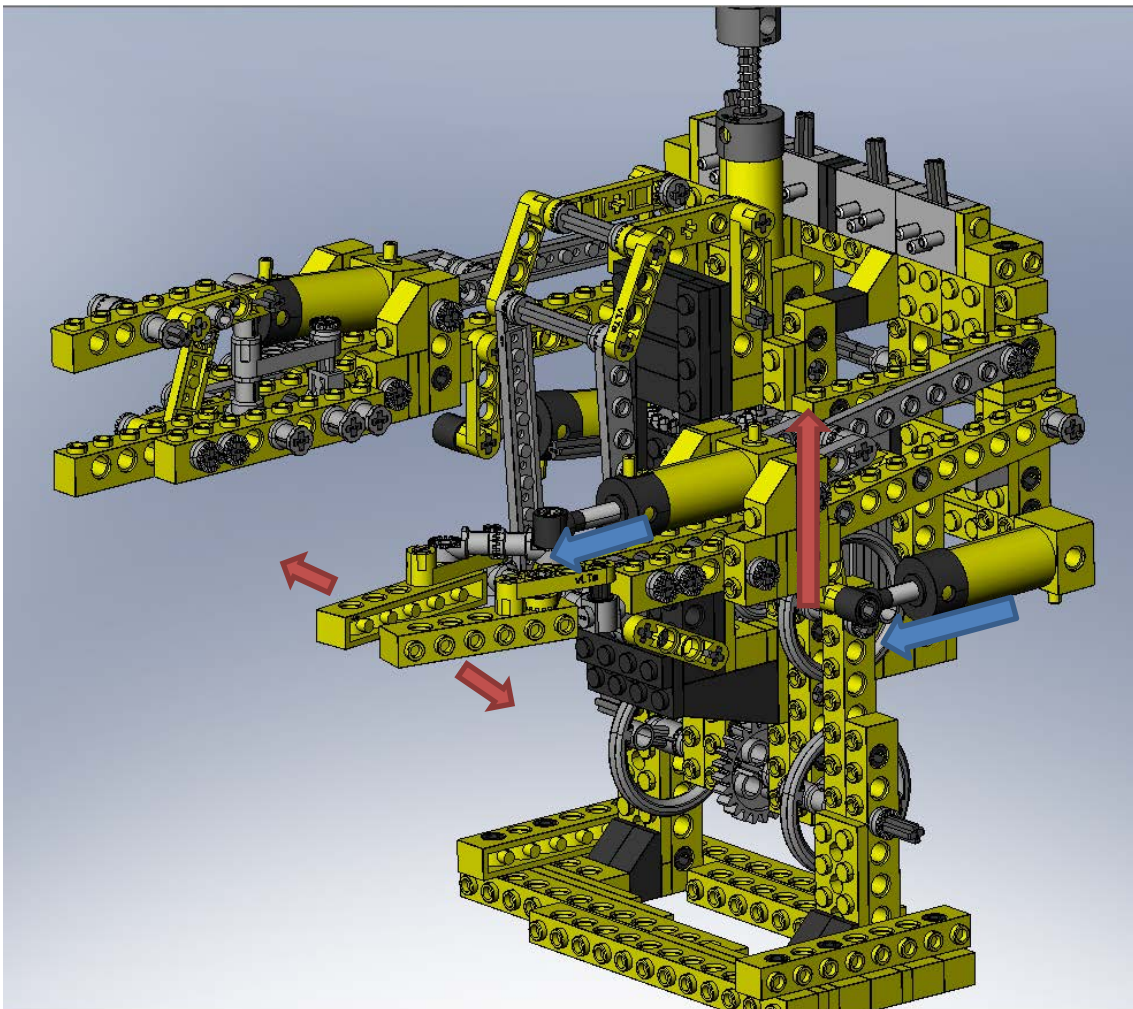


Figura 22-Comprobación de los actuadores del brazo del robot (azul acción, rojo reacción).

4 Proceso de compactación

Tras haber llevado a cabo la etapa de ensamblado del “set” en cuestión, nos encontramos con un ensamblaje compuesto de ensamblajes más pequeños, que a su vez están compuestos de multitud de componentes.

Si bien en modelos pequeños esto no supone un problema, cuando nos enfrentamos a la construcción virtual de máquinas de mayor dificultad vemos que el número de componentes puede superar los mil. Esto supondría no solo un problema a la hora de organizar y sistematizar el proceso de creación de modelos dado el gran número de archivos distintos, sino también un gran coste computacional. En cierto modo esto supone un desperdicio de tiempo dado que muchos de estos componentes tenían una función estructural, ni siquiera poseían movimiento.

Por tanto se aplicó a cada uno de los modelos un proceso de compactación, según el cual cada una de las piezas del modelo pasaría a ser una entidad y no un conjunto de entidades, mejorando notablemente el comportamiento de la aplicación informática y, además, protegiendo nuestro trabajo, ya que no se tendría acceso directo a los componentes utilizados en la creación del modelo virtual, sino solo a las piezas. Esto se puede observar en la Figura 23, en la que se puede ver que las partes que componen el modelo ya no son ensamblajes sino entidades.

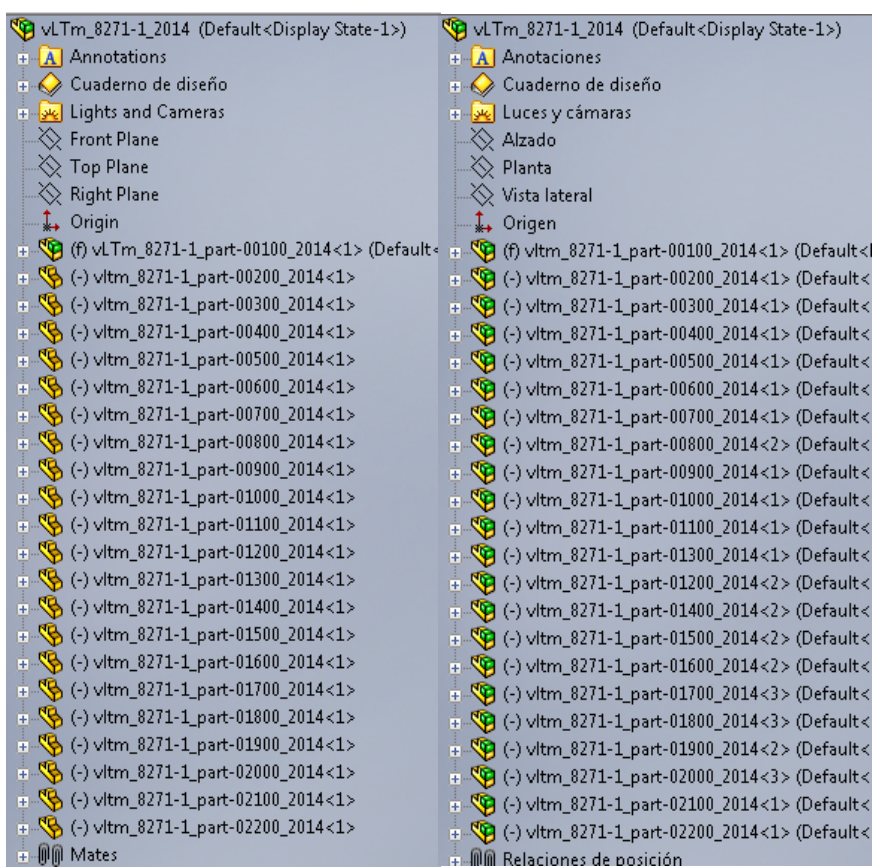


Figura 23-Entidades que conforman el modelo antes (derecha) y después (izquierda)

5 Modelo cinemático auto-alineado

5.1 Presentación

En esta parte del proyecto buscamos una familiarización con el montaje de máquinas mecánicas, mostrando cada uno de los componentes que podrían aparecer en una máquina real, y teniendo en cuenta los tipos de pares a aplicar en cada una de las uniones. Sin duda el sistema Lego® Technic nos permite estudiar cada uno de estos mecanismos para posteriormente aplicarlos a máquinas reales, y además nos aporta algo que estas máquinas reales no nos podrían dar, accesibilidad.

De esta forma mediante el estudio de máquinas Lego® nos familiarizaremos con el concepto de máquina y mecanismo, así como conceptos básicos de mecánica como pueden ser impulsor, seguidor, factor de transmisión, etc.

A su vez, uno de los objetivos del proyecto consiste en allanar el camino de alguna forma a un futuro estudio de resistencia de materiales que, pese a que se sale del alcance de este proyecto, es perfectamente plausible mediante técnicas basadas en elementos finitos. Para la realización de estos estudios es condición indispensable que no existan restricciones en exceso, es decir, que se realice sobre un modelo cinemático auto-alineado.

Para conseguir este modelo auto-alineado, y posteriormente simularlo, empleamos una aplicación integrada en SolidWorks, COSMOS Motion, basada en la conocida herramienta informática Adams (referente en cuanto a simulación cinemática y dinámica).

5.2 Sistemas mecánicos

El estudio de máquinas y mecanismos representa una de las áreas importantes de la ingeniería, siendo fundamental en ingeniería mecánica, por tanto el conocimiento de herramientas de diseño mecánico, que suponen un estudio meticuloso de los mecanismos a diseñar, es indispensable en la formación de ciertos alumnos de ingeniería.

El auge de las aplicaciones informáticas para desempeñar la tarea del diseño de mecanismos, que anteriormente se llevaba a cabo mediante la creación de planos a mano, conlleva un necesario proceso de aprendizaje así como una serie de ventajas. Dada la facilidad de trabajo que trae consigo el empleo de estas herramientas, es conveniente estudiar los mecanismos desde un punto de vista cinemático, ya que mediante el empleo de programas CAD es posible aislar cada una de las piezas, no siendo tan necesario como antes el empleo de la visión espacial.

Es debido a esto que surge la necesidad de aplicaciones que integren no solo programas de diseño CAD sino módulos que permitan tanto simulación cinemática como dinámica,

apareciendo programas como ADAMS, que emplearemos integrado en SolidWorks con el nombre de COSMOS Motion, con el fin de conseguir estas simulaciones cinemáticas.

El empleo de estas herramientas informáticas posibilita tanto el cambio en cualquiera de las especificaciones del mecanismo a construir, como una interacción con cada una de las partes que forman el mecanismo de forma independiente, algo que se consideraba impensable sin estas aplicaciones.

Es necesario destacar que a la hora de exponer la teoría sobre “mecanismos autoalineados” hemos hecho uso del libro “L. N. Reshetiov, *Self-aligning mechanisms*, Mir, 1982”.

5.3 Conceptos básicos

5.3.1 Impulsor, seguidor

En primer lugar es necesario explicar tres conceptos fundamentales empleados en el proyecto a la hora de analizar los mecanismos existentes en un modelo. En cualquier mecanismo podemos encontrar una pieza que da un inicio al movimiento, a la cual llamaremos **impulsor**, y otra que sigue este movimiento, que recibirá el nombre de **seguidor**. Supone, básicamente, que a nuestro “sistema” mecanismo entrará un movimiento a través del impulsor, y este será transmitido al seguidor fuera del sistema. En el mecanismo de la figura podemos intuir como se movería el mecanismo si el impulsor fuese la barra 4, es decir, si describiese el movimiento marcado por la flecha.

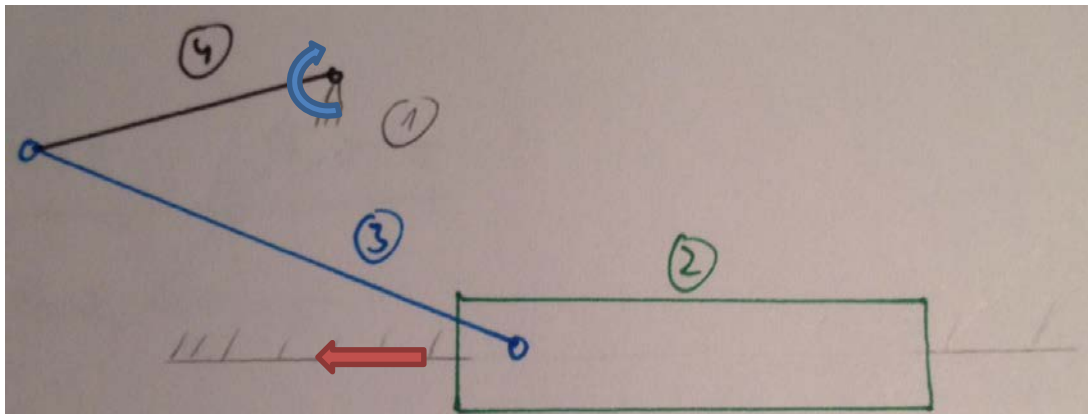


Figura 24-Impulsor (azul) y seguidor (rojo).

Posteriormente hemos de introducir el concepto de **factor de transmisión**, haciendo referencia a la distancia recorrida (o ángulo girado) del seguidor en relación a la recorrida (o girada) por el impulsor. Cabe decir que este factor estará expresado en forma de un número con signo, para tener en cuenta el sentido de la rotación, determinado por las formas y tamaños de las partes que componen el mecanismo impulsor-seguidor.

5.3.2 Consideraciones

A la hora de analizar el trabajo realizado en el proyecto, hay que tener en cuenta una serie de aspectos en los cuales se ha basado el mismo.

En primer lugar, en el proyecto hemos considerado cada uno de los componentes Lego® como cuerpos rígidos, lo cual supone una ausencia de deformación ante el efecto de fuerzas externas. Si bien es cierto que todo componente Lego® no es rígido sino posee cierta flexibilidad, introducir esta simplificación no quita validez a los resultados obtenidos ya que, al tratarse de mecanismos Lego®, las fuerzas que intervienen no deforman de forma significativa ninguno de los componentes.

También es necesario hacer distinción entre los conceptos de máquina y mecanismo. Dado que nuestro sistema de estudio está basado en cuerpos rígidos, es posible hacer una clara distinción entre mecanismo y máquina, ya que mecanismo será aquel encargado de transmitir movimiento mientras que máquina es la encargada de transmitir potencia.

De esta forma, es posible establecer una relación directa entre la cinemática y los mecanismos, ya que esta se encarga del estudio del movimiento y la transmisión del mismo. Este proyecto quedará enfocado por tanto al estudio de la cinemática de los modelos Lego® Technic, es decir, del modelo como mecanismo, a pesar de que el modelo real se trate de una máquina en la cual se transmitirá potencia.

5.3.3 Cinemática enfocada a mecanismos Lego®

Antes de proseguir con la explicación del procedimiento seguido en la creación de movimiento en la herramienta informática, es necesario introducir una serie de conceptos básicos y necesarios en la cinemática.

Hacemos referencia a cinemática, como hemos dicho anteriormente, como el estudio del movimiento y su transmisión, tratando así con posiciones, velocidades y aceleraciones angulares de puntos y cuerpos rígidos. La posición de un cuerpo puede estar definida mediante la localización de un punto y la posición angular del cuerpo que contiene al punto, sin embargo en ocasiones es necesario no simplemente conocer la posición de un cuerpo sino también sus derivadas temporales. Por tanto podemos afirmar que la cinemática es el estudio de la geometría de un cuerpo pero añadiendo el factor tiempo en el proceso.

Llevaremos a cabo el estudio cinemático de cada modelo Lego® Technic basándonos en todo esto, así como en dos conceptos importantes en el ámbito de la mecánica, expuestos a continuación.

En un primer lugar, buscaremos en el modelo virtual creado partes del mismo que posean un movimiento plano, es decir, mecanismos planos. Esto supone que cada uno de sus puntos permanezca en el proceso en planos que se mantienen paralelos, lo cual elimina el estudio de la dirección perpendicular al mismo, simplificando notablemente los cálculos a realizar. Incluso en

mecanismos en tres dimensiones como puede ser un modelo virtual Lego©, se puede llevar a cabo esta simplificación, obteniendo un mecanismo plano fácilmente analizable.

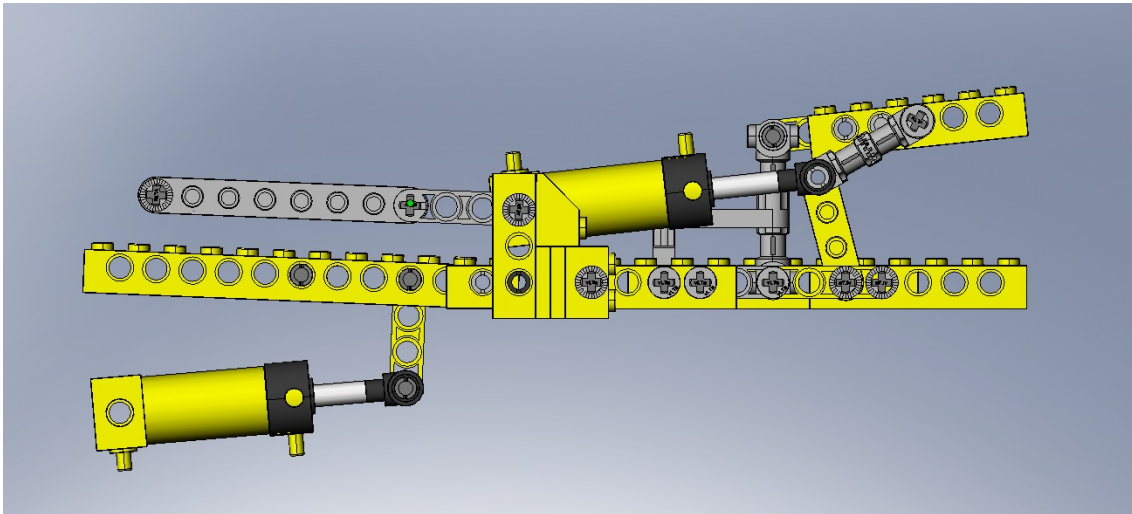


Figura 25- Mecanismo plano del modelo vltm_8891-9.

En segundo lugar es necesario hacer distinción entre el movimiento a seguir por un cuerpo el cual no está unido a ningún otro (movimiento libre), y un cuerpo que forma parte de un mecanismo unido mediante relaciones de posición a otros cuerpos. En nuestro caso siempre trabajaremos con cuerpos unidos por al menos un punto con otro u otros, formando una estructura en la cual uno de los cuerpos será fijo y el resto podrá poseer movimiento relativo respecto de este, es decir, una cadena cinemática.

Esta cadena cinemática no poseerá siempre el mismo movimiento, ya que este dependerá de los componentes del mecanismo fijos, así como del tipo de movimiento a seguir por el mismo. El mecanismo podría seguir un movimiento **continuo** si no se alterase el movimiento, **alternativo u oscilatorio** si invirtiese el sentido o **intermitente** en el caso de que detuviese cierto tiempo el movimiento a seguir por el mismo. En cualquiera de estos casos contaremos un ciclo cinemático en el momento en que, habiendo pasado cada una de las piezas que conforman el mecanismo por todas las posiciones permitidas, vuelven a su posición inicial. El tiempo desde el inicio hasta el fin del ciclo será denominado periodo.

A continuación será necesario introducir cada uno de los **pares cinemáticos** que, dispuestos en las uniones entre cada una de las piezas que intervienen en el mecanismo, permitirán restringir ciertos grados de libertad consiguiendo de alguna forma un movimiento determinado.

5.3.3.1 Pares cinemáticos

Cada mecanismo supone, en este proyecto, un ensamblaje de cuerpos sólidos unidos mediante unas uniones o contactos cinemáticos característicos, por tanto existirán ciertas superficies de cada uno de los cuerpos que entrarán en contacto directo con otras. Encontramos una clara distinción entre tres tipos de uniones: pares inferiores (Figura 26) en los cuales el

contacto se realiza en una superficie (cilindro), pares superiores (Figura 27) en los cuales el contacto es en una línea o un punto y pares compuestos (Figura 28) que tienen características de ambos. Las figuras 26,27 y 28 así como las figuras que como veremos muestran cada uno de los pares, provienen de un documento del tutor, basado en el libro “Kinematics, Dynamics, and Design of Machinery” de K. J. Waldron.

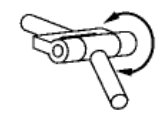
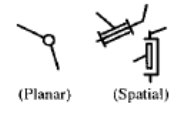

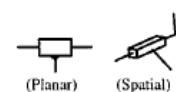
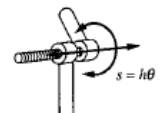

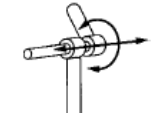



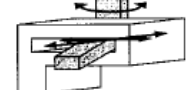

Conectividad (Nº de gdl)	Denominaciones	Símbolo literal	Forma típica	Representación esquemática (Diagrama cinemático)
1	Par Giratorio Articulación de pasador	R		 (Planar) (Spatial)
1	Par prismático Deslizadera Par de deslizamiento	P		 (Planar) (Spatial)
1	Par helicoidal Par de tornillo	H		 (Spatial)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

Figura 26-Pares cinemáticos inferiores.



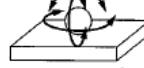


Conectividad (Nº de gdl)	Denominación	Forma típica	Comentarios
1	Rodadura sin deslizamiento Rodadura simple		El rodillo gira alrededor de la línea señalada con la flecha en el instante considerado. El rodillo no desliza sobre la superficie sobre la que gira.
2	Par leva Rodadura con deslizamiento		La 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 para por el punto de contacto, y deslizar en cualquier dirección en el plano tangente.

Figura 27-Pares cinemáticos superiores.


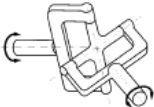
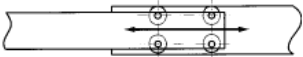
Conectividad (Nº de gdl)	Denominación	Forma típica
1	Cojinete de bolas Cojinete antifricción Cojinete de contacto por rodadura	
2	Junta Universal Junta Hooke Junta Cardan	
1	Deslizadera de rodillos	

Figura 28-Pares cinemáticos compuestos.

Podemos destacar la función de un par en el sentido de crear una fuerza de restricción que se oponga a un desplazamiento lineal limitado por este par, por tanto, si bien nuestro estudio será cinemático y no tendrá en cuenta la dinámica, es necesario saber que el par habría de calcularse para resistir las fuerzas o momentos de restricción que aparecen.

En nuestro caso, al analizar qué tipo de par deberemos usar, los clasificaremos según los números romanos I, II, III, IV y V, haciendo referencia al número de movimientos relativos que un par cinemático restrinja. Por tanto, partiendo de la idea de que un sólido en el espacio tiene tres desplazamientos posibles y, a su vez, tres rotaciones posibles (es decir, 6 grados de libertad), se procederá a aplicar los pares cinemáticos correspondientes que restringirán ciertos movimientos, restando por tanto grados de libertad.

5.4 Movilidad en mecanismos

El cálculo de la movilidad de un mecanismo cualquiera puede resultar de gran utilidad si se desea conocer si un conjunto de cuerpos con sus actuadores y pares correspondientes actúan correctamente en función del movimiento actual del mecanismo.

Podríamos definir movilidad como el número de grados de libertad que un mecanismo posee, es decir, el número mínimo de parámetros que necesitamos especificar para determinar completamente la posición de un mecanismo.

Teniendo en cuenta la existencia de mecanismos con dos o más grados de libertad en la actualidad, sólo podemos establecer como condición indispensable que el mecanismo posea uno o más grados de libertad, siendo este mecanismo una estructura en caso de no poseer ningún grado de libertad. En caso de poseer un número negativo de grados de libertad, esta estructura será estáticamente indeterminada.

5.4.1 Cálculo de movilidad sobre mecanismos planos.

Tal y como hemos explicado anteriormente, muchos mecanismos que empleamos en este proyecto pueden simplificarse considerándolos planos, es decir, mecanismos cuyo movimiento se produce sobre un mismo plano. Esto se corresponde con lo que podríamos encontrar en mecanismos reales que podríamos usar en nuestro día a día, donde la mayoría son planos o se pueden aproximar a un mecanismo plano. En este plano el cuerpo podrá tener como máximo tres grados de libertad.

Considerando un mecanismo plano con N cuerpos y un número P de pares, se puede aplicar el criterio de movilidad de la siguiente forma:

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

siendo $f_i = 1$ para par inferior y $f_i = 2$ para par superior

5.4.2 Cálculo de movilidad sobre mecanismos tridimensionales

En este caso un cuerpo en el espacio no tendrá tres grados de libertad, sino seis, ya que ahora tenemos tres translaciones en los tres ejes, y tres rotaciones alrededor de estos tres mismos ejes. Por tanto el llamado criterio de Gruebler quedará de la siguiente forma, y será el criterio que emplee la herramienta informática COSMOS Motion a la hora de simular el modelo con las pautas que hayamos implementado:

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

siendo $f_i = 1$ para par inferior y $f_i = 2$ para par superior

5.4.3 Diagramas cinemáticos

Debido a la necesidad de mostrar de forma sencilla y sobre papel cada uno de los mecanismos planos que encontramos en las máquinas (también sería posible la aplicación a mecanismos espaciales), se optó por emplear representaciones sencillas de los mismos, a las cuales podemos llamar diagramas cinemáticos.

La utilidad de estos diagramas es inmensa, ya que nos permite reproducir la geometría de un mecanismo de forma exacta en una determinada posición. Se representará cada uno de los cuerpos a unir en forma de "barras" en los cuales no se atiende a la forma o tamaño que tiene cada una de las piezas que conforman el mecanismo real, sino solo a su disposición.

Además, con el fin de establecer unos pasos a seguir para el estudio del diagrama cinemático, identificaremos cada par con un cajetín, indicando en primer lugar la numeración del par, posteriormente en el centro del cajetín el par (tipo 1, tipo 2) de la unión identificando el tipo de par (R, P, E...) y por último, debajo, las dos barras que este par relaciona.

A modo de ejemplo podemos ver este mecanismo sencillo obtenido tras la creación de uno de los modelos que explicaremos posteriormente. Se trata de una suspensión de un vehículo.

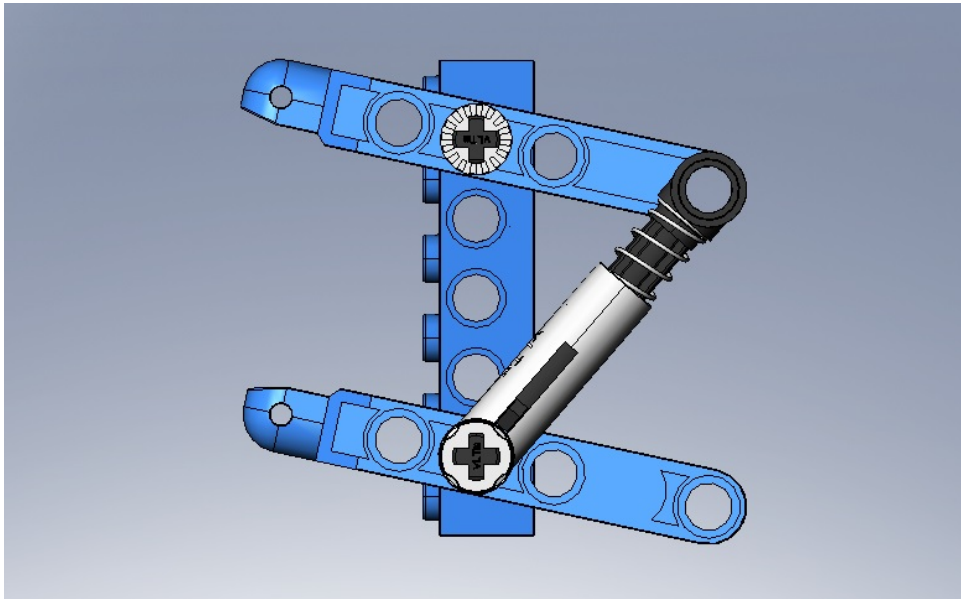


Figura 29-Mecanismo plano obtenido de modelo virtual.

Tras haber analizado el mecanismo nos disponemos a realizar su diagrama cinemático:

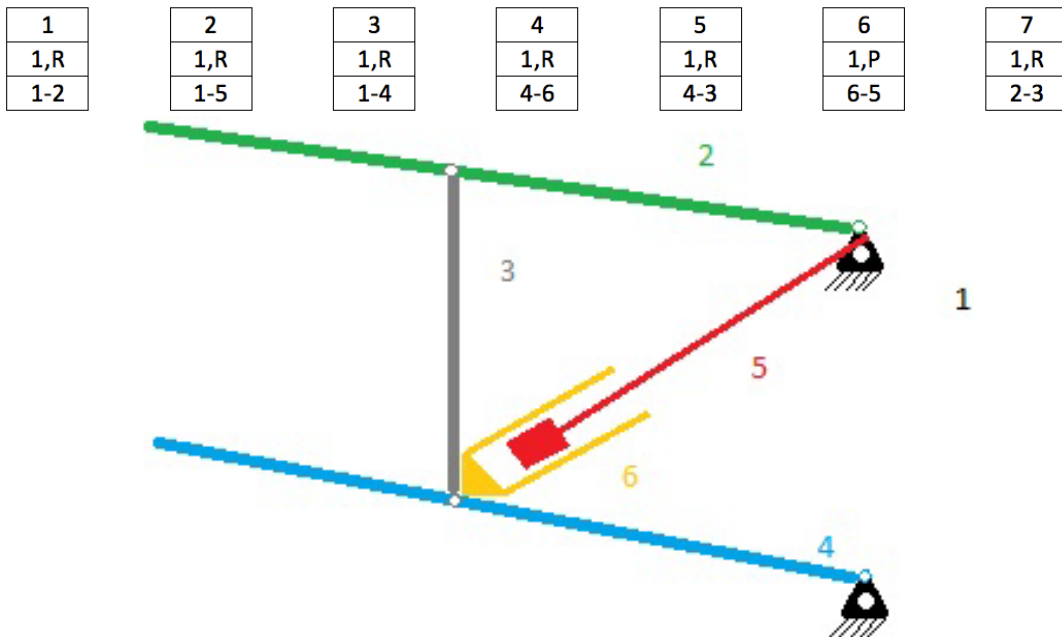


Figura 30-Diagrama cinemático del mecanismo anteriormente dispuesto.

Podemos aplicar directamente la fórmula de Gruebler, dado que conocemos tanto el número de cuerpos como el número y tipo de pares cinemáticos.

Por tanto, procedemos de la siguiente manera:

$$M = 3 * (6 - 1 - 7) + 7 = 1 \text{ GDL}$$

En este caso obtenemos como resultado un grado de libertad, lo cual era obvio y podría haber sido obtenido directamente sin necesidad de realizar cálculos. Sin embargo, esto nos resultará muy útil a la hora de analizar en poco tiempo mecanismos más complejos, como veremos posteriormente.

Existen ciertos casos en los cuales la fórmula de Gruebler nos da un resultado que podría considerarse sin sentido, uno de estos casos es la existencia de ciertos grados de libertad, a los cuales llamaremos grados de libertad parásitos, que de alguna forma “sobran” en la pieza en cuestión. Dada su aparición en el módulo de simulación hay que tenerlos en cuenta, tal y como explicaremos posteriormente. Es el caso de componentes como puede ser el de la Figura 31.



Figura 31-Componente cuyo tipo de uniones conllevará un grado de libertad parásito.

5.5 Mecanismo auto-alineado

Tal y como hemos visto, este proyecto en concreto gira en torno al concepto mecanismo auto-alineado. Esto se basa en que para conseguir una notable mejora en el funcionamiento de un mecanismo, este debe estar determinado estáticamente, dicho de otro modo ha de estar “auto-alineado”.

Con el fin de conseguir un fácil montaje de los mecanismos, lo conveniente es emplear mecanismos sin restricciones excesivas, con esto conseguimos no solo una mejora en su funcionamiento, sino además la aportación de cierto margen de seguridad en cuanto al cambio en las dimensiones que puede sufrir una máquina durante su ciclo de vida (es decir, aumenta su fiabilidad). Esto es debido a que un mecanismo auto-alineado no está sujeto a variaciones en la dimensión de las entidades que lo componen.

Por todo ello, nos centraremos en conseguir, a partir de los modelos virtuales creados en el entorno de SolidWorks, un modelo cinemático auto-alineado ayudándonos para ello de la herramienta COSMOS Motion integrada en esta misma aplicación.

5.6 Modelo cinemático auto-alineado. COSMOS Motion.

Con el fin de conseguir un mecanismo auto-alineado en el entorno virtual, optamos por emplear una de las herramientas disponibles de forma opcional a la hora de instalar en cualquier ordenador la aplicación SolidWorks 2007. Esto supone una ventaja, ya que al estar integrada dentro de la aplicación que hemos usado durante todo el módulo de modelado, ya estamos familiarizados con el entorno, siendo el módulo de COSMOS Motion muy similar en este sentido.

Esta herramienta nos permitirá no solo comprobar el funcionamiento de cualquier tipo de máquina mediante su simulación, sino también calcular cualquier tipo de velocidad, aceleración o fuerza aplicada sobre la misma, si bien esto se sale del ámbito del proyecto.

5.6.1 Interfaz

Tal y como hemos dicho anteriormente el entorno de COSMOS Motion es el mismo que el de SolidWorks, cambiando solo las opciones propias de esta herramienta integrada en el mismo. Podemos ver la misma ventana de visualización que teníamos anteriormente(1), piezas fijas y móviles(2), pares cinemáticos(3), fuerzas(4) y resultados gráficos (4).

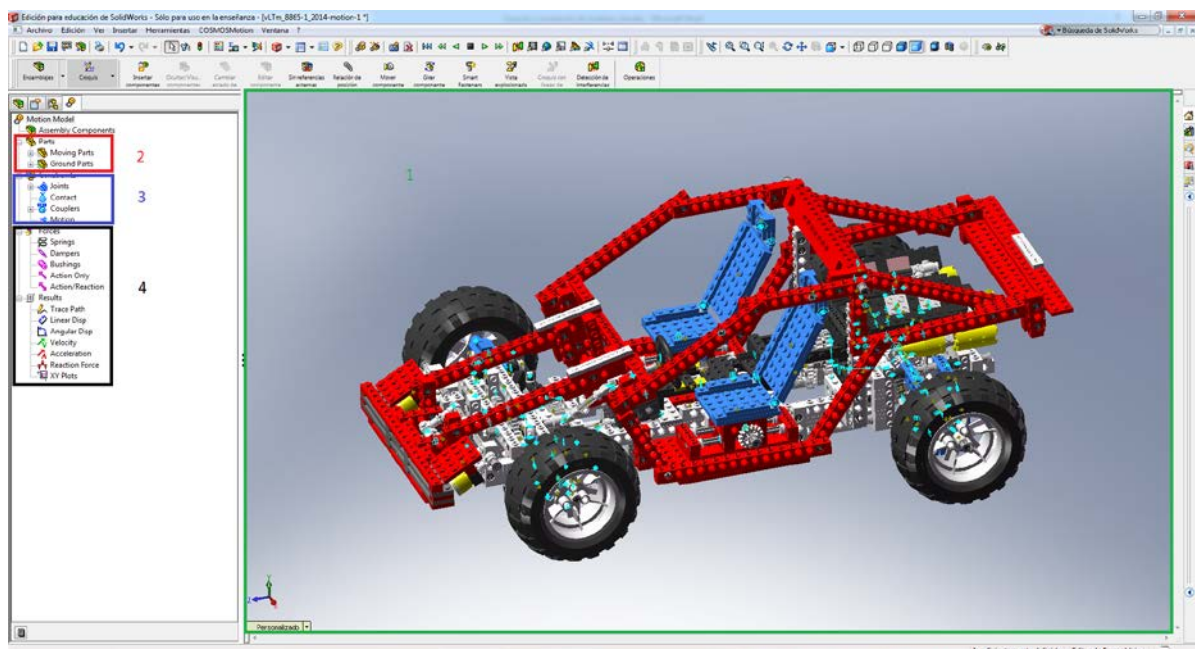


Figura 32-Interfaz COSMOS Motion.

5.6.2 Piezas fijas y móviles

El primer paso para la creación del modelo auto-alineado consiste en añadir cada una de las piezas del modelo, estableciéndolas como fijas o móviles. Tras haber fijado una de las piezas como fija, que suele ser el chasis de la máquina en cuestión, tenemos 0 grados de libertad. Cada pieza que establezcamos como móvil añadirá 6 grados de libertad al modelo, grados que restringiremos con los distintos pares cinemáticos a nuestra disposición, con lo cual conseguiremos el movimiento deseado en el mecanismo.

5.6.3 Pares cinemáticos

Al añadir cada uno de los pares necesarios a la pieza, estamos especificando cómo están conectados los cuerpos rígidos del modelo, por tanto será necesario conseguir una fiel representación de la realidad, imitando las uniones que este modelo tendría. Dicho esto, puesto que el objetivo es conseguir un mecanismo con 0 grados de libertad, y 0 restricciones en exceso, deberemos combinar estos pares de manera correcta para conseguir el modelo auto-alineado buscado. Si nos fijamos en la Figura 33, los pares establecidos en este modelo concreto están representados en azul.

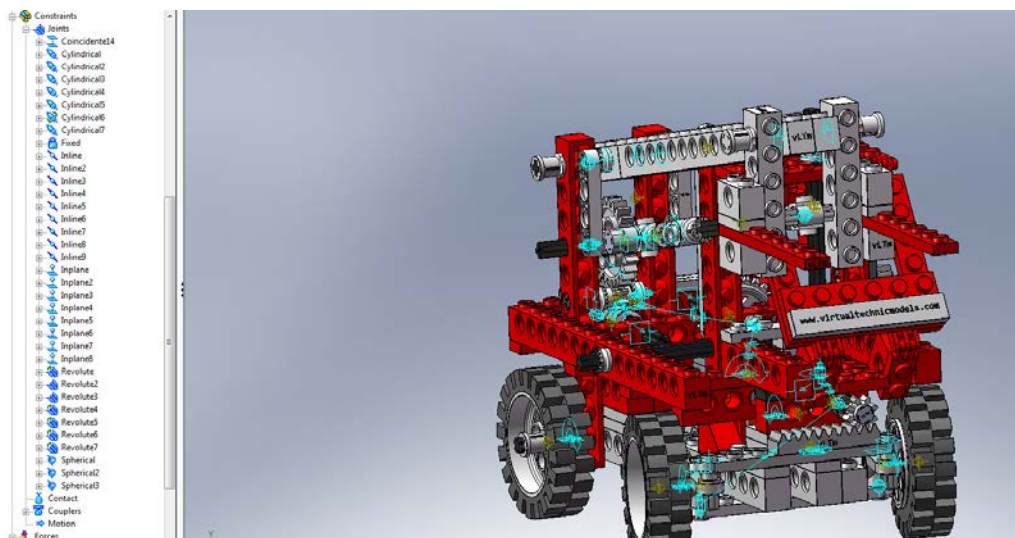


Figura 33-Pares o "joints" creados en COSMOS Motion para el modelo virtual.

Detallaremos a continuación cada uno de los pares cinemáticos a emplear en la herramienta COSMOS Motion.

5.6.3.1 Revolución

El par de revolución permite la rotación de uno de los cuerpos que intervengan, alrededor del otro, y puede estar situado en cualquier punto del eje alrededor del cual gire. Supone, por tanto, un grado de libertad, el de rotación alrededor del eje en el que se encuentre situado.

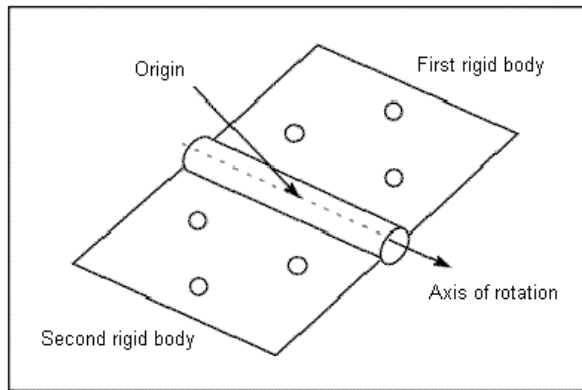


Figura 34-Par de revolución.

Será necesario en el entorno del programa especificar dos cuerpos, el origen y la orientación del par. Sin embargo, si en uno de los cuerpos seleccionamos desde un principio una arista cuyo centro de curvatura es precisamente el origen donde queremos situar el par, no habremos de definir ni origen ni orientación, pues lo hará la aplicación por nosotros.

Tras haber comprobado que el eje donde se ha creado el par es el correcto, habremos definido correctamente el par de revolución.

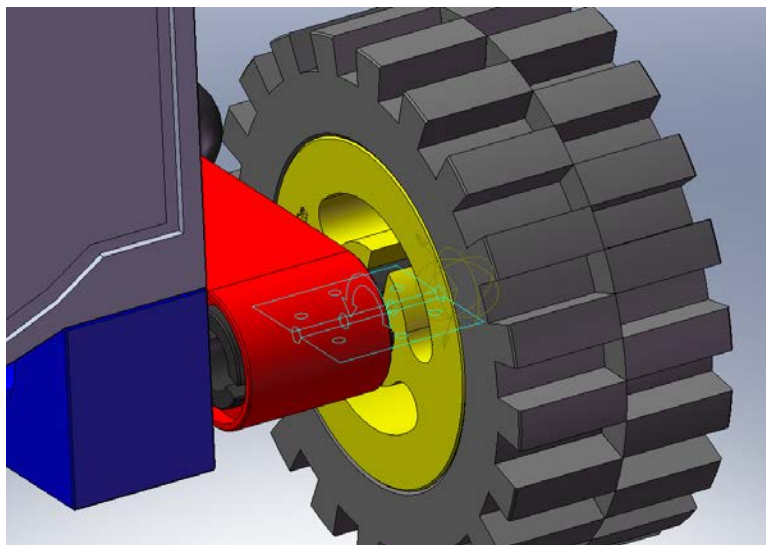


Figura 35-Par de revolución en COSMOS.

5.6.3.2 Cilíndrico

El par cilíndrico nos deja con dos grados de libertad, el de translación a lo largo del eje sobre el que esta su origen, y el de rotación alrededor de este mismo eje.

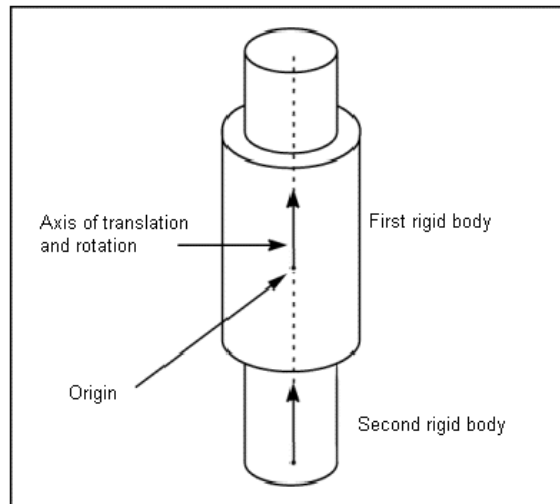


Figura 36-Par cilíndrico.

Para implementar este tipo de unión hay que seguir los mismos pasos que en el caso del par de revolución, especificando dos cuerpos, origen y orientación.

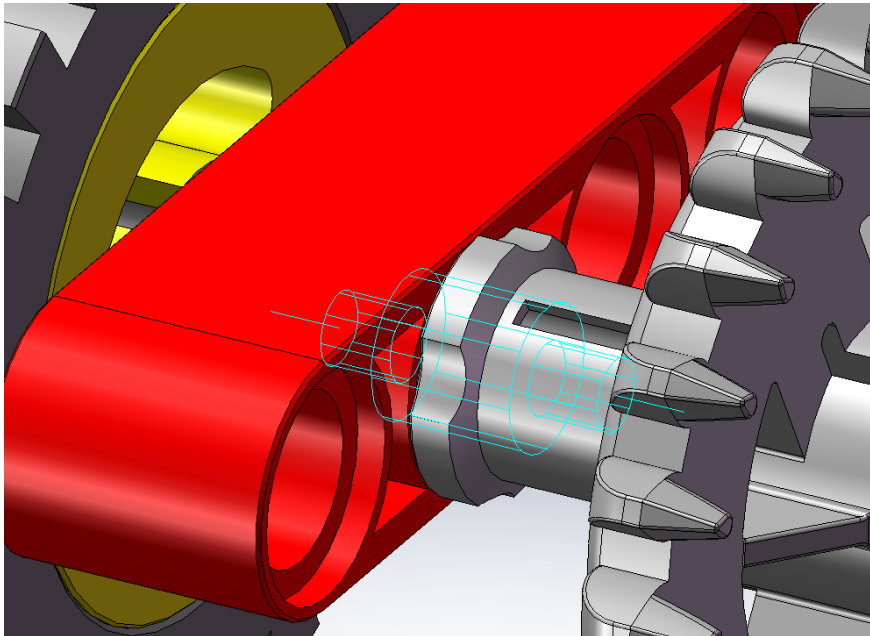


Figura 37-Par cilíndrico COSMOS.

5.6.3.3 *Esférico*

Este par implica la definición de un punto sobre el cual podrán rotar los cuerpos, supone quedarnos con tres grados de libertad correspondientes a cada una de las rotaciones respecto a los tres ejes.

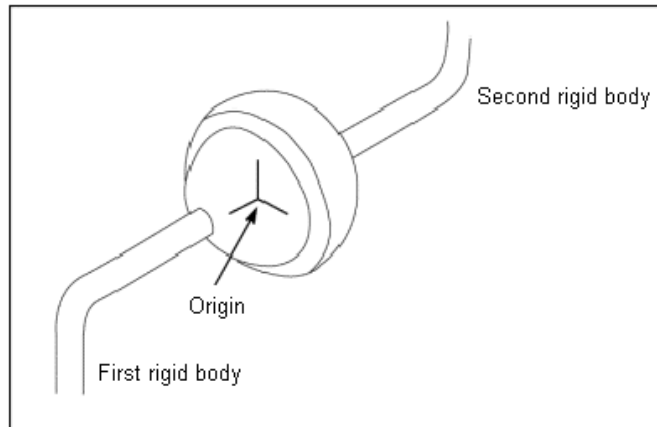


Figura 38-Par esférico.

La posición de este par respecto a los dos cuerpos es muy importante, ya que el giro relativo se producirá a partir del origen donde este esté situado, por tanto en uniones como la que podemos ver en la siguiente figura, será necesario a priori abrir la pieza y, mediante el empleo de un croquis, definir un punto situado en el centro de la superficie esférica. Así a la hora de crear el par esférico podremos elegir como origen este punto, permitiendo el movimiento que queríamos conseguir.

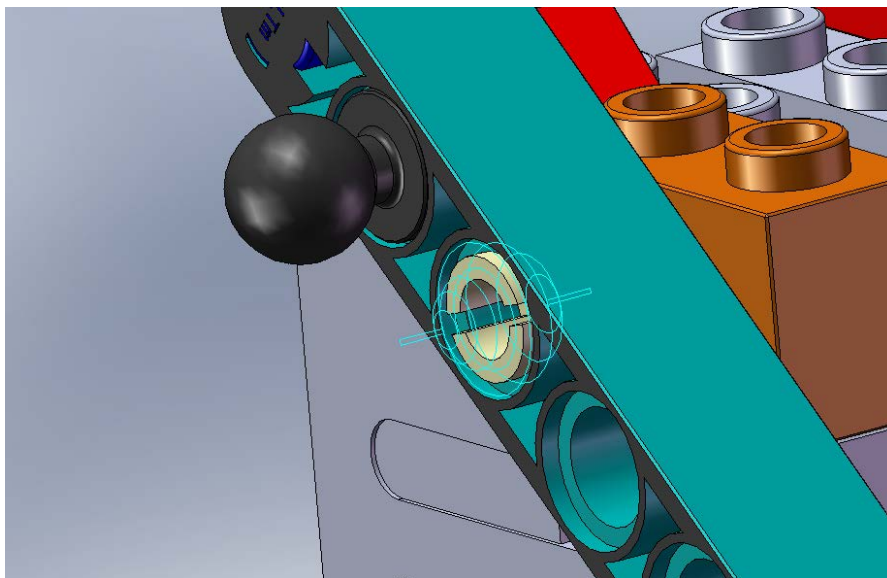


Figura 39-Par esférico COSMOS.

5.6.3.4 Translación

El grado de libertad que deja libre este par es obvio, la translación a lo largo del eje sobre el que está situado.

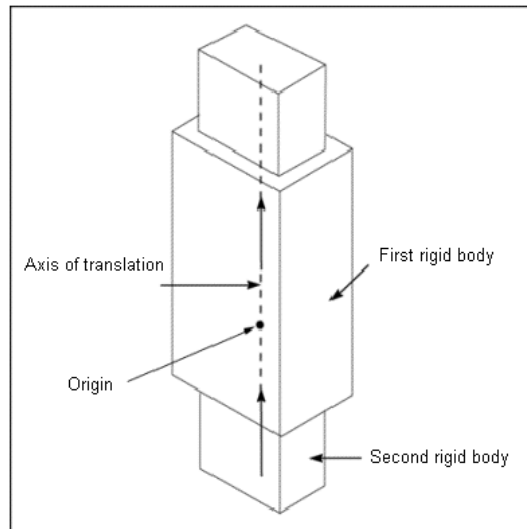


Figura 40-Par de translación.

Para implementar este tipo de par en COSMOS Motion, deberemos seleccionar una cara o arista que, además de suponer la implicación de este cuerpo en la unión, marcará la dirección de desplazamiento (perpendicular a la cara escogida), y posteriormente seleccionar el segundo cuerpo. Podremos cambiar tanto dirección como origen sin ningún problema en caso de equivocación.

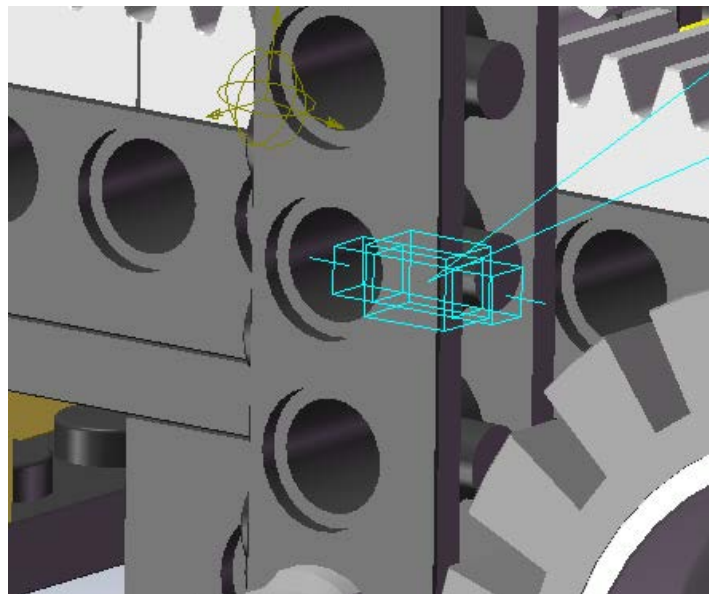


Figura 41-Par de translación.

5.6.3.5 Universal

El par universal representa una unión Hooke, y supone dos grados de libertad, por tanto puede sustituir en un modelo a una unión Hooke. Sin embargo, nosotros empleamos los componentes que juntos forman la unión Hooke, luego este par no será empleado en este proyecto.

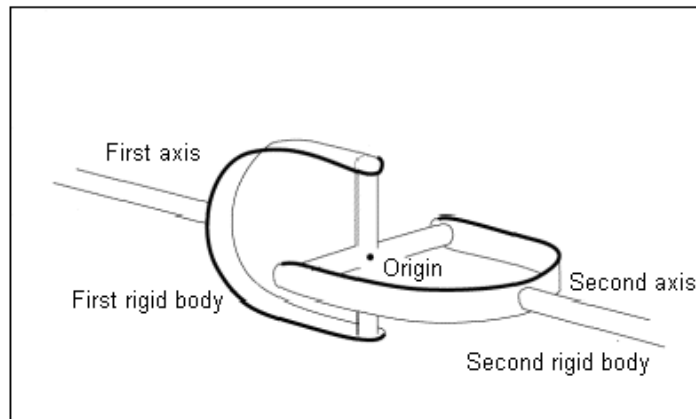


Figura 42-Par universal.

La junta Hooke empleada en los modelos Lego© Technic estará representada en figuras posteriores, ya que posee una gran importancia en la creación de modelos Lego©.

5.6.3.6 Planar

Permite deslizarse a un cuerpo sobre la superficie de otro, y girar respecto a la dirección normal del mismo.

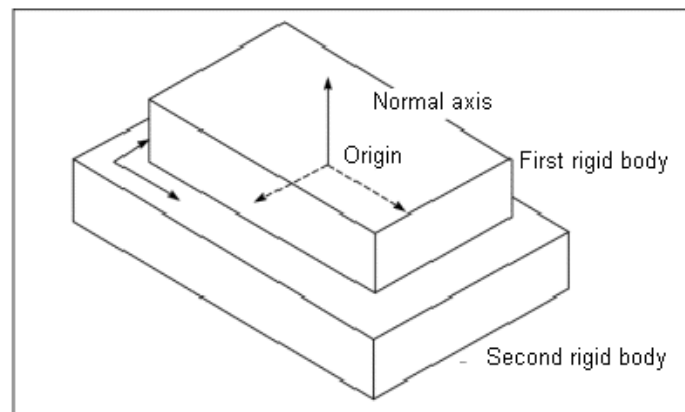


Figura 43-Par planar.

5.6.3.7 Fijo

Se incluye en esta categoría porque así figura en la lista de pares cinemáticos del programa, pero realmente no actúa como un par, ya que impide el movimiento relativo entre dos cuerpos, comportándose ambos cuerpos como una única entidad.



Figura 44-"Par" fijo.

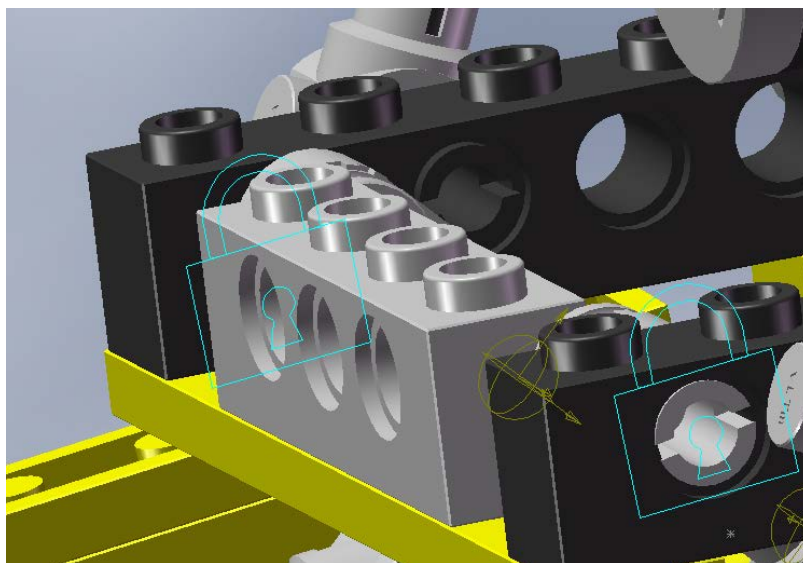


Figura 45-"Par" fijo COSMOS.

También podemos encontrar un par de tornillo, del que en nuestro caso, debido a la facilidad de unión entre las piezas Lego®, no hemos hecho uso. Este implicaría un solo grado de libertad, considerándose que restringe 0.5 GDL de rotación y 0.5 GDL de traslación

5.6.4 Otros pares

Dado que los siguientes pares suponen una restricción de geometría es necesario clasificarlos de otra forma, optamos por incluirlos en la categoría de pares primitivos. Hablaremos en concreto de cuatro tipos de pares utilizados en el proyecto: en la línea, en el plano, paralelismo y perpendicularidad.

5.6.4.1 En la línea

Supone la restricción de encontrarse en una línea, es decir, cuatro grados de libertad permitiendo tanto translación como rotación a lo largo de la misma.

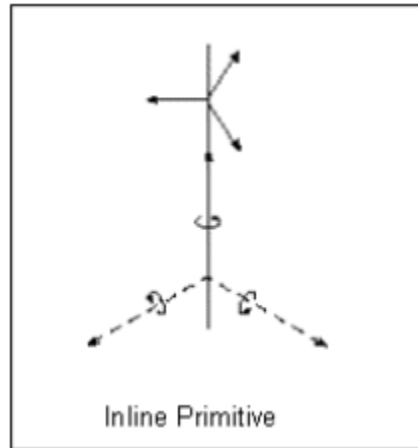


Figura 46-Par en la línea.

Este par es ampliamente utilizado en el proyecto, junto con un par esférico, puesto que ambos forman el equivalente de un par de revolución, aportándonos la ventaja de, en un futuro, poder obtener las fuerzas de reacción de una forma más próxima a la realidad. De esta forma el conjunto esférico-en la línea nos concederá un grado de libertad.

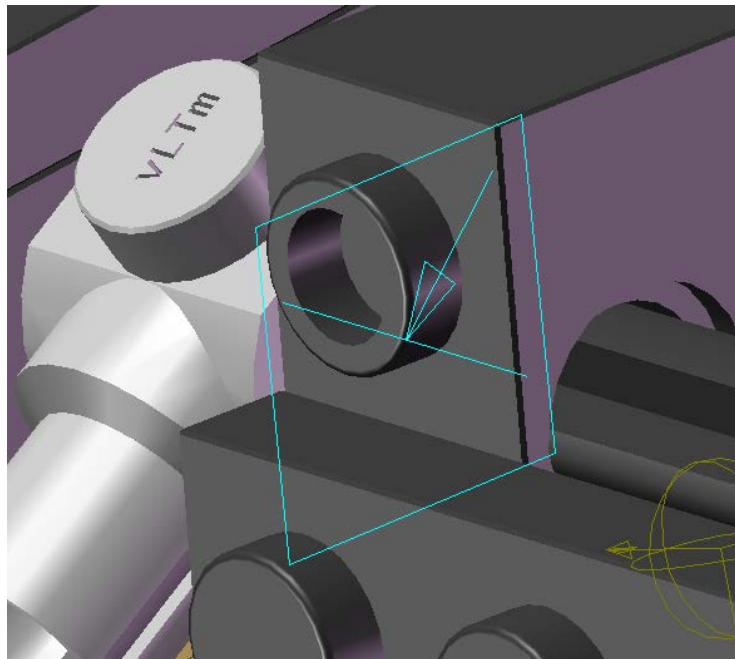


Figura 47-Par "in line" COSMOS.

5.6.4.2 En el plano

Permite simplemente el movimiento de un cuerpo sobre un plano contenido en otro cuerpo, restringiendo una de las translaciones que tendría el cuerpo con sus tres grados de libertad.

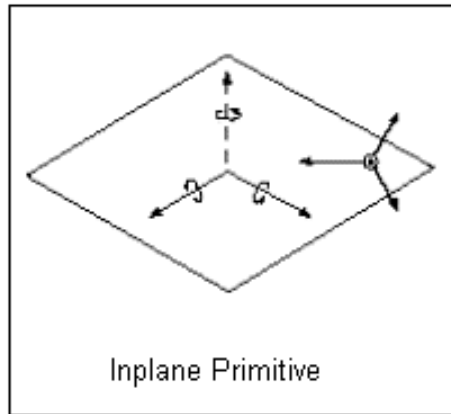


Figura 48-Par en el plano.

Tal y como hemos visto en el anterior par, de la misma manera que con la combinación esférico-en la línea conseguimos un equivalente al par de revolución, con la combinación cilíndrico-en el plano conseguimos esta misma equivalencia. Esta combinación tendrá una ventaja respecto a la anterior, será posible acoplar, como vemos posteriormente, el cilíndrico con otros pares (mientras que un esférico nunca se podría acoplar).

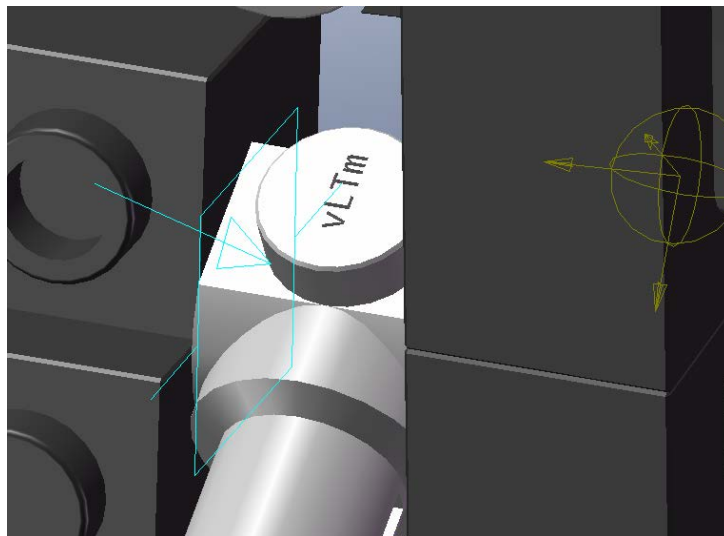


Figura 49-Par "in plane" COSMOS.

5.6.4.3 Paralelismo/Perpendicularidad

Implica que dos ejes pertenecientes a cada uno de los cuerpos sean paralelos o perpendiculares entre sí. El par de paralelismo restringirá dos grados de libertad, mientras que el de perpendicularidad restringe únicamente un grado de libertad.

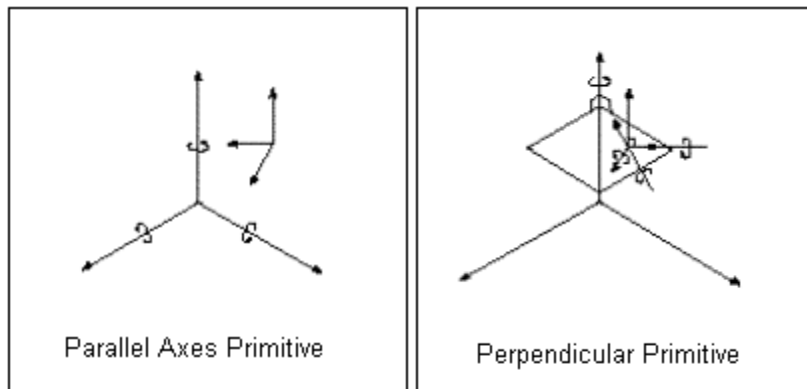


Figura 50-Pares paralelo/perpendicular.

5.6.5 Resumen pares cinemáticos y primitivos

Por tanto recopilando cada uno de los pares anteriores, obtenemos la tabla siguiente en la cual podemos observar cada uno de los grados de libertad que restringen estos pares, y el total de grados restringidos por los mismos.

	Tipo de par	Restricciones en translación	Restricciones en rotación	Total GDL restringidos
<i>Pares cinemáticos</i>	Revolución	3	2	5
	Cilíndrico	2	2	4
	Esférico	3	0	3
	Translación	2	3	5
	Universal	3	1	4
	Planar	1	2	3
	Fijo	3	3	6
<i>Pares primitivos</i>	En la línea	2	0	2
	En el plano	1	0	1
	Paralelo	0	2	2
	Perpendicular	0	1	1

Tabla 1-Resumen pares y grados de libertad de cada uno.

5.7 Transmisión del movimiento: acoplamientos

Tras haber introducido cada uno de los pares que es posible utilizar en la aplicación informática, queda establecer lo que en la etapa de modelado eran relaciones de posición avanzadas (engranajes, piñón-cremallera, etc.). Para ello en COSMOS Motion tenemos a nuestra disposición una herramienta llamada **acoplamientos**. Con ella es posible establecer una relación de movimiento entre dos pares o “joints” como se llaman en el programa siempre que estos sean un par de revolución, uno cilíndrico o un par de translación.

La relación se establecerá, como vemos en la Figura 51, en base al número de dientes de los engranajes que intervengan, o en base a los diámetros si hemos de relacionar ambas partes de una polea.

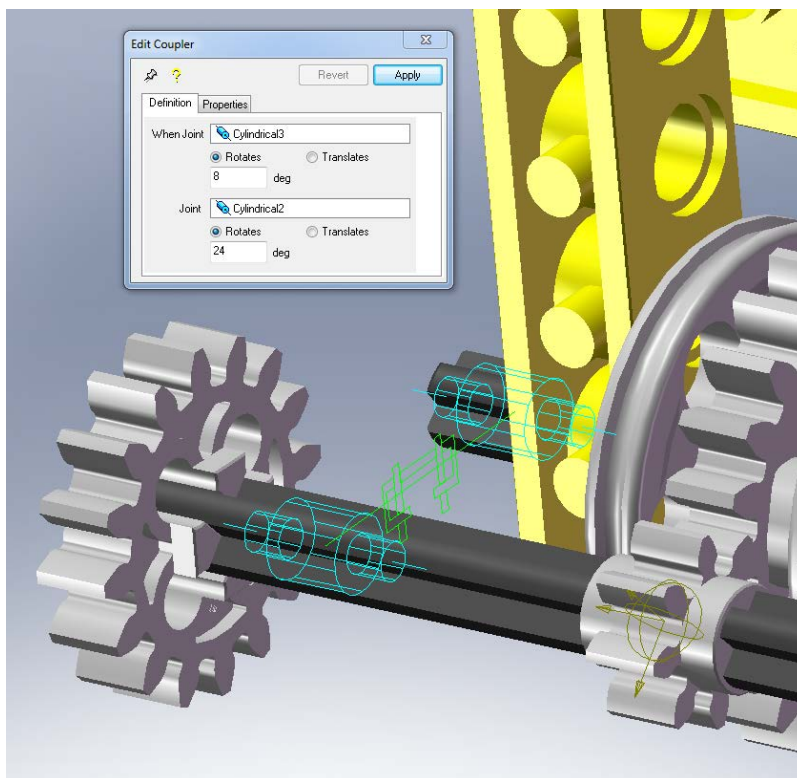


Figura 51-Acoplamiento entre engranajes de 8 y 24 dientes.

Esto es debido a que la relación entre los grados de giro de cada par será la misma que la relación existente entre el número de dientes de los engranajes. Cabe decir que, si bien la condición de engranaje conducido y conductor quedará establecido internamente en el programa, tendremos que prestar especial atención al sentido de giro de cada uno de los engranajes, ya que este dependerá únicamente de cómo se hayan establecido cada uno de los pares que se relacionan en el acoplamiento. Para cambiar el sentido de engrane únicamente deberemos cambiar el signo a la relación establecida en el acoplamiento, es decir, cambiar el signo a cualquiera de los dos valores a introducir.

Podemos encontrar dos tipos de acoplamiento en los que hay que prestar especial atención, ya que difieren del acoplamiento entre dos engranajes comunes, estos son el engranaje *piñón-cremallera* y el engrane con un *tornillo sin fin*.

5.7.1 Piñón-cremallera

En el acoplamiento que permita el desplazamiento de la cremallera por cada grado que gire el piñón intervendrán uno de los pares en el eje del piñón y el par encargado de la translación de la cremallera.

Es posible que nos encontremos una cremallera en la cual se produzca un desplazamiento tal que pueda emularse con un par de translación. En tal caso simplemente deberemos establecer cuánto se desplazaría el par de translación (en mm) ante un giro concreto del engranaje.

El procedimiento en caso de no poder llevar a cabo el acoplamiento explicado anteriormente es un poco más complejo, ya que tendremos que buscar otro tipo de referencias. En el caso de la Figura 52, nos encontramos con una dirección de un vehículo, en la cual tuvimos que buscar empleando cálculos geométricos sencillos, la relación existente entre el giro del piñón y el giro de las ruedas.

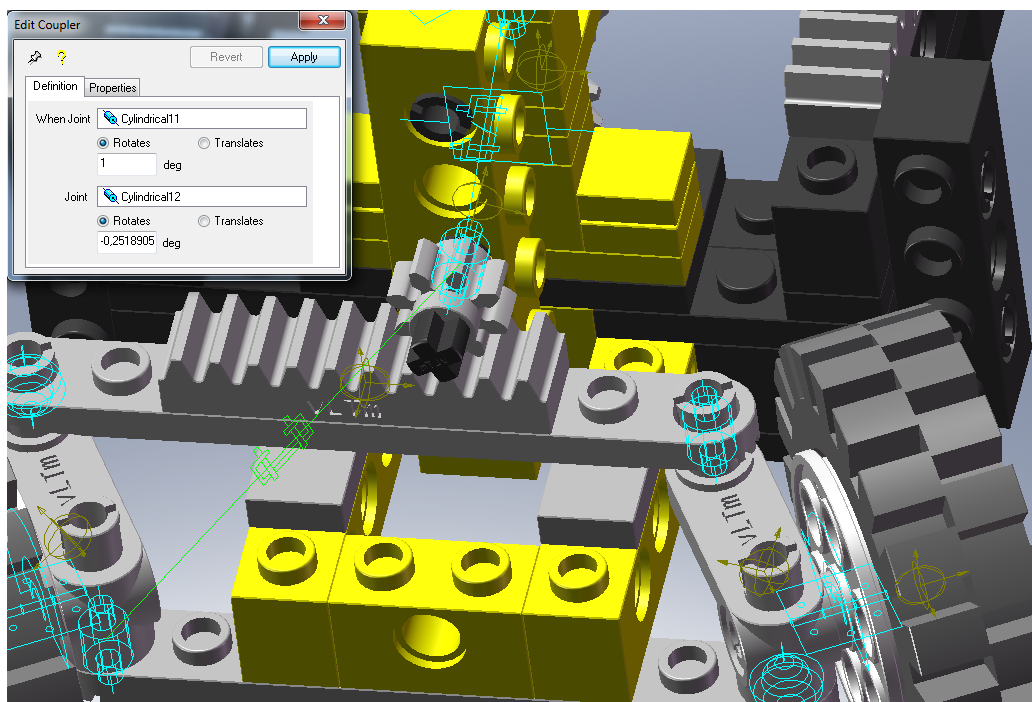


Figura 52-Acoplamiento piñón-cremallera.

5.7.2 Tornillo sin fin

En el caso de necesitar acoplar un engranaje cualquiera con un tornillo sin fin, el procedimiento a seguir será el mismo que si se tratase de un engranaje común, teniendo en cuenta siempre que consideraremos, como vimos en la parte de modelado, el tornillo sin fin como un engranaje de un único diente.

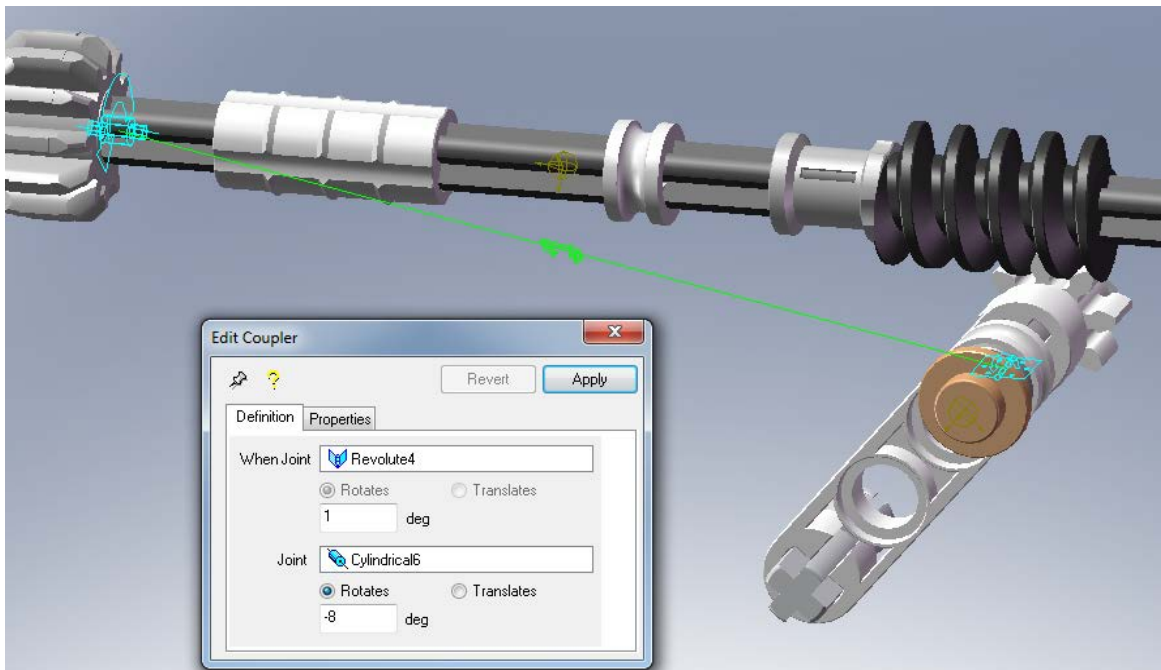


Figura 53-Acoplamiento con tornillo sin fin.

5.8 Comprobación

Tras haber creado cada uno de los pares correspondientes, y establecido todos los acoplamientos entre los engranajes del mecanismo en cuestión, se abre una etapa de comprobación de los grados de libertad obtenidos, así como de las restricciones en exceso.

Para ello COSMOS Motion nos proporciona una herramienta que, como vemos en la Figura 54, nos detalla tanto los grados de libertad que tendrá el mecanismo, como las relaciones en exceso si es que existen. Hemos de recordar que nuestro fin es conseguir un mecanismo auto-alineado, por tanto, generalmente no será admisible la aparición de relaciones en exceso (o “redundant constraints”).

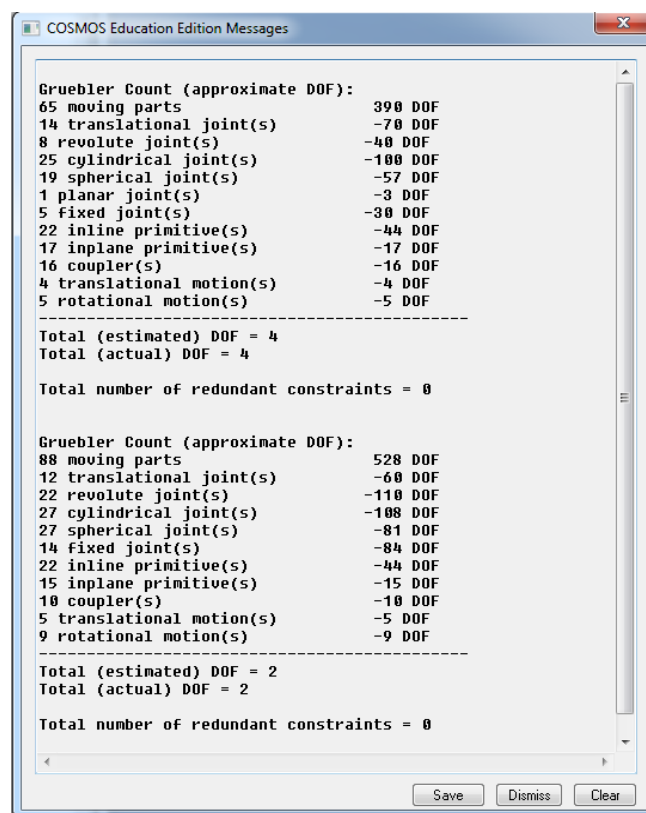


Figura 54-GDL del modelo vltm_8865-1.

Una vez hemos comprobado que tenemos tantos grados de libertad como se esperaban del mecanismo, podemos pasar a la última etapa del proyecto, la simulación del mecanismo auto-alineado.

6 SIMULACIÓN DE MODELOS VIRTUALES LEGO® TECHNIC

6.1 Presentación

Finalizados cada uno de los módulos anteriores, a saber, modelado y creación de un mecanismo cinemático auto-alineado, tenemos un modelo virtual con cada uno de los pares implementados y con un determinado número de grados de libertad, por tanto con el fin de simular los movimientos del modelo Lego® Technic real, deberemos conducir cada uno de estos grados de libertad estableciendo movimiento en alguno de los pares cinemáticos previamente implementados.

En este proyecto hemos optado por crear dos archivos de ensamblaje distintos al archivo que obtenemos de la etapa de modelado: uno de ellos contendrá el modelo cuya simulación nos da una primera idea del movimiento del modelo, y otro con la simulación del modelo respecto a una base. Al primero de ellos le añadiremos en el nombre el sufijo “*-motion*” mientras que al otro le añadiremos “*-motion-base*”.

Mostraremos a continuación cada uno de los tipos de movimiento que podemos crear, gracias al apartado de la herramienta informática dedicado a ello, como vemos en la Figura 55.

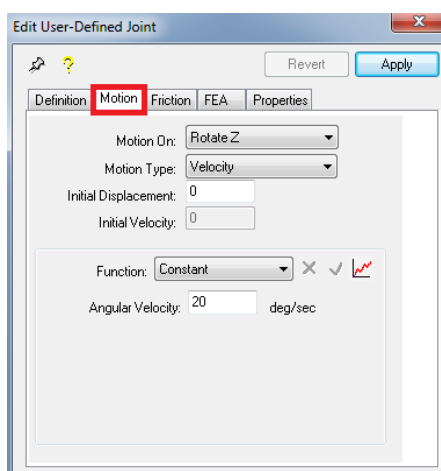


Figura 55-Pestaña "Motion" en COSMOS Motion.

6.2 Establecimiento de movimiento en los pares

Explicaremos, en primer lugar, las opciones básicas que nos permite modificar COSMOS Motion en lo referente al movimiento. Como podemos ver en la Figura anterior, en caso de tratarse de un par con varios grados de libertad, es posible conducir uno u otro seleccionándolo de la pestaña desplegable “Motion On”. De igual forma será posible alternar el tipo de movimiento, pudiendo alternar en la pestaña desplegable “Motion Type” entre una velocidad, un desplazamiento, etc.

COSMOS nos permite establecer movimiento en un par basándose en una serie de parámetros y tipos de expresiones muy diversas, a continuación detallaremos aquellas que por conveniencia hemos empleado en este proyecto.

6.2.1 Constante

El valor introducido, ya sea velocidad en grados por segundo, aceleración o desplazamiento será constante a lo largo de toda la simulación.

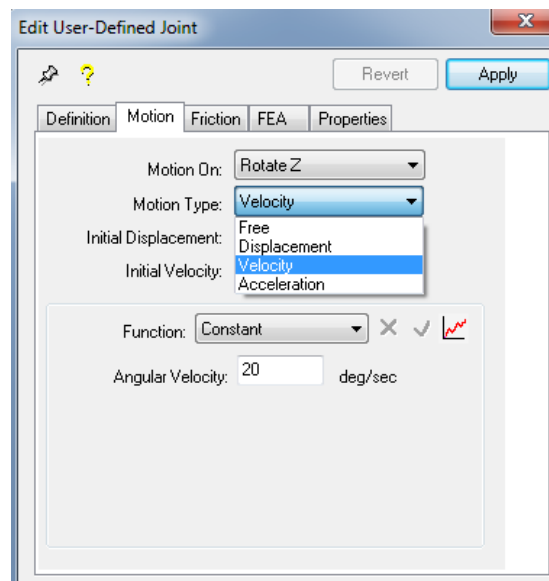


Figura 56-Constante.

6.2.2 Escalón (Step)

Tras haber introducido tanto un valor inicial y final como un instante de tiempo inicial y final, veremos como la magnitud elegida varía de forma suave desde este valor inicial hasta el final en el intervalo de tiempo establecido. Este tipo de movimiento ha sido de gran utilidad, ya que nos permite actuar sobre un impulsor o sobre cualquier actuador en el instante de tiempo en el que queramos. Si quisiésemos llevar a cabo en el actuador más de un tipo de movimiento, simplemente tendríamos que encadenar escalones, de forma que el actuador se desplazará hasta la posición indicada, para pasar posteriormente a la siguiente posición que se le ha marcado en el tiempo establecido.

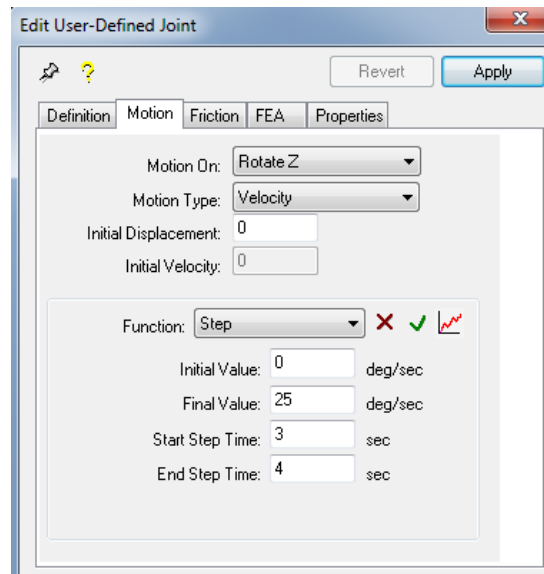


Figura 57-Escalón o “Step”.

Ilustraremos esto con un ejemplo aplicado a un cilindro, al enlazar comandos “step” obtenemos expresiones como esta, que podremos introducir directamente en COSMOS en el tipo de movimiento “Expression”:

$$\text{STEP}(\text{TIME}, 7.6, \text{STEP}(\text{TIME}, 7, 0, 7.5, 14.68), 8, 0)$$

Tal y como vemos, el primer “step” haría moverse al cilindro en el instante 7 s desde 0 hasta 14.68 grados por segundo, acabando en el instante 7.5. Posteriormente actuaría el segundo “step”, de forma que el cilindro en el instante 7.6 pasaría desde la posición final del primer “step” hasta 0, es decir, volvería al inicio en el instante 8 s.

Enlazar escalones nos ha permitido crear movimientos elaborados en modelos con multitud de actuadores.

6.2.3 Armónico

Con este tipo de movimiento podemos conseguir que el par se mueva siguiendo una función armónica, establecida por parámetros ya conocidos como amplitud, frecuencia, desfase o valor medio. Ha sido empleado en mecanismos como puede ser la dirección de ciertos vehículos, ya que queríamos mostrar todo el recorrido de esta dirección, y un movimiento armónico simple nos lo permitía.

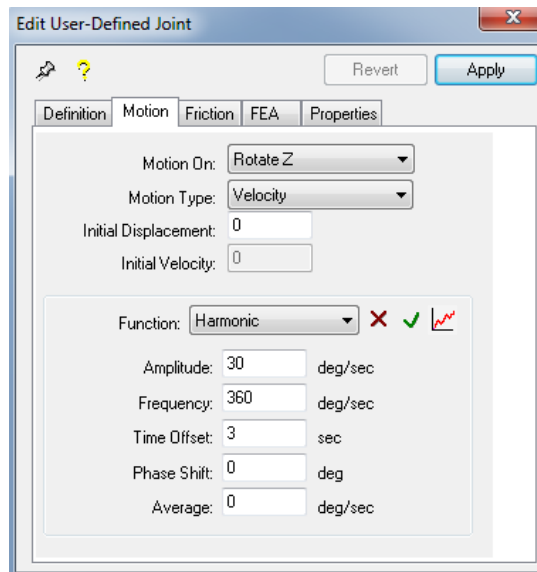


Figura 58-Armónico.

También era posible establecer otro tipo de movimientos como puede ser un “*spline*” de puntos establecidos uno por uno, o incluso la introducción de una expresión matemática en “lenguaje” de programación Adams, ya que COSMOS Motion está basado en el mismo.

6.3 Creación de la base

Una vez hemos establecido los movimientos a seguir por cada uno de los actuadores, tenemos que proceder con la creación de una base sobre la cual poder simular el modelo virtual en cuestión.

Tras haber creado un archivo “pieza” como vemos en la Figura 59, procedemos a crear un croquis en uno de los planos de la pieza, por conveniencia lo podemos crear en la planta, que es donde estará situado posteriormente en el modelo final.

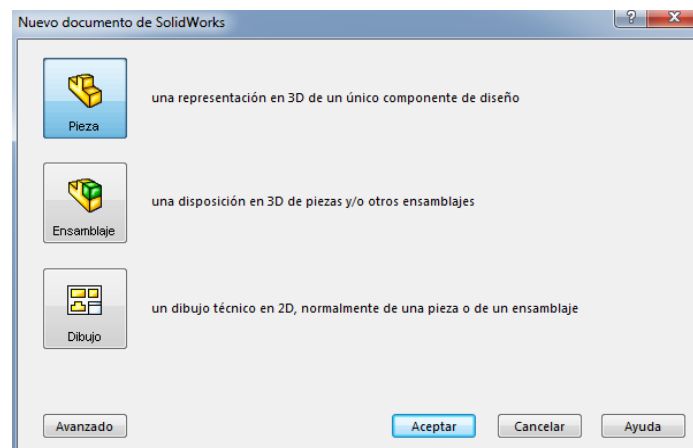


Figura 59-Creación de nueva pieza.

En este croquis crearemos un rectángulo, el cual acotaremos mediante la herramienta cota inteligente. No es necesario prestar mucha atención a estas cotas, pues simplemente están para permitirnos modificar las dimensiones de la base según nos convenga una vez esté insertada en el ensamblaje del modelo. Debemos ahora crear una extrusión de este rectángulo dejando la distancia extruida por defecto, 10 milímetros. Una vez hecho esto, basta fijar la apariencia para definir el color que queramos para la base, y la guardaremos siguiendo la nomenclatura explicada, en este caso se tratará de "...part-0000_2015".

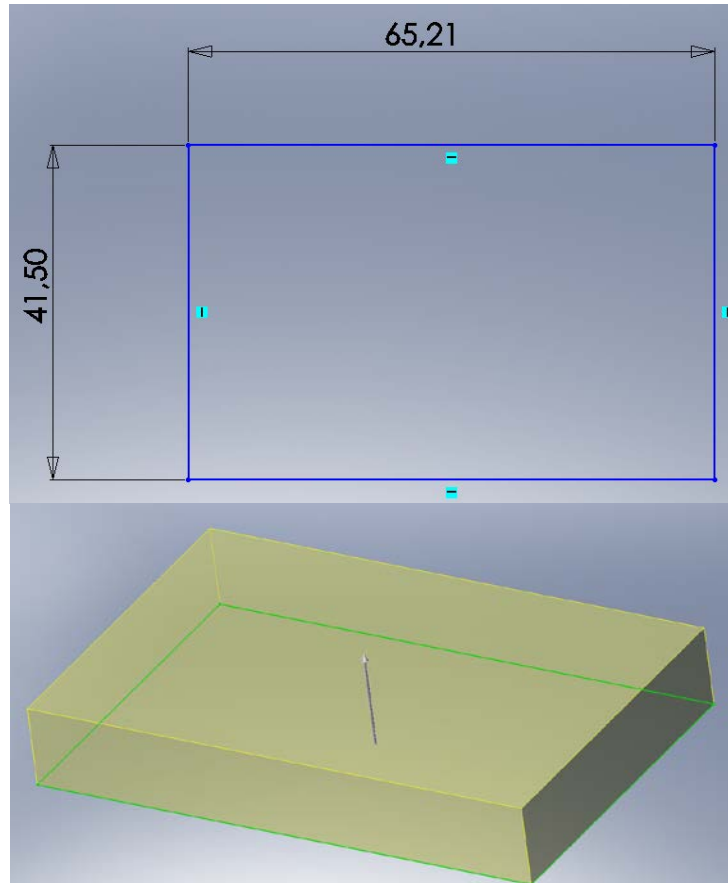


Figura 60-Proceso de creación de la base, croquis (arriba) y extrusión (abajo).

Una vez creada la insertaremos en el ensamblaje del modelo, y la posicionaremos correctamente mediante relaciones de posición de paralelismo entre sus caras y los planos alzado, planta, etc. Tras establecer el tamaño que consideramos correcto modificando in situ las cotas de la base, la dispondremos cerca de las ruedas, o en su defecto patas, del modelo.

Deberemos ahora, en COSMOS Motion, establecer la base como pieza fija y hacer móvil el chasis del modelo. Sin embargo, al hacer esto se crearían una serie de pares adicionales que resultan de las relaciones de posición establecidas en la etapa de modelado. Debido a esto tenemos dos opciones llegados a este punto: eliminar estos pares creados automáticamente, o bien definir la base como fija en la simulación respecto del chasis, definiendo un par fijo entre la base y el chasis (tras haber realizado una primera simulación podemos eliminar el "joint" fijo creado, pudiendo ya realizar la simulación respecto de la base).

6.3.1 Contactos 3D

Ahora tendremos que pasar otra vez a COSMOS Motion, con el fin de establecer un contacto entre la base y las ruedas, o entre la base y una superficie del modelo.

Para ello debemos emplear la herramienta "3D Contact" de COSMOS, la cual nos pedirá qué dos superficies en 3D queremos unir. Sin embargo, en ciertas ocasiones como puede ser con neumáticos con una forma irregular, este contacto no es posible de la forma tradicional. Para solucionarlo deberemos seguir una serie de pasos.

De igual forma que en la creación de la base, deberemos abrir la pieza del neumático, y crear una extrusión. El fin de esta extrusión será envolver completamente al neumático, lo que supondrá una superficie lisa sobre la cual realizar el contacto entre la base y la rueda. Posteriormente podremos ocultar esta extrusión dejando la rueda original a la vista.

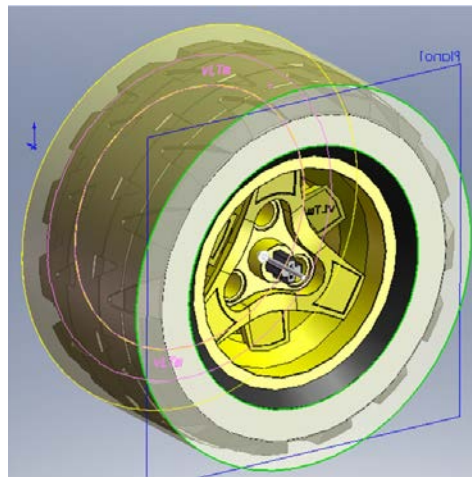


Figura 61-Ejemplo de extrusión sobre un neumático.

Para conseguir esta extrusión seguimos el mismo procedimiento, creamos un croquis en el plano de la rueda, creamos esta vez dos circunferencias entre las cuales estará contenida la extrusión y extruimos esta superficie creada una distancia igual a la anchura del neumático.

Posteriormente, siguiendo lo anteriormente explicado, realizamos el contacto entre ruedas, ahora lisas, y base, comprobando efectivamente que ahora no tenemos ningún problema.

6.3.2 Comprobación y opciones de la simulación

En primer lugar, siguiendo el método empleado anteriormente, podemos comprobar el número de grados de libertad que tenemos ahora, teniendo en cuenta que ahora el chasis es móvil, lo cual nos habrá sumado 6 grados de libertad a los que teníamos anteriormente. Si todo es correcto pasamos a establecer los parámetros de la simulación.

En estas ventanas de parámetros accesibles desde COSMOS Motion, podemos modificar factores como puede ser la gravedad (por defecto actuando sobre el eje Y) la cual habrá de estar definida como -1, el tiempo de simulación y el número de “frames” que queramos calcular en la simulación.

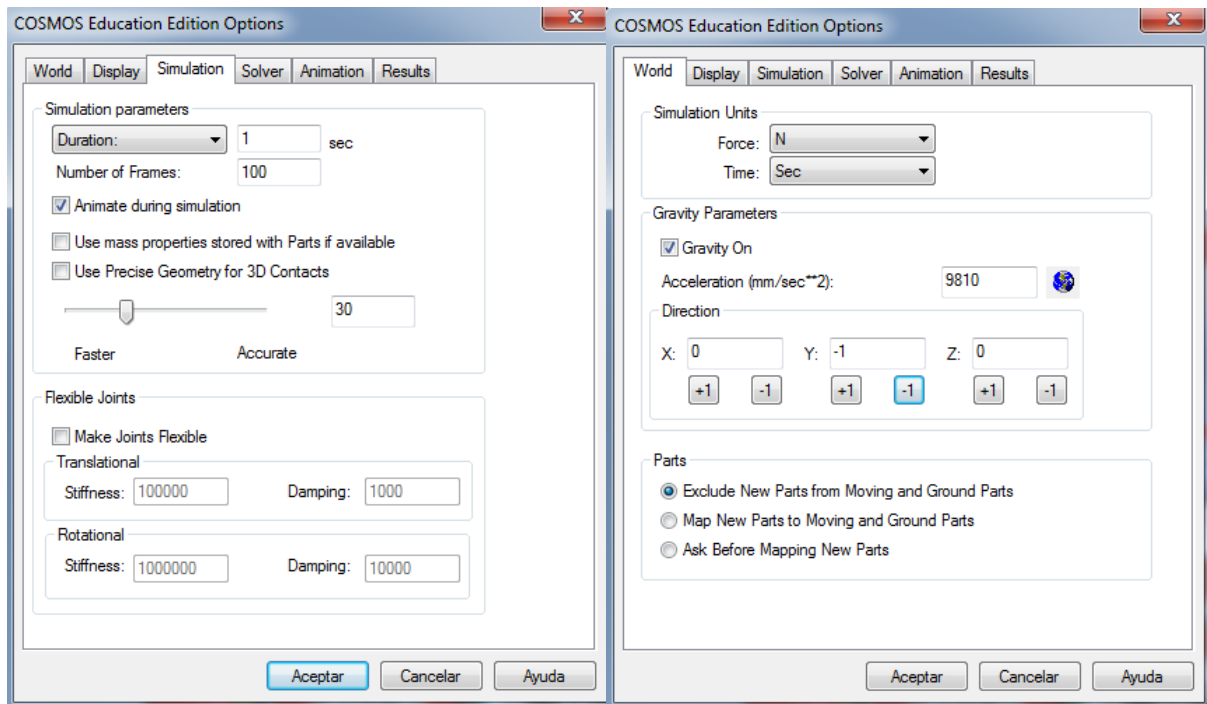


Figura 62-Opciones de simulación COSMOS Motion.

Llegado el momento de la simulación final, emplearemos no la versión SolidWorks 2007, sino la de 2014-2015. Esto es debido a que en modelos complicados el cálculo a nivel computacional es complicado, y funciona mejor tras años de corrección de errores.

Tras haber hecho una copia de todos los archivos lo abrimos con esta versión de SolidWorks, y en la pestaña de Análisis de movimiento encontraremos lo que buscamos, el botón de inicio de la simulación.

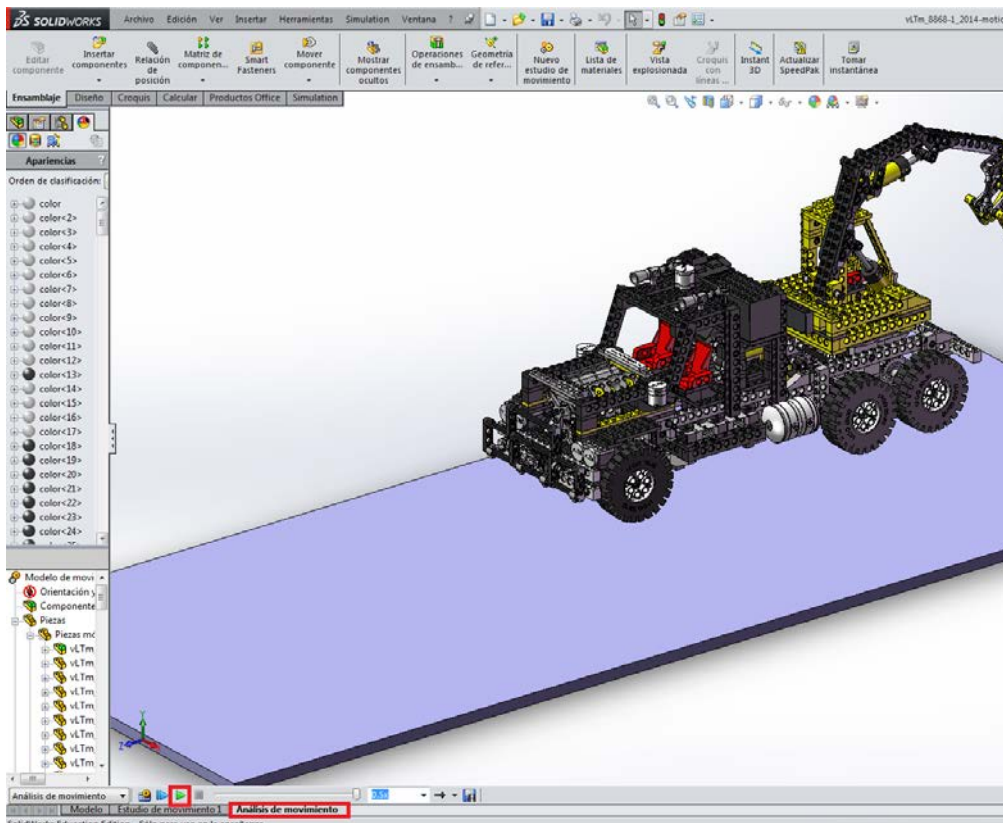


Figura 63-Interfaz SolidWorks 2014-2015. Simulación.

Por su utilidad y facilidad de acceso guardaremos el modelo con su simulación en formato eDrawings con el fin de que un futuro usuario pueda identificar alguna de las piezas del modelo. Además, guardaremos un archivo de vídeo (.mp4) de cada una de las simulaciones para mostrar de una forma clara cada uno de los movimientos del modelo real de Lego© Technic.

7 CREACIÓN Y SIMULACIÓN DE MODELOS VIRTUALES

A continuación se mostrarán todos los modelos creados siguiendo las pautas establecidas en el módulo de modelado y, posteriormente, la creación del mecanismo auto-alineado y la simulación de multitud de modelos.

A modo de partida es necesario mostrar las páginas web utilizadas tanto para el proceso de identificación de los componentes y piezas de algunos de los siguientes modelos, como para seleccionar los modelos a crear en base a su dificultad.

En primer lugar, a la hora de seleccionar cada modelo a construir, hicimos uso de la web que creó el tutor para este propósito, www.virtualtechmodels.com, así como webs en las que se catalogan todos los “sets” Lego® existentes: www.lego.com, www.lego.com/es-es/technic, etc.

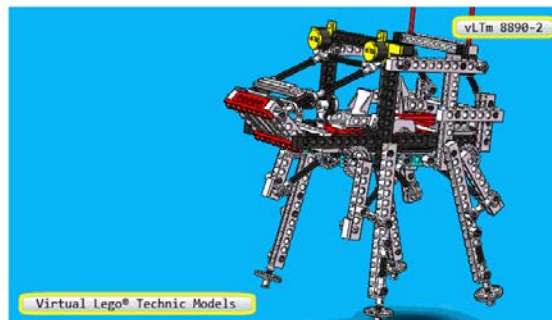


Image 1.1.- Virtual Model vLTm 8890-2 in motion.

In this site you'll find a bunch of virtual Lego® Technic models (vLTm) all ready to be assembled from its parts with a CAD program. They are based on real Lego® Technic models (LTm) of all time with minor modifications.

All parts that have each one have the ability to move in the CAD model completely assembled within limits which are or may be established. They are formed by a set of virtual Lego® Technic components who have no relative motion between them. Once assembled in the CAD program of your choice, the parts that each one has will be able to move between each other within the established limits, and you will be able to observe their movements in the same way that if you had the real model in your hands. Each of those parts was created with the Solid Edge CAD program from a set of virtual Lego® Technic components, by imposing as condition that they had no movement between them. Doing it this way the number of parts of any model is very small compared with the number of components needed to create it. So the time required for the assembly is significantly lower than what you would need if it had to be assembled from its components, as is done in the actual model.

To see how to do and to do it by yourself, in the description of model vLTm 8816-1 you will find a video in which the assembly process of this model is shown from its parts. It is the first of those available.



Figura 64-Página web del tutor en la que encontramos multitud de modelos virtuales a construir.

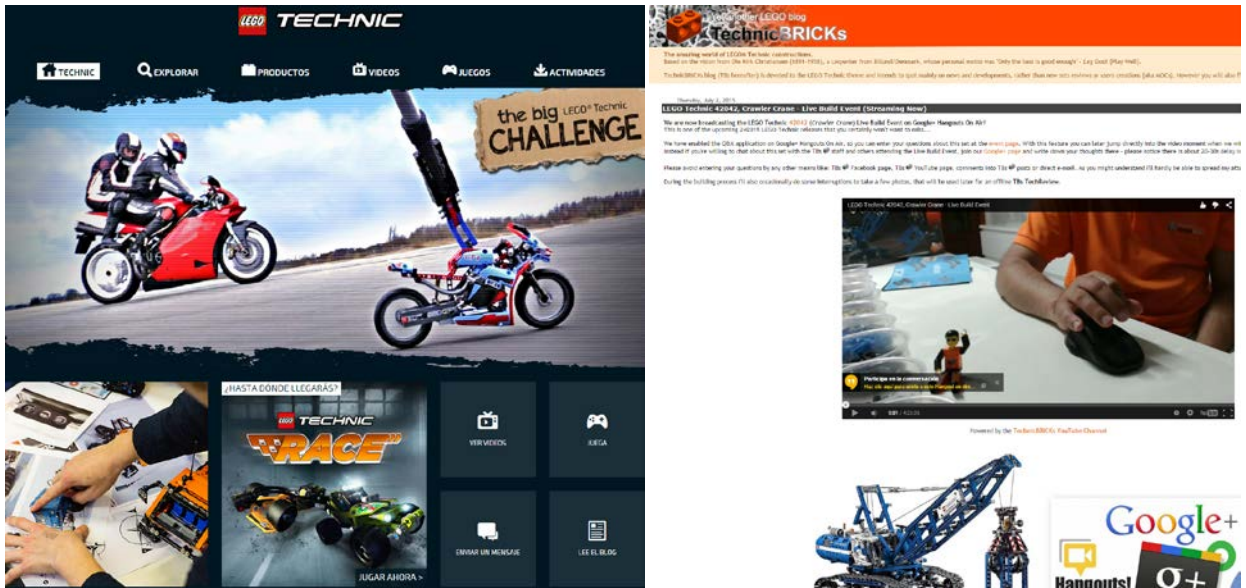


Figura 65-Otras páginas web que nos ayudan a escoger el modelo Lego® a realizar: www.lego.com, www.technicbricks.com.

A la hora de identificar los componentes virtuales necesarios en la creación virtual de cada modelo, son de gran utilidad webs como www.bricklink.com o www.brickset.com, ya que nos permiten acceder a listados de componentes que conforman un determinado modelo.

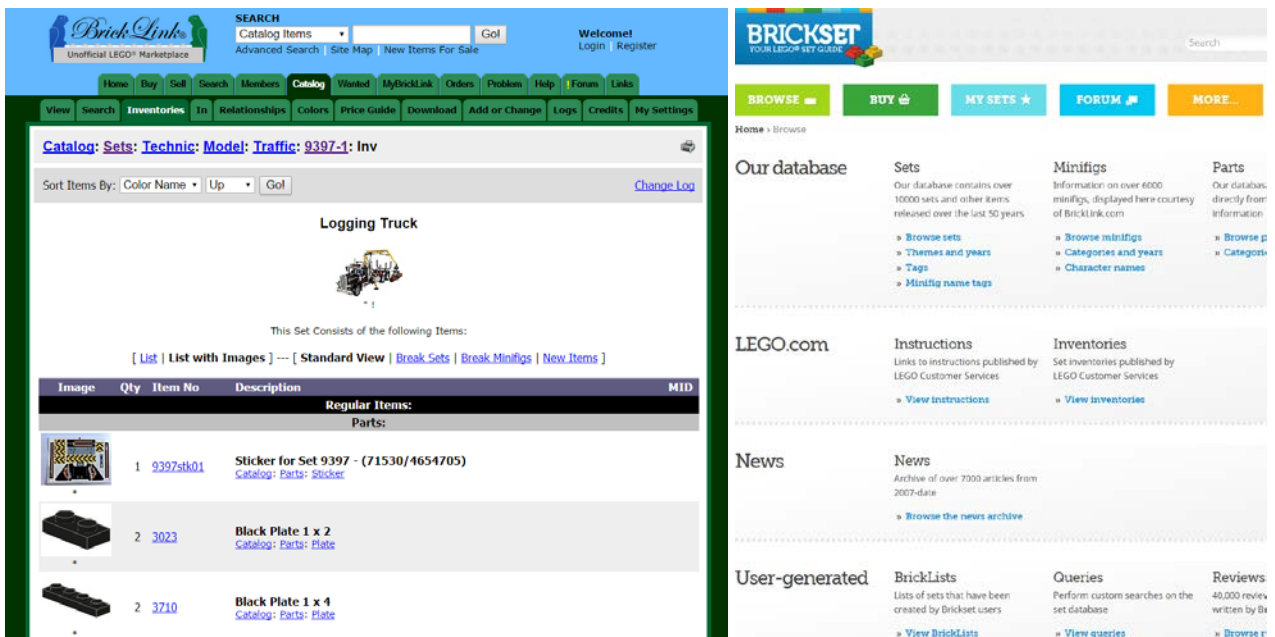


Figura 66-Páginas web www.bricklinks.com (izquierda) y www.brickset.com (derecha).

7.1 Familiarización con el modelado: Modelos Isogawa.

Se excluyen de la simulación los mecanismos extraídos directamente del libro de Isogawa Yoshihito pues, como hemos explicado, tenían como fin familiarizarnos con el entorno del programa y con algunos de los mecanismos que posteriormente utilizaríamos de forma más extensa. Todas las figuras que emplearemos a continuación para mostrar el mecanismo real han sido extraídas del libro LEGO® Technic Tora no Maki. Consideraremos que en los modelos creados se pueden identificar claramente los componentes empleados, luego solo los mostraremos en modelos más complejos.

Los mecanismos que consideramos oportuno crear en el entorno virtual son los siguientes.

7.1.1 TORA-002

Mecanismo cuyo fin es introducirnos en el uso de relaciones de posición de engranajes.

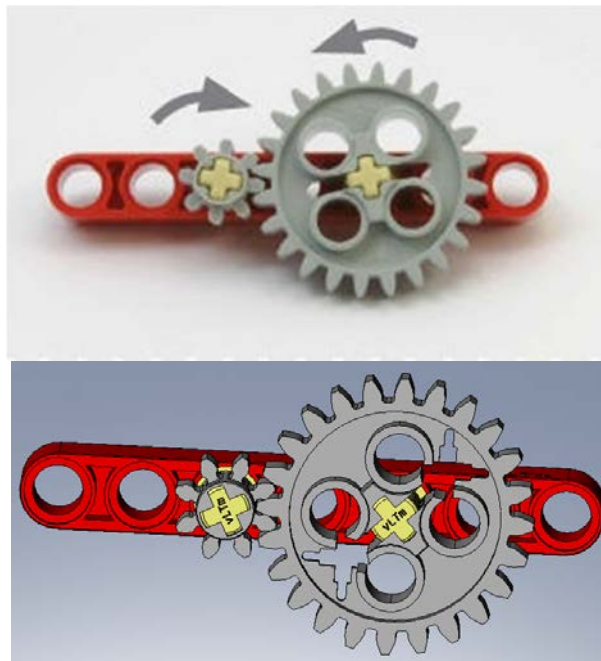


Figura 67-Modelo TORA-002, real y virtual.

7.1.2 TORA-008

Con este modelo aprendemos el tipo de relaciones a emplear para unir componentes Lego® con “botones”.

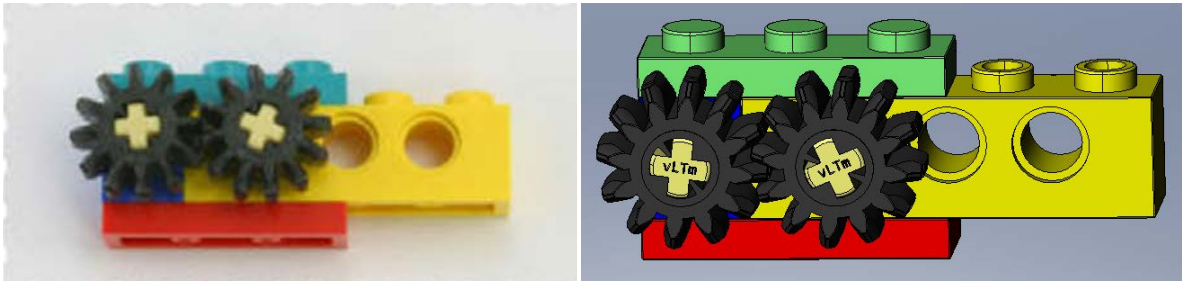


Figura 68-Modelo TORA-008, real y virtual.

7.1.3 TORA-009

El objetivo de la creación virtual de este modelo es el empleo de componentes Lego© como puede ser el eje.

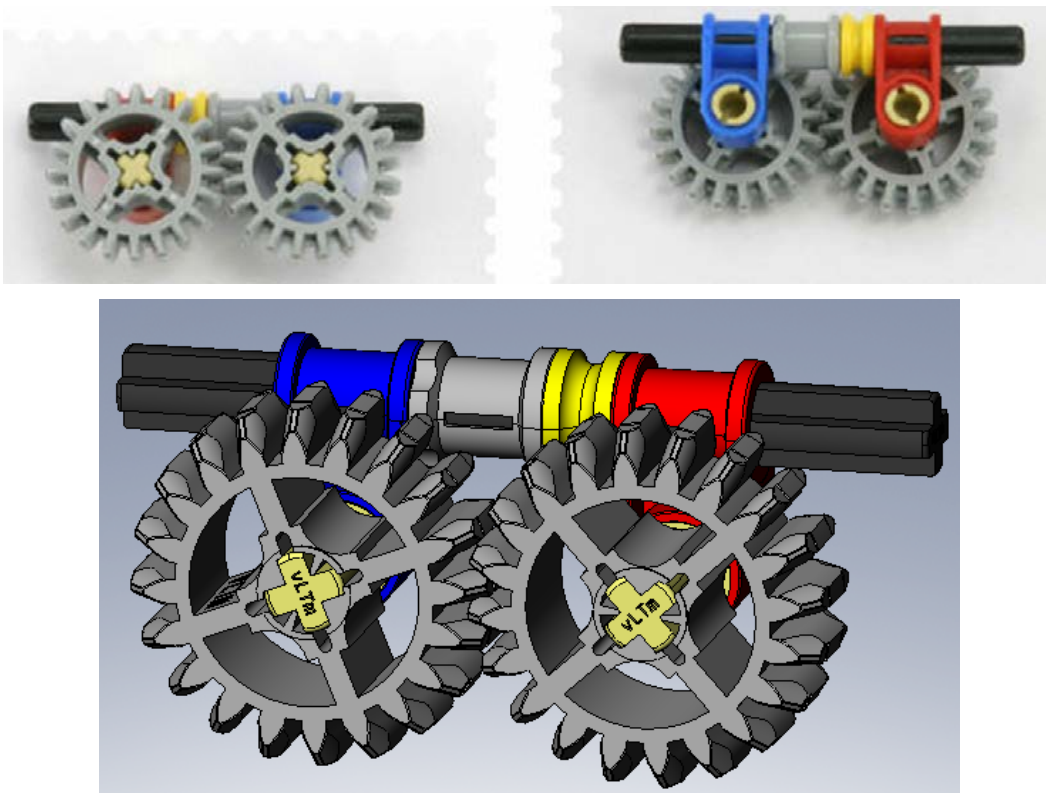


Figura 69-Modelo TORA-009, real y virtual.

7.1.4 TORA-013

Su fin es la familiarización con el uso de engranajes, y las relaciones que ello conllevan.

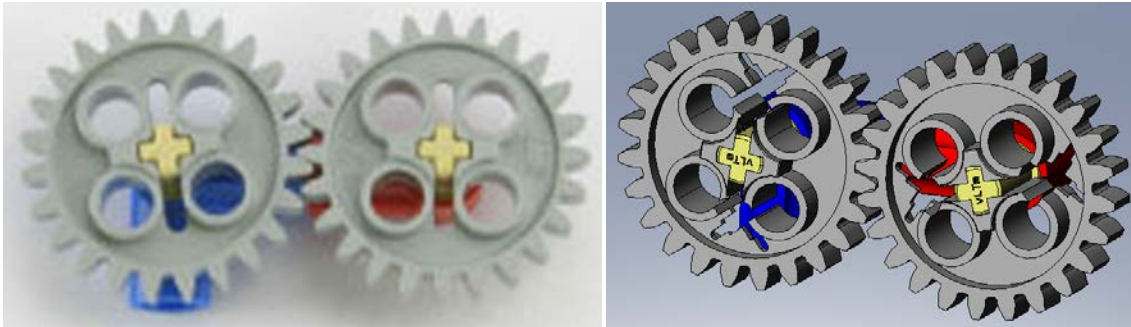


Figura 70-Modelo TORA-013, real y virtual.

7.1.5 TORA-026

Se trata de un mecanismo basado en la transmisión mediante engranajes.

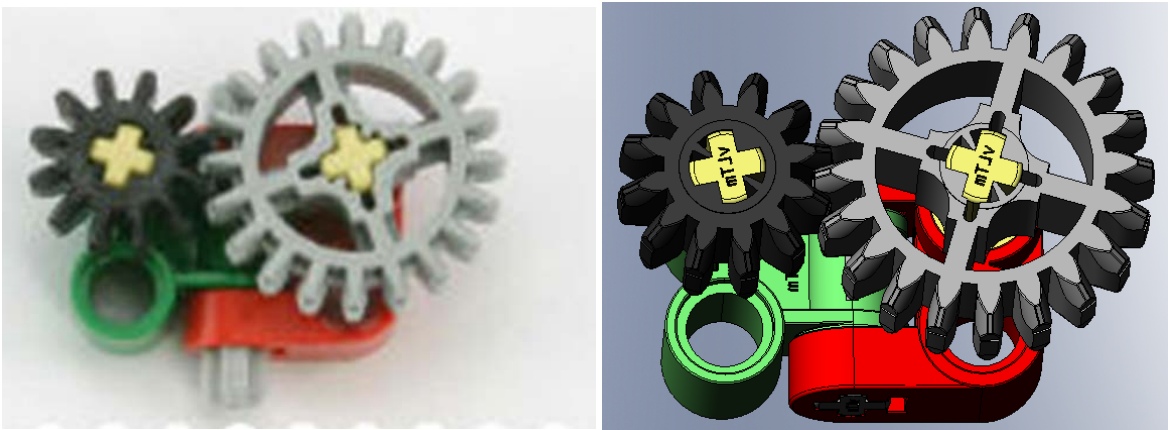


Figura 71-Modelo TORA-026, real y virtual.

7.1.6 TORA-037

Mecanismo basado en el empleo de una base giratoria, engranada.

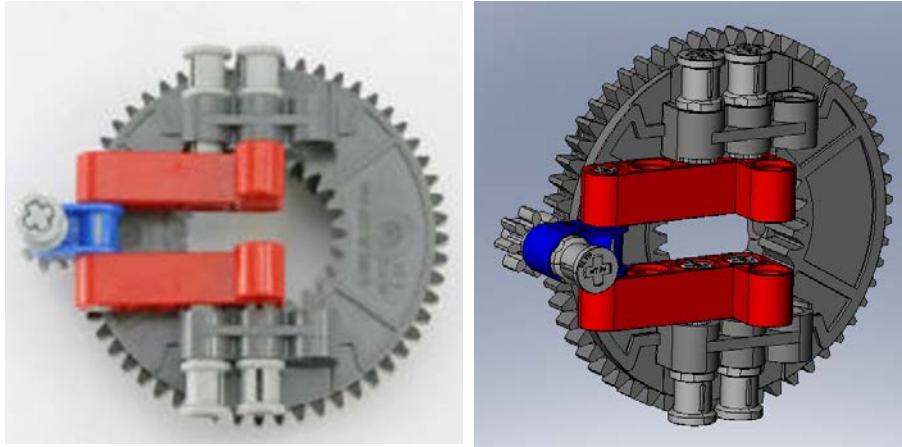


Figura 72-Modelo TORA-037, real y simulado.

7.1.7 TORA-040

Es un mecanismo con base giratoria, en el cual hay transmisión de movimiento entre engranajes.

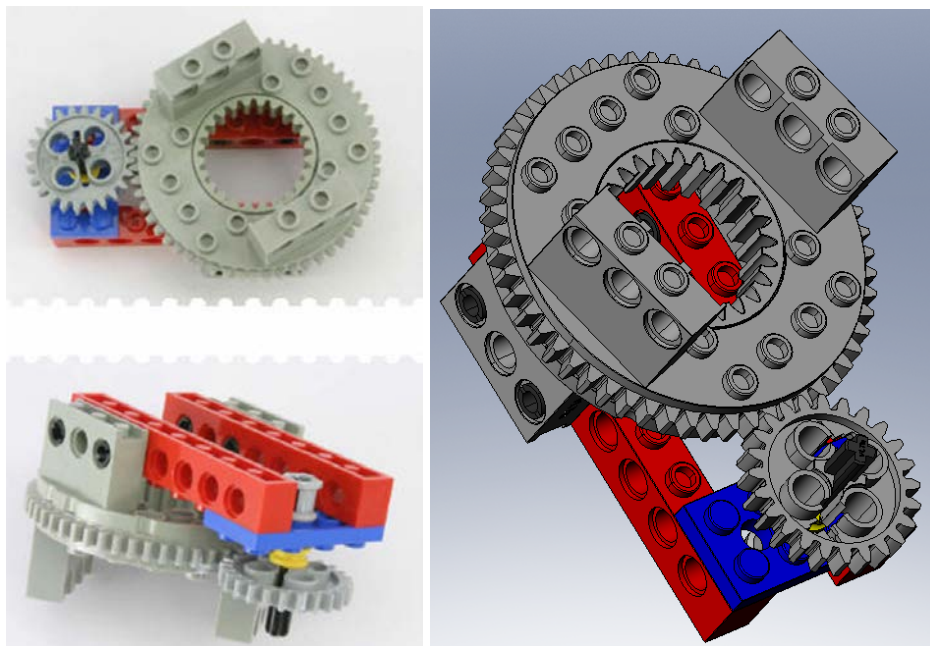


Figura 73-Modelo TORA-040, real y virtual.

7.1.8 TORA-051

Encontramos en este mecanismo dos ejes perpendiculares, con sendos engranajes transmitiendo el movimiento.

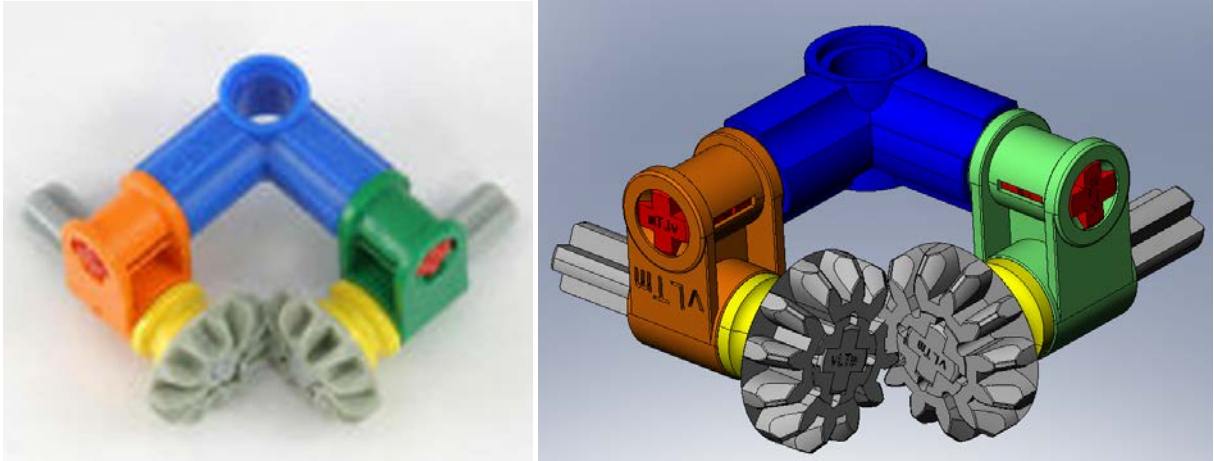


Figura 74-Modelo TORA-051, real y simulado.

7.1.9 TORA-059

Se trata de un mecanismo similar al anterior, transmisión de movimiento entre ejes perpendiculares.

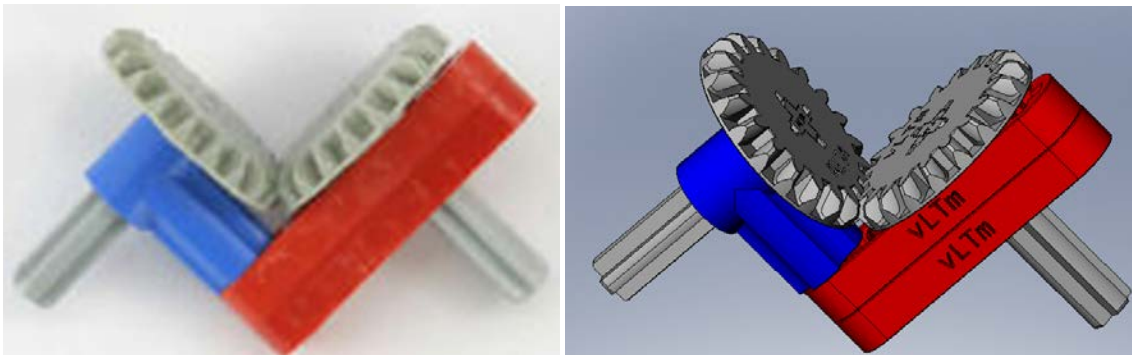


Figura 75-Modelo TORA-059, real y virtual.

7.1.10 TORA-062

Este mecanismo nos familiariza con el empleo de otro tipo de engranajes.

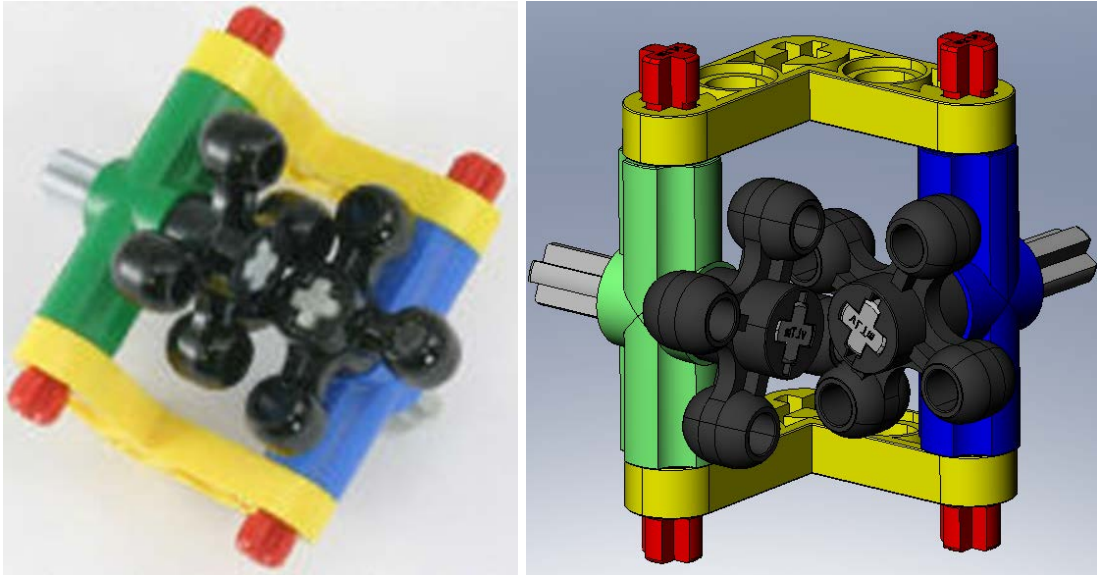


Figura 76-Modelo TORA-062, real y virtual.

7.1.11 TORA-075

Con distintos tipos de engranaje que los empleados anteriormente, se transmite movimiento entre ejes perpendiculares.

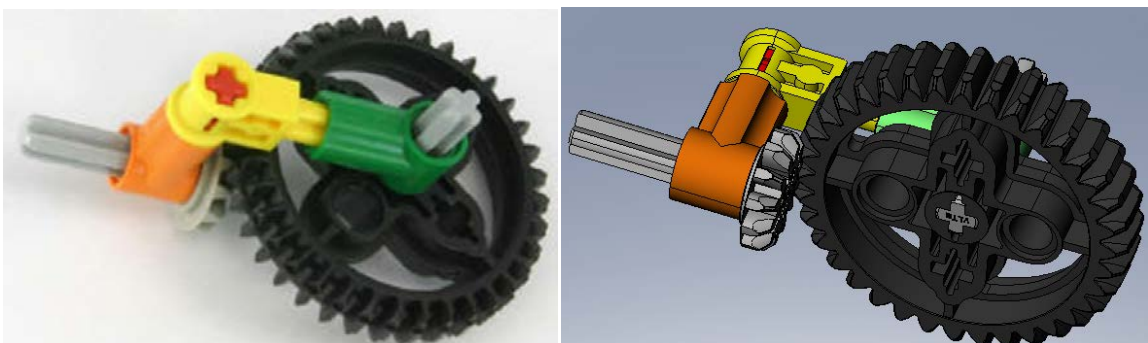


Figura 77-Modelo TORA-075, real y virtual.

7.1.12 TORA-079

Se basa en el empleo de un tornillo sin fin.

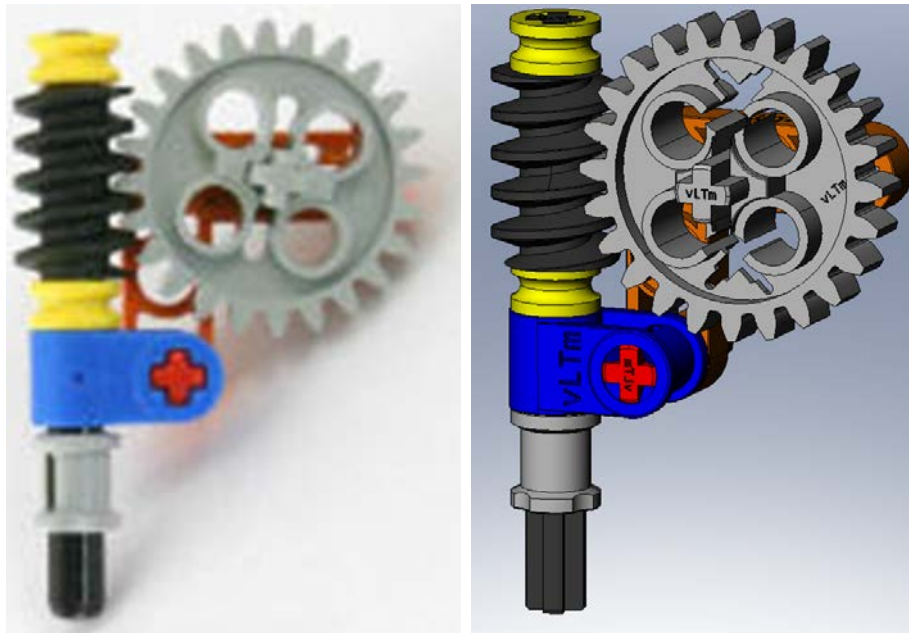


Figura 78-Modelo TORA-079, real y virtual.

7.1.13 TORA-093

Se transmite el movimiento de un engranaje, creando un movimiento oscilatorio de los componentes implicados.

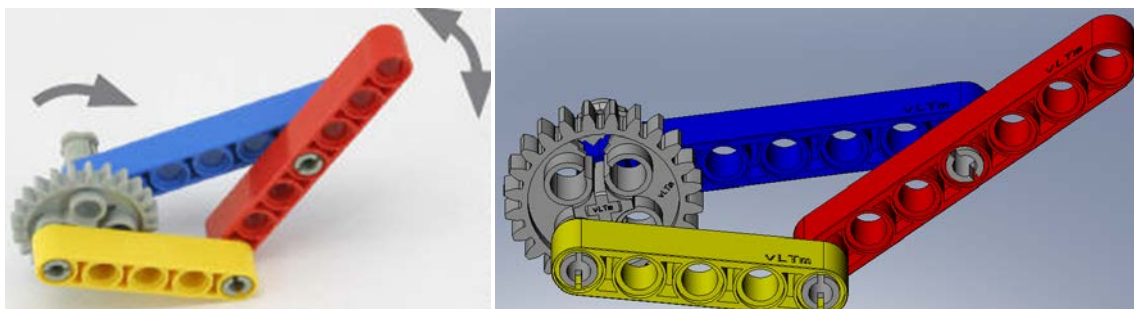


Figura 79-Modelo TORA-093, real y virtual.

7.1.14 TORA-098

En este modelo podemos observar un tipo de movimiento nuevo hasta ahora, lineal alternativo, que se produce a partir del giro del engranaje.

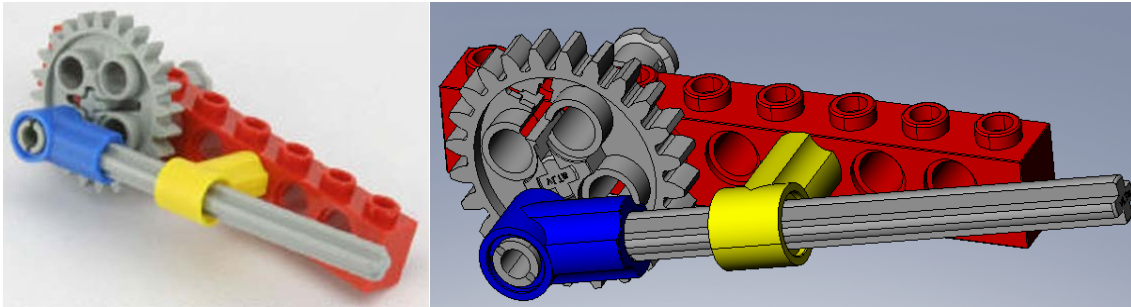


Figura 80-Mecanismo TORA-098, real y virtual.

7.1.15 TORA-102

Se emplean relaciones de posición piñón-cremallera, ampliamente utilizadas en modelos posteriores.

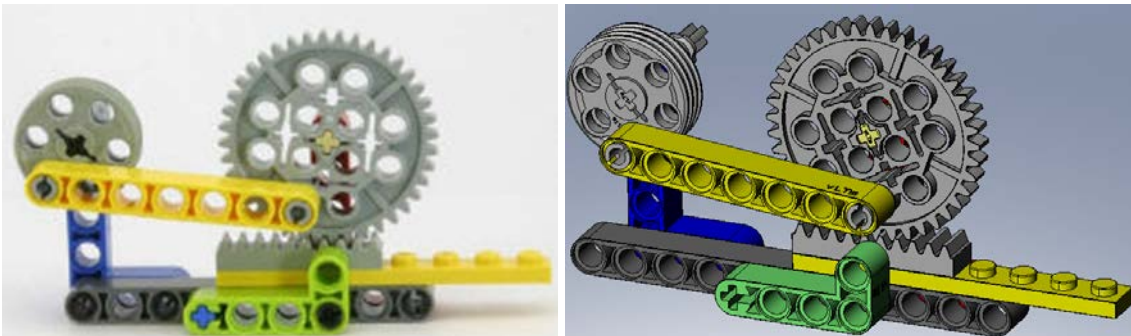


Figura 81-Modelo TORA-102, real y virtual.

7.1.16 TORA-107

Mecanismo útil de transmisión de rotación entre dos ejes. La unión que figura en el modelo, Hooke, será muy empleada en modelos más complicados.

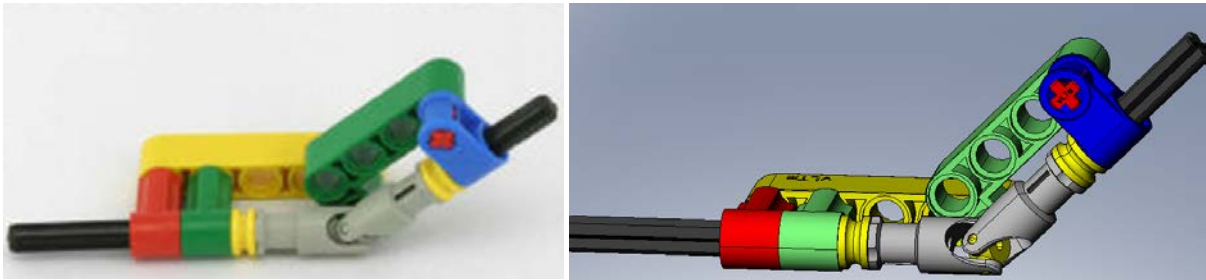


Figura 82-Modelo TORA-107, real y virtual.

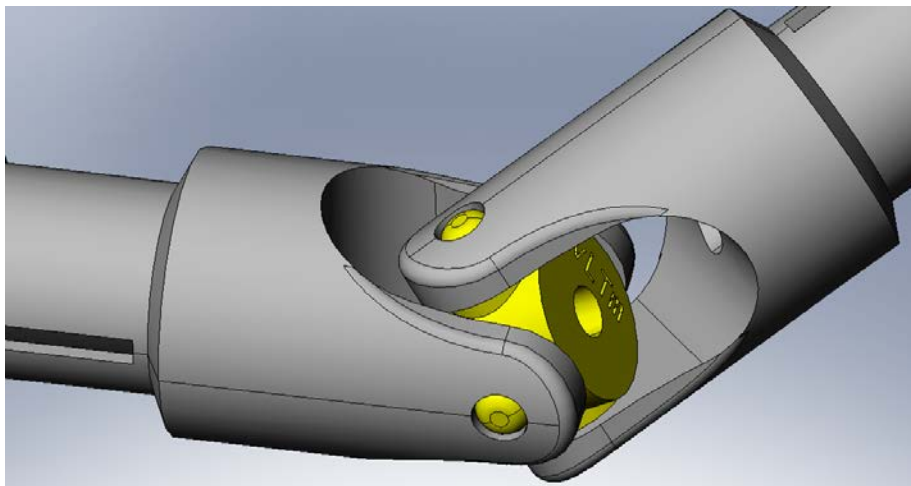


Figura 83-Unión Hooke, muy utilizada en los modelos Lego© Technic.

7.1.17 Modelo TnMm-0289

Se trata de uno de los modelos a nuestra disposición en el libro de Isogawa Yoshihito. En este caso es un vehículo motorizado, que funciona gracias a un pequeño motor eléctrico que podemos ver claramente en la imagen.

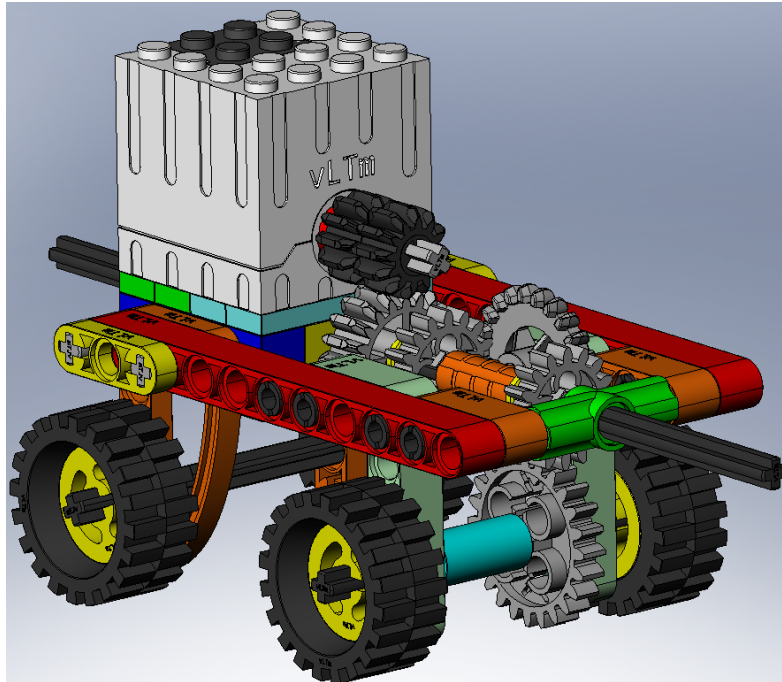


Figura 84-Modelo virtual TnMm-0289.

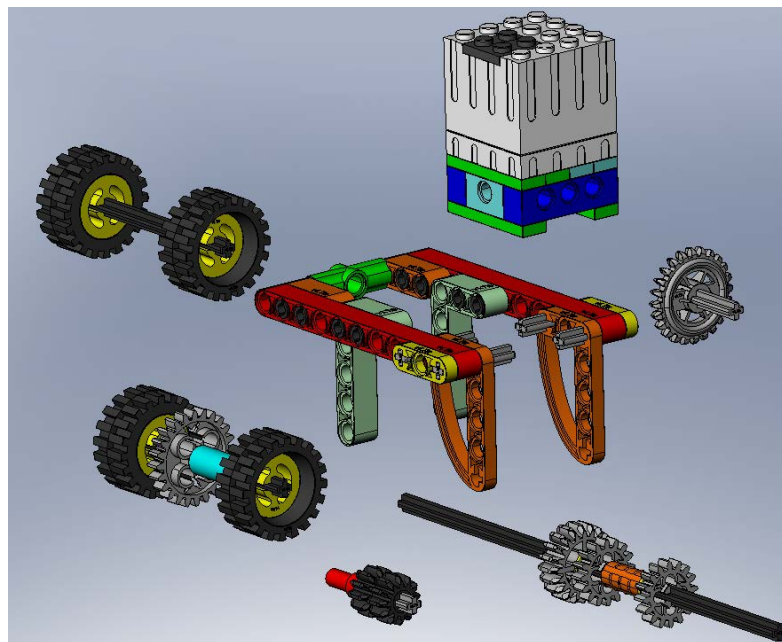


Figura 85-Piezas que conforman el modelo virtual.

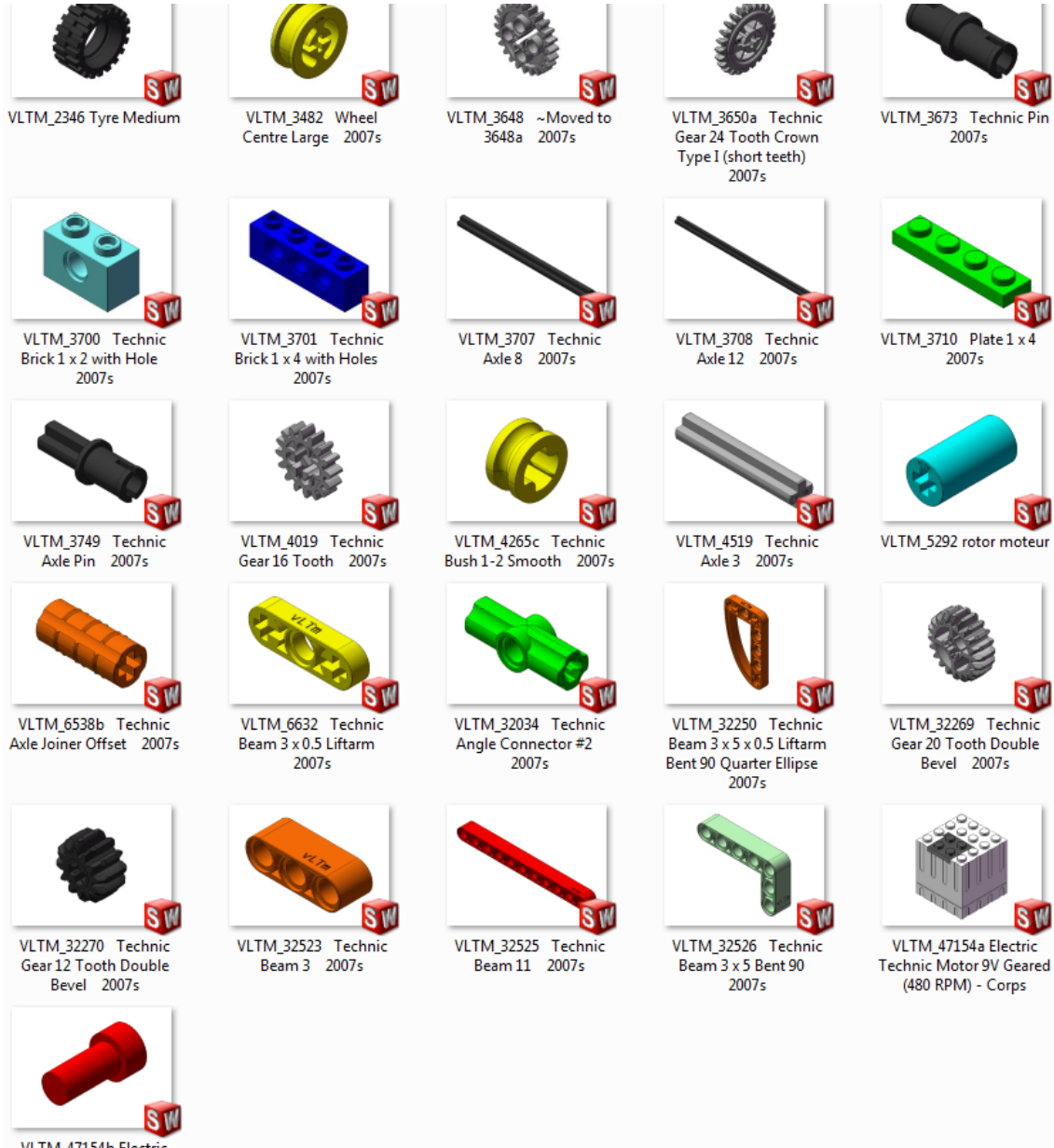


Figura 86-Componentes utilizados en el proceso de creación.

7.2 Familiarización con el simulado cinemático

De la misma manera que en la etapa de modelado, ahora precisaremos una etapa de aprendizaje a la hora de crear un mecanismo auto-alineado en COSMOS, y posteriormente simularlo. Por tanto se llevaron a cabo una serie de simulaciones que nos enseñaron unas pautas a seguir en simulaciones posteriores.

7.2.1 TnMm-0325

Modelo extraído del libro de Isogawa Yoshihito que nos permitió experimentar con los distintos tipos de pares a utilizar en el entorno del programa y, sobre todo, entender cómo simular correctamente un diferencial Lego®, componente que será muy empleado posteriormente.

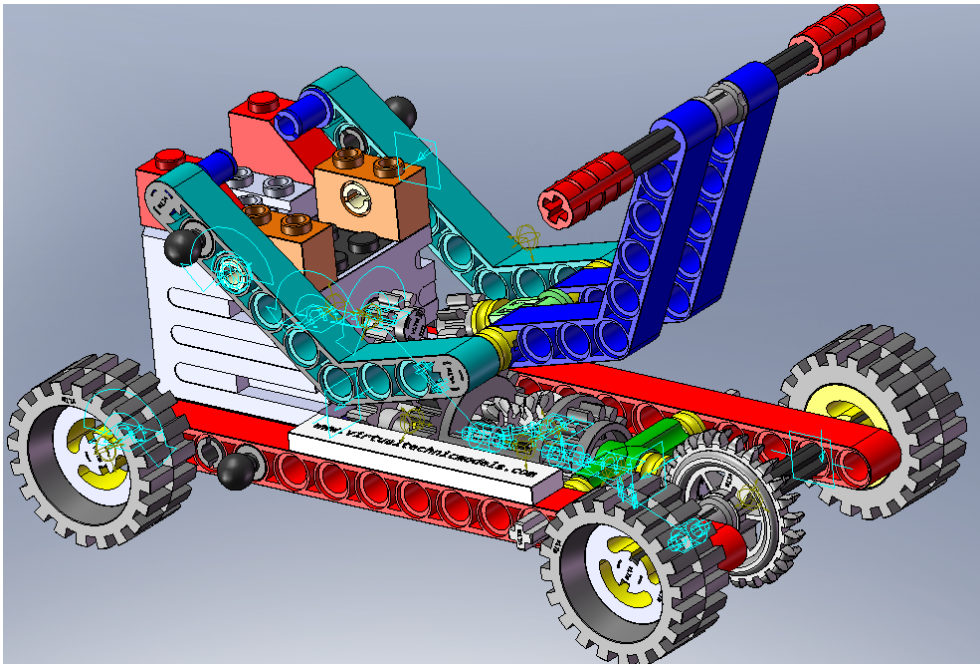


Figura 87-Modelo virtual TnMm-0325 y sus pares cinemáticos.

Vimos cómo, para que el diferencial funcionase correctamente, este componente debía estar unido como mínimo por un par con la pieza fija o chasis, así como el tipo de pares a emplear en cada uno de sus engranajes para una correcta transmisión del movimiento.

7.2.2 Modelo vLTm-8064-2

La simulación de este modelo nos permite afianzar nuestros conceptos en cuanto a acoplamientos entre pares, sobre todo en un tipo de acoplamiento nuevo hasta ahora, el piñón-cremallera.

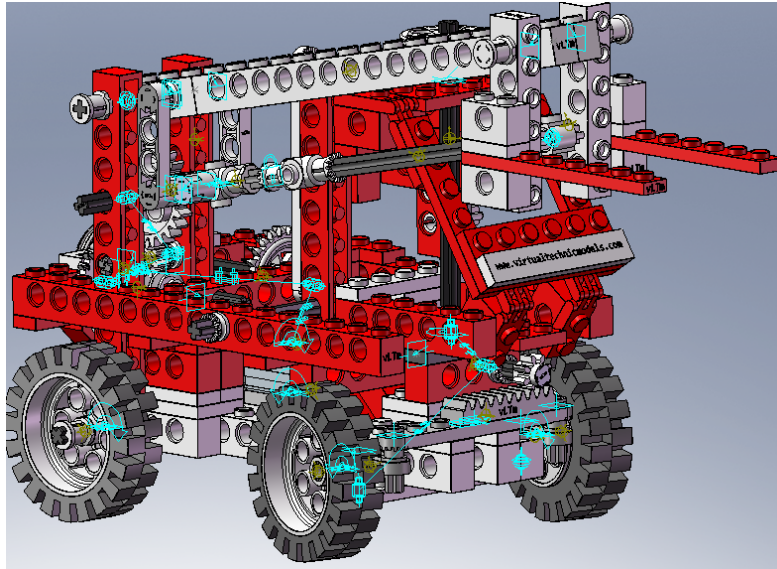


Figura 88-Modelo vLTm-8064-2 y sus pares cinemáticos.

7.2.3 Modelo vLTm-8419-1

En este modelo podemos apreciar una mayor complejidad en cuanto al número de pares que es necesario situar. Además, es necesario el empleo de una junta Hooke, junta muy empleado en este tipo de modelos Lego© Technic.

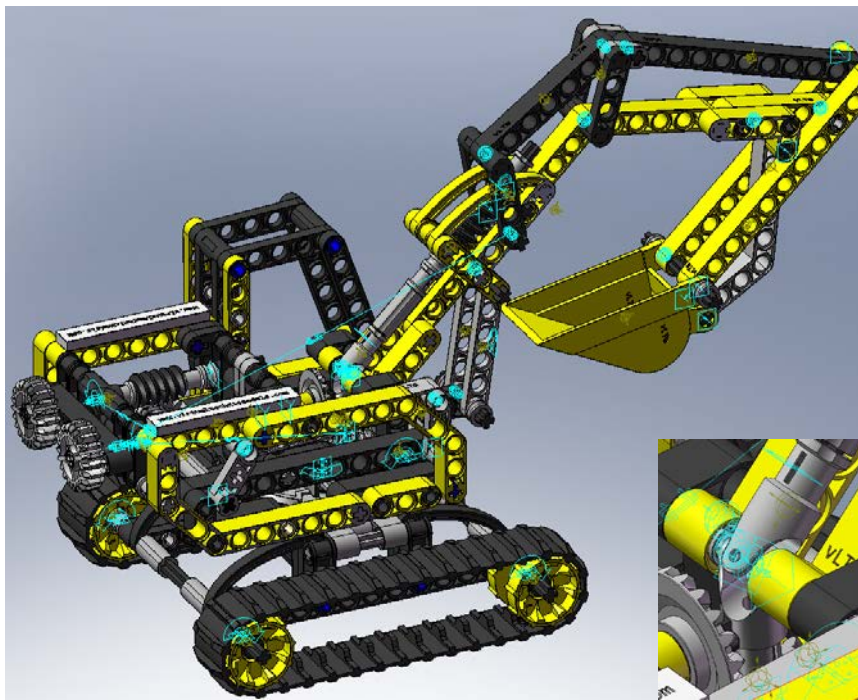


Figura 89-Modelo vLTm-8419-1 y sus pares cinemáticos.

7.2.4 Modelo vLTm-8852

Modelo que nos enseña cómo disponer correctamente los pares de translación, y los acoplamientos en los que estos intervienen. Será el primer modelo que simularemos sobre una base.

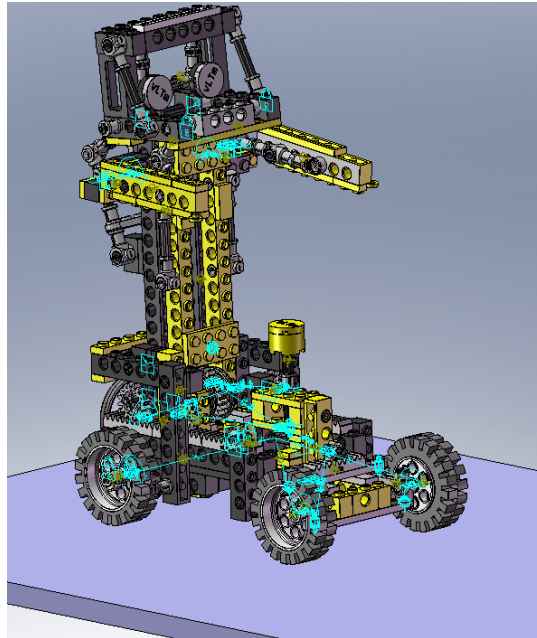


Figura 90-Modelo vLTm-8852 sobre una base, con sus pares correctamente situados.

7.2.5 Modelo vLTm-8858-2

Modelo basado en un vehículo real, con suspensión, dirección y diferencial en el eje trasero.

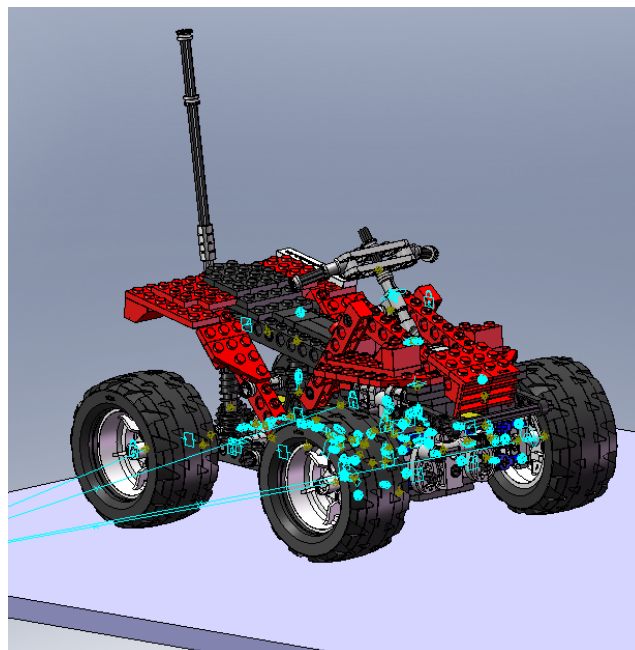


Figura 91-Modelo vLTm-8858-2 con sus pares cinemáticos.

7.2.6 Modelo vLTm-8460-2

Mecanismo basado en una grúa con tres movimientos gracias a cilindros neumáticos, nos introduce en el uso de comandos “step”, muy utilizados en mecanismos con este tipo de actuadores.

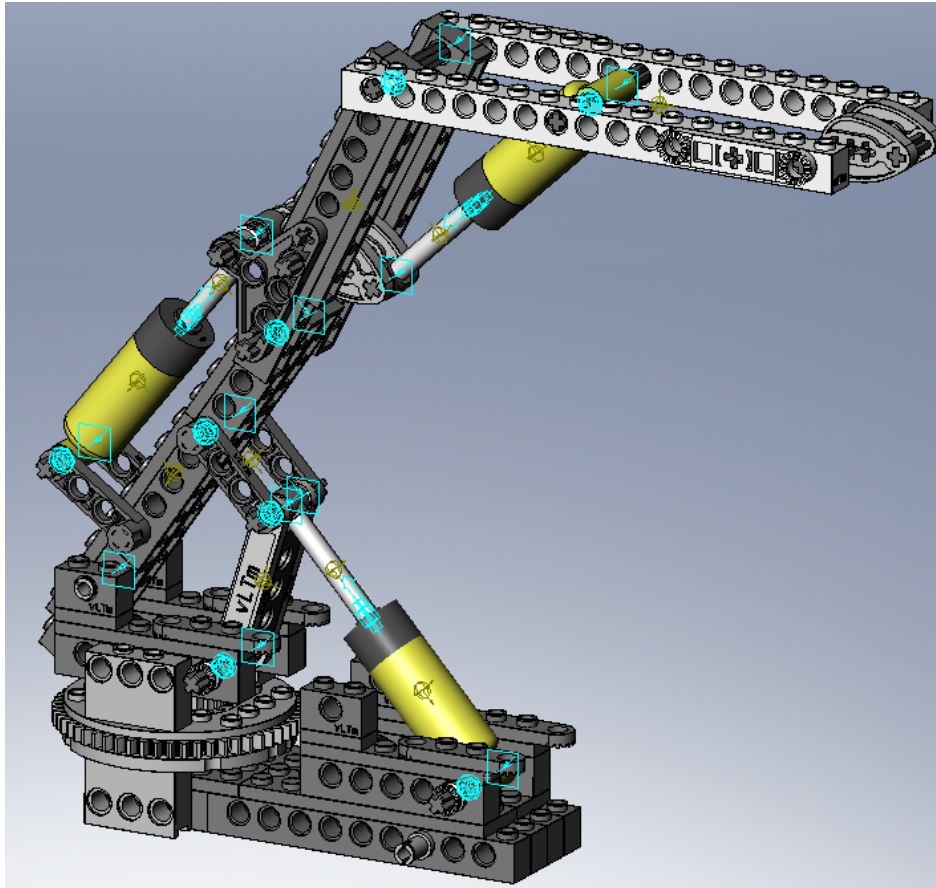


Figura 92-Mecanismo virtual vLTm-8460-2.

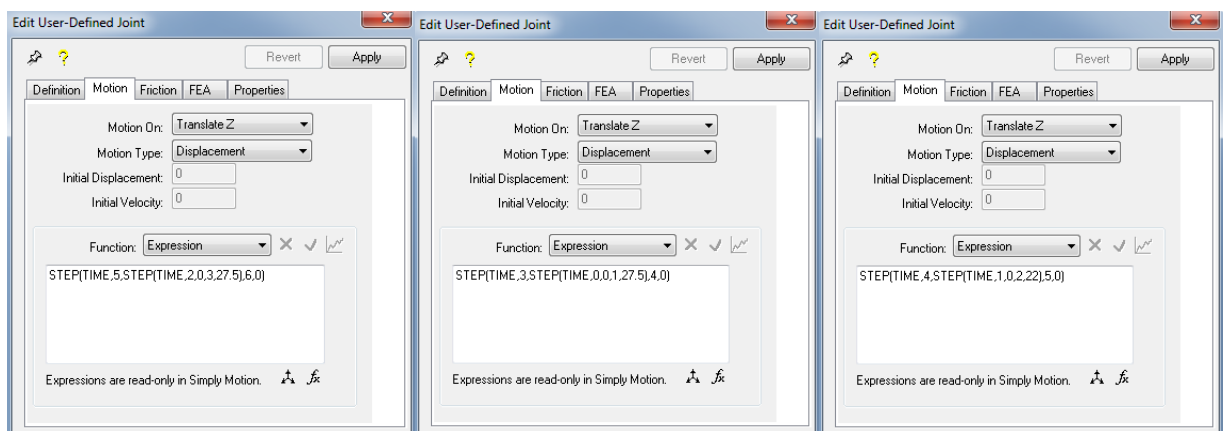


Figura 93-Comandos "step" en los tres actuadores.

7.3 Modelo vLTm-8271-1

Creación de una pala cargadora Lego© Technic, con dirección en las ruedas traseras y posibilidad tanto de subir y bajar la pala, como de inclinarla.

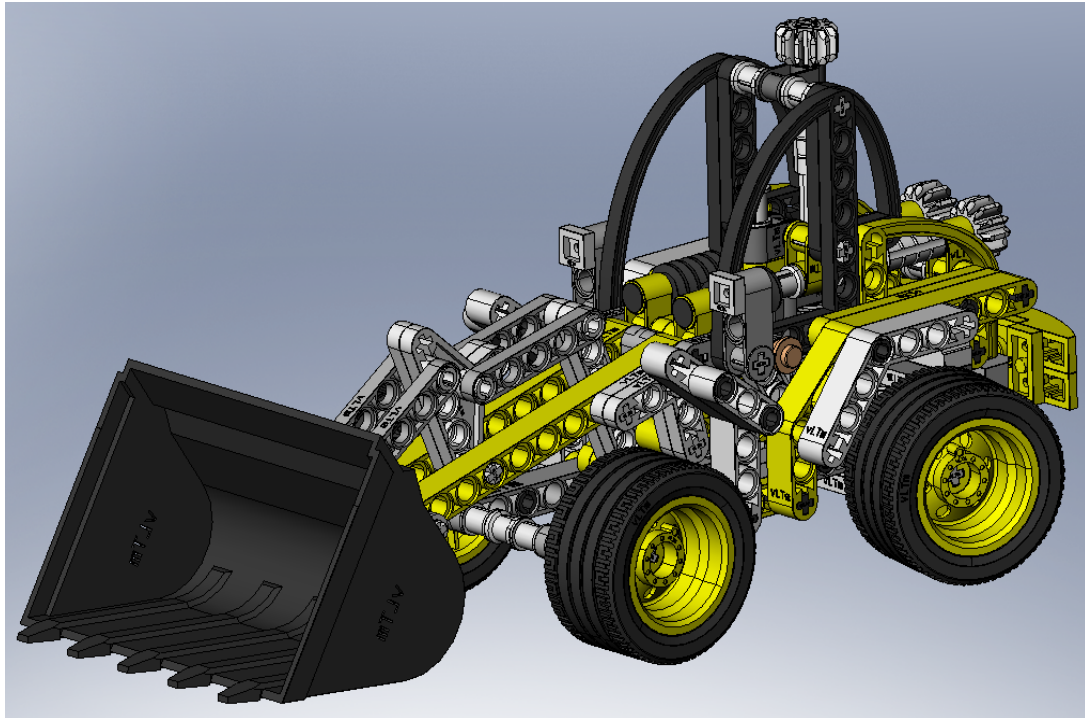


Figura 94-Modelo virtual vLTm-8271-1.

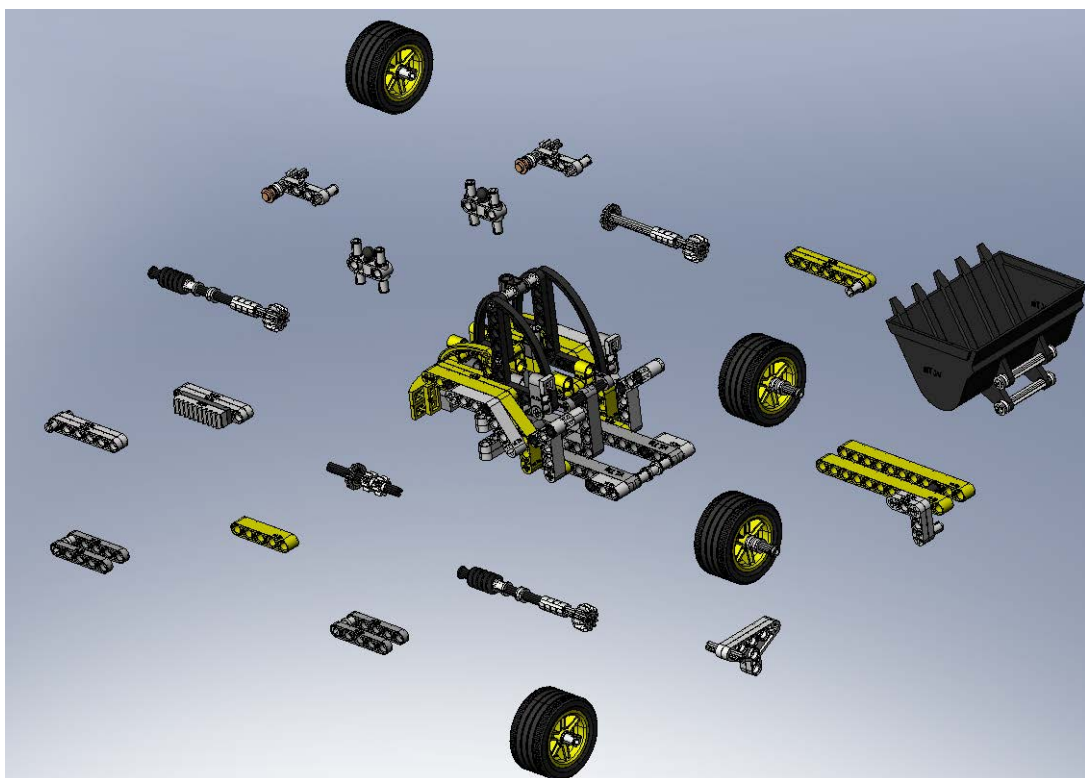


Figura 95-Piezas que conforman el modelo virtual.

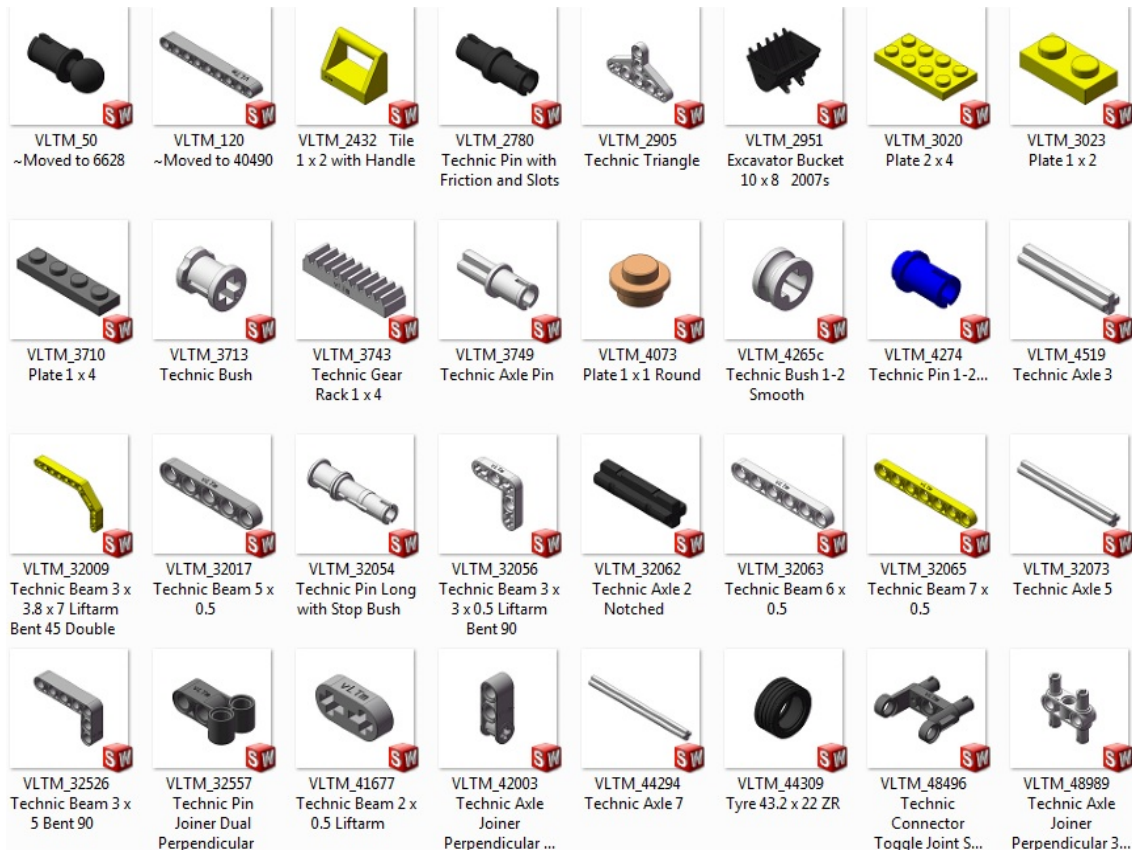


Figura 96-Componentes empleados en la creación del modelo (1).



Figura 97-Componentes empleados en la creación del modelo (2).

7.3.1 Mecanismo auto-alineado y simulación

La siguiente imagen es el resultado de una primera fase de creación del mecanismo auto-alineado, en la cual se establecen todos los pares y se eliminan restricciones en exceso, el establecimiento de los movimientos en estos pares y la creación de la base sobre la que se desplazará el modelo. Dejaremos de esta forma el modelo listo para ser simulado.

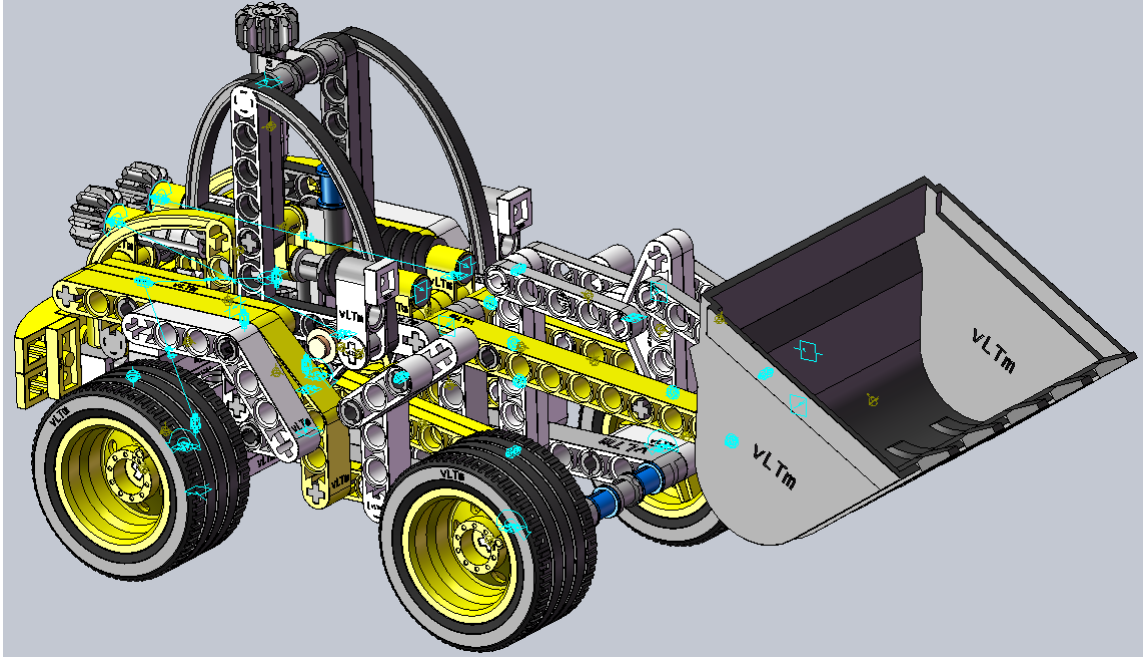


Figura 98-Pares creados en la etapa previa a la simulación cinemática.

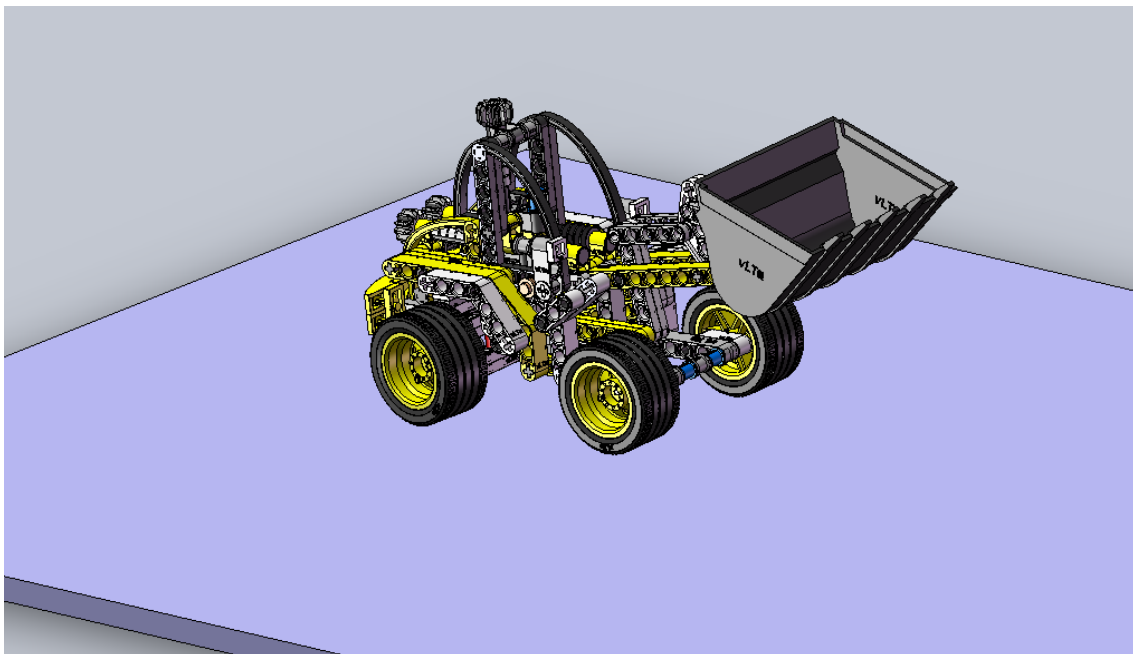


Figura 99-Modelo situado sobre la base sobre la que se va a realizar la simulación.

7.4 Modelos TnMn-0281 y TnMn-0285

Modelos extraídos del libro de Isogawa Yoshihito con una peculiaridad, una vez montados los dos y estudiado sus mecanismos es posible combinarlos, creando un nuevo modelo. A continuación podemos ver cada uno de los modelos por separado, un vehículo con ruedas y otro cuyo motor transmite movimiento a cuatro patas.

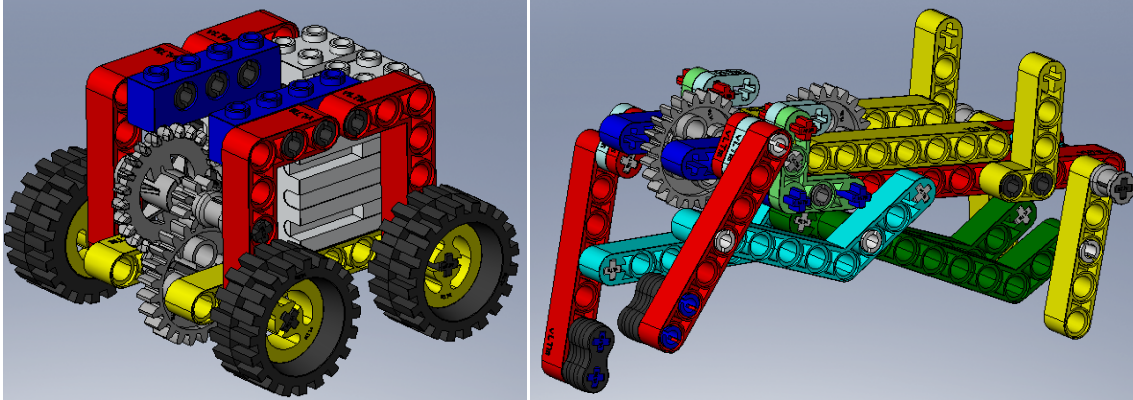


Figura 100-Modelos TnMn-0281 y TnMn-0285.

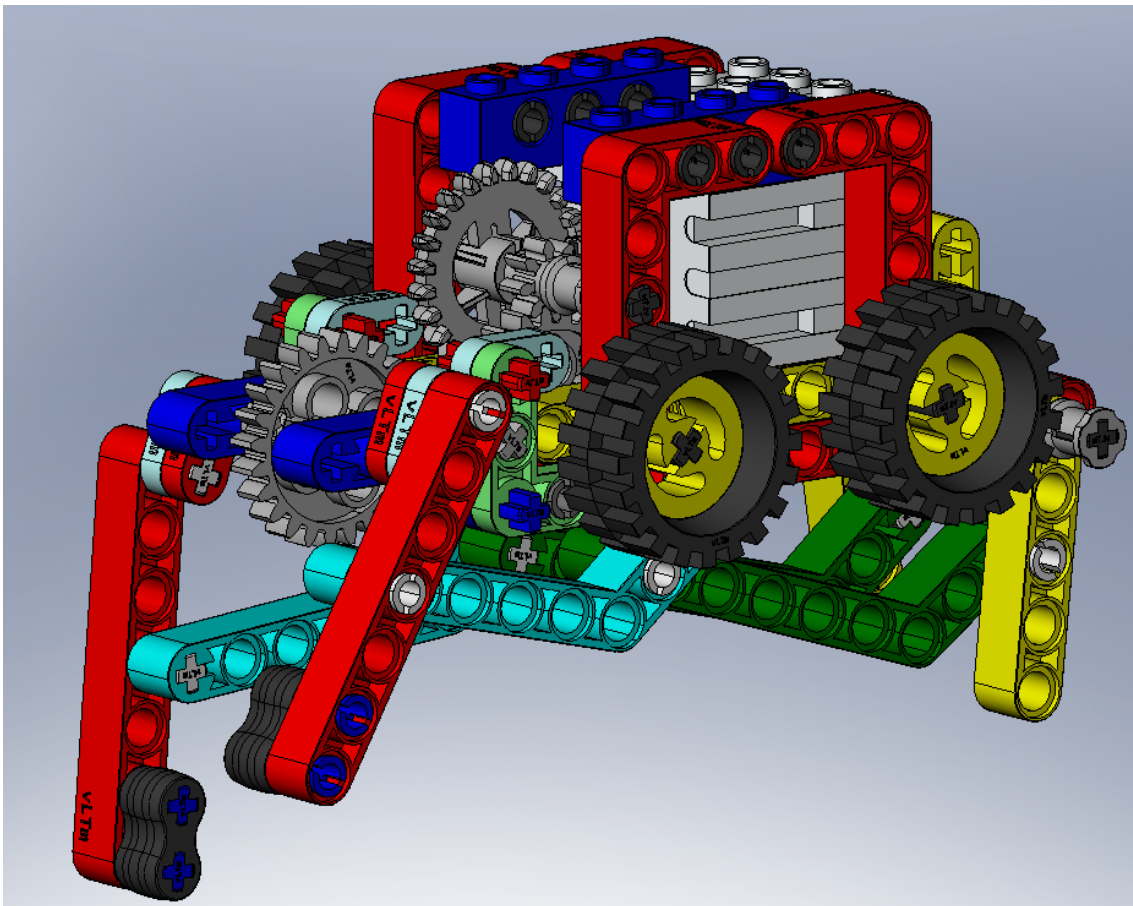


Figura 101-Modelo TnMn-02815, combinación de los anteriores.



Figura 102-Componentes a utilizar en la creación de los modelos (1).

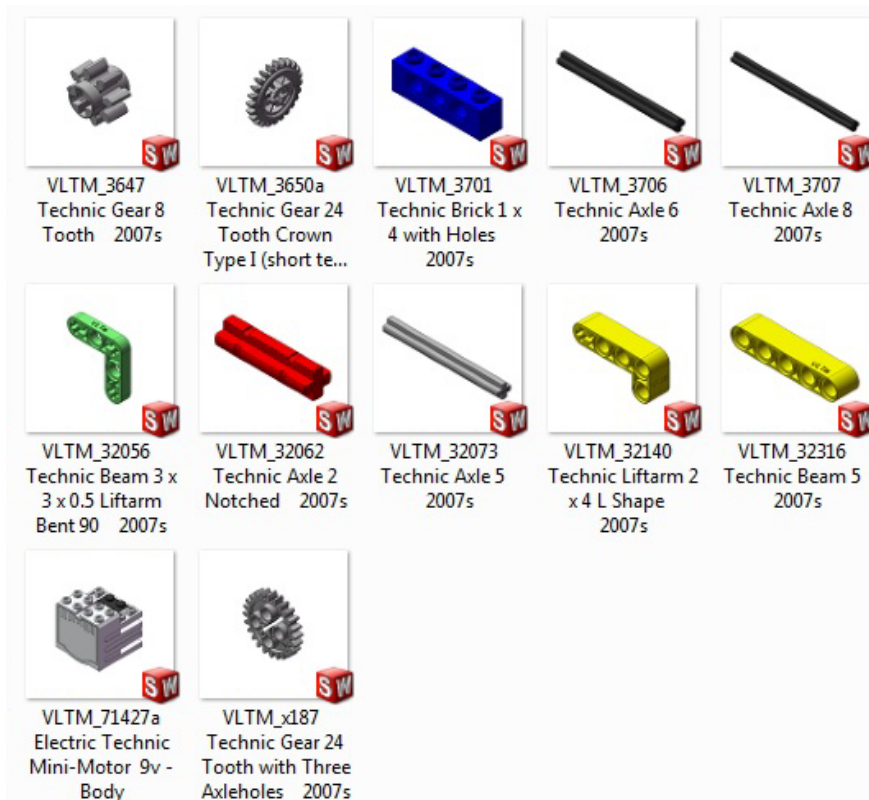


Figura 103-Componentes a utilizar en la creación de los modelos (2).

7.5 Modelo vLTm_8891-9

El modelo es un robot Lego® Technic que posee, no solo un motor que le permite caminar, sino también una serie de actuadores, concretamente cilindros neumáticos, que le permitirán tanto subir y bajar los brazos como abrir y cerrar las pinzas.

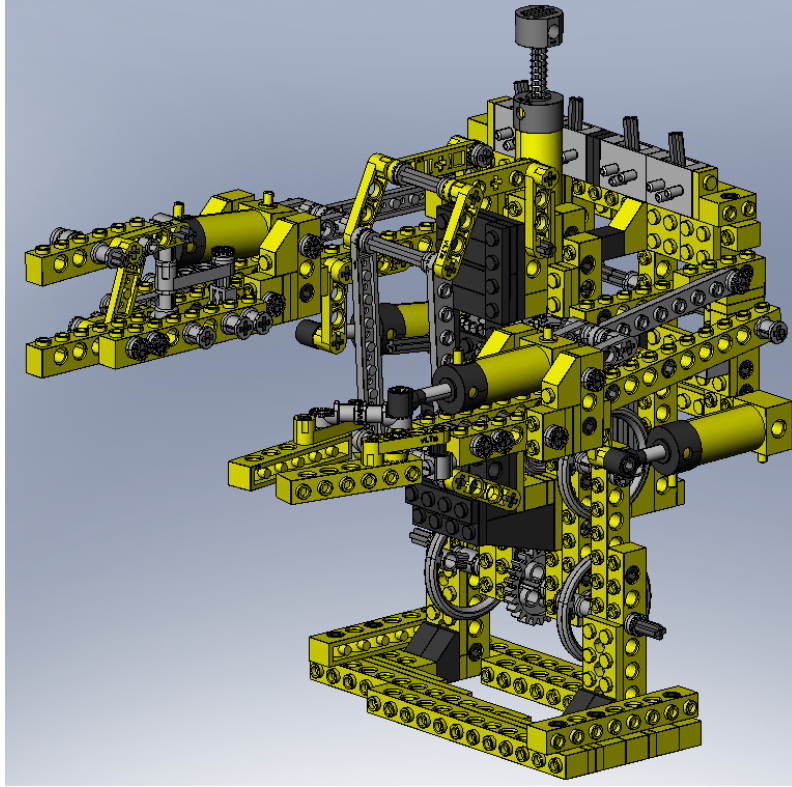


Figura 104-Modelo vLTm_8891-9.

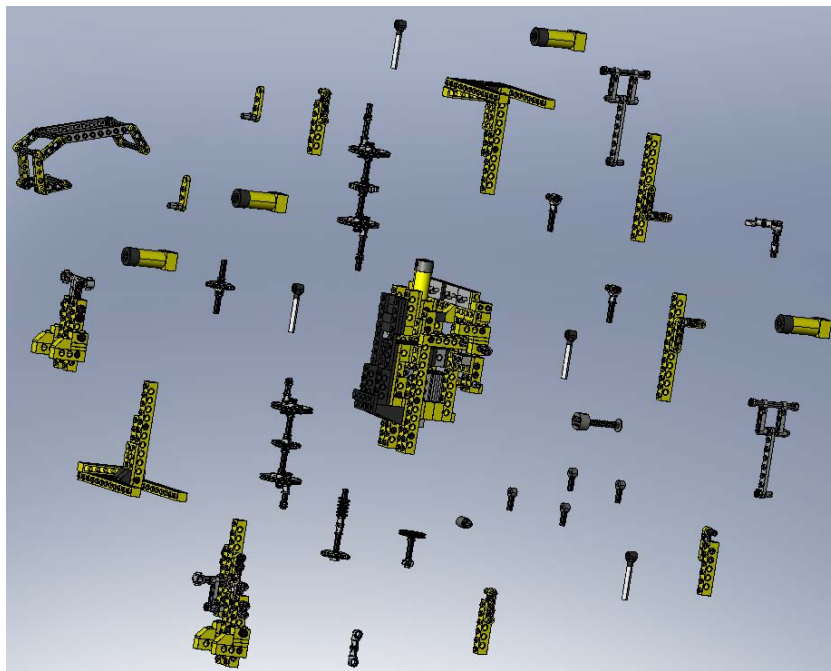


Figura 105-Piezas que conforman el modelo virtual.












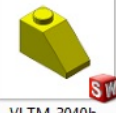











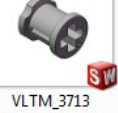
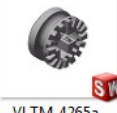

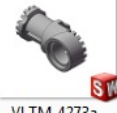


































 VLTM_2453b Brique 1x1x5 - Solid Stud	 VLTM_2711 Technic Rotor 2 Blade with 2 Studs	 VLTM_2719 Technic Plate 1 x 10 with Holes	 VLTM_2793 Technic Pneumatic Cylinder New	 VLTM_2795 Technic Pneumatic Cylinder New T...	 VLTM_2796 Technic Pneumatic Cylinder New SI...	 VLTM_2797c01 Technic Pneumatic Pump New - BASE 2...	 VLTM_2797c01 Technic Pneumatic Pump New - ACTUAT...
 VLTM_3024 Plate 1 x 1	 VLTM_3031 Plate 4 x 4	 VLTM_3034 Plate 2 x 8	 VLTM_3040b Slope Brick 45 2 x 1	 VLTM_3069b Tile 1 x 2 with Groove	 VLTM_3460 Plate 1 x 8	 VLTM_3623 Plate 1 x 3	 VLTM_3647 Technic Gear 8 Tooth
 VLTM_3703 Technic Brick 1 x 16 with Holes	 VLTM_3704 Technic Axle 2	 VLTM_3705 Technic Axle 4	 VLTM_3706 Technic Axle 6	 VLTM_3707 Technic Axle 8	 VLTM_3709b Technic Plate 2 x 4 with Holes	 VLTM_3710 Plate 1 x 4	 VLTM_3713 Technic Bush
 VLTM_4265a Technic Bush 1-2 Type I	 VLTM_4265b Technic Bush 1-2 Type II 2007s	 VLTM_4273a Technic Connector Toaale Joint To...	 VLTM_4274 Technic Pin 1-2...	 VLTM_4442 Technic Plate 1 x 8 with Holes	 VLTM_4459 Technic Pin with Friction and No Slots	 VLTM_4460 Slope Brick 75 2 x 1 x 3	 VLTM_4519 Technic Axle 3
 VLTM_2825 Technic Beam 4 x 0.5 Liftarm with Boss	 VLTM_2838c01 Electric Technic Motor 9V - axe 2007s	 VLTM_2838c01 Electric Technic Motor 9V - corps 2007s	 VLTM_3004 Brick 1 x 2	 VLTM_3005 Brick 1 x 1	 VLTM_3021 Plate 2 x 3	 VLTM_3022 Plate 2 x 2	 VLTM_3023 Plate 1 x 2
 VLTM_3648 ~Moved to 3648a 2007s	 VLTM_3650 Technic Gear 24 Tooth Crown Type III (x patter... 2007s	 VLTM_3651 Technic Connector	 VLTM_3666 Plate 1 x 6	 VLTM_3673 Technic Pin	 VLTM_3700 Technic Brick 1 x 2 with Hole	 VLTM_3701 Technic Brick 1 x 4 with Holes	 VLTM_3702 Technic Brick 1 x 8 with Holes
 VLTM_3736 Technic Pulley Large	 VLTM_3737 Technic Axle 10...	 VLTM_3749 Technic Axle Pin	 VLTM_3795 Plate 2 x 6	 VLTM_3894 Technic Brick 1 x 6 with Holes	 VLTM_3895 Technic Brick 1 x 12 with Holes	 VLTM_4185 Technic Wedge Belt Wheel	 VLTM_4263 Technic Plate 1 x 4 with Holes
 VLTM_4694f Technic Pneumatic Switch - Corps ...	 VLTM_4695 Technic Pneumatic Switch Handle ...	 VLTM_4716 Technic Worm Screw	 VLTM_6553 Technic Pole Reverser Handle 2007s	 VLTM_43093 Technic Axle Pin with Friction 2007s	 VLTM_44294 Technic Axle 7 2007s		

Figura 106-Componentes empleados en la creación del modelo.

7.5.1 Diagramas cinemáticos

Es posible identificar en el modelo creado mecanismos planos que, por su importancia dentro del modelo, vamos a analizar más detalladamente. Por tanto, en las siguientes imágenes podemos ver cada mecanismo plano con su diagrama cinemático asociado.

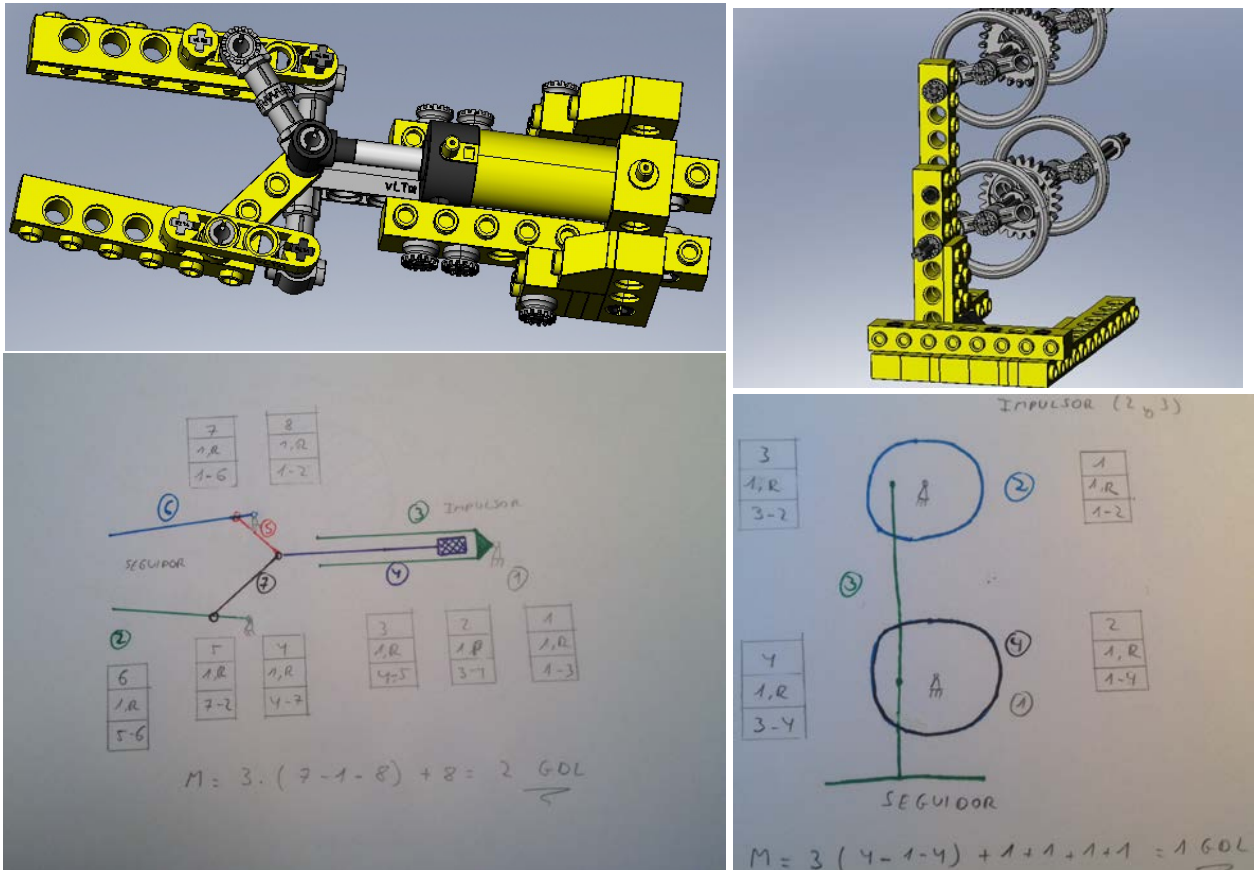


Figura 107-Mecanismos planos y diagramas cinemáticos (1).

Tal y como vemos tras aplicar la fórmula de Gruebler, se obtienen los mismos grados de libertad que habíamos intuido que obtendríamos mediante la observación del movimiento, esto nos indica que el diagrama está correctamente realizado.

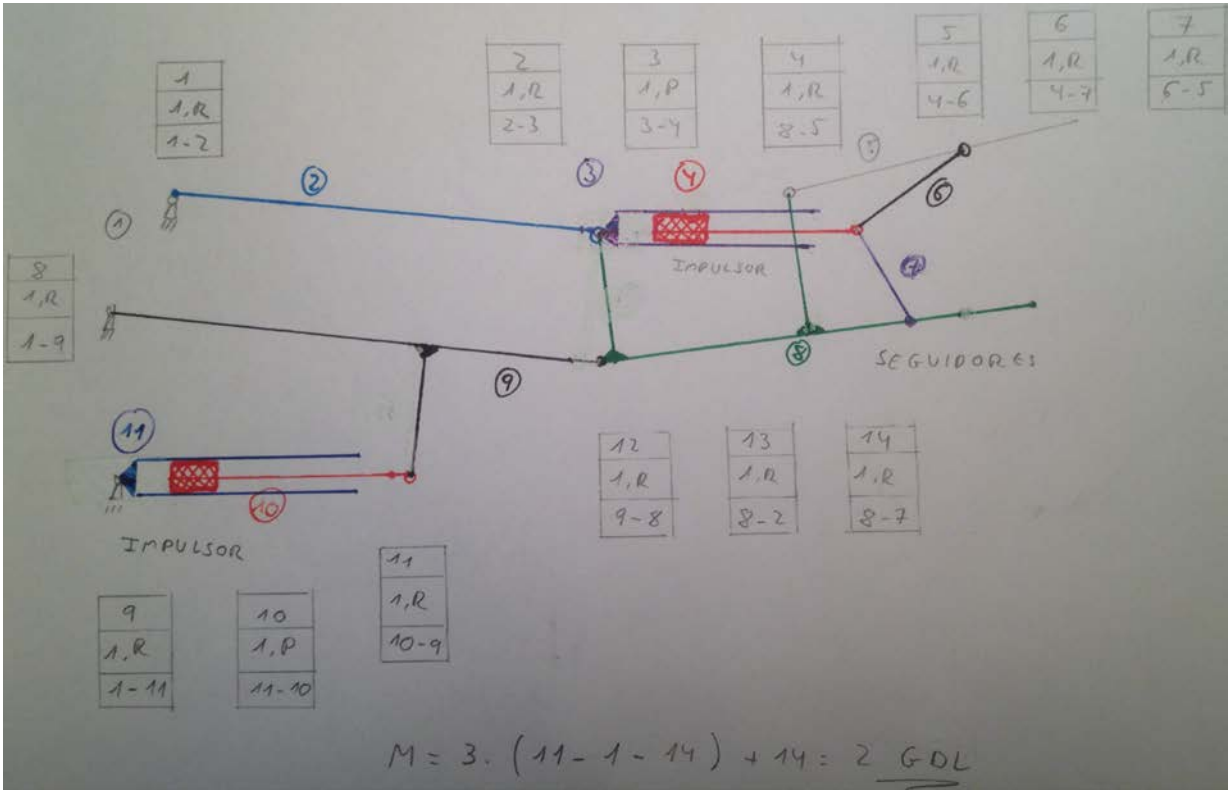
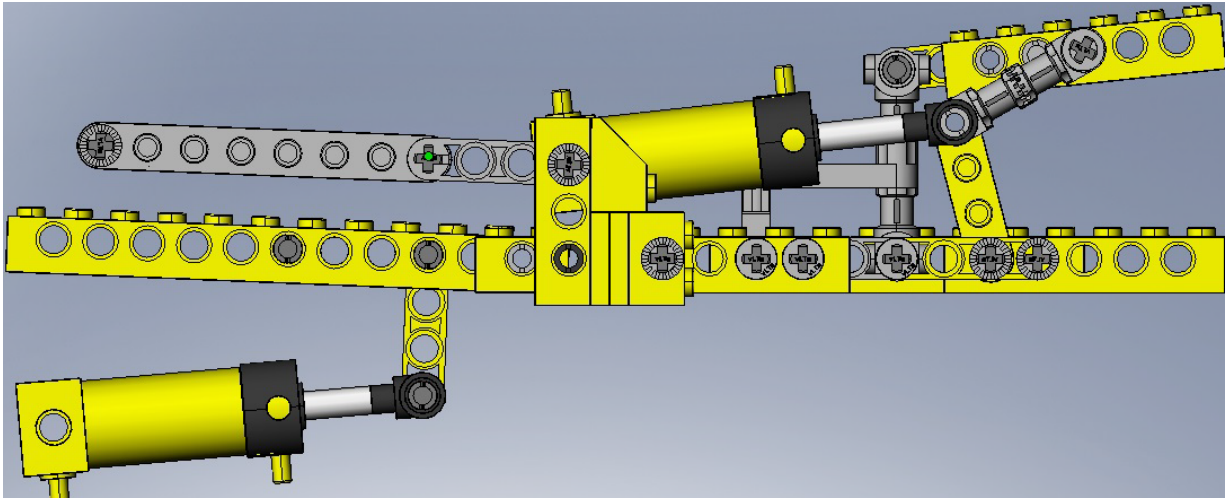


Figura 108-Mecanismos planos y diagramas cinemáticos (2).

7.5.3 Mecanismo auto-alineado y simulación

Del mismo modo procedemos con este modelo, creando los pares cinemáticos, estableciendo el movimiento y situando el modelo sobre una base.

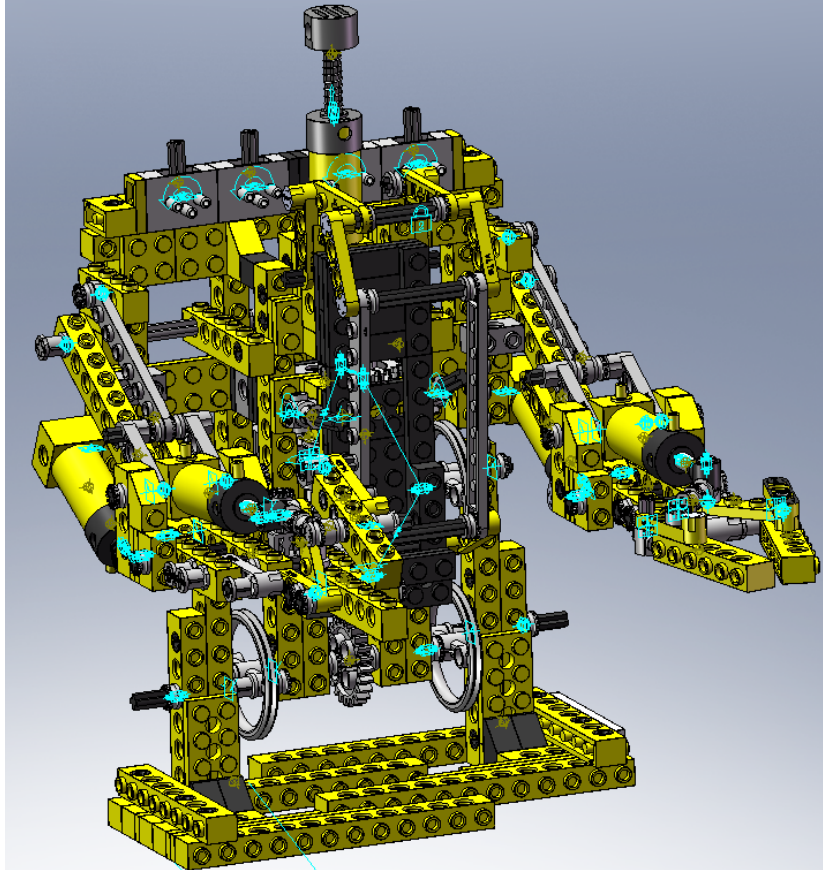


Figura 109-Pares creados en el modelo.

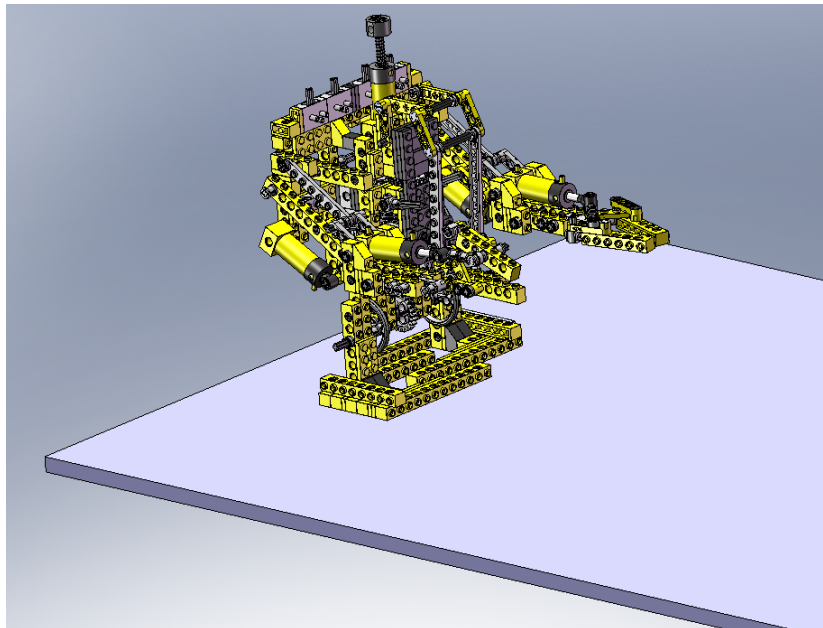


Figura 110-Modelo situado sobre la base, anteriormente creada.

7.6 Modelo vLTm-8865-1

Estamos ante un vehículo motorizado que posee no solo dirección conectada al volante del mismo, sino también un movimiento de un eje que emula a un motor con sus pistones a la vista, unido a su vez con un diferencial que permite que las ruedas traseras giren. A su vez, podemos encontrar otro tipo de mecanismos como asientos reclinables o una palanca entre ambos asientos que eleva o baja los faros delanteros del vehículo.

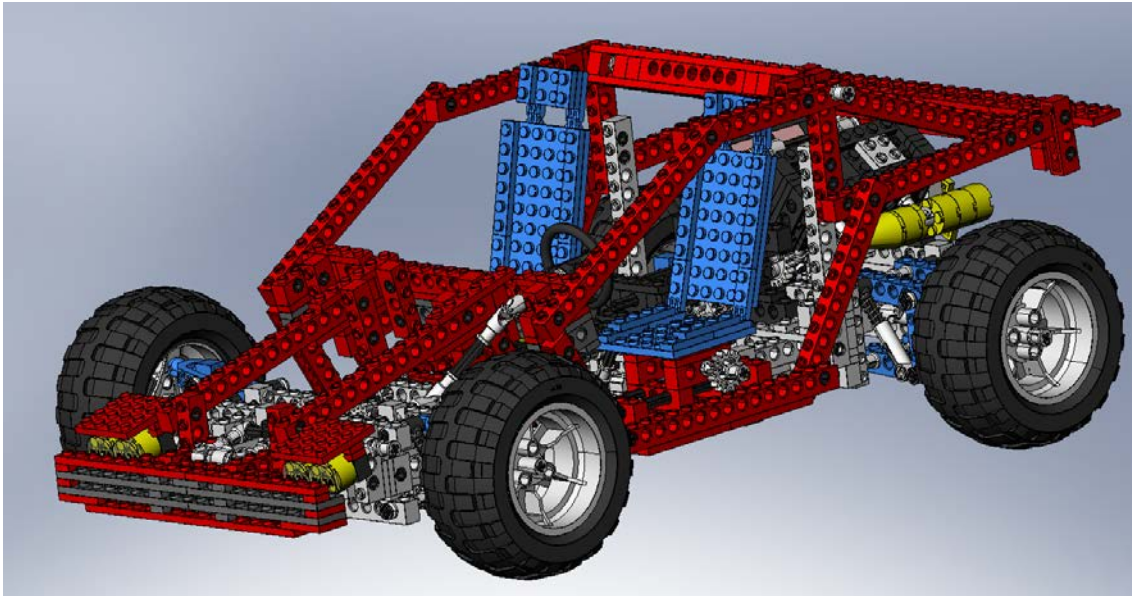


Figura 111-Modelo vLTm-8865-1.

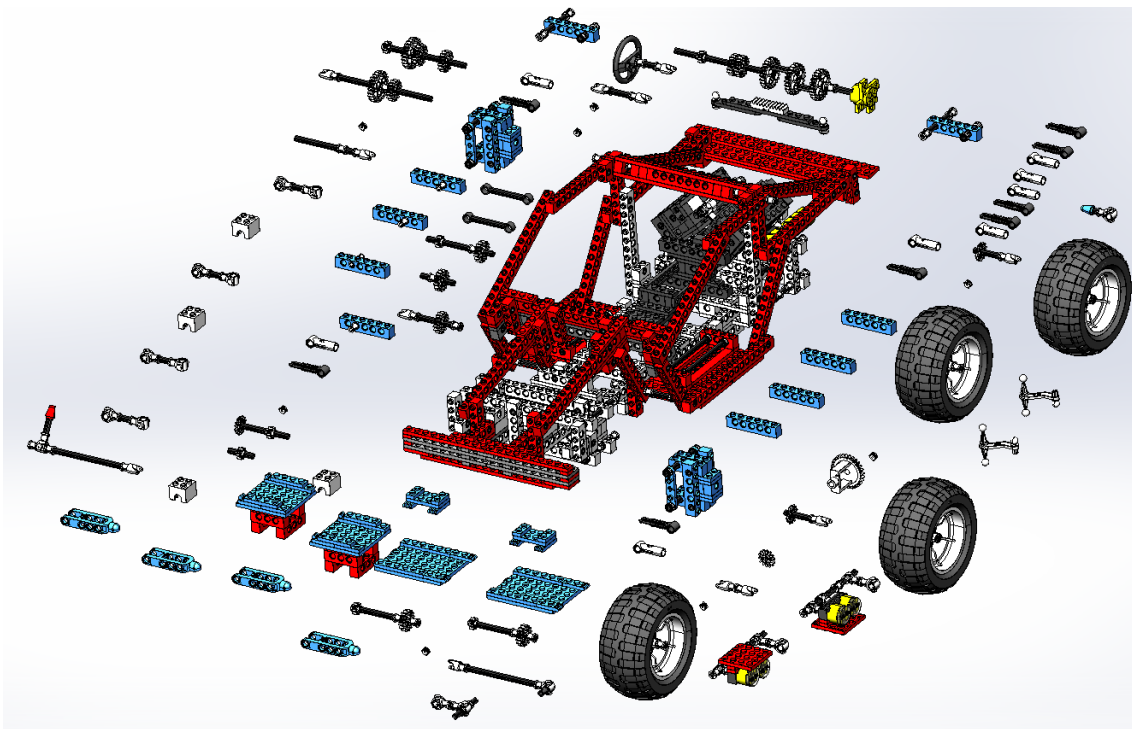


Figura 112-Piezas que conforman el modelo.

Figura 113-Componentes necesarios para la creación del modelo.

7.6.1 Diagramas cinemáticos

Igual que con el modelo anterior, procedemos a analizar mecanismos planos del modelo.

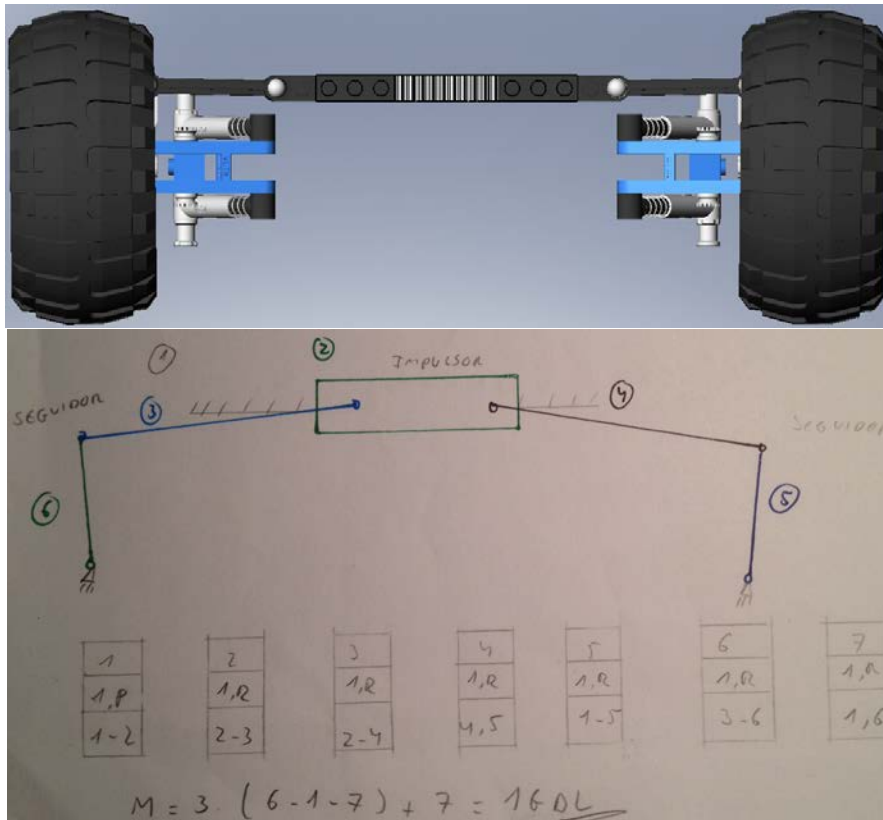


Figura 114-Dirección del vehículo con su respectivo diagrama cinemático.

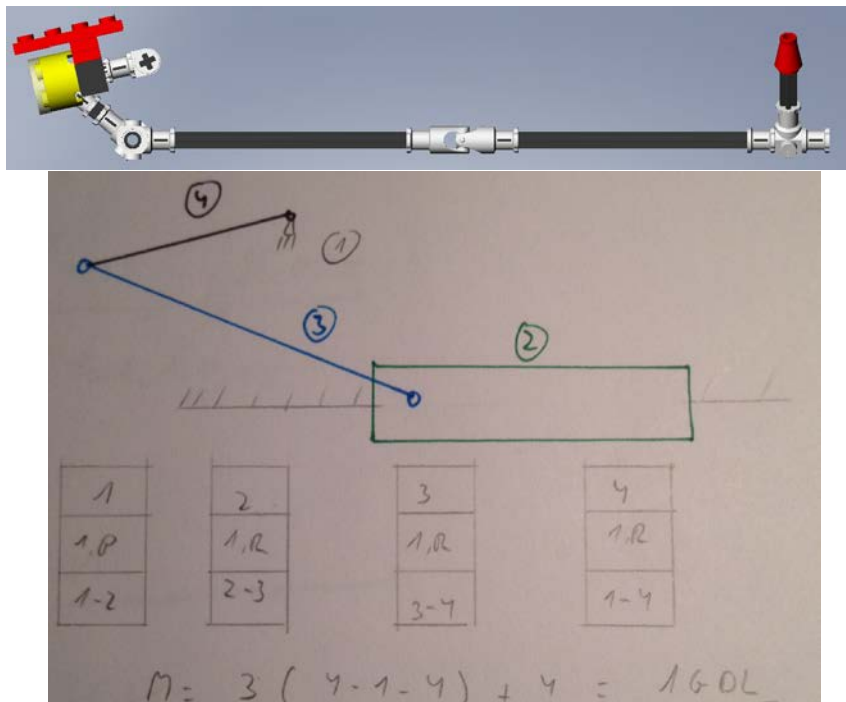


Figura 115-Mecanismo que permite subir y bajar los faros del vehículo, y su diagrama cinemático.

7.6.2 Mecanismo auto-alineado y simulación

El resultado de establecer cada uno de los pares y establecer su movimiento es el siguiente. Como se puede observar, la complejidad del modelo reside en un mayor número de piezas que conllevan el empleo de multitud de pares cinemáticos.

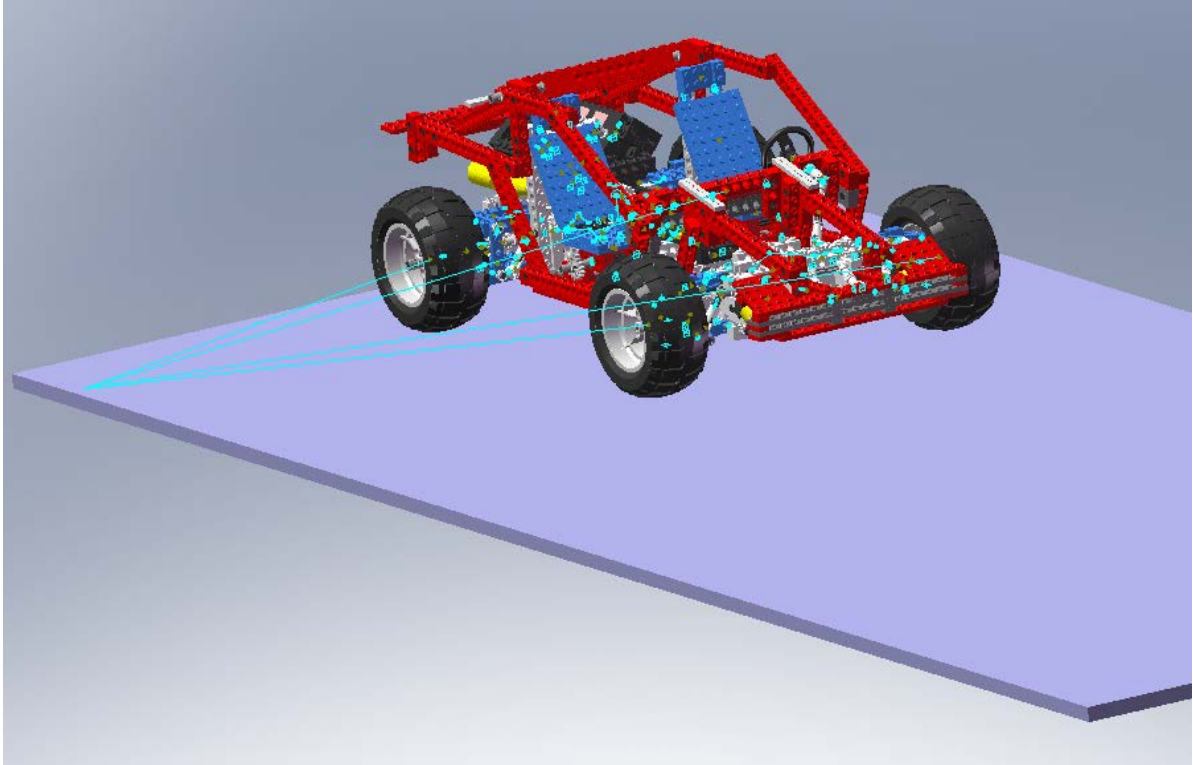


Figura 116-Modelo correctamente situado sobre la base utilizada para la simulación.

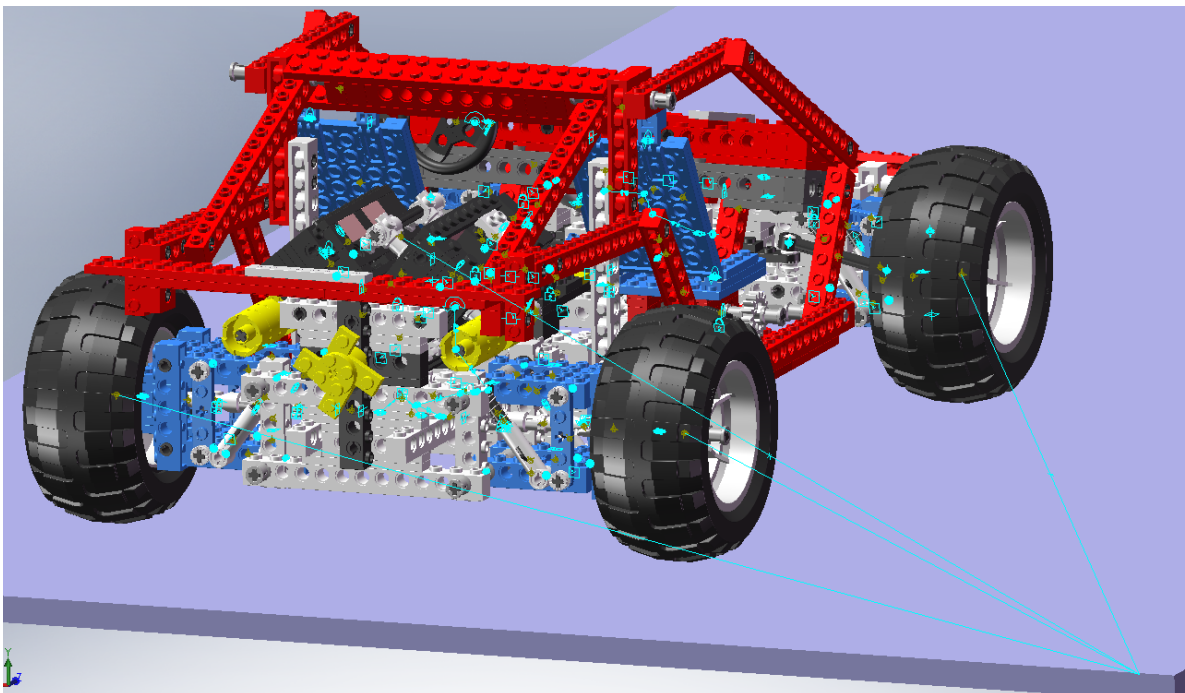


Figura 117-Pares o "joints" empleados en el modelo.

7.7 Modelo vLTm-8868-1

Nos encontramos ante un modelo de complejidad notable debido a su gran número de piezas móviles. A los sistemas de dirección de las ruedas delanteras, y transmisión de movimiento desde su motor (simulando a un motor V6) hasta dos diferenciales en los ejes de las ruedas traseras, hay que sumarle los actuadores que neumáticamente permiten que se mueva la grúa.

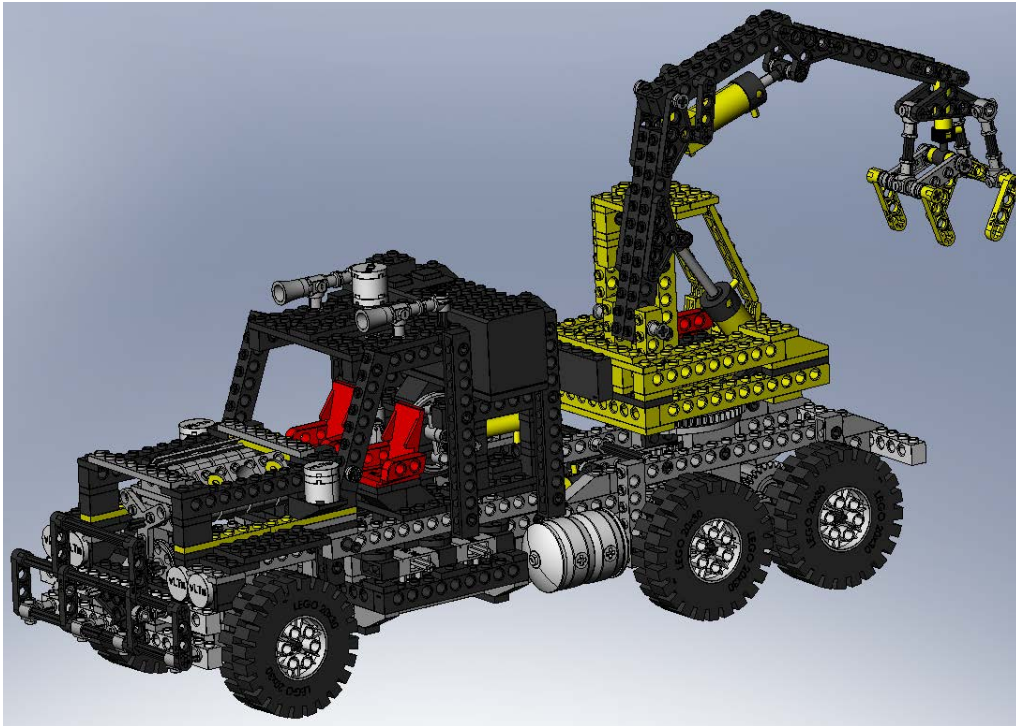


Figura 118-Modelo virtual vLTm-8868-1.

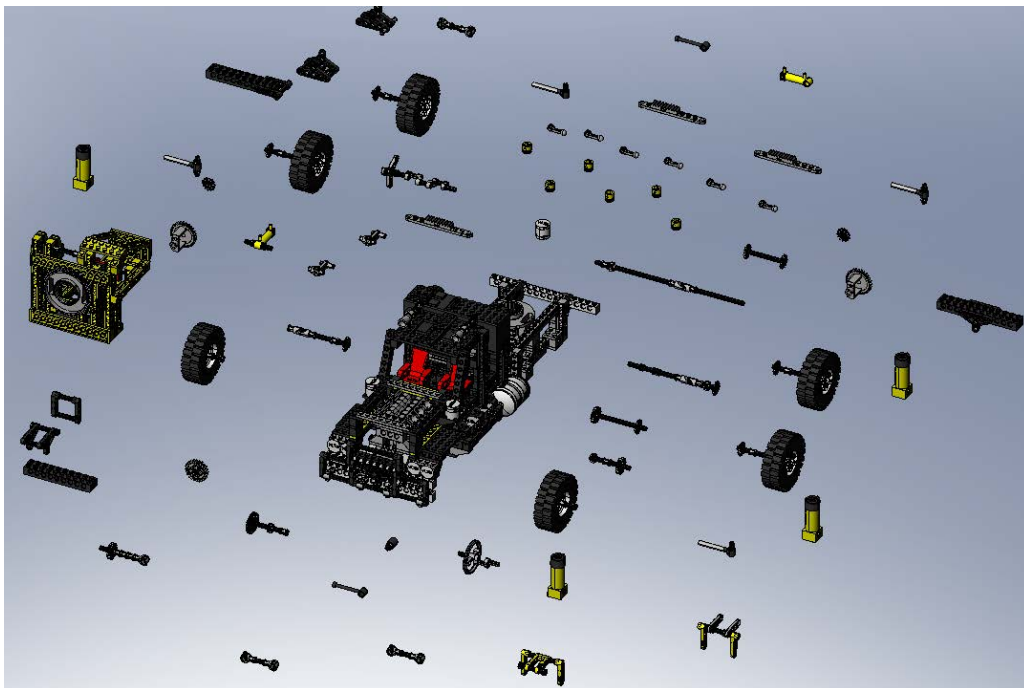


Figura 119-Piezas que conforman el modelo.

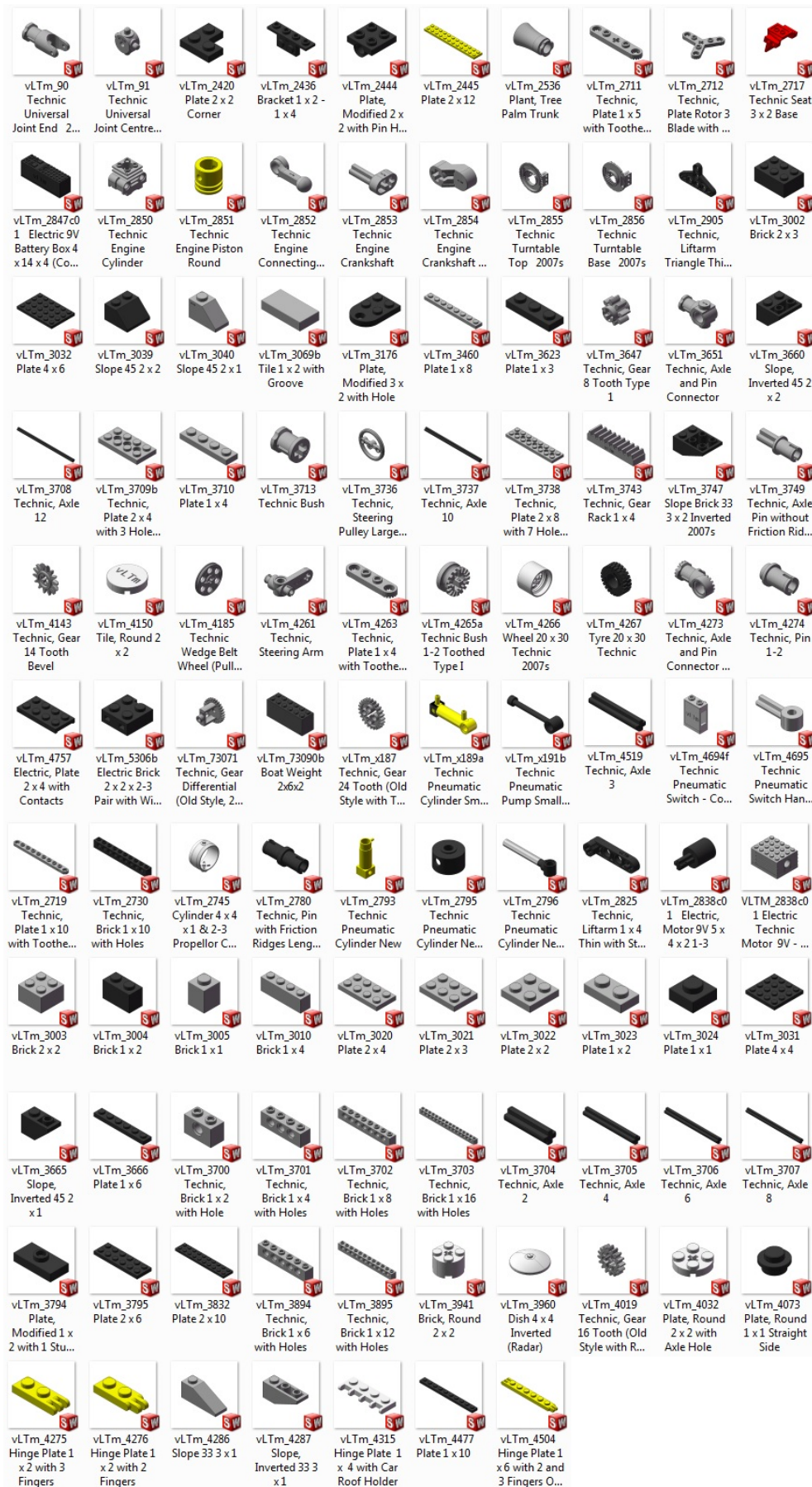


Figura 120-Componentes necesarios para la creación del modelo.

7.7.1 Diagramas cinemáticos

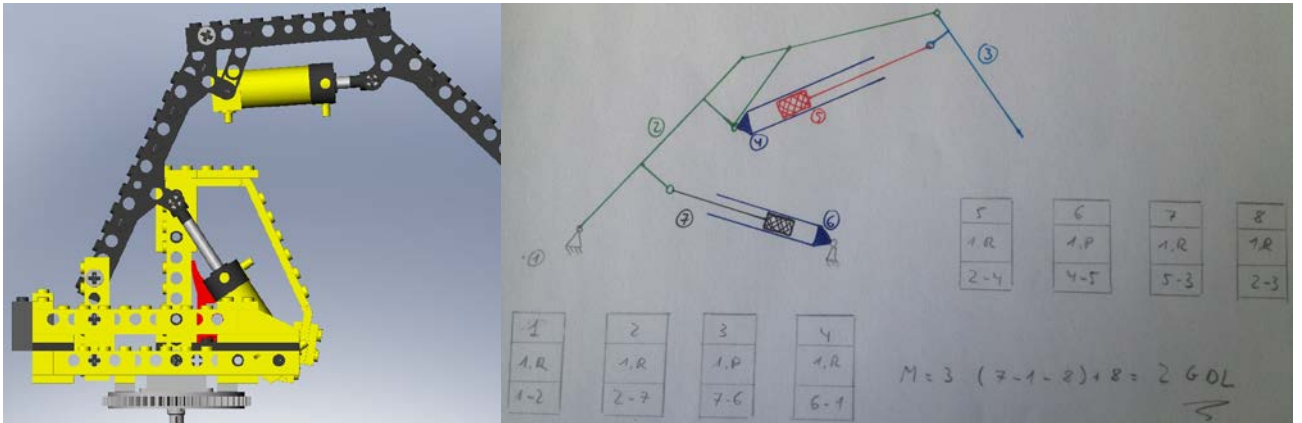


Figura 121-Mecanismo de la grúa y su diagrama cinemático.

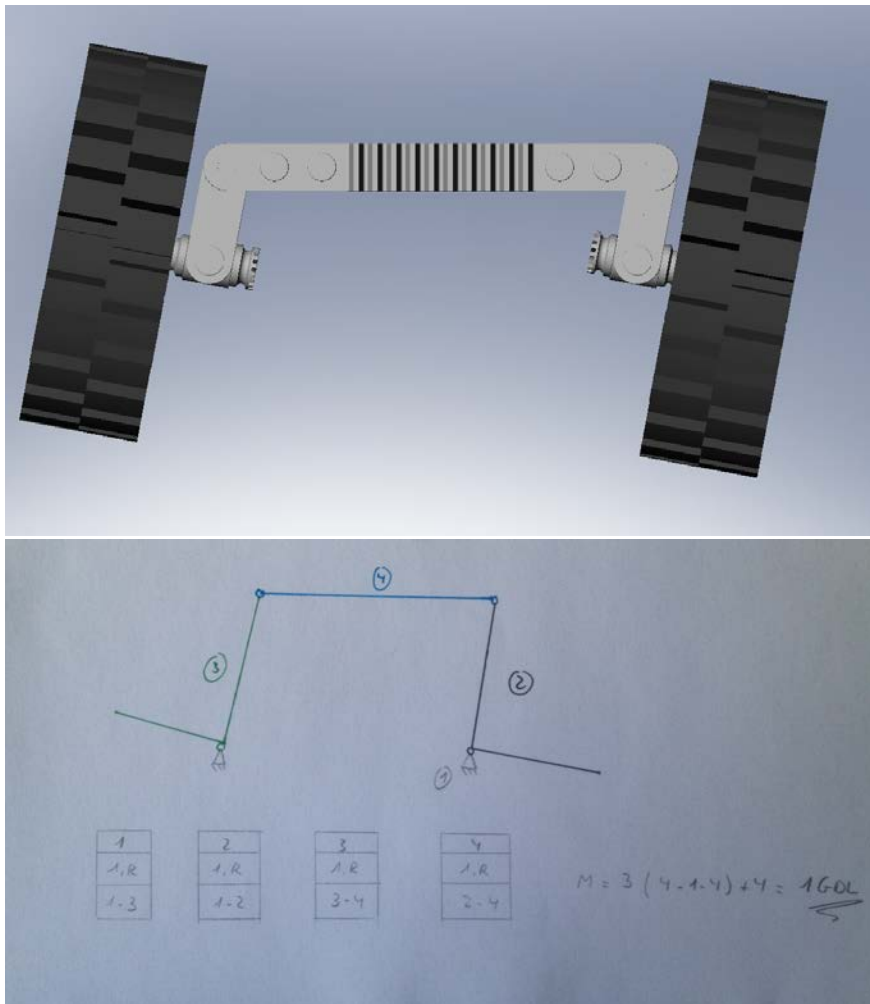


Figura 122-Mecanismo de la dirección del vehículo.

7.7.2 Mecanismo auto-alineado y simulación

Nos disponemos ahora a crear los pares necesarios, así como situar el modelo sobre una base sobre la que podamos simular. En este caso a la hora de establecer los movimientos optamos por emplear comandos "step", consiguiendo que el vehículo avance hasta cierto punto, pare, gire la grúa, y mediante los cilindros neumáticos simule que coge un objeto. Por último deshará los pasos volviendo a la posición inicial.

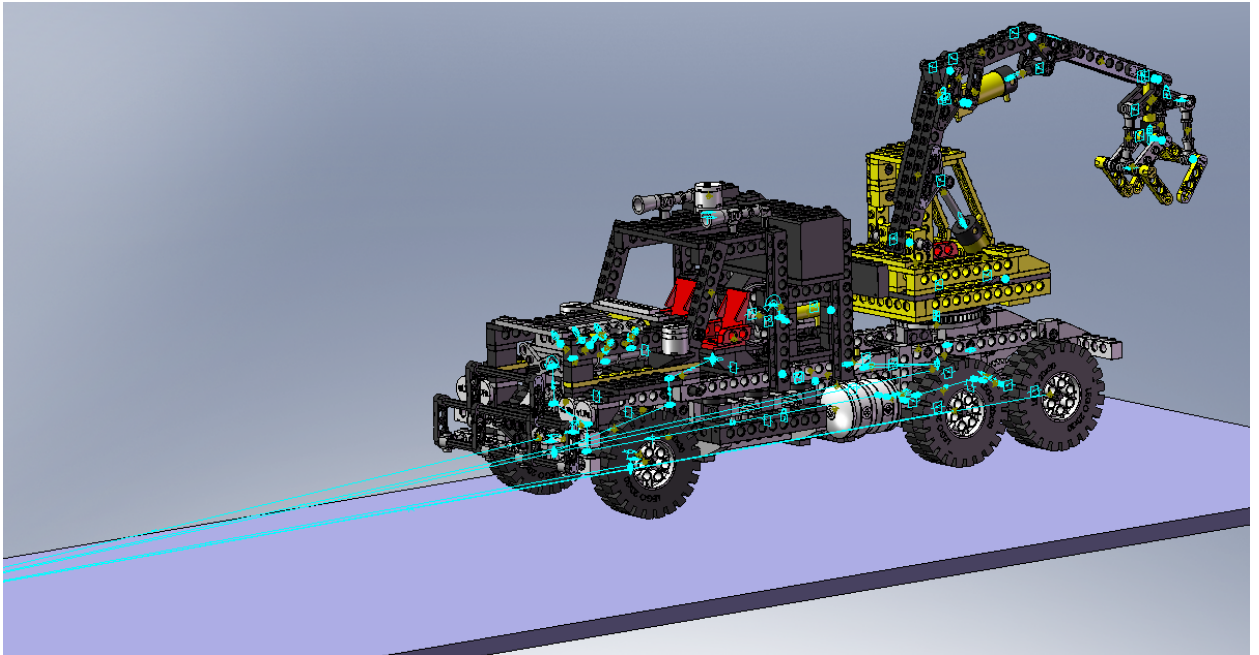


Figura 123-Modelo virtual vLTm-8868-1.

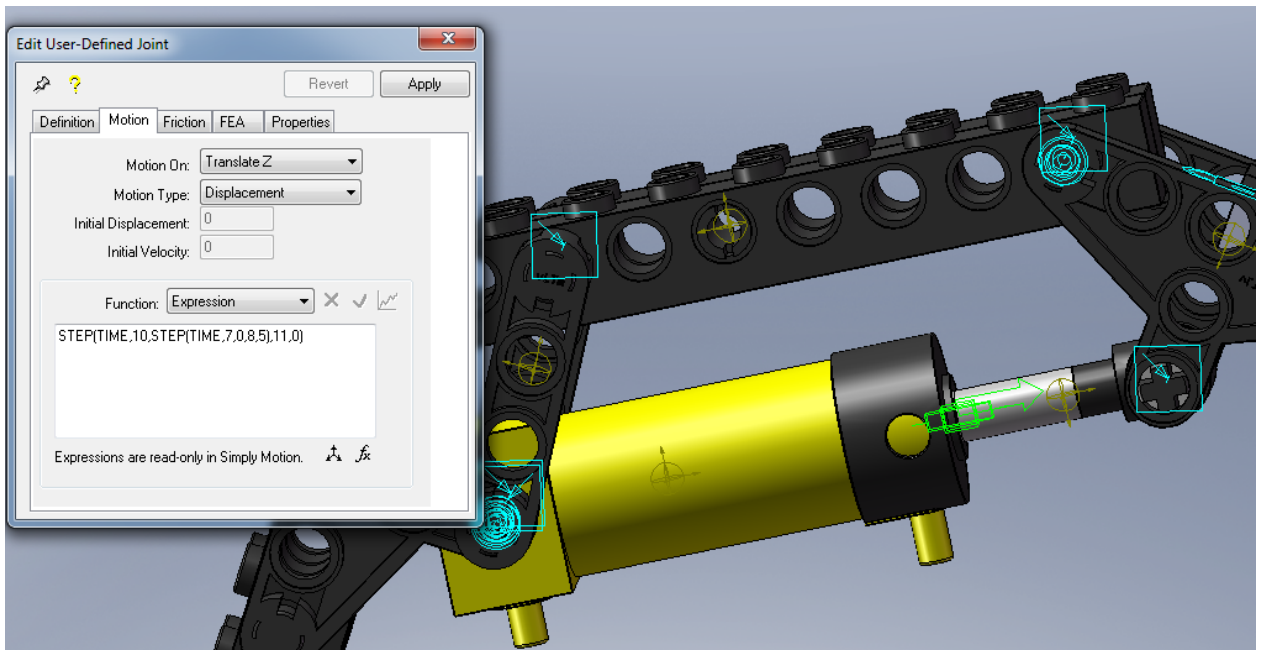


Figura 124-Empleo de comandos "step" o escalón en los actuadores.

Pasaremos a modelar y simular ahora dos modelos más, cuya dificultad reside no solo en el mayor número de piezas y complejidad mecánica de las mismas, sino en que no poseemos documento eDrawings en el cual basarnos. Por tanto, deberemos seguir las instrucciones Lego® que se incluyen en el “set”, debiendo identificar las piezas en el modelo real que previamente hemos montado. En este proyecto hemos escogido dos modelos del mismo “set”, es decir, es posible montar ambos a partir de los mismos componentes Lego® Technic.

7.8 Modelo 9397-1

Este modelo posee varios mecanismos a considerar: dirección del vehículo, parte del chasis se levanta para mostrar los cilindros moviéndose, puertas y espejos retrovisores con posibilidad de movimiento, transmisión de movimiento desde el motor al diferencial de uno de los ejes traseros y un mecanismo de engranajes que permite alternar entre distintos modos empleando el mismo motor. Al alternar entre estos modos vemos que tenemos la posibilidad de girar la grúa, de actuar sobre los cilindros del brazo de la grúa o de subir y bajar las patas de apoyo para el vehículo.

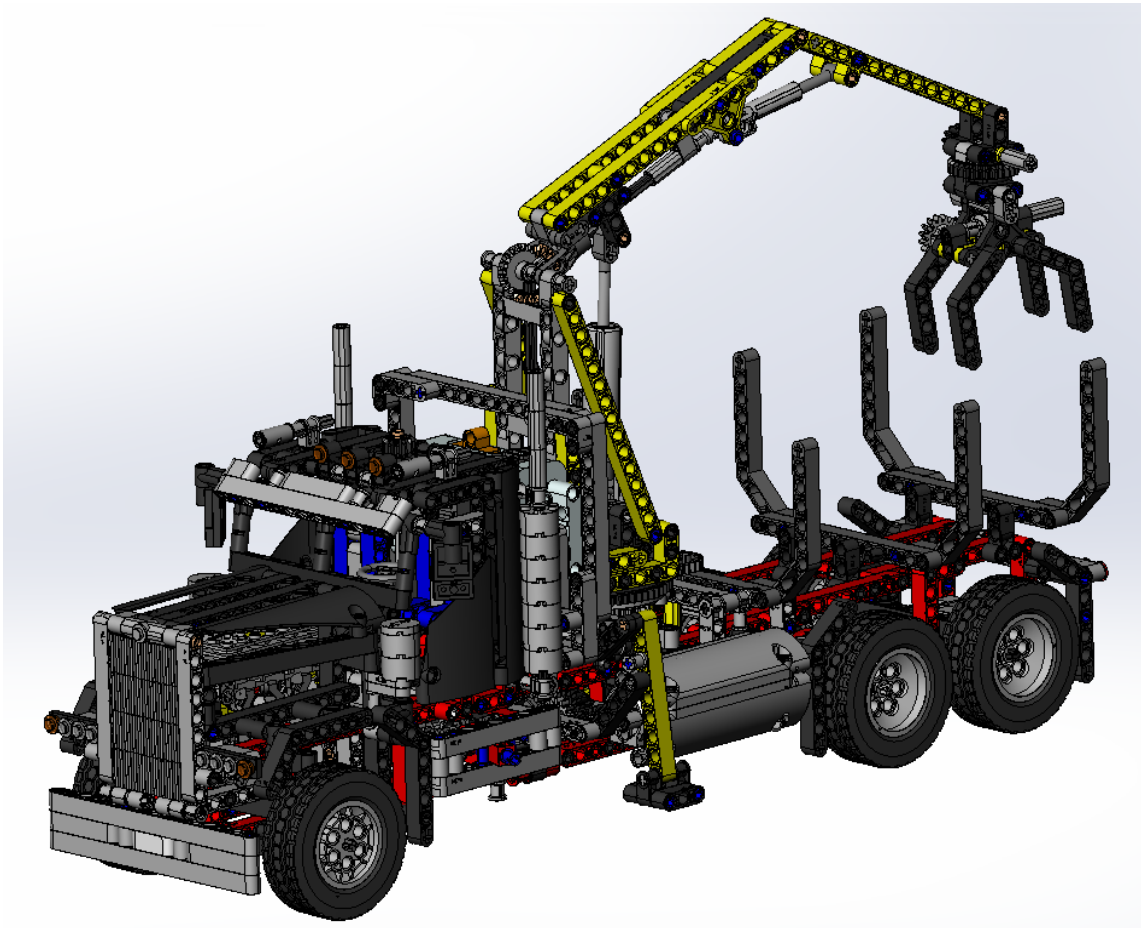


Figura 125-Modelo virtual vLTm-9397-1.

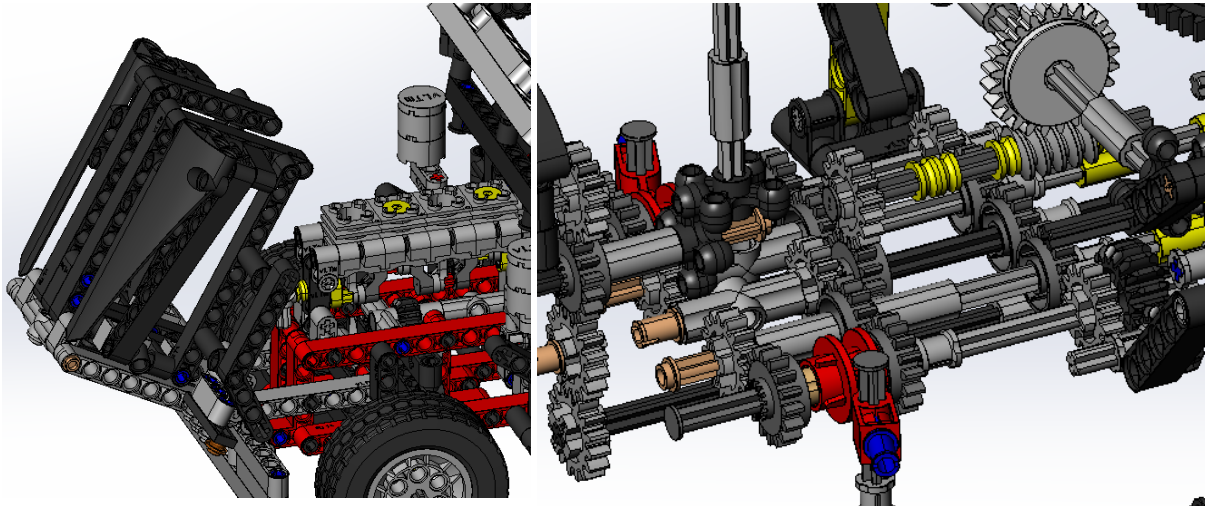


Figura 126-Sistema de engranajes (derecha) y mecanismo que permite ver el motor (izquierda).

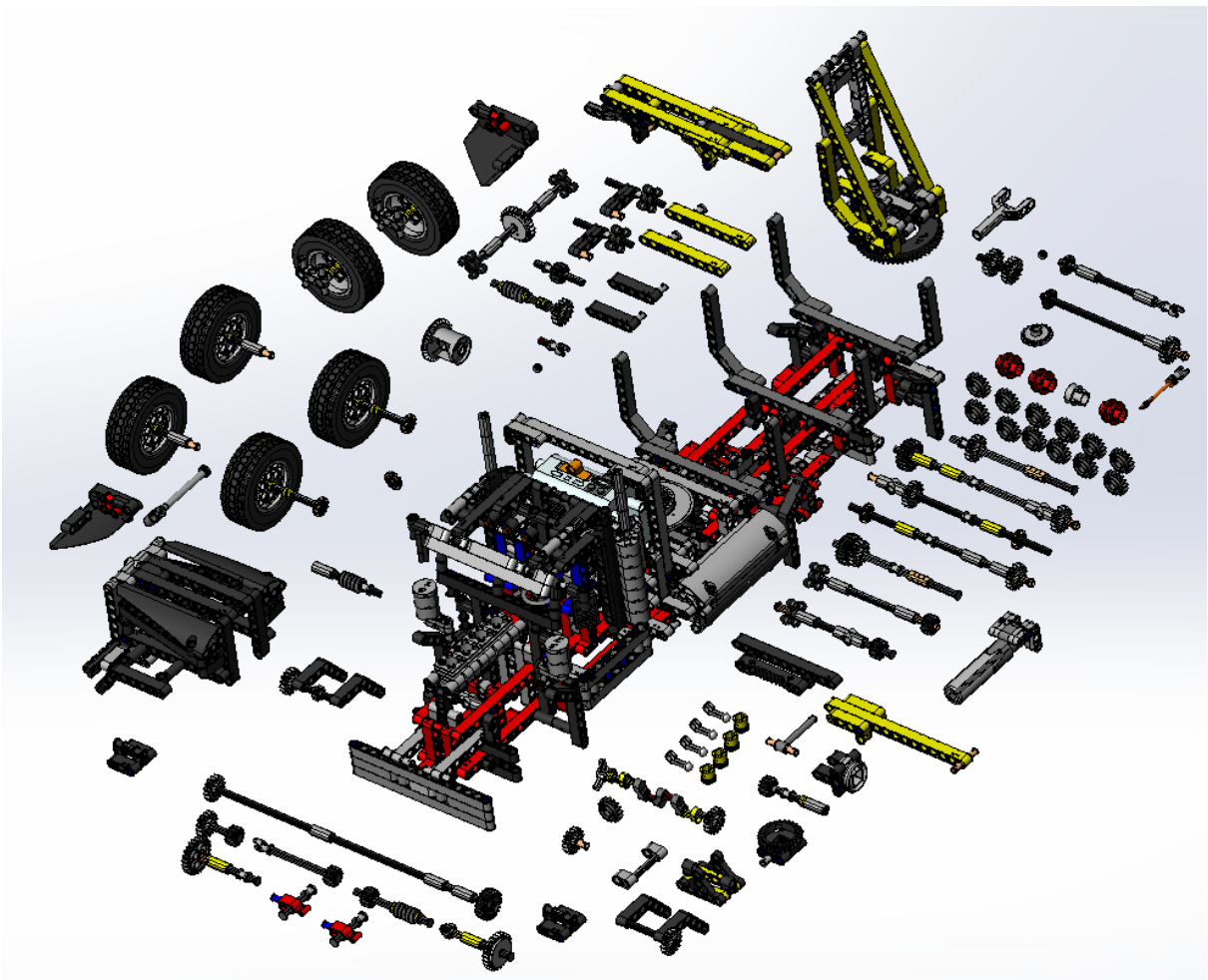


Figura 127-Piezas creadas para el posterior ensamblaje del modelo.

7.8.1 Mecanismo auto-alineado y simulación.

Tal y como podemos observar en las figuras, estamos ante modelos de notable complejidad en cuanto al número de pares a emplear, especialmente en el sistema de engranajes que permite alternar entre los distintos movimientos posibles del modelo a partir de un solo motor eléctrico.

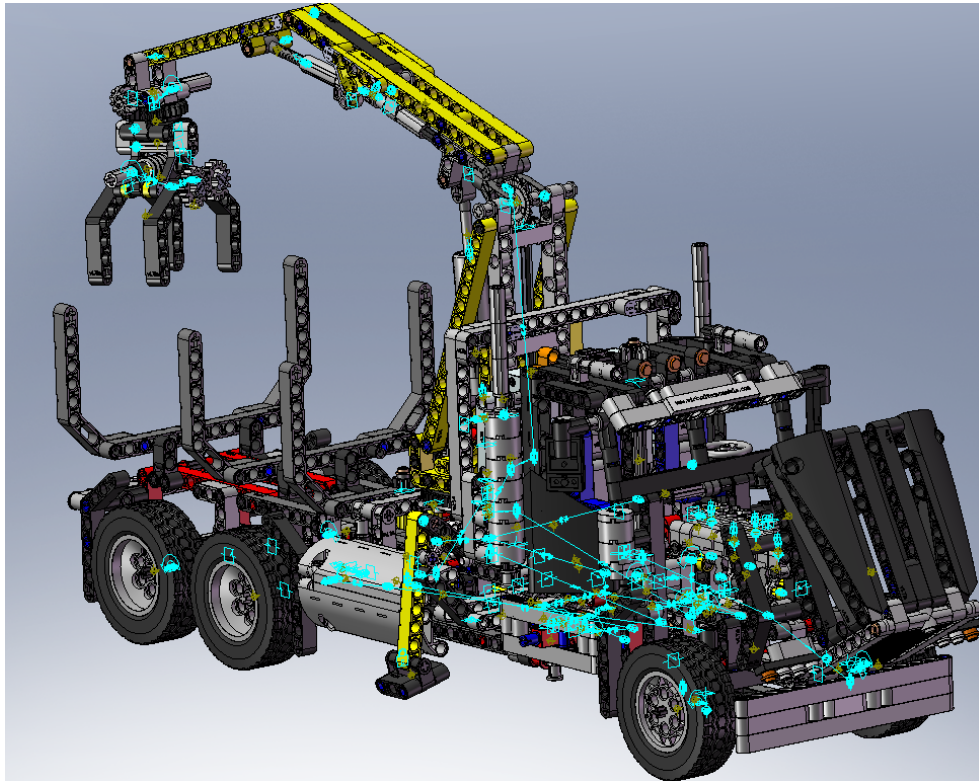


Figura 128-Pares empleados en el modelo.

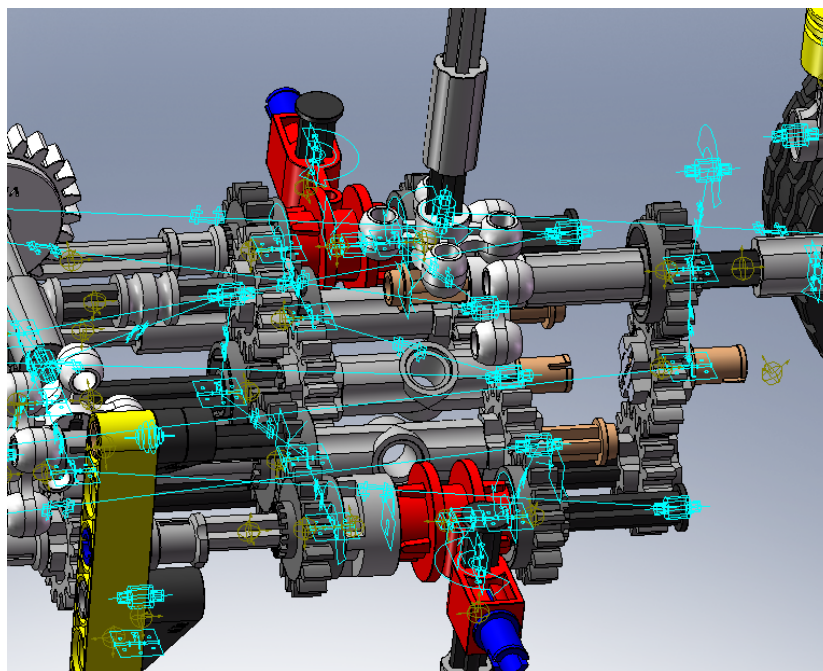


Figura 129-Pares utilizados en el sistema de engranajes.

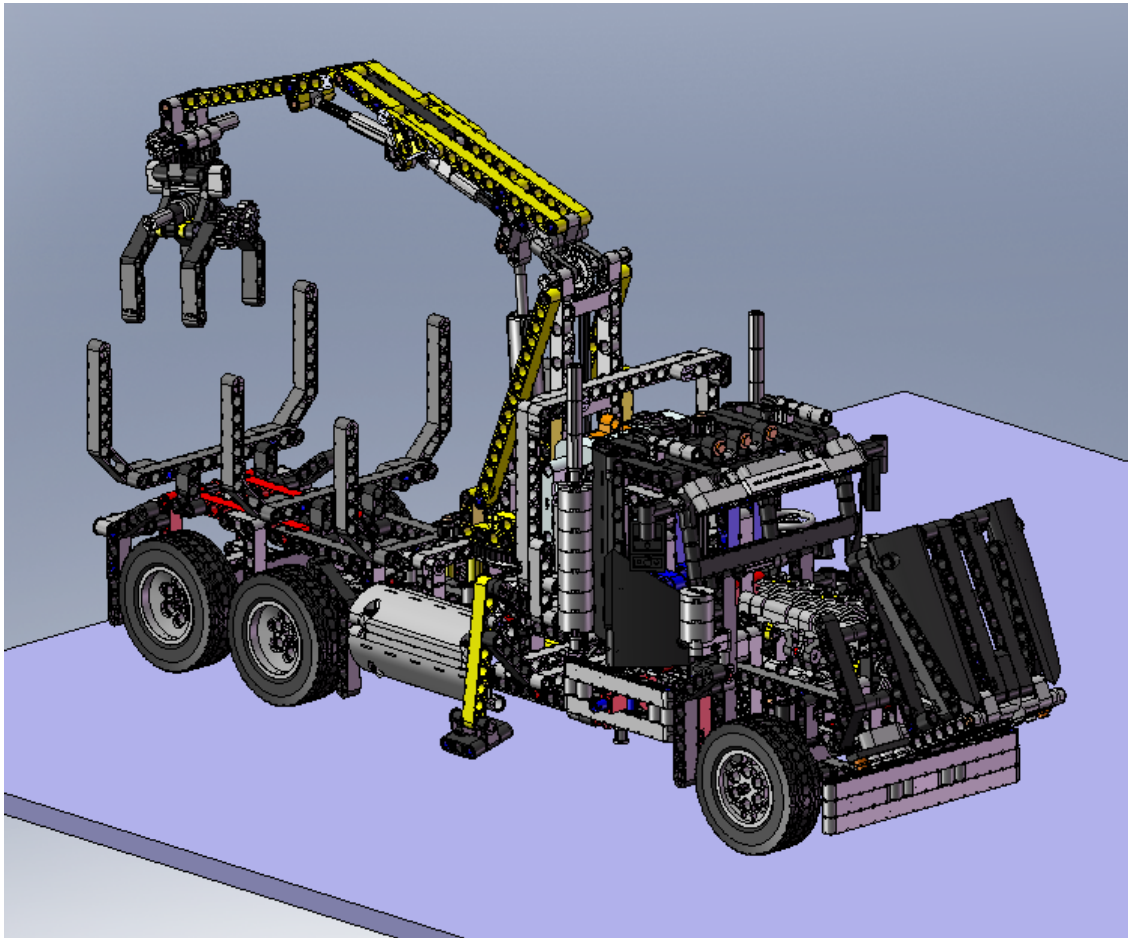


Figura 130-Modelo 9397-1 situado sobre la base para su simulación.

7.9 Modelo vLTm-9397-2

Tal y como vemos en la imagen, se trata de un camión volquete con una pala delantera. Con un sistema de engranajes parecido al anterior, es posible alternar entre distintos modos: levantamiento de la cabina del camión para poder ver el motor (similar al anterior), las ruedas traseras tienen la posibilidad de subir y bajar con lo que se consigue una mayor superficie de apoyo al estar cargado el camión, y la pala delantera sube y baja (también es posible orientarla manualmente).

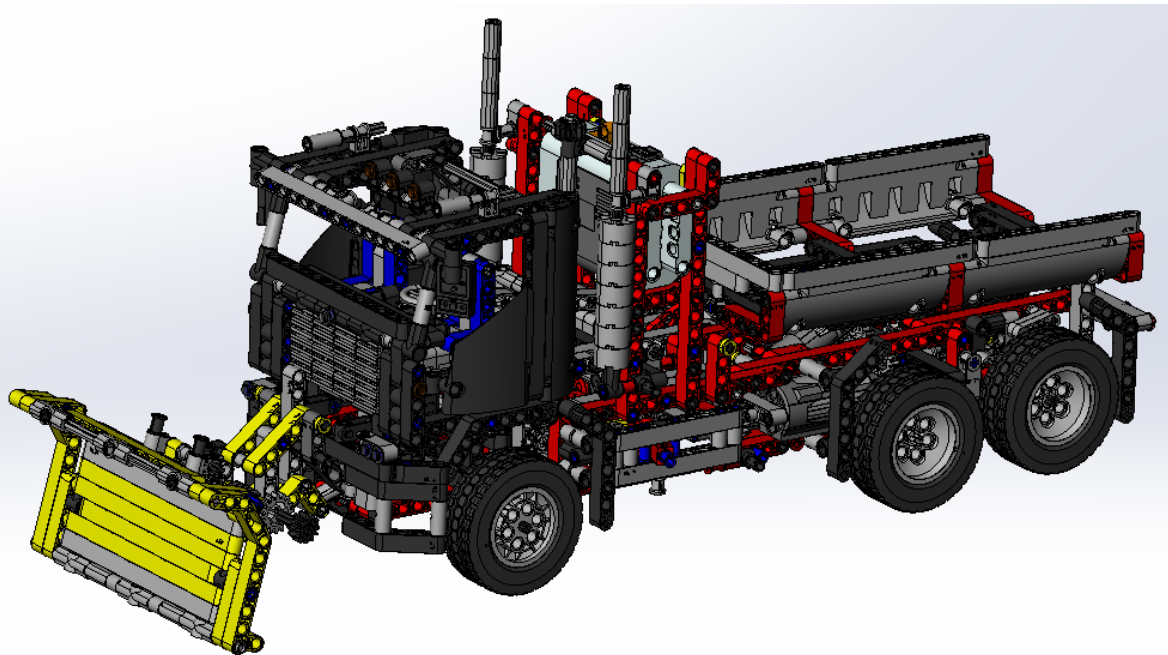


Figura 131-Modelo virtual vLTm-9397-2.

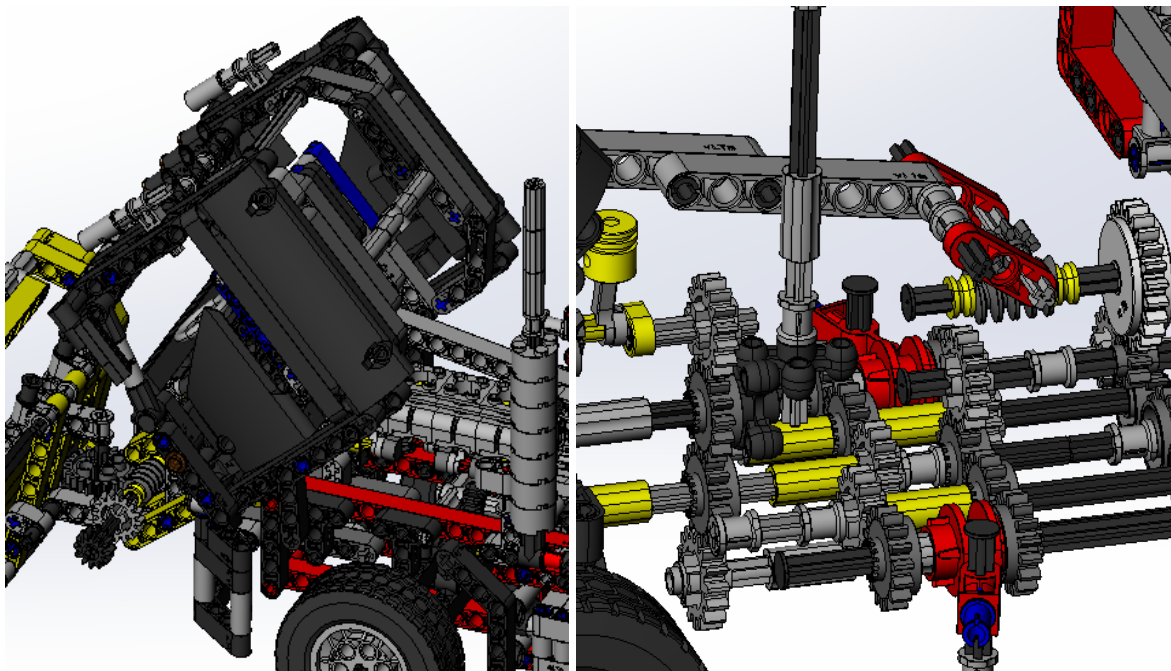


Figura 132-Mecanismo que permite levantar la cabina del camión, y sistema de engranajes.

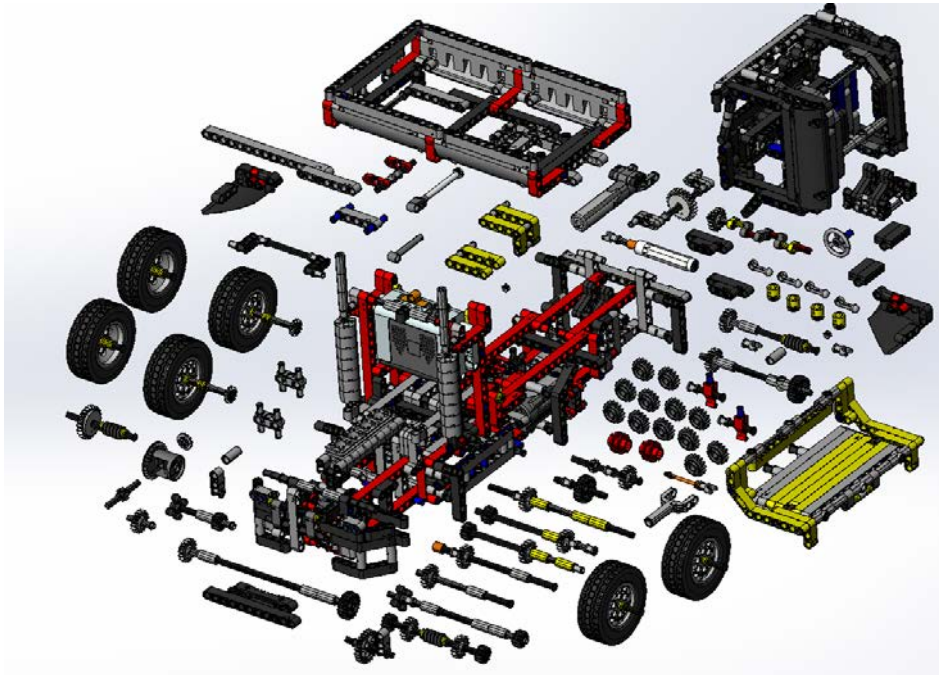


Figura 133-Piezas necesarias para la creación del modelo virtual.

7.9.1 Mecanismo auto-alineado y simulación

La disposición de los pares del modelo 9397-2 resulta similar a la del 9397-1, sobre todo en el sistema de engranajes.

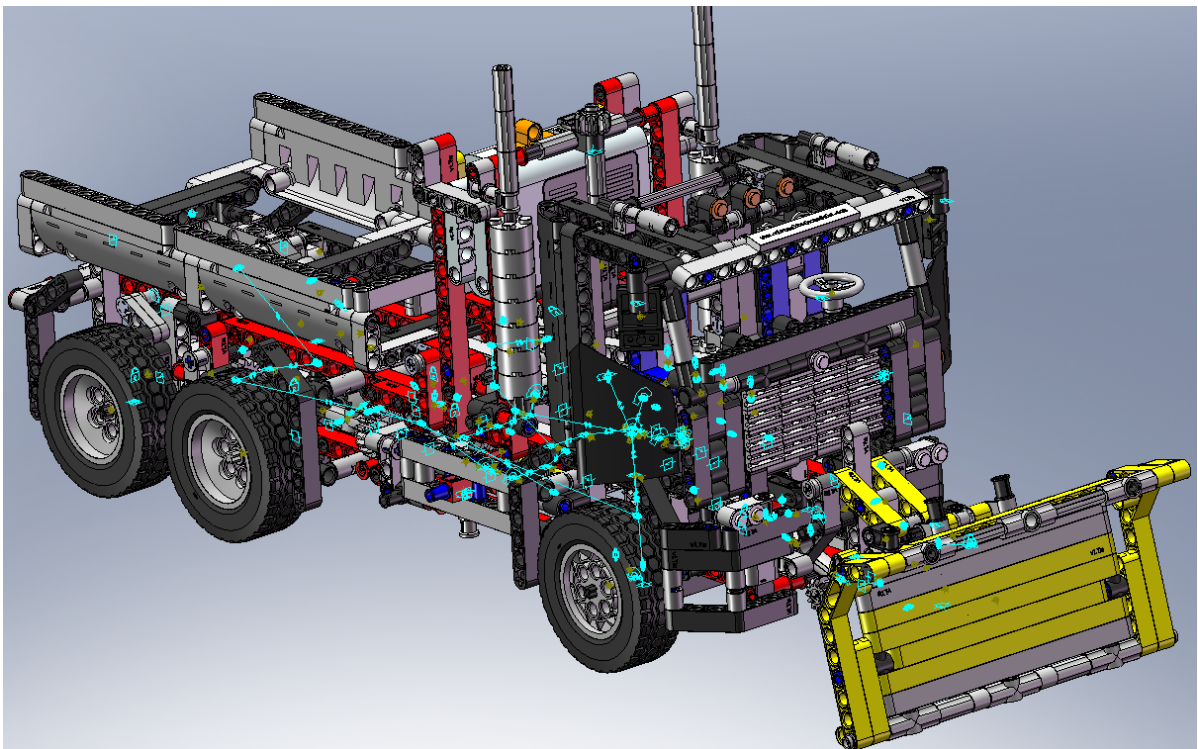


Figura 134-Pares empleados en la creación del mecanismo auto-alineado.

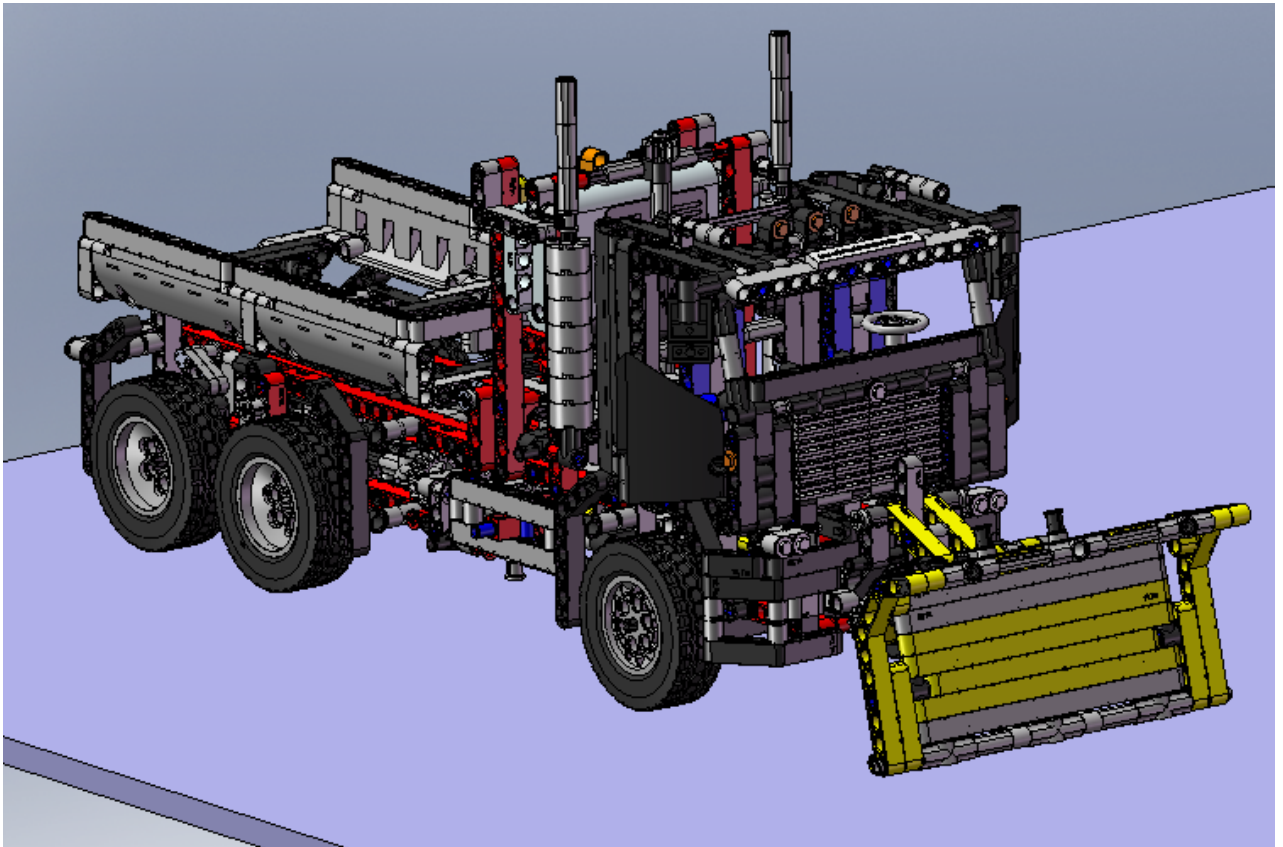


Figura 135-Modelo 9397-2 situado sobre la base para su simulación.

8 COMPETENCIAS ADQUIRIDAS Y CONCLUSIÓN

Tras la realización de este trabajo se puede afirmar a ciencia cierta que el modelado y simulación de modelos Lego® Technic y, en definitiva, trabajar con este sistema Lego® aporta multitud de conocimientos no solo a nivel de diseño y simulación en aplicaciones muy utilizadas a nivel profesional, sino a nivel de conocimientos mecánicos.

Entendiendo competencia adquirida como una habilidad que he desarrollado tras la realización del proyecto, es lógico suponer que la principal habilidad adquirida ha sido la del manejo de aplicaciones informáticas de modelado y simulación empleadas en el ámbito profesional. Al iniciar este trabajo de fin de grado, la habilidad que poseía a la hora de crear virtualmente o simular una máquina era muy limitada, sin embargo, tras haber realizado el mismo se hace posible la extrapolación de estos conocimientos a otros ámbitos, pudiendo tanto modelar como simular máquinas reales de diverso tipo.

Por otro lado, ante la necesidad del empleo de diversos mecanismos tanto en la etapa de construcción virtual como en la de simulación, ha sido necesario recuperar tanto los principios básicos de la teoría de máquinas y mecanismos como su aplicación.

De esta forma, el establecimiento de una serie de pautas a seguir para llegar a un mecanismo auto-alineado, y el estudio mecánico que ello implica nos asegura, una vez realizado el trabajo, un mayor conocimiento y entendimiento de multitud de mecanismos Lego®. Al estar éstos extraídos de máquinas reales (imitándolas con una fiabilidad notable), que nos podemos encontrar en nuestro día a día, el estudio mediante este tipo de sistema implica el estudio de mecanismos reales, lo cual puede validar una posible docencia en el ámbito de la mecánica basada en mecanismos Lego® Technic.

Por último, otro punto a tener en cuenta al realizar el proyecto es que te familiarizas con la gestión de información proveniente de distintas fuentes, así como con la toma de decisiones necesaria en su realización sin olvidar que te obliga a desarrollar la creatividad a la hora de utilizar todo tipo de mecanismos.

Si bien este trabajo está enfocado a la cinemática y nos puede aportar una visión de cómo se comportaría y cuáles son los movimientos de la máquina real, quedaría completarlo con la realización de un estudio dinámico basado en la medición de fuerzas y momentos en el modelo real, y la aplicación de éstas al modelo creado en este proyecto. De esta forma podríamos conseguir no solo una simulación que se ajuste más a la realidad sino también nos permitiría realizar un estudio de resistencia de materiales aplicando técnicas basadas en el uso de elementos finitos. Como he dicho anteriormente, dadas las fuerzas que intervienen en los modelos de Lego®, este estudio no implicaría mucha diferencia respecto a lo realizado en este proyecto, pero sería interesante conocer los pasos a seguir con el fin de poder aplicarlos a máquinas en las cuales intervengan fuerzas mayores.

Se puede apreciar en la siguiente figura un claro ejemplo de aplicación práctica de las etapas de modelado y simulación anteriormente descritas. Concretamente se trata de un robot hexápodo del trabajo de fin de grado “simulación virtual, reconfiguración electrónica, y programación real del movimiento del robot Hexapod II” por Guillermo Oliver en el cual en una etapa previa al establecimiento de los movimientos reales del robot se optó por simularlo con el fin de probar distintos movimientos que se pudiesen implementar posteriormente.

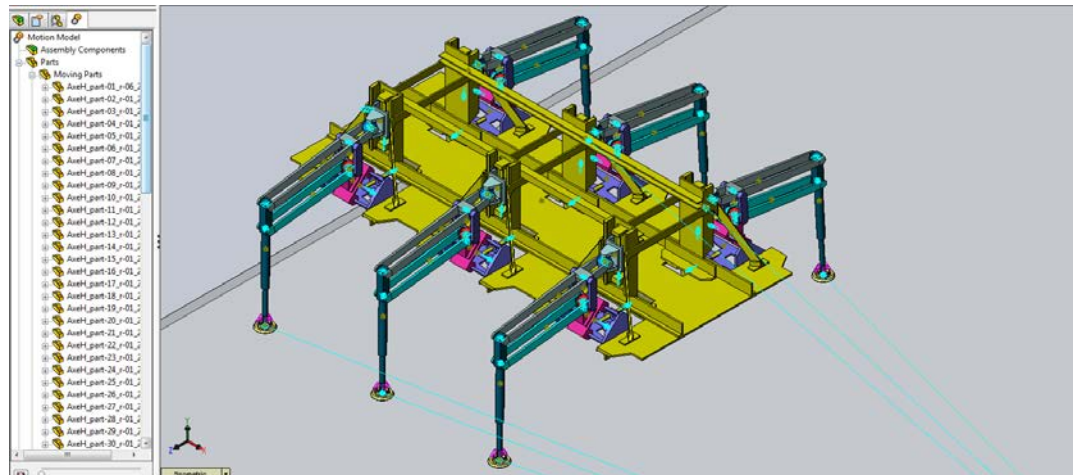


Figura 136-Robot "Hexapod II" situado en base para su simulación.



9 BIBLIOGRAFÍA

Libros y estudios:

- McKinsey Global Institute, *Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation*, 2012.
- Isogawa Yoshihito, *LEGO® Technic Tora no Maki*, 2010.
- L. N. Reshetiov, *Self-aligning mechanisms*, Mir, 1982.
- K. J. Waldron, *Kinematics, Dynamics, and Design of Machinery*, 2003.

Páginas web:

- www.virtualtechmodels.com
- www.bricklink.com
- www.lego.com
- www.lego.com/es-es/technic
- www.brickset.com
- www.technicbricks.com



Presupuesto

1. INTRODUCCIÓN.....
I. CAPÍTULO 1: SOFTWARE.....
II. CAPÍTULO 2: EQUIPO INFORMÁTICO.....
III. CAPÍTULO 3: MODELOS LEGO® TECHNIC.....
IV. CAPÍTULO 4: MODELOS VIRTUALES LEGO® TECHNIC.....
2. RESUMEN DE PRESUPUESTO.....

1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar es necesario recordar que se realiza el presupuesto como si de un proyecto a medida se tratase, es decir, basándonos en un encargo recibido. Por tanto, se excluirá del presupuesto el proceso de aprendizaje seguido, figurando solo el encargo del cliente en cuestión.

Teniendo en cuenta esto, podemos desglosar el presupuesto en cuatro capítulos, a saber: software empleado en la realización del proyecto, equipo informático, “sets” modelos Lego® Technic comprados y, por último, modelos virtuales creados.

En la sección resumen, presentaremos un presupuesto global que englobe a todos los capítulos anteriormente nombrados.

I. Capítulo 1: Software

A la hora de incluir en el presupuesto las licencias para el software empleado, hay que tener en cuenta que para la realización de este trabajo empleamos no solo la versión 2007 de SolidWorks, sino también la del 2014-2015. Por tanto:

Aplicación informática	Unidades	Precio unitario (€)	Horas/año	Horas de trabajo	Coste (€)
SolidWorks 2007 + COSMOS Motion	1	5300	1920	200	552,10
SolidWorks 2014-2015	1	4500	1920	100	234,38
				TOTAL	786,46

Tabla 2-Presupuesto software.

II. Capítulo 2: Equipo informático

Con el fin de poder ejecutar SolidWorks correctamente, es necesario un ordenador que, como mínimo, cumpla ciertos requisitos. Por ello, hemos empleado un ordenador cuyas características son: procesador i7 3820 (3,6 GHz), 8 gigas de memoria RAM, tarjeta gráfica nVidia Quadro K2200.

Equipo	Unidades	Precio unitario (€)	Horas/año	Horas de trabajo	Amortización	Coste (€)
PC	1	1650	1920	300	25%	64,45

Tabla 3-Presupuesto equipo informático.

Consideramos un periodo de amortización de cuatro años.

III. Capítulo 3: Modelos Lego© Technic

Con el fin de poder modelar los dos últimos modelos fue necesaria su compra, dado que no existía ningún archivo virtual en el que basarse para su construcción. Teniendo en cuenta que ambos modelos se crean a partir del mismo “set” de Lego©, resulta:

Modelo Lego© Technic	Unidades	Precio unitario (€)	Coste (€)
9397 Logging Truck	2	190,95	381,90

Tabla 4-Presupuesto modelos Lego© Technic.

IV. Capítulo 4: Modelos virtuales Lego© Technic

Se disponen a continuación los costes asociados a modelar, conseguir un mecanismo auto-alineado y simular los modelos. Consideramos que la mano de obra de un ingeniero en prácticas es de 25 euros por hora, considerando el IVA esto asciende a 30,25 euros la hora. Teniendo esto en cuenta hemos considerado 30 euros por hora de mano de obra.

Modelo virtual	Tareas	Horas	Precio (€/h)	Precio Tarea	Coste (€)
8865-1	Montaje del modelo virtual	48	30	1440	1800
	Creación del modelo auto-alineado	9	30	270	
	Simulación	3	30	90	
8868-1	Montaje del modelo virtual	50	30	1500	2010
	Creación del modelo auto-alineado	12	30	360	
	Simulación	5	30	150	
9397-1	Montaje del modelo virtual	75	30	2250	2970
	Creación del modelo auto-alineado	17	30	510	
	Simulación	7	30	210	
9397-2	Montaje del modelo virtual	53	30	1590	2040
	Creación del modelo auto-alineado	10	30	300	
	Simulación	5	30	150	
				TOTAL	8820

Tabla 5-Presupuesto creación y simulación de modelos Lego© Technic.

2. Resumen

Por último, detallamos el presupuesto que engloba a los capítulos anteriormente descritos, añadiendo un 6% de beneficio industrial y considerando un 21% de IVA.

Capítulo	Coste(€)
Software	786,36
Equipo informático	64,45
Modelos Lego© Technic	381,90
Modelos virtuales Lego© Technic	8820
SUBTOTAL	10052,82

Tabla 6-Resumen capítulos.

Concepto	Coste(€)
Subtotal	10052,82
Beneficio industrial	647,86
IVA (21%)	2267,50
TOTAL	12767,07

Tabla 7-Presupuesto global.

El presupuesto total asciende a doce mil setecientos sesenta y siete euros y siete céntimos.