



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**DISEÑO MECÁNICO, CONSTRUCCIÓN
VIRTUAL Y SIMULACIÓN CINEMÁTICA EN
SOLIDWORKS
DE LOS MODELOS LEGO® TECHNIC: vLTm
8446-1, vLTm 8448 y LTm 9396-1.**

AUTOR: PÉREZ ZAFRILLA, BORJA.

TUTOR: OLIVER HERRERO, JOSÉ LUIS.

Curso Académico: 2014-2015



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

RESUMEN

El presente documento recoge los conceptos teóricos, los procedimientos seguidos y los resultados obtenidos en la realización del trabajo sobre el que trata.

En dicho trabajo se ha propuesto establecer un sistema de representación virtual de mecanismos y máquinas, apoyándose en el sistema de construcción LEGO® Technic. Este sistema de representación facilitará las labores de diseño mecánico, permitiendo abordar los problemas que pueden surgir en dicha tarea de forma eficiente.

En concreto, se ha probado la eficacia de este método buscando obtener un mecanismo “auto-alineado”, es decir, sin exceso de restricciones, lo cual resulta muy recomendable. Para ello, se debe resolver el problema de la correcta selección de las uniones cinemáticas (cojinetes) que conforman el mecanismo.

Palabras clave: Representación virtual, LEGO® Technic, mecanismo auto-alineado.

RESUM

El present document recull els conceptes teòrics, els procediments seguits i els resultats obtinguts en la realització del treball sobre el que tracta.

En aquest treball s'ha proposat establir un sistema de representació virtual de mecanismes i màquines, recolzant-se en el sistema de construcció LEGO® Technic. Aquest sistema de representació facilitarà les feines de disseny mecànic, permetent abordar els problemes, que puguen aparéixer en aquesta tarea, de forma eficient.

Concretament, s'ha provat l'eficàcia d'aquest mètode tractant d'obtindre un mecanisme “auto-alineat”, és a dir, sense excés de restriccions, el qual resulta molt recomanable. Per aconseguir això, cal resoldre el problema de la correcta selecció de les unions cinemàtiques (coixinets) que conformen el mecanisme.

Paraules clau: Representació virtual, LEGO® Technic, mecanismo auto-alineat.

ABSTRACT

This following document provides the theoretical concepts, the procedures followed and the results obtained during development of the project.

The aim of this project is to build a system of virtual representation of mechanisms and machines, using the building system LEGO® Technic. This representation system tries to facilitate the mechanical design work, allowing the many problems that may arise during the design process be tackled.

Indeed, the efficacy of this method has been tested with the aim on obtaining a self-aligning mechanism, that is, a mechanism without excessive restrictions, which is of course very convenient. To ensure this aim, it is necessary to solve the correct type of cinematic joints (bearings) that form the mechanism.

Keywords: Virtual representation, LEGO® Technic, self-aligning mechanism.



CONTENIDO

| | |
|-------------|----|
| MEMORIA | 7 |
| PRESUPUESTO | 90 |



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

MEMORIA

INDICE DE LA MEMORIA

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 12 |
| 1.1. Introducción y objetivo del TFG | 12 |
| 1.2. Secuencia del proceso de trabajo | 13 |
| 1.3. Modelos LEGO® Technic reales | 13 |
| 1.4. Los componentes LEGO® Technic | 14 |
| 1.5. Modelos LEGO® Technic virtuales | 14 |
| 1.6. Justificación de los modelos LEGO® Technic virtuales | 15 |
| 1.7. Simulación virtual de mecanismos reales | 15 |
| 1.8. Modelos de Isogawa Yoshihito | 16 |
| 1.9. Programas informáticos | 16 |
| 2. Ensamblaje | 17 |
| 2.1. Introducción y objetivos | 17 |
| 2.2. Proceso de montaje virtual del modelo | 17 |
| 2.2.1. Elección del modelo a representar | 17 |
| 2.2.2. Elección de los componentes | 18 |
| 2.2.3. Identificación de las piezas | 18 |
| 2.2.4. Nomenclatura | 19 |
| 2.3. Montaje utilizando SolidWorks 2007 | 20 |
| 2.3.1. Requisitos del montaje | 20 |
| 2.3.2. Relaciones de posición | 20 |
| 2.3.3.1. Relaciones de posición estándar | 21 |
| 2.3.3.2. Relaciones de posición avanzadas | 23 |
| 2.3.4. Montaje de las piezas y del modelo | 24 |
| 3. Compactación | 25 |
| 4. Modelo cinemático “auto-alineado” | 26 |
| 4.1. Introducción y objetivos | 26 |
| 4.2. Sistemas mecánicos | 26 |



| | |
|--|-----------|
| 4.3. Conceptos básicos | 26 |
| 4.3.1. Impulsor, seguidor y factor de transmisión | 26 |
| 4.3.2. Simplificaciones | 27 |
| 4.4. Estudio cinemático | 27 |
| 4.4.1. Evolución temporal del movimiento en un mecanismo | 27 |
| 4.4.2. Mecanismos planos | 27 |
| 4.5. Pares cinemáticos | 28 |
| 4.6. Movilidad en los mecanismos | 30 |
| 4.6.1. Cálculo de la movilidad en mecanismos planos | 30 |
| 4.6.2. Cálculo de la movilidad en mecanismos espaciales | 30 |
| 4.6.3. Diagramas cinemáticos | 30 |
| 4.7. Mecanismos “auto-alineados” | 31 |
| 4.8. Modelo cinemático “auto-alineador” en COSMOS Motion | 32 |
| 4.8.1. Interfaz de trabajo | 32 |
| 4.8.2. Incorporación de las piezas | 32 |
| 4.8.3. Pares cinemáticos (“Joints”) | 32 |
| 4.8.4. Acoplamientos (“Couplers”) | 34 |
| 4.8.4.1. En engranajes y poleas | 34 |
| 4.8.4.2. En tornillo sin fin | 34 |
| 4.8.4.3. En piñón – cremallera | 35 |
| 4.8.5. Movilidad del mecanismo en COSMOS Motion | 35 |
| 5. Simulación del modelo virtual | 36 |
| 5.1. Introducción y objetivos | 36 |
| 5.2. Simulación del movimiento en COSMOS Motion | 36 |
| 5.2.1. Restricción del movimiento | 36 |
| 5.2.1.1. Función Constante (“Constant”) | 36 |
| 5.2.1.2. Función Paso (“Step”) | 37 |
| 5.2.1.3. Función Expresión (“Expresion”) | 37 |
| 5.2.2. Entorno y parámetros de la simulación | 38 |



| | |
|---|-----------|
| 5.2.2.1. Creación de la base | 38 |
| 5.2.2.2. Rectificación de la superficie del neumático | 38 |
| 5.2.2.3. Creación del contacto rueda – base | 39 |
| 5.2.2.4. Parámetros de la simulación | 40 |
| 5.2.2.5. Iniciar la simulación | 41 |
| 6. Creación de modelos virtuales | 42 |
| 6.1. Mecanismos Isogawa Yoshihito | 42 |
| 6.1.1. Modelo virtual TORA – 002 | 42 |
| 6.1.2. Modelo virtual TORA – 008 | 43 |
| 6.1.3. Modelo virtual TORA – 009 | 44 |
| 6.1.4. Modelo virtual TORA – 013 | 45 |
| 6.1.5. Modelo virtual TORA – 026 | 46 |
| 6.1.6. Modelo virtual TORA – 037 | 47 |
| 6.1.7. Modelo virtual TORA – 040 | 48 |
| 6.1.8. Modelo virtual TORA – 051 | 49 |
| 6.1.9. Modelo virtual TORA – 059 | 50 |
| 6.1.10. Modelo virtual TORA – 062 | 51 |
| 6.1.11. Modelo virtual TORA – 075 | 52 |
| 6.1.12. Modelo virtual TORA – 079 | 53 |
| 6.1.13. Modelo virtual TORA – 093 | 54 |
| 6.1.14. Modelo virtual TORA – 098 | 55 |
| 6.1.15. Modelo virtual TORA – 102 | 56 |
| 6.1.16. Modelo virtual TORA – 107 | 57 |
| 6.2. Modelo virtual T-0209 | 58 |
| 6.3. Modelo virtual 8042-T | 60 |
| 6.4. Modelo virtual T-0193 | 61 |
| 6.5. Modelo virtual 8862-1 | 63 |
| 6.6. Modelo virtual 8446-1 | 64 |
| 6.7. Modelo virtual 8448 | 69 |
| 6.7.1. Modelo virtual 8448-0 “CHASIS” | 69 |
| 6.7.2. Modelo virtual 8448-1 “CONVERTIBLE” | 71 |
| 6.7.3. Modelo virtual 8448-2 (WING DOORS) | 72 |



| | |
|---|-----------|
| 6.7.4. Modelo virtual 8448-3 (CONCEPT CAR) | 73 |
| 6.7.5. Modelo virtual 8448-4 (RACER) | 74 |
| 6.7.6. Modelo virtual 8448-5 (HOT ROD) | 75 |
| 6.7.7. Modelo virtual 8448-6 (BUGGY) | 76 |
| 6.7.8. Componentes utilizados | 77 |
| 7. Análisis cinemático y simulación de modelos virtuales | 79 |
| 7.1. Modelo virtual 8816-1 | 79 |
| 7.2. Modelo virtual 8459-2 | 80 |
| 7.3. Modelo virtual 8862-1 | 81 |
| 7.4. Modelo virtual 8042-3 | 82 |
| 7.5. Modelo virtual 8446-1 | 83 |
| 8. Montaje real y virtual de un modelo real | 86 |
| 8.1. Montaje del modelo real | 86 |
| 8.2. Creación del modelo virtual | 87 |
| 9. Conclusiones y resultados | 88 |
| 9.1. Análisis de resultados | 88 |
| 9.2. Competencias obtenidas | 88 |
| 10. Bibliografía | 89 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL TFG

Este trabajo pretende abordar la creación de modelos virtuales, a escala, de mecanismos y máquinas reales mediante el uso de programas CAD 3D. Con ello se pretende obtener un proceso de diseño mecánico más eficiente, permitiendo resolver fácilmente los diversos problemas que puedan surgir al realizar este tipo de actividades. En concreto, tras haber profundizado en la creación virtual de modelos mecánicos se pretenderá resolver el problema de obtener un mecanismo “auto-alineado” y simular su sistema cinemático.

Con este propósito, se ha escogido un conocido sistema de construcción modular para realizar fácilmente los montajes de las máquinas y mecanismos, conocido como LEGO® Technic. Este sistema alcanza altos niveles de complejidad, puesto que sus modelos son creados y propuestos por equipos de ingenieros y están inspirados en mecanismos y máquinas reales, consiguiendo un alto grado de similitud a los mismos.

Durante este trabajo se ha realizado la creación virtual y simulación de una amplia variedad de modelos, sin embargo se ha hecho especial esfuerzo en los modelos: vLTm 8446-1, vLTm 8448 y LTm 9396-1.

A nivel profesional se podría suponer la siguiente situación que justificara un trabajo como el realizado:

“A un despacho de ingeniería acude un cliente con un prototipo a escala de un máquina que quiere construir. Dicho prototipo ha sido creado con piezas LEGO® Technic reales. El cliente quiere saber que tipo de cojinetes debería colocar en cada unión de las diferentes piezas, para conseguir que la máquina real fuera “auto-alineada”, pues quiere que tenga una vida útil lo más larga posible, y que su coste de mantenimiento sea el menor posible.

Como resultado del trabajo se facilitaría: (1) un modelo virtual del prototipo, operativa en el entorno de Solidworks; (2) un modelo en Cosmos Motion, con la identificación del tipo de cojinete que tendría que colocar en cada par cinemático; y (3) una simulación cinemática y dinámica del prototipo, que quizás le permitiera mejorar el prototipo desde un punto de vista funcional y que podría formar parte de la información comercial del producto final.” - (tutor responsable del TFG, José Luis Oliver, 2015).

A continuación se indicarán los conceptos y modelos más importantes del TFG, así como donde encontrarlos:

- Introducción al TFG y sistema LEGO® Technic (pag. 12 - 16).
- Proceso de creación virtual (pag. 18 – 24).
- Conceptos básicos sobre sistemas cinemáticos (pag. 26 – 30).
- Concepto de mecanismo “auto-alineador” (pag. 31).
- Proceso de obtención del modelo cinemático (pag. 33 – 35).

- Proceso de simulación del modelo (pag. 36-41).
- Modelo vLTm 8446-1 (montaje: pag. 65- 68) y (sist. cinemático y simulación: pag: 83-85).
- Modelo vLTm 8448 (pag: 69 – 78).
- Modelo LTm 9396-1 (pag: 86 – 87).
- Conclusiones (pag: 88).

1.2. SECUENCIA DEL PROCESO DE TRABAJO

La estructuración del trabajo de creación y simulación seguido en este TFG está siendo llevada a cabo desde hace años en las asignaturas que el tutor de este proyecto imparte. Consiste en lo siguiente:

a) En primer lugar, identificar y crear las diferentes piezas virtuales con movimiento relativo que formarán el modelo complejo, la creación se realizará mediante el programa de CAD 3D, SolidWorks. Usaremos como referencia el modelo real, las instrucciones o/y un archivo eDrawings. Cabe aclarar que cada pieza está formada por un conjunto de trozos o componentes que no poseen movimiento relativo entre ellos. Además debido a su mejor procesamiento por parte de Solidworks, cada pieza debe estar formada como máximo por 10 componentes LEGO® Technic o por trozos, a su vez formados por un máximo de 10 componentes.

b) Utilizando el mismo programa de CAD se ensamblan las piezas previamente creadas, para de este modo obtener el modelo final.

c) Finalmente utilizando Cosmos Motion, un complemento de SolidWorks, se procede a crear el sistema cinemático correspondiente del modelo, buscando el concepto de mecanismo “auto-alienado” y es simulado.

1.3. MODELOS LEGO® TECHNIC REALES

Dentro de los diferentes productos de la compañía LEGO®, encontramos la serie de juguetes Technic.



Fig. 1. Ejemplo de un “set” LEGO® Technic real. (fuente: www.ebay.com)

El objetivo de los productos LEGO® Technic, respecto a las demás líneas LEGO®, es crear modelos técnicamente más avanzados y sobre todo con partes móviles capaces de representar los mecanismos más complejos, como por ejemplo sistemas de dirección, suspensiones de vehículos, y casi cualquier mecanismo imaginable. Cada “set” LEGO® Technic está caracterizado por contener componentes altamente sofisticados, como por ejemplo ejes, pasadores y engranajes. Incluso podemos encontrar

componentes neumáticos o motores eléctricos. Por todo esto, es posible construir modelos que simulen con gran fiabilidad a las máquinas reales que vemos día a día.

1.4. COMPONENTES LEGO® TECHNIC

La característica más importante de los componentes LEGO® Technic consiste en que las dimensiones que los forman han sido rigurosamente seleccionadas en cada uno de ellos, con el objetivo de que puedan encajar unos con otros en cualquier montaje real que se considere. Esta característica es de mucha utilidad cuando han de virtualizarse, pues permite sistematizar esta tarea.



Fig. 2. Componentes LEGO® Technic reales (fuente: www.alebricks.com).

Tal y como está planteado este TFG, se dispone de los componentes LEGO® Technic virtuales, ya creados por el tutor responsable del trabajo, con el objetivo de facilitar el proceso de montaje de los modelos.



Fig. 3. Ejemplos de componentes LEGO® Technic virtuales.

1.5. MODELOS LEGO® TECHNIC VIRTUALES

Son modelos mecánicos virtuales creados mediante un programa de CAD 3D, en este caso con SolidWorks, a partir de modelos reales oficiales de la serie LEGO® Technic, de otros autores o bien diseños propios.

Además es posible encontrar modelos virtuales, que pueden ser adquiridos previo pago en algunas bibliotecas digitales, como la que el tutor responsable de este trabajo posee.



Fig. 4. Ejemplo de modelo virtual LEGO® Technic.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LOS MODELOS LEGO® TECHNIC VIRTUALES

A nivel didáctico, la construcción de modelos LEGO® Technic virtuales, permite desarrollar la visión espacial, además de explorar las posibilidades que el uso de la aplicación SOLIDWORKS 2007 proporciona en el diseño y simulación de sistemas mecánicos.

Dada la complejidad de los programas de CAD 3D, es necesario un periodo de iniciación en sus aspectos más básicos, con mecanismos de una complejidad adecuada al proceso de formación. Los modelos LEGO® Technic virtuales suponen una gran fuente de ejercicios de diferentes niveles, dependiendo de la complejidad de los mecanismos simulados, permitiendo desde la familiarización con los programas de diseño a un uso avanzado.

En última instancia nos proporciona el material necesario para resolver fácilmente problemas de diseño de los mecanismos, en nuestro caso la correcta selección de las uniones y cojinetes para crear mecanismos “auto-alineados”.

1.7. SIMULACIÓN VIRTUAL DE MECANISMOS REALES

Como ya se ha comentado anteriormente, utilizando los materiales LEGO® Technic es posible conseguir crear mecanismos con un alto grado de complejidad y con gran similitud a mecanismos reales.

Es por tanto habitual encontrar en los modelos LEGO® Technic mecanismos, a escala, realmente parecidos al mecanismo real que representan, ya sean mecanismos de transmisión, actuadores neumáticos, resortes, etc. De este modo es posible obtener modelos que representan fielmente a máquinas reales, tales como coches, grúas, motos, etc.



Fig. 5. Sistema de dirección real (fuente:www.tallercalderon.com) y su equivalente virtual con componentes LEGO® Technic.

1.8. MODELOS DE ISOGAWA YOSHIHITO

En la primera fase de este TFG, para obtener conocimientos básicos sobre SolidWorks 2007 y los componentes LEGO® Technic, se han utilizado como referencia algunos mecanismos extraídos del libro "LEGO® Technic Tora no Maki", realizado por el escritor Isogawa Yoshihito.

La razón de esta decisión es que los diferentes modelos que propone Isogawa Yoshihito suelen ser mecanismos simples, fácilmente realizables, pero que suelen aparecer formando parte de mecanismos más complejos.



Fig. 6. Extractos del libro "LEGO® Technic Tora no Maki".

1.9. PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Como ya hemos mencionado anteriormente, el programa utilizado en la realización de este proyecto, es el SolidWorks 2007. Este programa de CAD junto con su complemento COSMOS Motion nos permite realizar todos los pasos y alcanzar todos los objetivos necesarios para realizar el montaje virtual de los diferentes mecanismos.



Fig. 7. Logo comercial SolidWorks.

2. ENSAMBLAJE

2.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Esta primera parte del proceso constituye la toma de contacto con el modelo que vamos a realizar, en ella hay que identificar y acoplar los distintos componentes y piezas, con la ayuda del modelo real, de las instrucciones y/o un archivo eDrawings del modelo LEGO® Technic, para obtener el montaje final cumpliendo los objetivos especificados.

Como ya comentamos, se dispone de los componentes virtuales adecuados equiparables a los del modelo real, a partir de estos componentes virtuales se realizan las piezas del modelo LEGO® Technic virtual.

El objetivo del proceso de ensamblado no es simplemente obtener un modelo virtual en un programa CAD 3D de una máquina real LEGO® Technic, sino que se deben identificar durante el proceso las diferentes piezas que la máquina mecánica real posee, entendiendo dichas piezas como un conjunto de componentes LEGO® Technic que no poseen entre ellas un movimiento relativo. Es decir, queremos obtener una máquina LEGO® Technic virtual estructurada de tal modo que podamos diferenciar piezas que constan con un movimiento relativo entre ellas. Algo que va más allá del montaje habitual de los modelos reales LEGO® Technic

Además, en esta parte del proceso se pretende desarrollar las habilidades en el uso de las herramientas CAD disponibles en SolidWorks, necesarias en la construcción de los ensamblajes.

2.2. PROCESO DE MONTAJE VIRTUAL DEL MODELO

El proceso de montaje sigue un patrón similar en todos los modelos que hemos creado, el cual vamos a entrar a detallar.

2.2.1. Elección del modelo a construir

El tutor responsable del trabajo nos proporciona de forma secuencial los diferentes mecanismos y máquinas LEGO® Technic, de los cuales debemos realizar el modelo virtual. Al mismo tiempo que nos facilita todos los componentes virtuales necesarios para la creación de las distintas piezas que componen dicho modelo. Además, da acceso a las instrucciones del modelo real, a un documento eDrawings del modelo o/y al modelo real, con el objetivo de permitir la identificación de las piezas.

También es posible consultar la página web, de la cual el profesor tutor es responsable, <http://www.virtualtechmodels.com/>. En donde se pueden encontrar muchos de los modelos LEGO® Technic y de Isogawa Yoshihito. Además existen otros sitios web donde podemos obtener más modelos e información, los cuales vienen referidos en la bibliografía.

A fin de cuentas, es posible crear modelos virtuales de cualquier modelo real existente o incluso crear modelos propios.

archivo eDrawings, deberemos utilizar el modelo real o en el peor de los casos las instrucciones, para distinguir cada pieza.

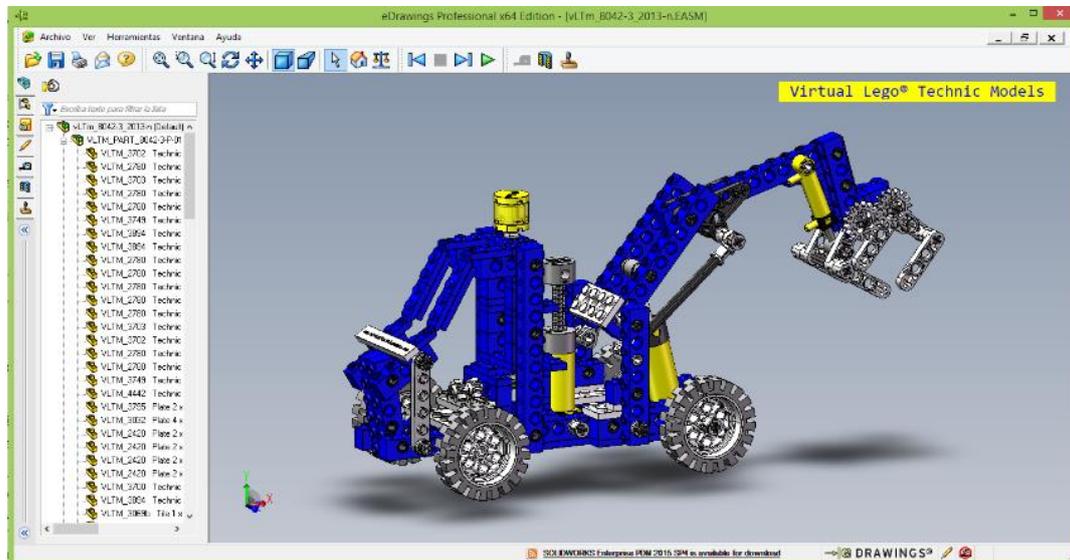


Fig. 10. Documento eDrawings de un modelo.

2.2.4. Nomenclatura

Las piezas y trozos, es decir los archivos tipo ensamblaje, seguirán el siguiente formato de nomenclatura:

vltm_xxxx-x_part-yyyzz_2015.sldasm

Las cifras correspondientes a “xxx-x” muestran el código identificativo del modelo LEGO® Technic lo cual es común a todas las piezas y trozos. Por otra parte “yyy” responden al número de cada pieza dentro del montaje, para los ensamblajes de tipo pieza “zz” es “00”. Cuando una pieza esté compuesta por más de 10 componentes, deberá estar formada por varios trozos (ensamblajes de menos de 10 componentes), estos trozos mantienen el código “yyy” de la pieza que forman y se distinguen entre ellos mediante las cifras “zz”.

Finalmente, para nombrar al ensamblaje del montaje final se seguirá el siguiente formato:

vLTm_xxxx-x_2015.sldasm

Resta aclarar que la pieza estructural de mayores dimensiones del modelo, la cual es denominada “chasis”, será la primera pieza en obtener identificación, es decir, se nombrará como vltm_xxxx-part-00100_2015.sldasm, correspondiendo con la pieza fija del montaje..

2.3. MONTAJE UTILIZANDO SOLIDWORKS 2007

A continuación vamos a exponer cómo se realiza el proceso, descrito anteriormente, en el entorno de trabajo específico de SolidWorks.

2.3.1. Requisitos del montaje

Como ya se ha comentado en repetidas ocasiones anteriormente, cada pieza no deberá superar los 10 componentes, esto se hace con el objetivo de facilitar los cálculos computacionales al programa informático.

Cuando nos encontremos con piezas compuestas por un número elevado de componentes, se han de crear los ya mencionados trozos, los cuales son archivos tipo ensamblaje, creados únicamente por componentes y siempre por un número inferior a 10. Además, debe evitarse que se mezclen componentes y ensamblajes tipo trozo en la formación de aquellas piezas que requieran estar formadas por trozos, es decir, las piezas pueden estar formadas por trozos o por componentes, pero no por ambos. En caso de no superar los 10 componentes, las piezas estarán compuestas únicamente por componentes.

Una vez el modelo final esté ensamblado, se comprobará que el movimiento del mismo es el requerido, accionando las piezas impulsoras.

2.3.2. Relaciones de posición

Una vez conocidos los diferentes componentes del modelo e identificadas las piezas que deben ser creadas, hay que establecer las diferentes restricciones para formar las piezas a partir de los componentes correspondientes y después crear el modelo final estableciendo las relaciones entre las piezas.

A la hora de realizar el procedimiento de montaje, resulta adecuado haber hecho un estudio previo del modelo propuesto, con el fin de tener una idea sólida de las restricciones que serán necesarias para obtener el movimiento requerido.

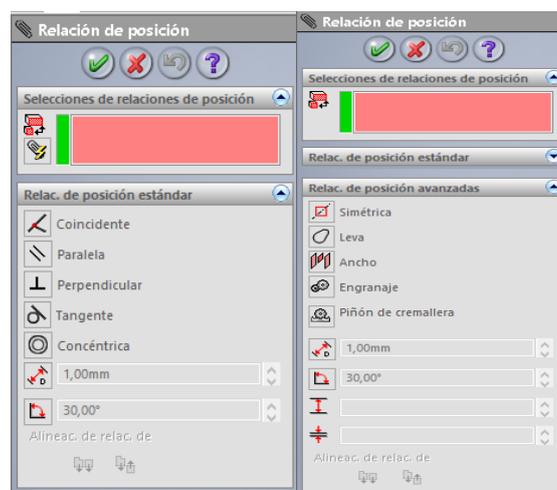


Fig. 11. Relaciones de posición estándar y avanzadas.

Las relaciones de posición en SolidWorks se dividen en “Relaciones de posición estándar” y “Relaciones de posición avanzadas”. Habitualmente, las relaciones estándar sirven para unir los componentes en ensamblajes sin movimiento relativo, mientras que las avanzadas suelen relacionar el movimiento relativo entre dos piezas.

Dentro de la interfaz de trabajo en SolidWorks, las restricciones están todas agrupadas en un apartado, pero además debajo de cada componente o pieza, se pueden encontrar las restricciones que les afectan directamente, lo cual facilita enormemente la modificación o localización de ciertos errores durante el montaje.

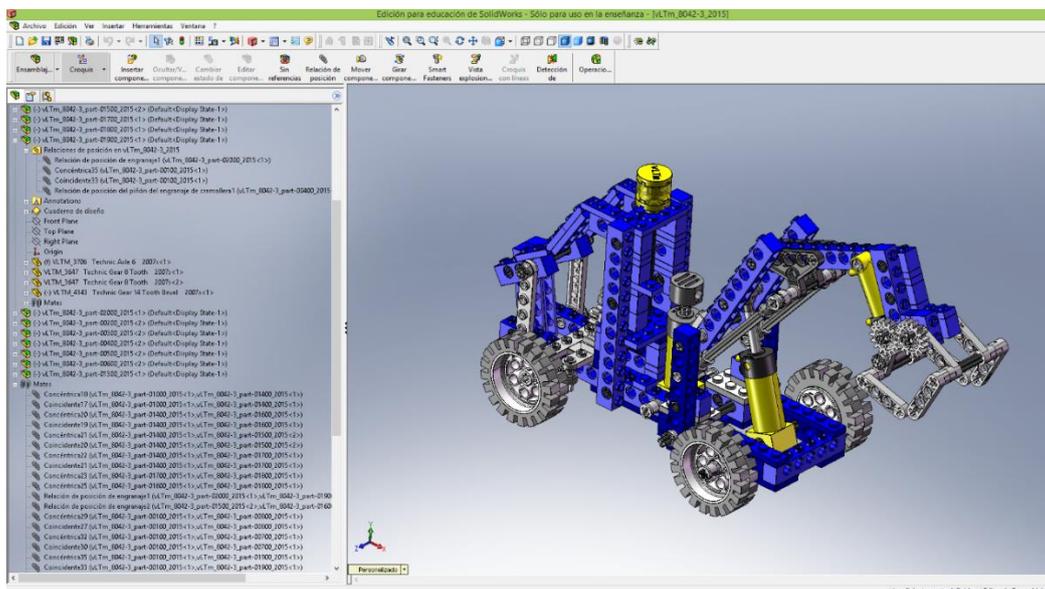


Fig. 12. Interfaz de SolidWorks.

2.3.3.1. Relaciones de posición estándar

Coincidente: Establece que dos superficies, rectas o puntos estén contenidos entre ellos mismos.

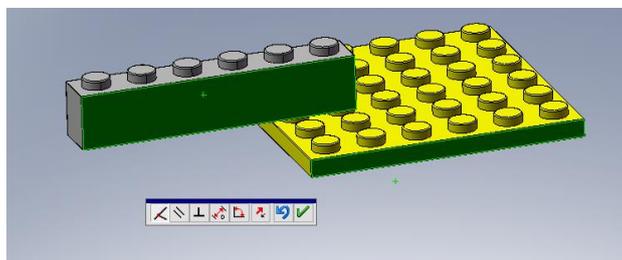


Fig. 13. Relación de posición coincidente.

Paralelo / Perpendicular: Establece que dos planos o rectas seleccionadas cumplan la condición de paralelismo o perpendicularidad.

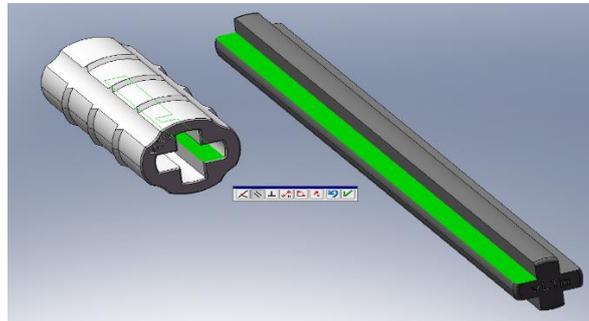


Fig. 14. Relación de posición paralela.

Tangente: Establece que dos superficies curvas o curva y plana mantengan una relación de tangencia entre sus superficies.

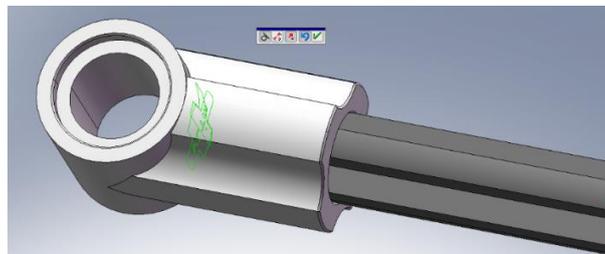


Fig. 15. Relación de posición tangente.

Concéntrica: Establece la coincidencia entre los centros o ejes de dos elementos definidos a partir de un punto central o un eje de revolución. Es sin duda una de las restricciones más utilizadas en el montaje de los modelos, debido al tipo de construcción que sigue el sistema modular LEGO®.

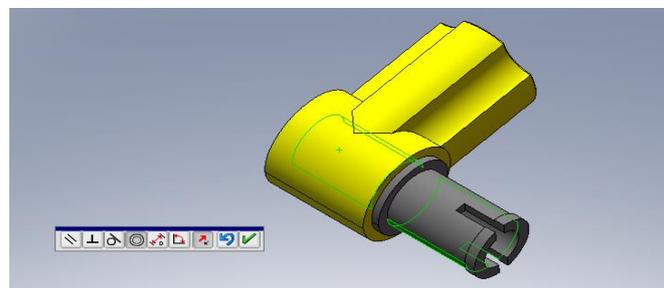


Fig. 16. Relación de posición concéntrica.

Distancia: Establece una distancia determinada entre dos elementos.

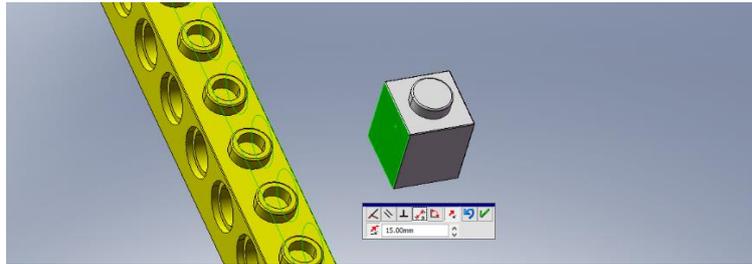


Fig. 17. Relación de posición de distancia.

Ángulo: Establece un determinado ángulo entre dos superficies o rectas.

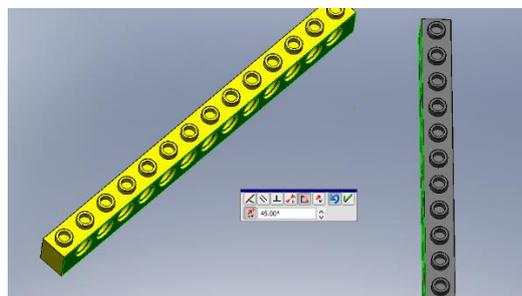


Fig. 18. Relación de posición de ángulo.

2.3.3.2. Relaciones de posición avanzadas

Engranaje: Establece la relación del giro de un eje con otro, en este trabajo, se determina por el número de dientes de cada rueda dentada. También es posible establecer la relación engranaje-tornillo sin fin relacionando una vuelta del tornillo con el número de dientes del engranaje.

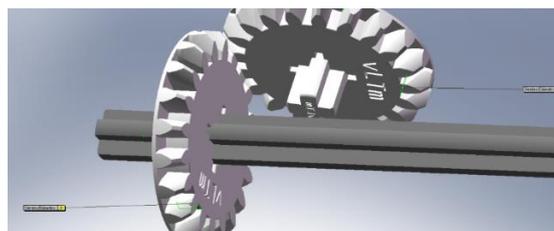


Fig. 19. Relación de posición de engranaje de ruedas dentadas.

Piñón cremallera: De manera similar que en la relación de engranajes, esta restricción establece el desplazamiento lineal de la cremallera por vuelta cada vuelta de la rueda.

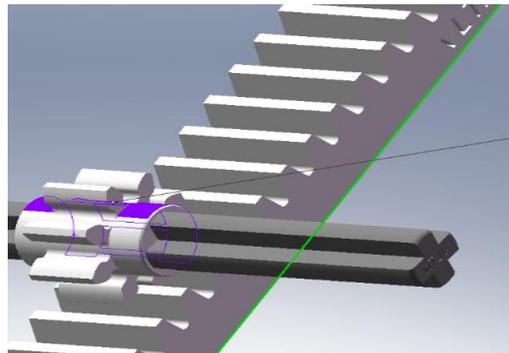


Fig. 20. Relación de posición de engranaje piñón-cremallera.

2.3.4. Montaje de las piezas y del modelo

Una vez las piezas han sido identificadas deberemos montarlas, creando archivos de tipo ensamblaje (.sldasm) en SolidWorks e insertando y uniendo mediante las relaciones de posición los componentes virtuales tipo pieza (.sldprt).

En esta parte del proceso hay que tener en cuenta que aunque los componentes se pueden repetir al formar cada pieza, las piezas que forman el modelo han de ser únicas. Por tanto, cuando varias piezas compartan la misma forma geométrica en un mismo modelo, cada una de ellas debe ser guardada por separado.



Fig. 21. Piezas constituyentes del mecanismo ISOWAGA-107.

Una vez creadas las piezas solo restará ensamblar cada una de ellas en otro documento ensamblaje, definiendo las restricciones que formarán el mecanismo. Obteniendo de este modo el modelo virtual requerido, formado por piezas perfectamente identificadas.



VLTM_ASSEMBLY_ISOGAWA
-107_2007

Fig. 22. Mecanismo ISOWAGA-107.

3. COMPACTACIÓN

Una vez completado el montaje estamos ante una máquina virtual formada por piezas, la cuales están compuestas de diferentes trozos o componentes. Tras eso tenemos la posibilidad de comprimir las piezas mediante un proceso de compactación, gracias al cual cada pieza pasa a formar un único ente virtual, en lugar de un conjunto de componentes. Este proceso permite, reducir el tiempo de cálculo computacional, proteger el trabajo de creación de los componentes y mejorar la organización de los archivos.

Tras haber realizado este proceso se pasa de tener un montaje en base a componentes a un montaje en base a las piezas compactadas, se tiene la misma máquina virtual en términos mecánicos la cual requerirá menos trabajo computacional para las siguientes fases.

4. MODELO CINEMÁTICO “AUTO-ALINEADO”

4.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de esta parte del trabajo consiste en definir una configuración de los acoplamientos tales que no existan restricciones en exceso. En resumen, buscamos crear un mecanismo “auto-alineado”.

En esta fase se utiliza un componente de SolidWorks llamado Cosmos Motion, a partir de la versión 2007 este complemento ha desaparecido de SolidWorks, por esta razón la versión se ha utilizado principalmente SolidWorks 2007 durante la realización de este trabajo.

4.2. SISTEMAS MECÁNICOS

Dentro del ámbito del diseño mecánico un pilar fundamental es la concepción de mecanismos, debido a los constantes avances en tecnología informática, esta área está en constante cambio. Esta es la razón por la que se hace especial hincapié en desarrollar los conocimientos de los alumnos de ingeniería en las diferentes técnicas que pueden ser aplicadas en el diseño mecánico.

Antes de la aparición de los programas de CAD, el diseño mecánico tenía que hacerse a mano y requiriendo de gran capacidad para la visión espacial e intuición para predecir los movimientos del mecanismo. Hoy en día este proceso se ha vuelto más sencillo y automático, resultando ahora de gran utilidad obtener algoritmos que permitan la creación del diseño de una manera más eficiente.

Gracias a estos programas informáticos podemos interactuar con las diferentes máquinas en un espacio virtual tridimensional, eliminando las dificultades que conllevaba tener que realizar los prototipos físicos de las máquinas para obtener una representación tridimensional de los modelos en proceso de diseño.

4.3. CONCEPTOS BÁSICOS

4.3.1. Impulsor, seguidor y factor de transmisión

Con el objeto de tratar teóricamente el proceso de transformación del movimiento llevado a cabo por los mecanismos es necesario introducir los conceptos de impulsor, seguidor y factor de transmisión.

La primera pieza del mecanismo que recibe movimiento se conoce como impulsor y aquella otra que recibe el movimiento del impulsor se denomina seguidor. Es necesario tener en cuenta que es posible encontrar diferentes impulsores y seguidores dentro de un mismo mecanismo.

Queda definir el concepto de factor de transmisión, se trata de la relación que define la transformación del movimiento entre el impulsor y el seguidor. Por tanto, este factor se caracteriza con un escalar y un determinado signo, definiendo la magnitud del movimiento y cambio en el sentido.

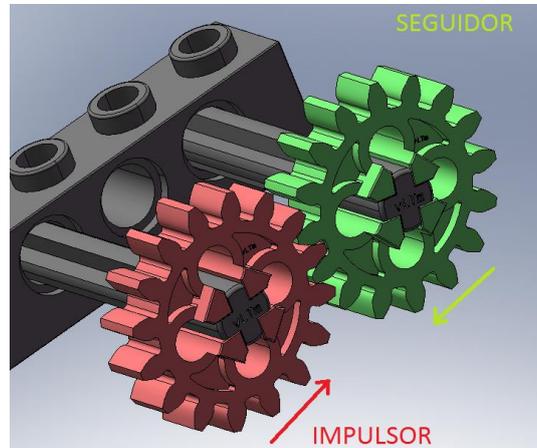


Fig. 23. Engranaje de ruedas dentadas.

4.3.2. Simplificaciones

Al realizar el análisis del movimiento en un mecanismo virtual estamos simplificando las piezas como cuerpos rígidos, es decir, consideramos su geometría invariable durante todo el movimiento, luego son cuerpos indeformables sean cuales sean las fuerzas que soporten. Sin embargo esta simplificación, no resta fiabilidad a los resultados obtenidos, pues los modelos LEGO® Technic están ideados para trabajar con fuerzas que no provoquen deformaciones importantes en sus componentes.

4.4. ESTUDIO CINEMÁTICO

Cuando hablamos de cinemática estamos refiriéndonos al estudio de la posición y de sus derivadas temporales, de este modo podemos definir completamente la posición de los cuerpos rígidos en cada instante de tiempo.

Pero antes de poder realizar el estudio cinemático tenemos que profundizar en una serie de conceptos:

4.4.1. Evolución temporal del movimiento en un mecanismo

Teniendo en cuenta que en un mecanismo la posición de los diferentes cuerpos es función del tiempo, al producirse una variación temporal existirá una variación de posiciones, velocidades y aceleraciones.

En el caso de que el mecanismo inicie el movimiento desde una posición predeterminada y tras un cierto tiempo todas sus piezas vuelvan a su posición inicial, se considera que el mecanismo ha realizado un ciclo. El tiempo necesario para completar el ciclo se conoce como periodo.

4.4.2. Mecanismos planos

A veces nos encontramos con una pieza cuyos puntos permanecen en planos que se mantienen paralelos durante todos los instantes del movimiento que describa, en estos casos al movimiento que describe se le conoce como, movimiento plano. Esta situación referida a un mecanismo completo nos

acerca al concepto de mecanismo plano, el cual cumple que todos los movimientos de la totalidad de las piezas que forman el mecanismo son movimientos planos. Por tanto, el movimiento de estos mecanismos puede ser proyectado en un plano paralelo a los mencionados, facilitando el estudio al eliminar una de las tres direcciones espaciales.

Sin embargo también es posible estudiar un mecanismo tridimensional completo como si de un mecanismo plano se tratase, siempre y cuando pueda descomponerse en diversos mecanismos planos.



Fig. 24. Detalle del mecanismo plano de la pala trasera del modelo 8862-1.

4.5. PARES CINEMÁTICOS

Las conexiones de los cuerpos sólidos que forman un mecanismo se realizan mediante uniones cinemáticas.

Las uniones o conexiones cinemáticas se denominan también pares cinemáticos. Además están divididas entre “*pares inferiores*” y “*pares superiores*”.

Los pares inferiores (*Fig. 25*) se definen como aquellas uniones en las que dos cuerpos están conectados mediante una superficie. Sin embargo, hablamos de pares superiores (*Fig. 26*) cuando la conexión se realiza mediante puntos o segmentos lineales. También podemos encontrar pares compuestos (*Fig. 27*) los cuales combinan las características de los previamente mencionados.

La clasificación de los pares cinemáticos también depende de la cantidad de movimientos relativos que restrinja, pudiendo encontrar uniones de clase I, II, III, IV, V o VI.

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

Fig. 25. Pares cinemáticos inferiores. (fuente: mat. de referencia).

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

Fig. 26. Pares cinemáticos superiores. (fuente: mat. de referencia).

| 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 | |

Fig. 27. Pares cinemáticos compuestos. (fuente: mat. de referencia).

4.6. MOVILIDAD EN LOS MECANISMOS

En los mecanismos, el número de GDL se conoce como **movilidad**, es decir, la cantidad de movimientos independientes que debemos definir en los impulsores del mecanismo para conocer la posición de todas sus piezas.

4.6.1. Cálculo de la movilidad en mecanismos planos

Al estar reducidos a un único plano tridimensional, los cuerpos libres en el plano tiene 3 GDL: uno de rotación respecto al eje perpendicular al plano en cuestión y dos de traslación respecto a los ejes contenidos en el susodicho plano.

Considerando que el mecanismo está formado por **N** cuerpos independientes conectados mediante **P** uniones cinemáticas. Tenemos que la movilidad **M** es:

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

Par inferior $f_i = 1$

Par superior $f_i = 2$

Ec. 1. Movilidad mecanismos planos.

4.6.2. Cálculo de la movilidad en mecanismos espaciales

La ecuación utilizada en los mecanismos espaciales es similar a la anterior y recibe el nombre de Criterio de Grübler. En ella se define la movilidad **M** de la siguiente forma:

$$M = 6 * (N - P - 1) * \sum_{i=1}^p f_i$$

Ec. 2. Criterio de Grübler.

Esta ecuación es empleada por la aplicación COSMOS Motion para realizar los cálculos necesarios relativos a la movilidad de los mecanismos.

4.6.3. Diagramas cinemáticos

Una posibilidad a la hora de representar los mecanismos planos es utilizar diagramas cinemáticos. En estos cada pieza adquiere una forma esquematizada y se numeran, el número 1 está reservado a la barra fija. Los pares se definen de la manera mostrada en la siguiente figura, *i* corresponde al número identificador del par cinemático, *X* está definiendo el tipo de unión, mientras que *b* y *b'* establecen cuales son la barras afectadas por el par.

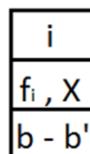


Fig. 28. Cajetín de identificación de pares (fuente: mat. de referencia).

La siguiente imagen muestra un ejemplo de diagrama cinemático, corresponde a la capota delantera del modelo 8446-1, aplicando la Ec. 1, siendo 4 el número de barras, y 4 el número de pares, obtenemos movilidad 1. Por tanto el mecanismo quedará completamente definido al establecer un determinado giro en una articulación.

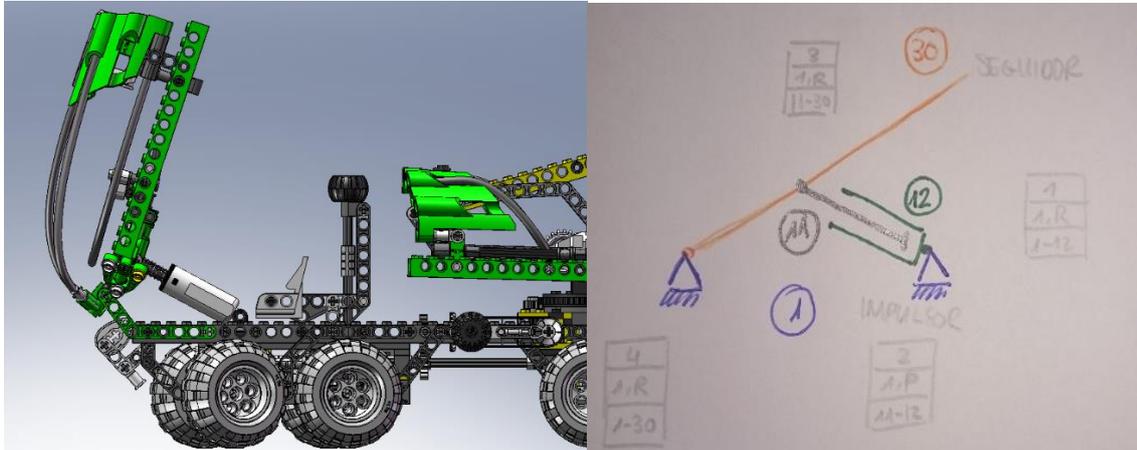


Fig. 29. Diagrama cinemático del modelo 8446-1.

4.7. Mecanismo “auto-alineado”

El concepto de mecanismo “auto-alineado” ha sido extraído del libro “L. N. Reshetov, Self-aligning mechanisms (1982)” y es uno de los objetivos docentes fundamentales de este trabajo.

Según el profesor *L. Reshetov*, los mecanismos determinados estáticamente, es decir sin restricciones pasivas excesivas, y denominados “auto-alineados,” consiguen una mejora significativa en su funcionamiento respecto al resto. En su trabajo está desarrollada su teoría y es aplicada en diferentes ejemplos.

Este concepto es especialmente importante a la hora de facilitar el montaje de los mecanismos, ya que permite solventar con mayor facilidad los problemas relativos a diferencias entre las dimensiones reales y teóricas de las piezas.

Por otra parte, las dimensiones de las piezas pueden cambiar durante el funcionamiento de los mecanismos por diferentes causas inevitables. En el caso de un mecanismo “auto-alineado” estas variaciones no afectarían tan significativamente a su correcto funcionamiento.

En conclusión, además de resolver problemas de montaje, también mejora la fiabilidad y durabilidad del mecanismo.

Por estas razones, este trabajo busca poder practicar la creación de mecanismos “auto-alineados”, mediante el sistema de representación basado en LEGO® Technic. Para esto, resulta necesario tener acceso a un modelo virtual, en nuestro caso compatible con el complemento COSMOS Motion de SolidWorks 2007, con el que poder definir las uniones del mecanismo.

4.8. Mecanismo “auto-alineado” en COSMOS Motion

El complemento COSMOS Motion permite crear mecanismos “auto-alineado” sin requerir de un prototipo del diseño, esto otorga eficiencia y eficacia al diseñador de mecanismos teóricos.

Al ser un complemento de SolidWorks se utiliza una interfaz similar a en la que ha sido diseñado el mecanismo, además, de esta forma se evita la conversión de formato de archivos habitual cuando se trabaja con diferentes programas informáticos.

4.8.1. Interfaz de trabajo

En la siguiente imagen podemos ver la interfaz de COSMOS Motion, por una parte en la columna izquierda tenemos el listado de piezas, así como las uniones (“joints”) que forman el mecanismo. La ventana intermedia corresponde al “Simulation Panel”, el cual permite controlar la simulación del mecanismo y calcular los GDL y restricciones innecesarias (“redundant constraints”).

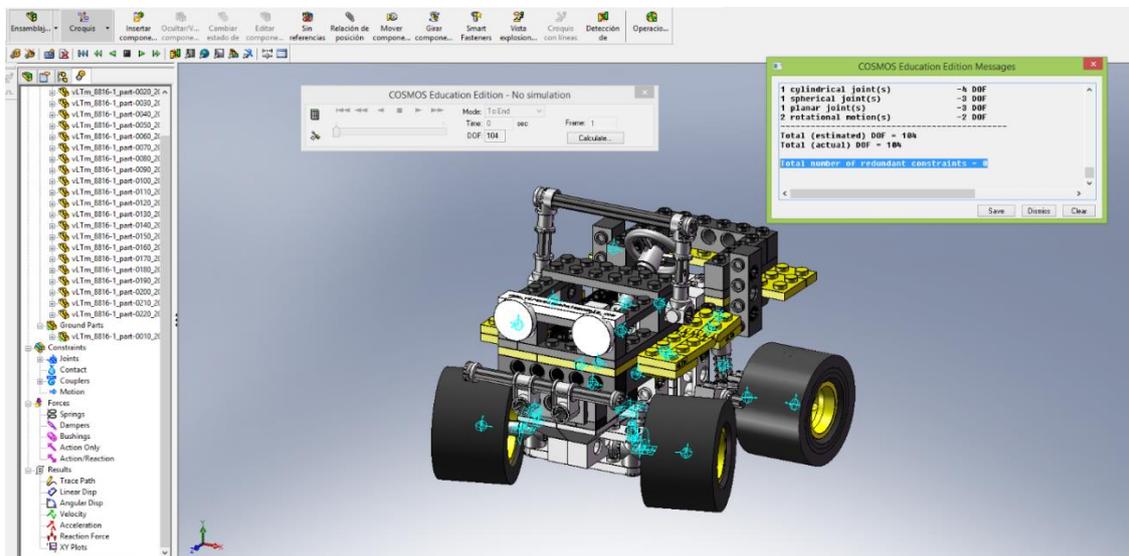


Fig. 30. Interfaz de COSMOS Motion.

4.8.2. Incorporación de las piezas

Tal y como sucedía al crear el modelo virtual en SolidWorks, en el análisis cinemático y simulación con COSMOS Motion también es necesario establecer una pieza como cuerpo fijo, respecto al cual tendrán lugar los respectivos movimientos de las demás piezas, por tanto hay que establecer una primera pieza como “Ground part”.

Así de inicio tendremos una pieza fija con 0 GDL y el resto cuerpos establecerlos como “Moving part” con 6 GDL. Recordemos que el objetivo es conseguir que en el modelo cinemático no existan restricciones en exceso, para conseguir un mecanismo “auto-alineado”, aunque dependiendo del diseño del mecanismo no siempre es posible.

4.8.3. Pares cinemáticos (“joints”)

Durante el proceso de creación del modelo cinemático tienen que establecerse los tipos y ubicación de los pares de unión. Esta fase es especialmente delicada, pues hay veces que una única configuración de entre un amplio abanico de posibilidades permitirá alcanzar el objetivo de formar un modelo cinemático “auto-alineador”.

A continuación vamos a estudiar cada uno de los pares disponibles en COSMOS Motion.

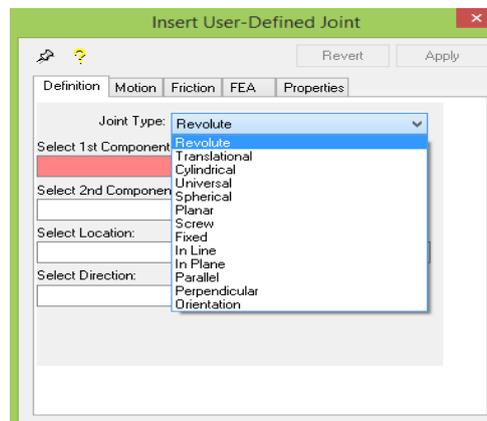


Fig. 31. Tipos de "joints" disponibles en COSMOS Motion.

Revolución ("Revolute"): Permite el giro respecto a un eje determinado, entre los dos cuerpos unidos, restringiendo el resto de movimientos.

Traslación ("Translational"): Restringe todos los movimientos relativos entre los dos cuerpos excepto el de traslación en una dirección marcada por un eje determinado al establecer la unión.

Cilíndrico ("Cylindrical"): Este par permite un movimiento relativo de giro respecto a un eje entre los dos cuerpos y también permite un movimiento de traslación en la dirección del mismo eje.

Universal ("Universal"): Esta unión representa la junta Hooke o cardan. Permite la transmisión de un par entre los dos cuerpos. Así mismo supone una combinación de un par esférico y un par perpendicularidad, dejando libre dos movimientos de rotación.

Esférico ("Spherical"): Permite los tres movimientos de rotación entre los dos cuerpos, respecto a un punto determinado. Los tres movimientos de traslación permanecen restringidos.

Planar ("Planar"): Restringe el movimiento de traslación perpendicular a un plano determinado, y las dos rotaciones respecto a los ejes contenidos en el plano definido. Dejando libre el resto de movimientos.

Tornillo ("Screw"): Análogamente al par cilíndrico, permite un movimiento de rotación y uno de traslación respecto a un eje, pero en este caso se establece una relación entre ambos movimientos. Se dice que permite 0.5 GDL en rotación y 0.5 GDL en traslación.

Fijo ("Fixed"): Este par restringe todos los posibles movimientos relativos entre los dos cuerpos unidos.

En línea ("In line"): Permite los tres movimientos de giro y un movimiento de traslación respecto a un eje de definición.

En plano ("In plane"): Restringe únicamente el movimiento de traslación perpendicular a un plano determinado.

Paralelo ("Parallel"): Establece la condición de paralelismo entre un eje determinado de cada cuerpo, por tanto restringe dos movimientos de rotación.

Perpendicular (“Perpendicular”): Análogamente al par en paralelismo, establece la condición de perpendicularidad entre un eje determinado de cada cuerpo, restringiendo en este caso un movimiento de rotación.

Orientación (“Orientation”): Elimina la posibilidad de cualquier movimiento de rotación relativa entre dos cuerpos.

4.8.4. Acoplamientos (“Couplers”)

A diferencia de lo que sucedía al realizar el modelo en SolidWorks, donde se podían establecer acoplamientos (rueda-rueda, piñón-cremallera, etc.) mediante las restricciones avanzadas, directamente sobre los elementos que lo formaban, en COSMOS Motion para simular estos acoplamientos, tenemos que establecer relaciones de movimiento (“couplers”) entre las uniones de los cuerpos involucrados.

4.8.4.1. En engranajes y poleas

Para simular un acoplamiento tipo engranaje rueda-rueda o mediante poleas, se establece una acoplamiento entre dos “joint” cilíndricos o de revolución, estableciendo en las opciones de creación el número de dientes de las ruedas o el diámetro.

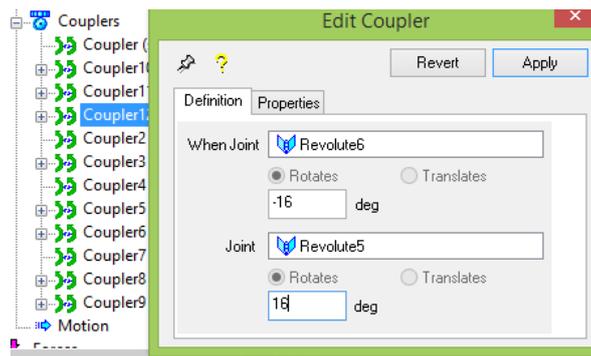


Fig. 32. Propiedades de un acoplamiento rueda-rueda.

4.8.4.2. En tornillo sin fin

Finalmente para el acoplamiento entre una rueda dentada y un tornillo sin fin se procede de forma similar al acoplamiento entre rueda-rueda suponiendo que el tornillo sin fin tiene un único diente.

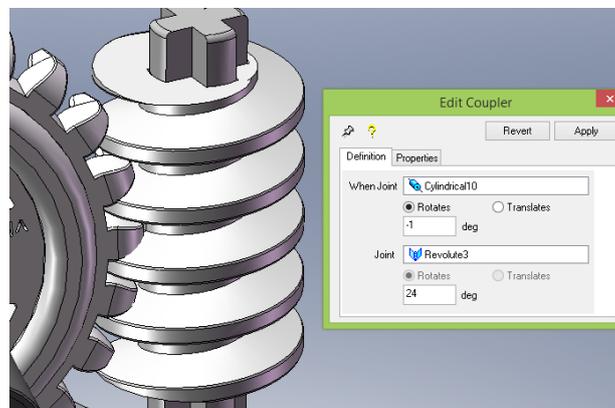


Fig. 33. Propiedades de un acoplamiento tornillo-rueda.

4.8.4.3. En piñón – cremallera

En este caso debemos proceder seleccionando el acoplamiento entre un “joint” cilíndrico o de revolución en el eje del piñón y un “joint” cilíndrico, de revolución o traslación que provoque el desplazamiento lineal de la cremallera.

Para establecer la relación del acoplamiento debemos tener en cuenta las dimensiones de los elementos, así como el tipo de “joints” que hemos acoplado.

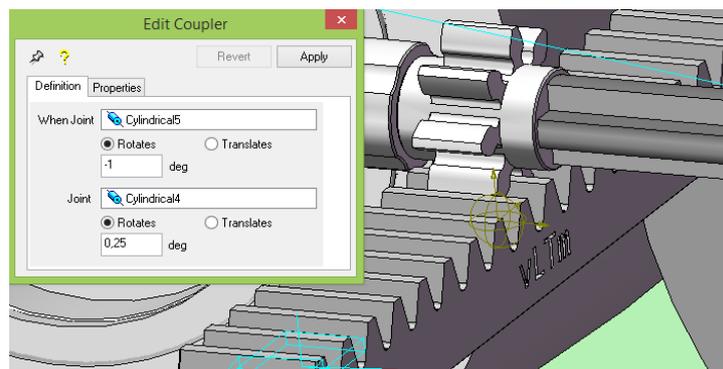


Fig. 34. Propiedades de un acoplamiento piñón-cremallera.

4.8.5. Movilidad del mecanismo en COSMOS Motion

Una vez finalizado el sistema cinemático del modelo, habrá quedado un número determinado de GDL, como ya comentamos con anterioridad, estos GDL restantes nos están indicando la movilidad de nuestro modelo.

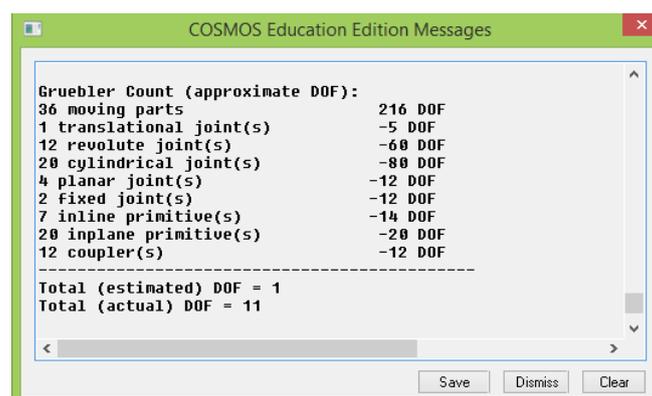


Fig. 35. Cálculo de la movilidad en COSMOS Motion

5. SIMULACIÓN DEL MODELO VIRTUAL

5.1. Introducción y objetivos

En este capítulo vamos a mostrar como simular el movimiento del sistema cinemático de los modelos utilizando SolidWorks y COSMOS Motion.

Para ello será necesario establecer el movimiento inicial en los impulsores del modelo, eliminando, de este modo, todos los GDL que quedaron tras realizar el proceso de creación del mecanismo “auto-alineado”.

5.2. Simulación del movimiento en COSMOS Motion

En primer lugar, como ya hemos adelantado, debemos establecer el movimiento inicial de los impulsores, ya sea definiendo un desplazamiento, una velocidad o una aceleración sobre la “joint” (abriendo la propiedades) del mecanismo que reciba inicialmente el movimiento.

COSMOS permite seleccionar estos parámetros respecto a una serie de funciones preestablecidas en el programa.

5.2.1. Restricción del movimiento

En este trabajo se han utilizado las funciones: constante, escalón y expresión, la cuales detallaremos a continuación.

5.2.1.1. Función Constante (“Constant”)

Como su nombre indica, esta expresión establece un valor constante del parámetro seleccionado (desplazamiento, velocidad o aceleración).

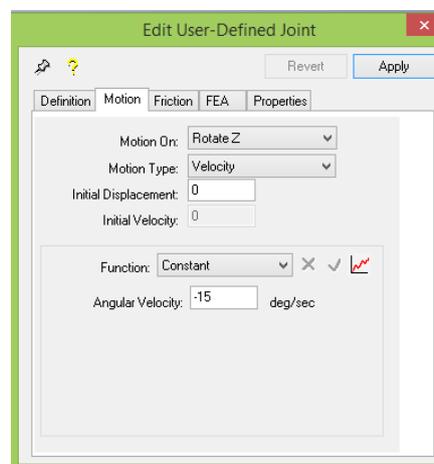


Fig. 36. Ejemplo de la función constante.

5.2.1.2. Función Paso ("Step")

Esta función permite establecer un valor determinado en un instante de tiempo a y otro valor en otro instante b, realizando el cambio de valor entre los dos instantes siguiendo una expresión como la siguiente:

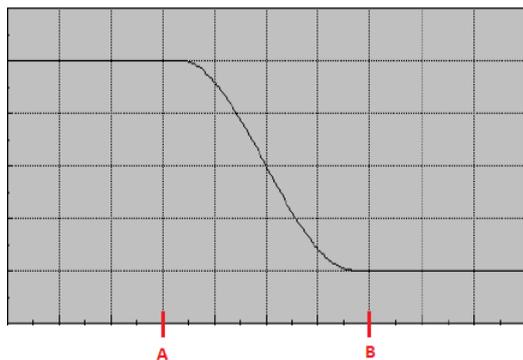


Fig. 37. Representación gráfica de la función paso.

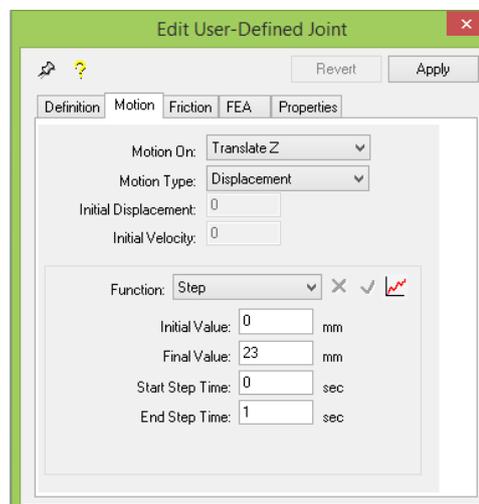


Fig. 38. Ejemplo de la función paso.

5.2.1.3. Función Expresión ("Expression")

Esta función la hemos utilizado para concatenar varias funciones de tipo "Step", lo cual nos permite un control relativamente complejo de los parámetros que definirán el movimiento de los mecanismos.

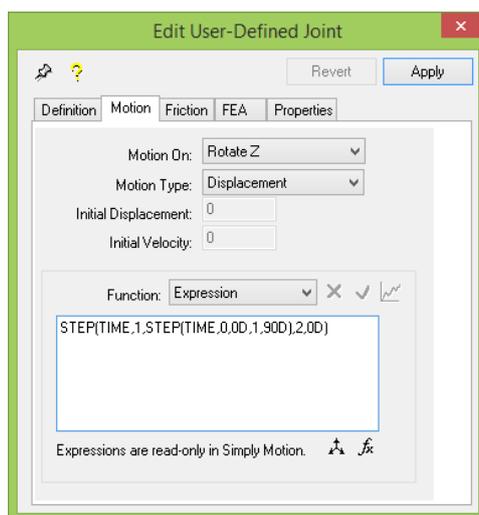


Fig. 39. Ejemplo de la función expresión.

5.2.2. Entorno y parámetros de la simulación

Los modelos simulados en este trabajo han sido en su totalidad vehículos terrestres, por tanto para simular su movimiento es imprescindible crear un sólido que actúe como terreno por el que se puedan desplazar y establecer la relación entre el vehículo y el terreno, así como las condiciones de la simulación.

5.2.2.1. Creación de la base.

La creación del terreno, al cual denominaremos “base” se realiza en SolidWorks creando un nuevo elemento tipo “part”.

A continuación hay que realizar un croquis de un rectángulo con unas determinadas dimensiones adecuadas al tamaño del modelo a simular y extruir dicho croquis para crear la pieza base.

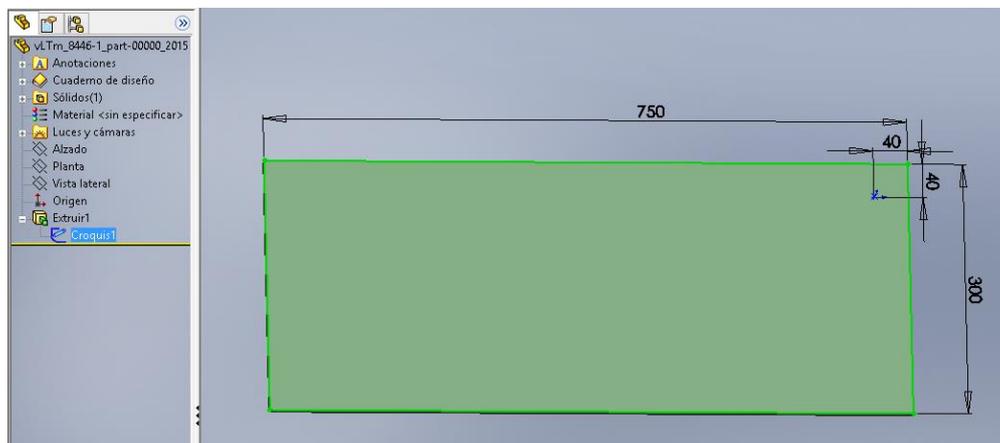


Fig. 40. Croquis de una base.

El nombre con el que debe guardarse debe seguir la siguiente estructura:

vltm_xxxx-x_part-0000_2014.sldasm

Finalmente se debe añadir la base a COSMOS Motion como “Ground part” y en caso de tener alguna pieza del modelo como “Ground part” pasarla a “Moving part”. En esta fase del proceso debe tenerse cuidado si se pasa una pieza de “Ground” a “Moving” ya que se pueden crear “joints” nuevos indeseados.

5.2.2.2. Rectificación de la superficie del neumático.

En primer lugar hay que hacer un pequeño inciso respecto a la geometría de las ruedas.

La mayoría de ruedas virtualizadas utilizadas en el montaje de los modelos tienen superficies geoméricamente complicadas, esto supone un problema a la hora de simular los contactos entre las ruedas y la base, puesto que los cálculos que debe realizar COSMOS Motion serán altamente complicados y pueden dar lugar a errores y a demoras excesivas en los periodos de cálculo.

Por esta razón, cuando nos encontremos ante ruedas con geometría compleja, realizaremos un proceso de alisado de su superficie, realizando una extrusión que se superponga a la superficie del neumático inicial.

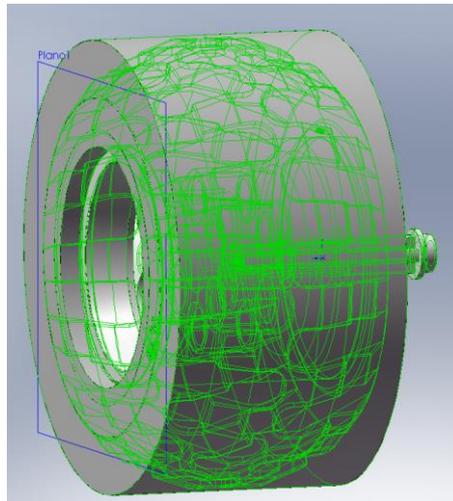


Fig. 41. Rueda rectificada, con el perfil original delineado en verde.

5.2.2.3. Creación del contacto rueda – base

Una vez realizado este proceso, se pasa a establecer el contacto entre las ruedas y la base en COSMOS Motion. Para ello hay que añadir un “3D Contact” entre la superficie de la rueda y la base.

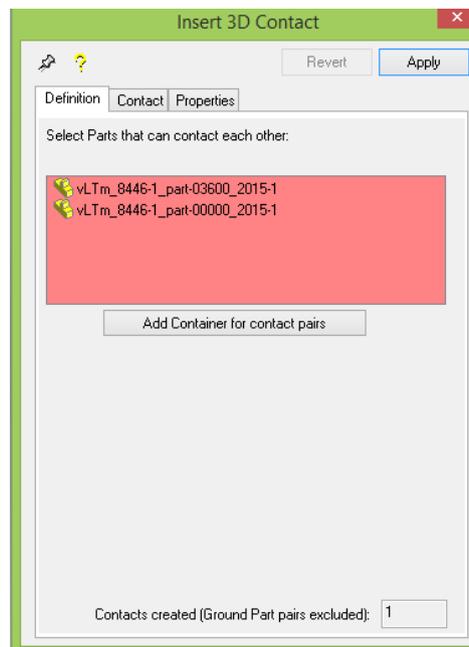


Fig. 42. Ventana para establecer un "3D Contact".

5.2.2.4. Parámetros de la simulación.

Llegados a este punto, debemos comprobar las condiciones en las que se va a realizar la simulación, fuerzas externas, tiempo de simulación y “frames” calculados. Todo ello en las opciones “System defaults” a las cuales podemos acceder al hacer clic derecho sobre “Motion model”.

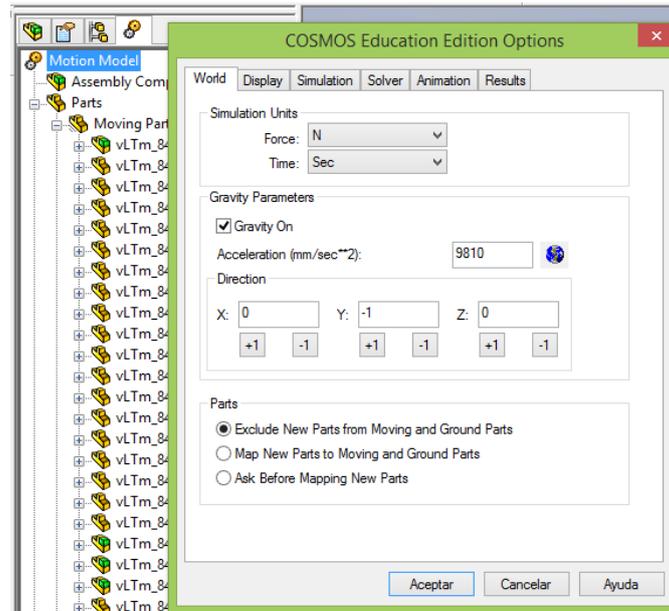


Fig. 43. Pestaña "Word" en los parámetros.

En primer lugar queremos simular el movimiento con gravedad terrestre, para ello entramos en la pestaña “World” si en la creación del modelo hemos seguido un patrón adecuado de posición respecto a los ejes espaciales, debemos poner el siguiente valor de dirección (X=0; Y=-1; Z=0) con un valor de aceleración de 9810.

Finalmente nos queda configurar la pestaña “Simulation”, en la cual podemos establecer el tiempo de duración de la simulación en el apartado “Duration” y el número de imágenes que se calcularán en “Number of Frames”

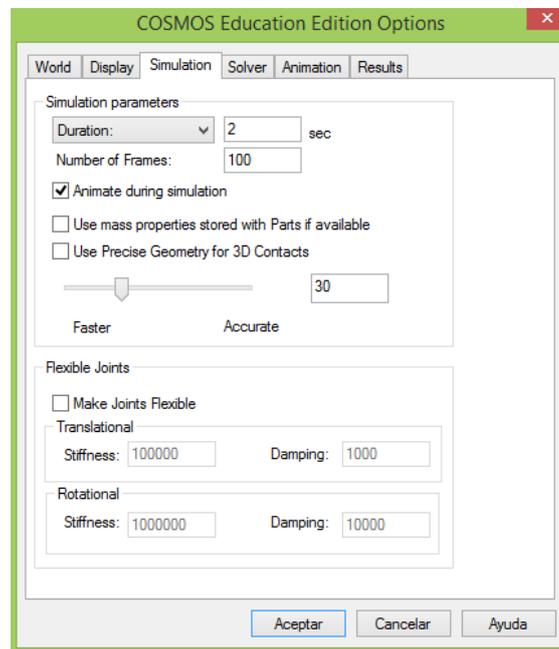


Fig. 44. Pestaña "Simulation" en los parámetros.

5.2.2.5. Iniciar la simulación.

Ahora solo queda comenzar la simulación clicando en el siguiente punto del panel de simulación, puede tardar unos minutos en terminar los cálculos y empezar a simular.

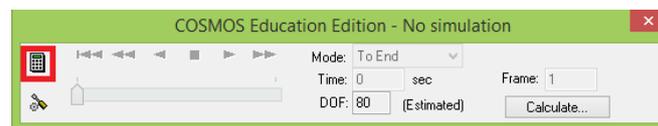


Fig. 45. Panel de simulación.

En el caso de que estemos utilizando la versión SolidWorks 2007 SP3.1, pueden producirse errores en la simulación. Es recomendable utilizar la versión SolidWorks 2007 SP5 o exportar el trabajo a una versión nueva como SolidWorks 2014.

6. CREACIÓN DE MODELOS VIRTUALES

Ahora vamos a ver aquellos modelos que han sido trabajados durante la realización del TFG. La mayoría de modelos han sido creados desde sus componentes, algunos de los cuales han sido posteriormente compactados y simulados. Además hay algún modelo que ha sido directamente creado a partir de sus piezas compactadas, con el objetivo de obtener rápidamente los conocimientos básicos en el concepto del análisis cinemático y la simulación.

6.1. MECANISMOS DE ISOWAGA YOSHIHITO

La primera actividad, llevada a cabo con el objetivo de acercarnos al entorno de diseño de SolidWorks y al sistema modular LEGO® Technic, son una serie de mecanismos extraídos del libro “*Tora no Maki*”, de Isogawa Yoshihito, son mecanismos sencillos pero comunes en modelos más complejos. Para realizarlos tenemos como referencia imágenes de los mecanismos reales, así como los componentes LEGO® necesarios.

6.1.1. Modelo virtual TORA – 002

Este primer montaje corresponde a un mecanismo compuesto por una pieza fija que actúa de bancada y dos ruedas dentadas acopladas, formando un engranaje rueda-rueda.



Fig. 46. Imagen de referencia TORA-002 (fuente: “*Tora no Maki*”).

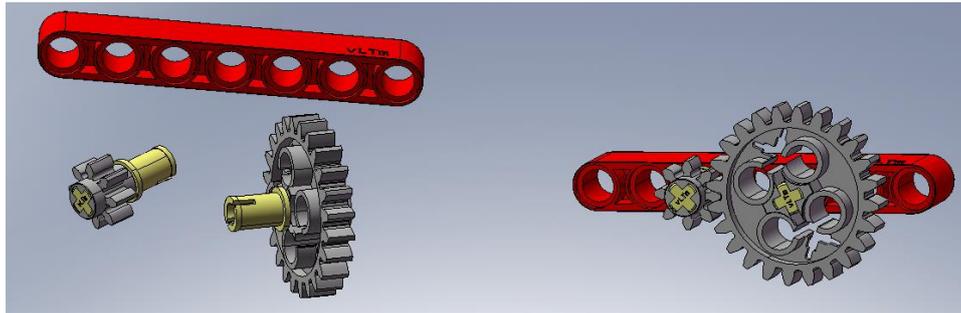


Fig. 47. Piezas separadas y modelo montado TORA-002.

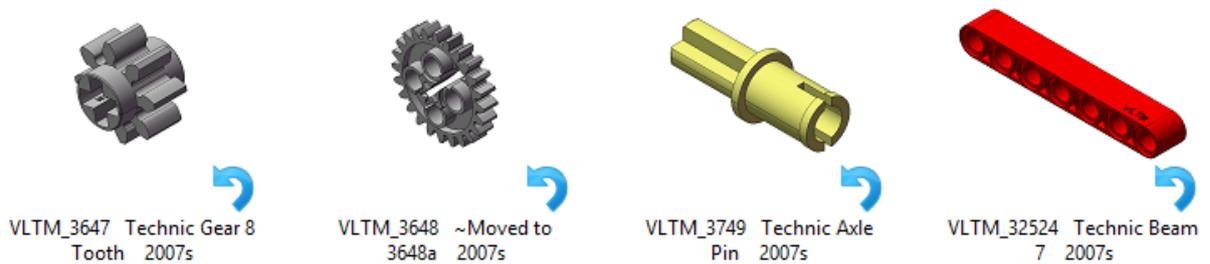


Fig. 48. Componentes TORA-002.

6.1.2. Modelo virtual TORA – 008

En este caso estamos ante otro mecanismo compuesto por una pieza fija y dos ruedas dentadas acopladas, formando un engranaje rueda-rueda.

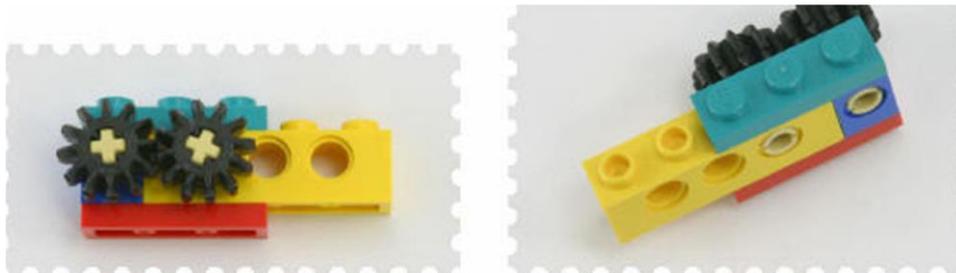


Fig. 49. Imagen de referencia TORA-008 (fuente: "Tora no Maki").

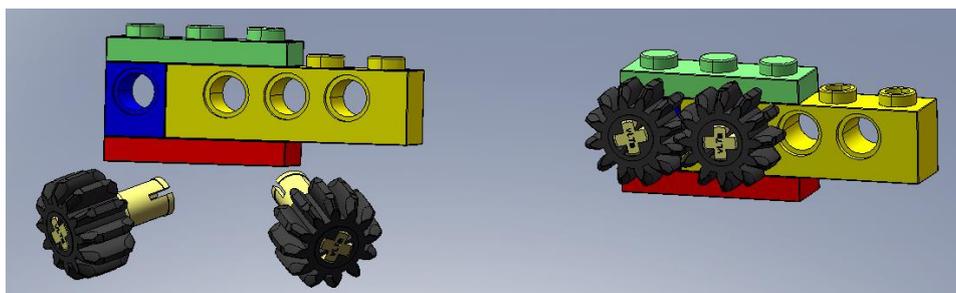


Fig. 50. Piezas separadas y modelo montado TORA-008.

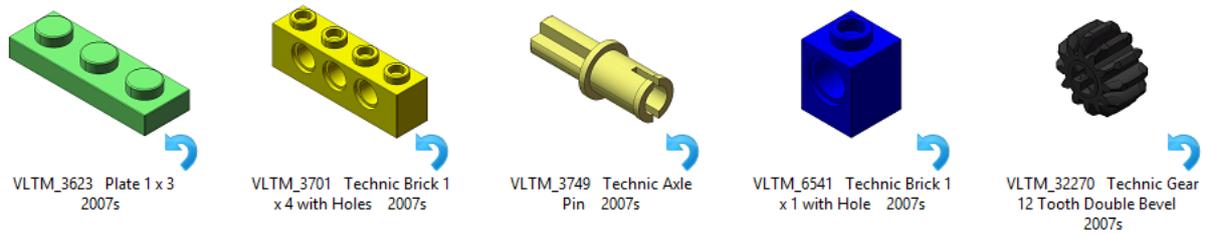


Fig. 51. Componentes TORA-008.

6.1.3. Modelo virtual TORA – 009

El siguiente mecanismo, similar a los anteriores, corresponde a un engranaje rueda-rueda sobre una estructura fija, formada por un eje.

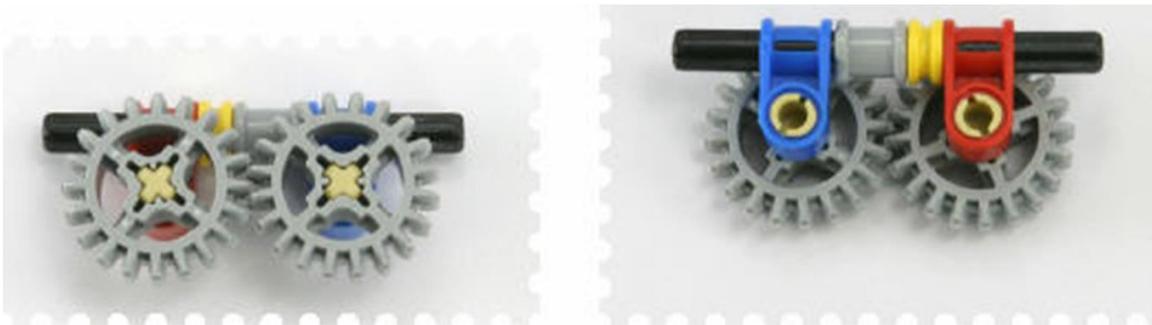


Fig. 52. Imagen de referencia TORA-009 (fuente: “Tora no Maki”).

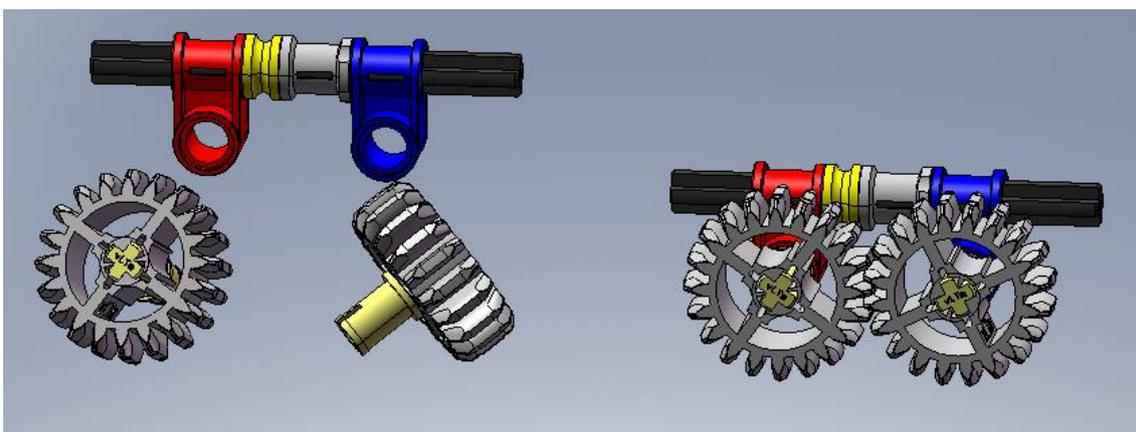


Fig. 53. Piezas separadas y modelo montado TORA-009.

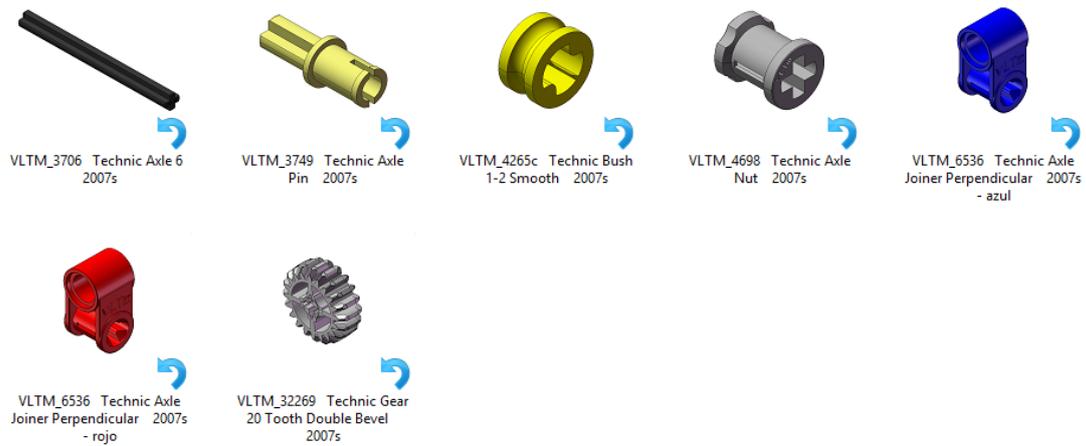


Fig. 54. Componentes TORA-009.

6.1.4. Modelo virtual TORA – 013

Este mecanismo está constituyendo la transmisión de dos ruedas dentadas sobre una base estructural no visible.



Fig. 55. Imagen de referencia TORA-013 (fuente: "Tora no Maki").

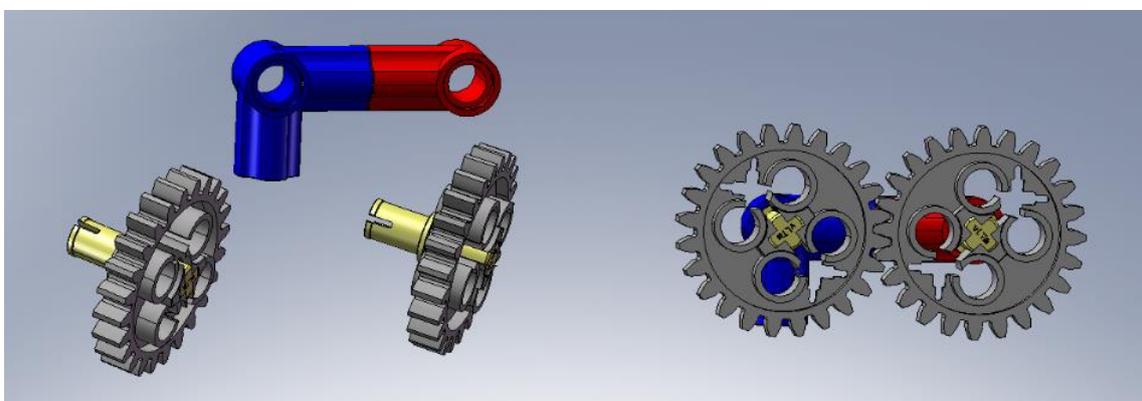


Fig. 56. Piezas separadas y modelo montado TORA-013.



Fig. 57. Componentes TORA-13.

6.1.5. Modelo virtual TORA – 026

El siguiente mecanismo está formado por dos ruedas engranadas sobre una base montada alrededor de un eje.



Fig. 58. Imagen de referencia TORA-026 (fuente: "Tora no Maki")..

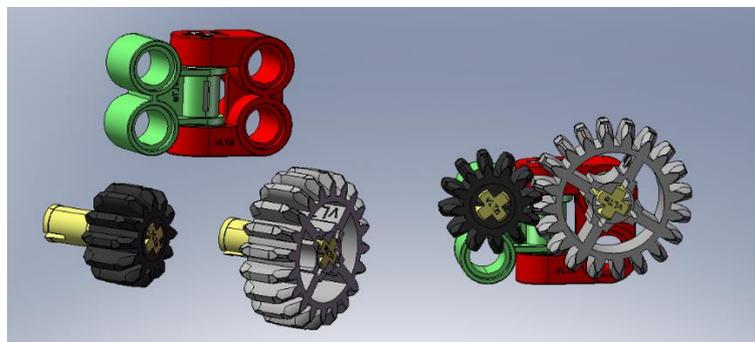


Fig. 59. Piezas separadas y modelo montado TORA-026.



Fig. 60. Componentes TORA-026.

6.1.6. Modelo virtual TORA – 037

El siguiente mecanismo tipo base giratoria, con transmisión de movimiento entre dos engranajes.



Fig. 61. Imagen de referencia TORA-037 (fuente: “Tora no Maki”).

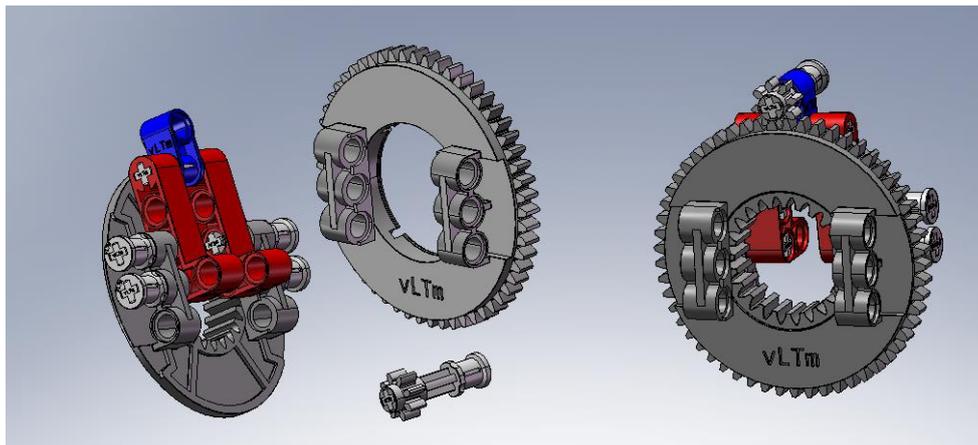


Fig. 62. Piezas separadas y modelo montado TORA-037.

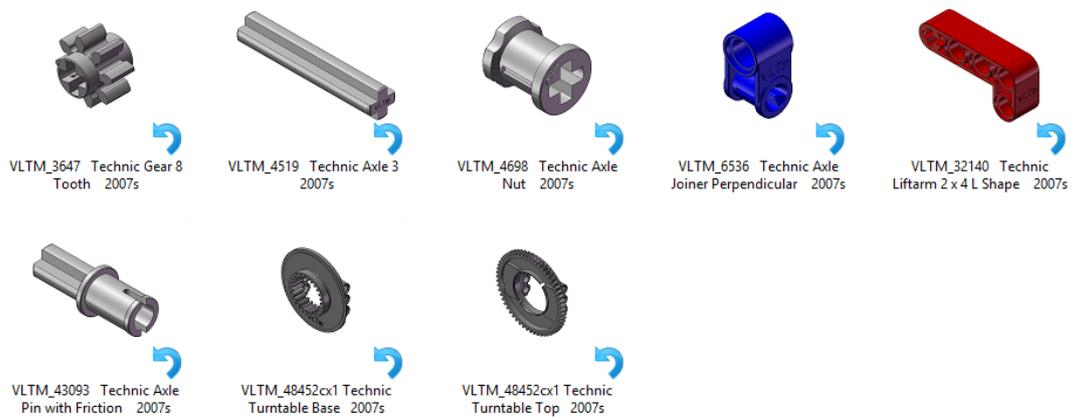


Fig. 63. Componentes TORA-037.

6.1.7. Modelo virtual TORA – 040

Este mecanismo está compuesto por una base y una carcasa giratoria acoplada a una rueda dentada.

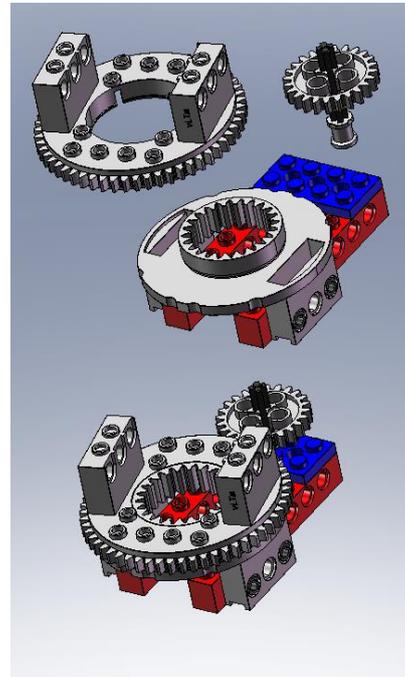
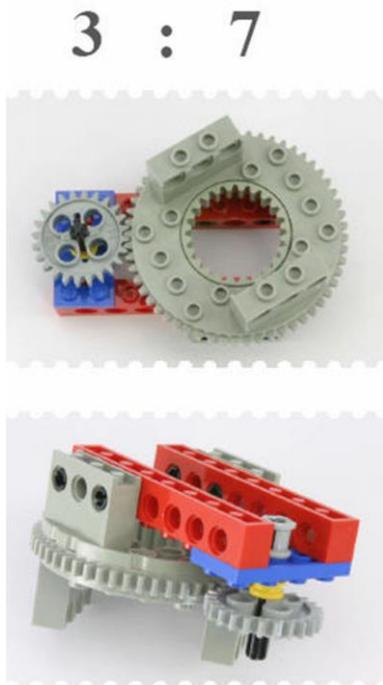


Fig. 64. Imagen de referencia TORA-040 (fuente: "Tora no Maki"). Fig. 65. Piezas separadas y modelo montado TORA-040.

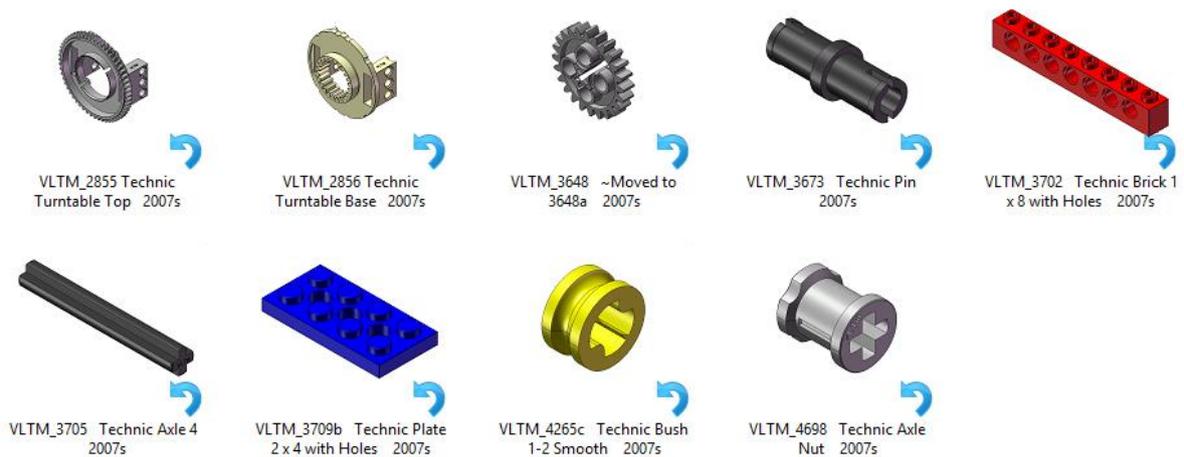


Fig. 66. Componentes TORA-040.

6.1.8. Modelo virtual TORA – 051

El mecanismo siguiente está constituido por una estructura fija y dos ruedas dentadas formando una transmisión perpendicular.

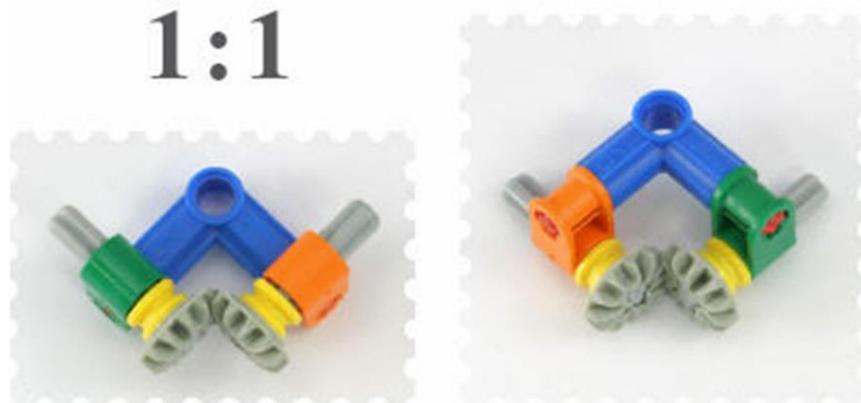


Fig. 67. Imagen de referencia TORA-051 (fuente: “Tora no Maki”).

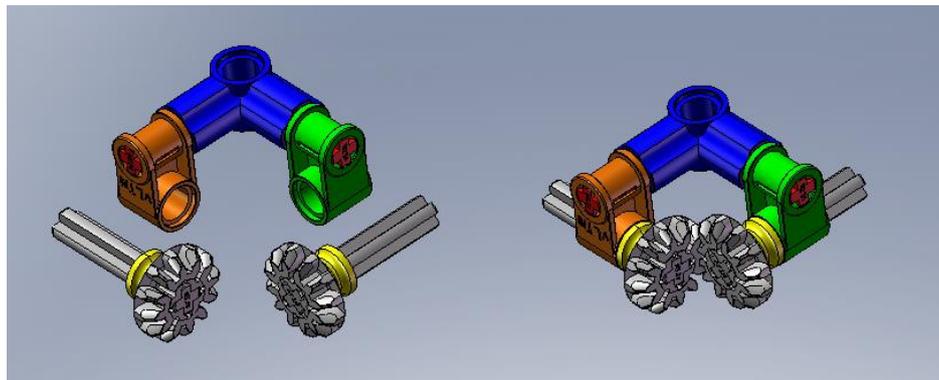


Fig. 68. Piezas separadas y modelo montado TORA-051.



Fig. 69. Componentes TORA-051.

6.1.9. Modelo virtual TORA – 059

Como en el caso anterior este mecanismo está formando un engranaje mediante ruedas dentadas con ejes perpendiculares.



Fig. 70. Imagen de referencia TORA-059 (fuente: "Tora no Maki").

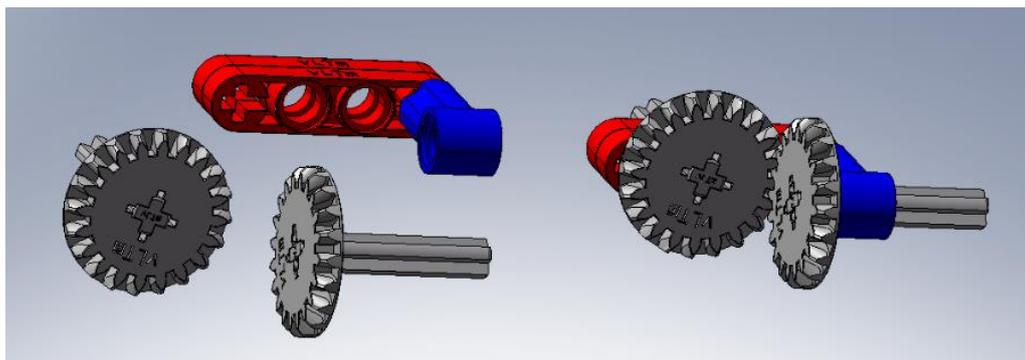


Fig. 71. Piezas separadas y modelo montado TORA-059.



Fig. 72. Componentes TORA-059.

6.1.10. Modelo virtual TORA – 062

Este mecanismo constituye una transmisión mediante ruedas con dientes tipo bola, dispuestos en ejes perpendiculares.



Fig. 73. Imagen de referencia TORA-062 (fuente: “Tora no Maki”).

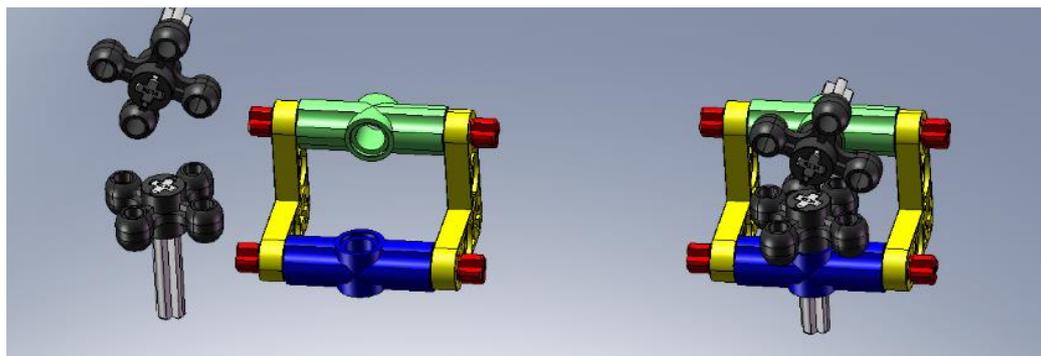


Fig. 74. Piezas separas y modelo montado TORA-062.



Fig. 75. Componentes TORA-062.

6.1.11. Modelo virtual TORA – 075

El siguiente es otro mecanismo con un acoplamiento mediante engranajes dispuestos en ejes perpendiculares.



Fig. 76. Imagen de referencia TORA-075 (fuente: "Tora no Maki").

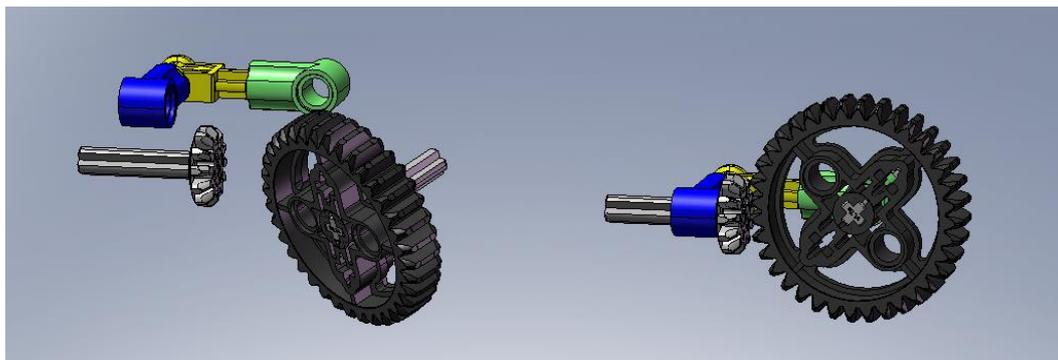


Fig. 77. Piezas separadas y modelo montado TORA-075.



Fig. 78. Componentes TORA-075.

6.1.12. Modelo virtual TORA – 079

Mecanismo compuesto por un tornillo sin fin engranado a una rueda dentada.

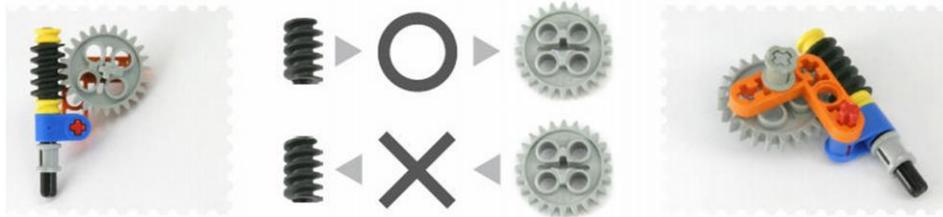


Fig. 79. Imagen de referencia TORA-079 (fuente: "Tora no Maki").

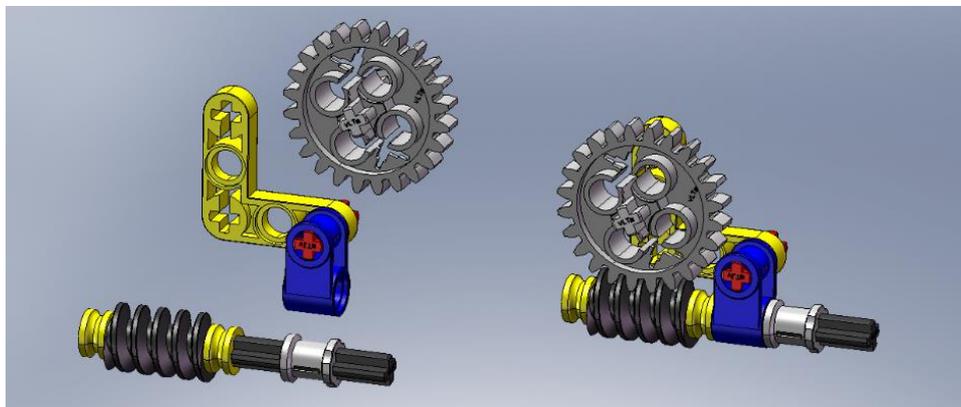


Fig. 80. Piezas separadas y modelo montado TORA-079.

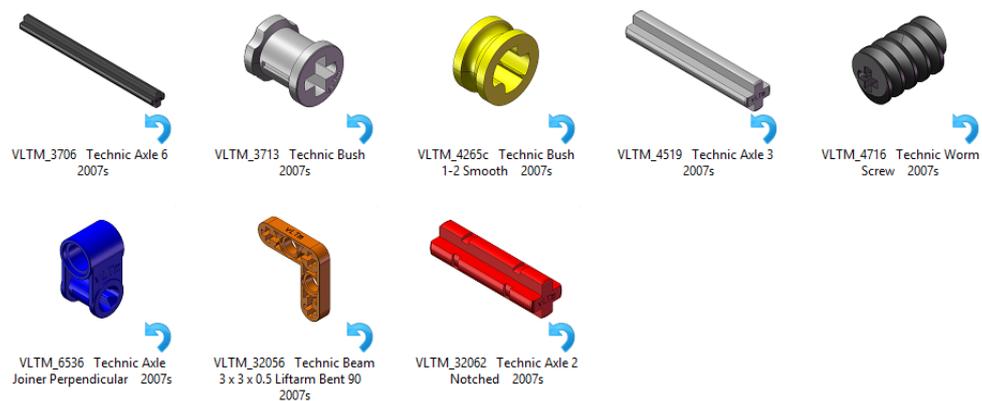


Fig. 81. Componentes TORA-079.

6.1.13. Modelo virtual TORA – 093

El siguiente mecanismo transforma el movimiento de rotación en movimiento oscilatorio, compuesto por una barra fija, una rueda y dos barras móviles.



Fig. 82. Imagen de referencia TORA-093 (fuente: "Tora no Maki").

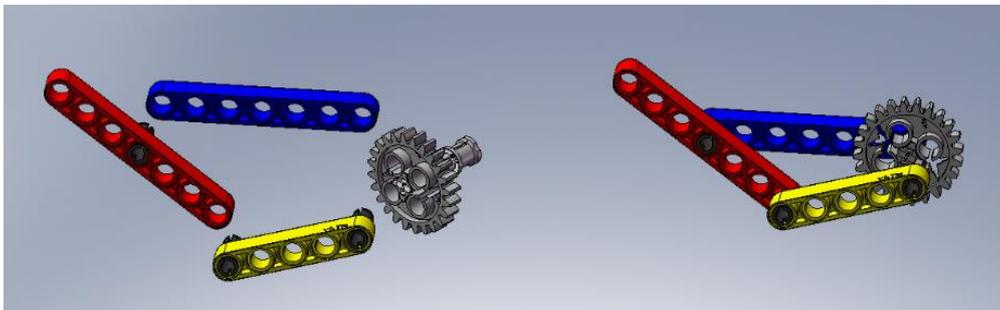


Fig. 83. Piezas separadas y modelo montado TORA-093.



Fig. 84. Componentes TORA-093.

6.1.14. Modelo virtual TORA – 098

El mecanismo siguiente convierte el movimiento de rotación en una combinación de movimiento oscilatorio junto con lineal.



Fig. 85. Imagen de referencia TORA-098 (fuente: “Tora no Maki”).

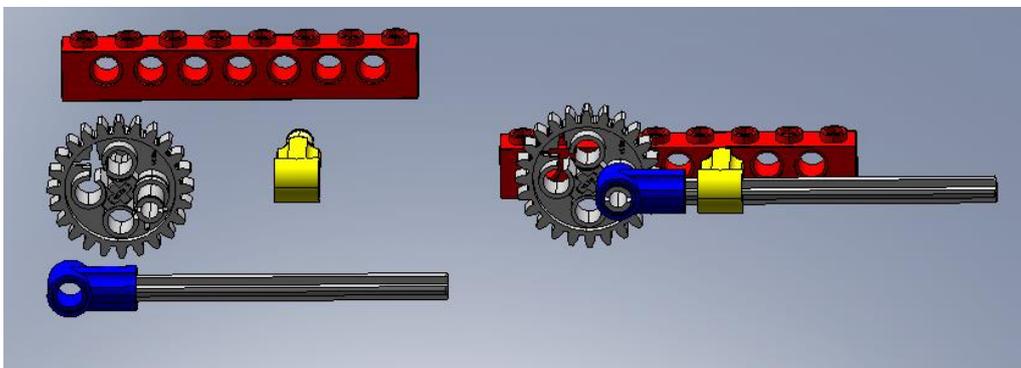


Fig. 86. Piezas separadas y modelo montado TORA-098.

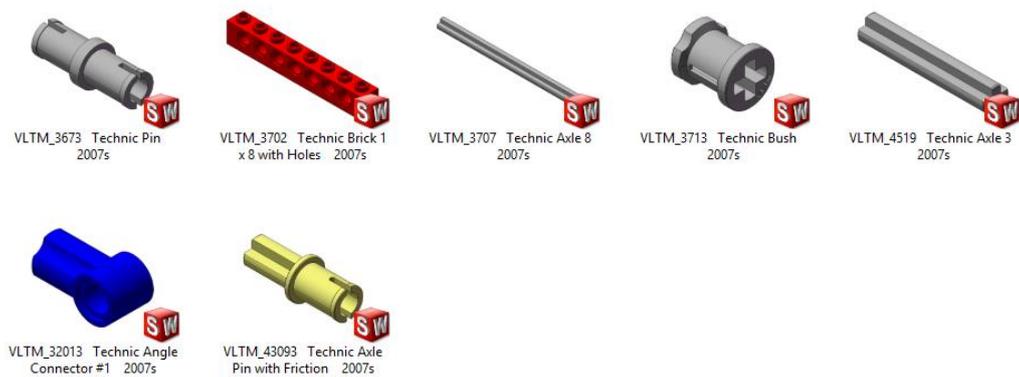


Fig. 87. Componentes TORA-098.

6.1.15. Modelo virtual TORA – 102

Mecanismo de conversión de movimiento rotacional a lineal alternativo, empleando una transmisión piñón-cremallera.



Fig. 88. Imagen de referencia TORA-102 (fuente: "Tora no Maki").

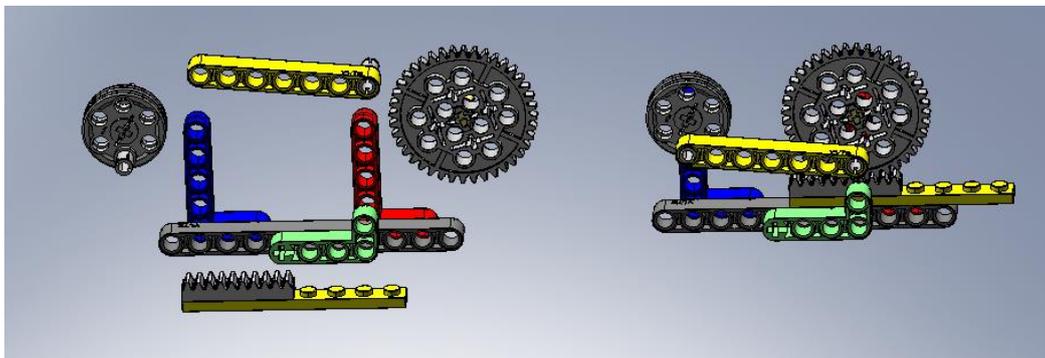


Fig. 89. Piezas separadas y modelo montado TORA-102.

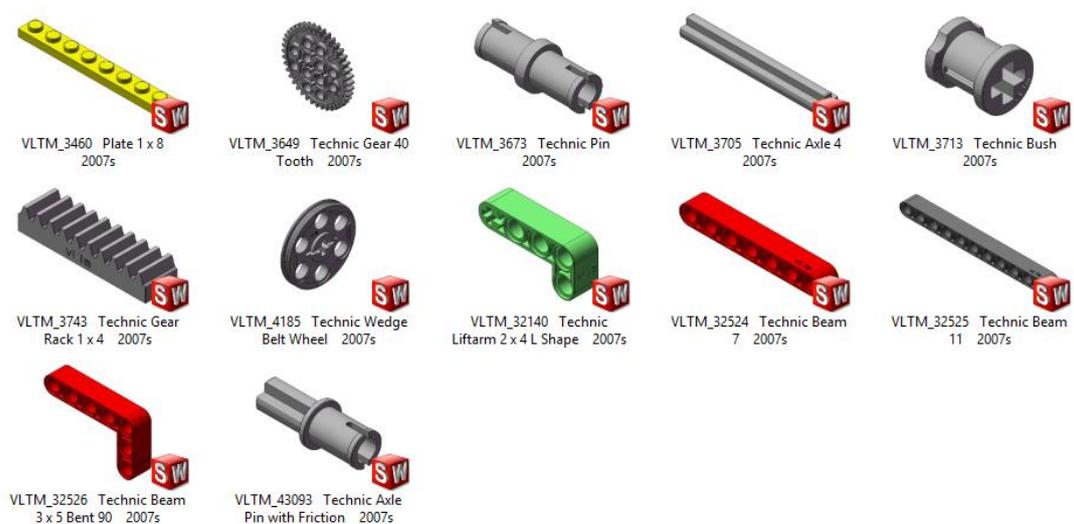


Fig. 90. Componentes TORA-102.

6.1.16. Modelo virtual TORA – 107

El siguiente mecanismo permite la transmisión de par entre dos ejes con un determinado ángulo, a partir de una junta Hooke.

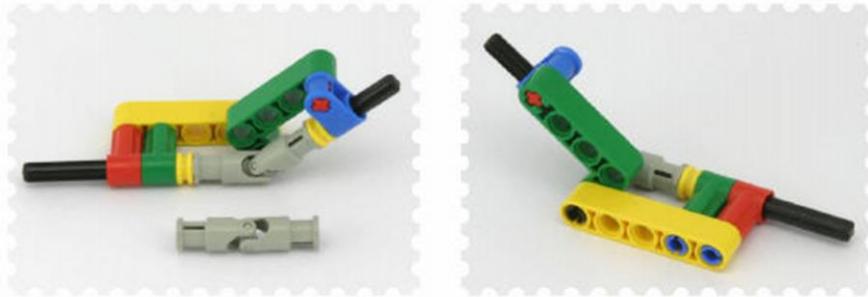


Fig. 91. Imagen de referencia TORA-107 (fuente: "Tora no Maki").

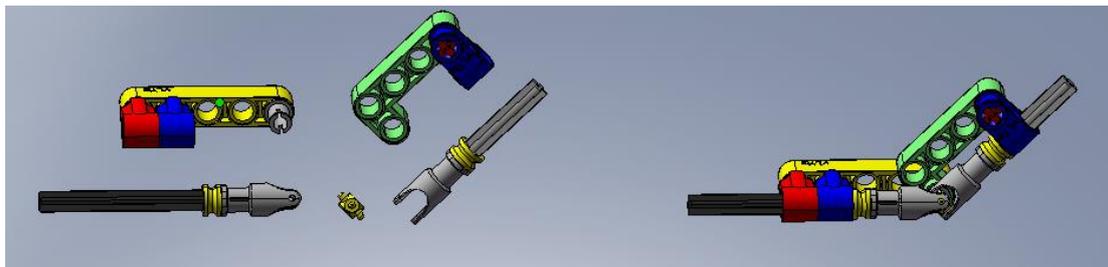


Fig. 92. Piezas separadas y modelo montado TORA-107.

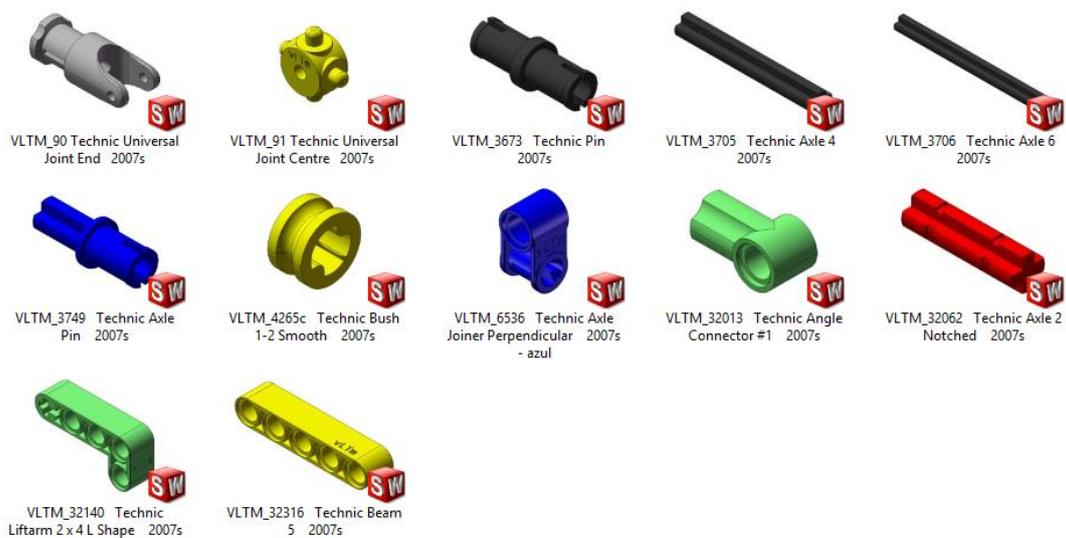


Fig. 93. Componentes TORA-107.

6.2. MODELO VIRTUAL T-0209

En la siguiente actividad debemos crear un mecanismo tipo pedal, que provoca la apertura y cierre de una puerta, extraído del libro de Isogawa Yoshihito. En este caso, el material de referencia para su construcción es un documento eDrawings y la imagen del libro del cual se ha extraído el modelo.



Fig. 94. Imagen de referencia T-0209 (fuente: "Tora no Maki").

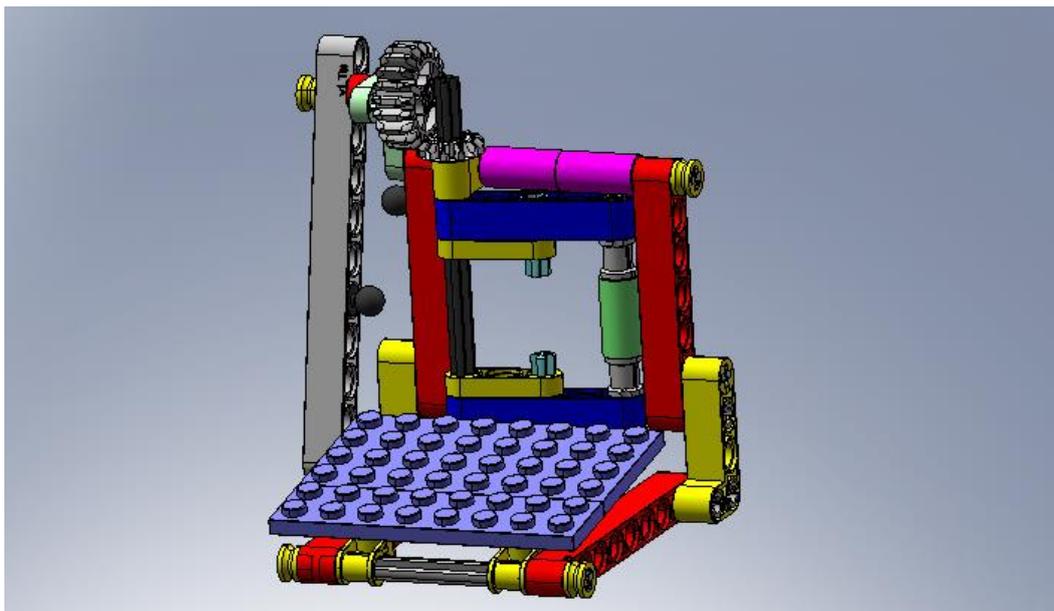


Fig. 95. Modelo montado T-0209.

Este mecanismo está formado por 5 piezas distintas con movimiento relativo entre ellas.

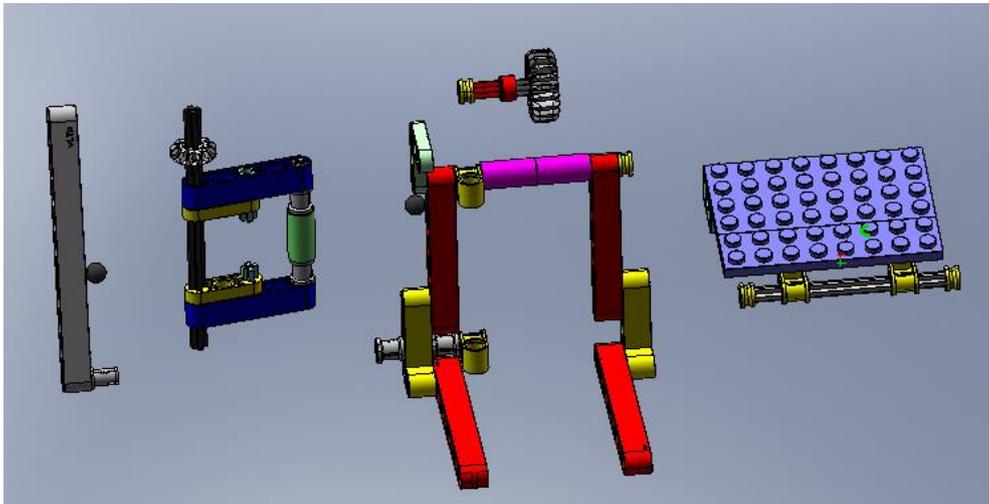


Fig. 96. Piezas separadas T-0209.

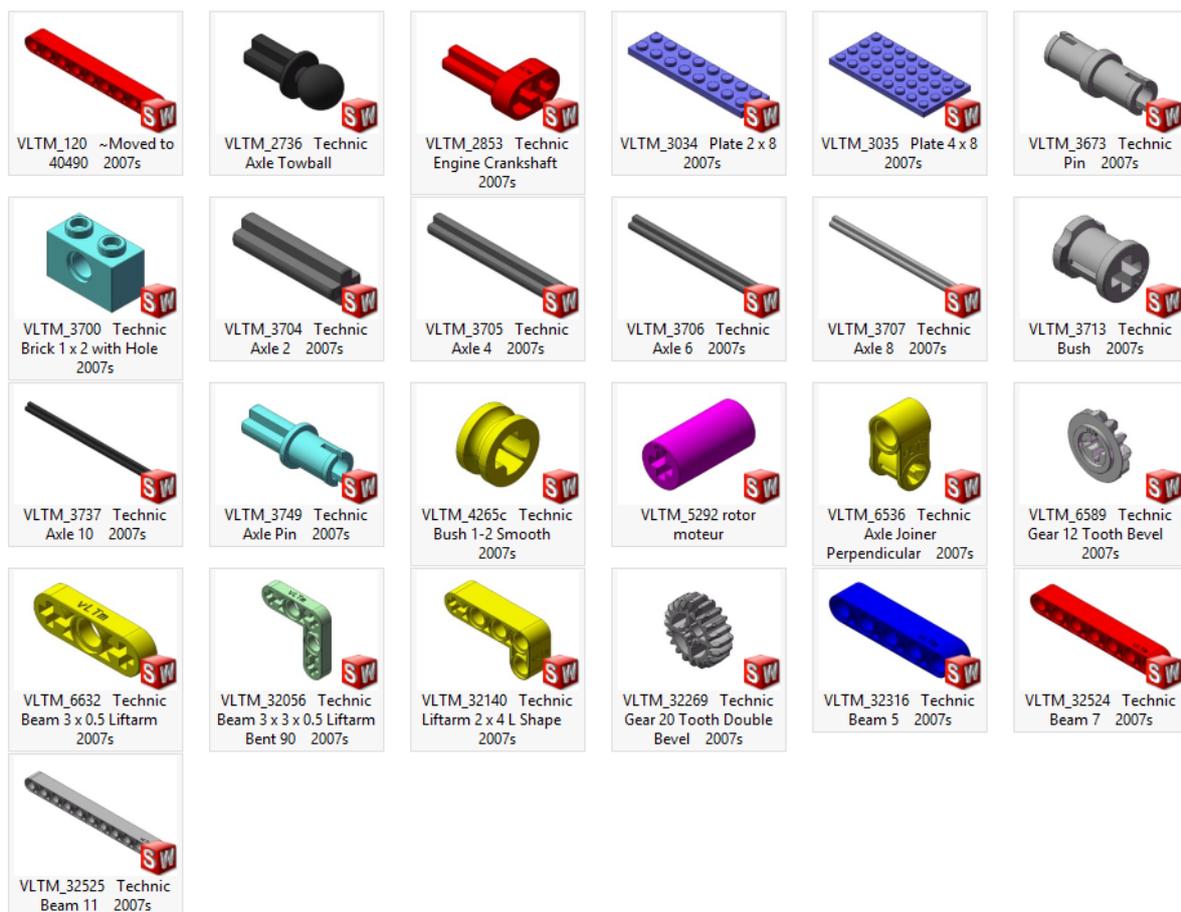


Fig. 97. Componentes T-0209.

6.3. MODELO VIRTUAL 8042-T

El siguiente modelo ya corresponde a un montaje oficial LEGO® Technic. Se trata de una grúa móvil con un brazo trasero móvil accionado por impulsores neumáticos. Además incorpora un mecanismo de dirección en las ruedas delanteras guiado manualmente por el cilindro ubicado encima de la cabina. Para la realización contamos con un documento eDrawings, así como con las instrucciones y los componentes LEGO® necesarios.

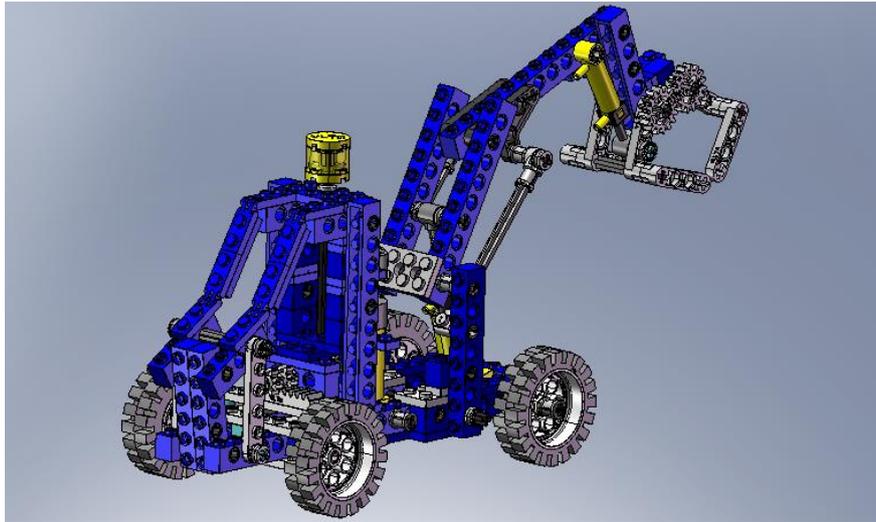


Fig. 98. Modelo montado 8042-T.

A continuación se muestran las diferentes piezas con movimiento relativo que conforman el modelo.

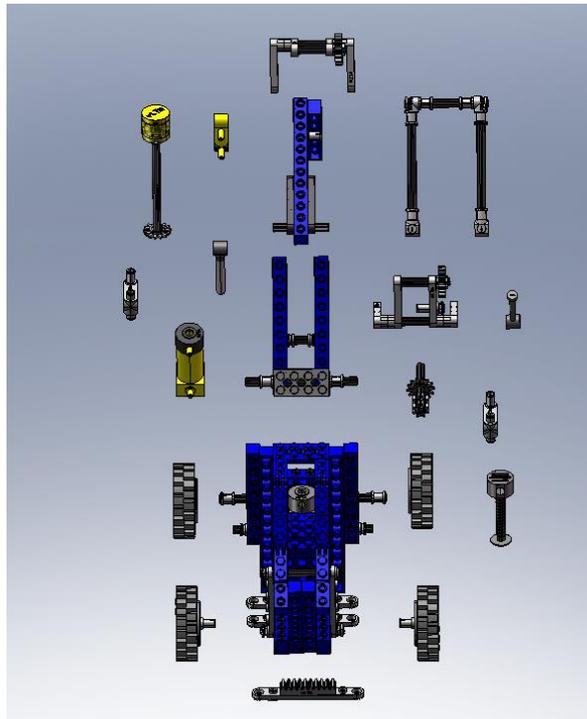


Fig. 99. Piezas separadas 8042-T.

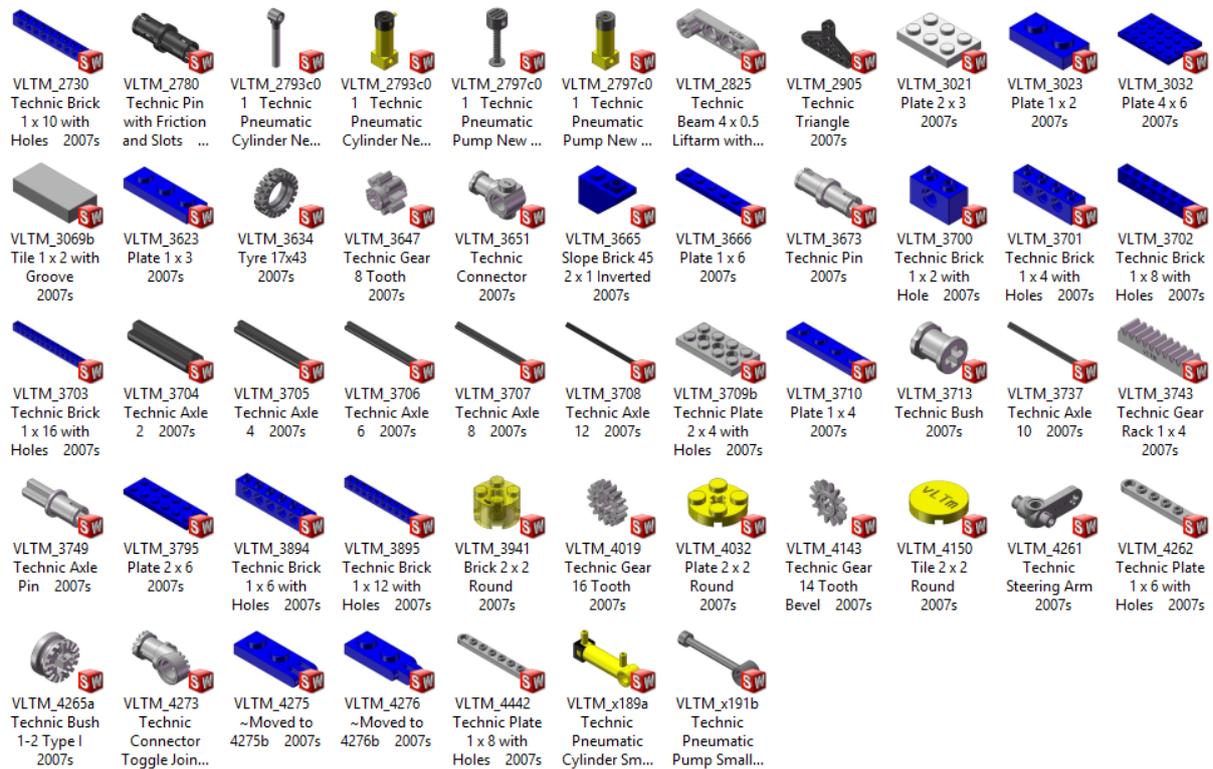


Fig. 100. Componentes 8042-T.

6.4. MODELO VIRTUAL T-0193

Este modelo forma también parte de la colección de Isogawa Yoshihito. Se trata de un vehículo motorizado con un interesante mecanismo de amortiguación junto con un mecanismo de transmisión delantera. Como referencia en este modelo contamos con la imagen del libro del cual ha sido extraído.



Fig. 101. Imagen de referencia T-0193 (fuente: "Tora no Maki").

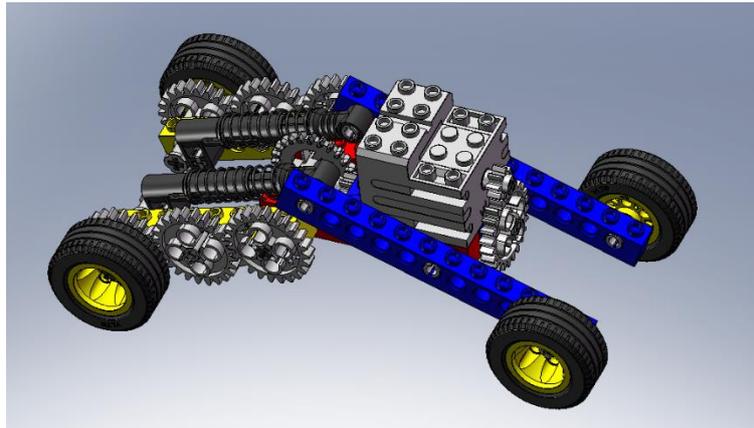


Fig. 102. Modelo montado T-0193.

En la siguiente imagen se pueden observar las diferentes piezas que conforman el modelo.

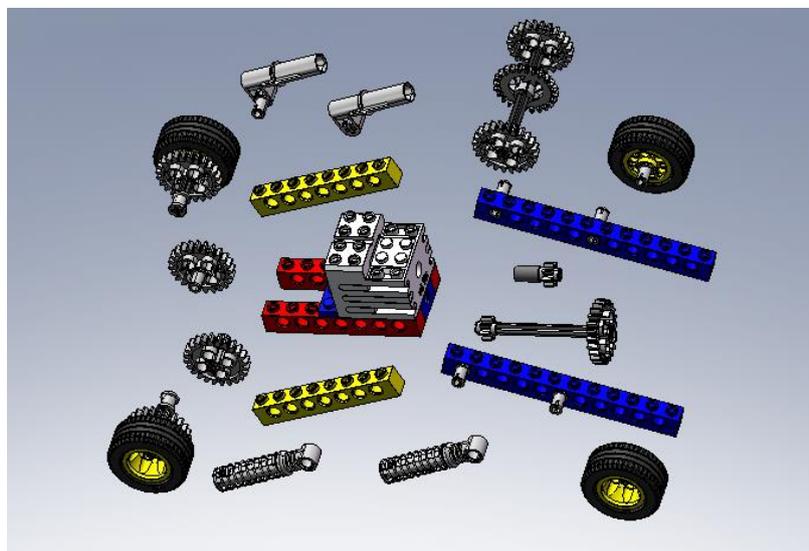


Fig. 103. Piezas separadas T-0193.



Fig. 104. Componentes T-0193.

En esta actividad se ha considerado interesante realizar el diagrama cinemático del mecanismo plano que forma el montaje.

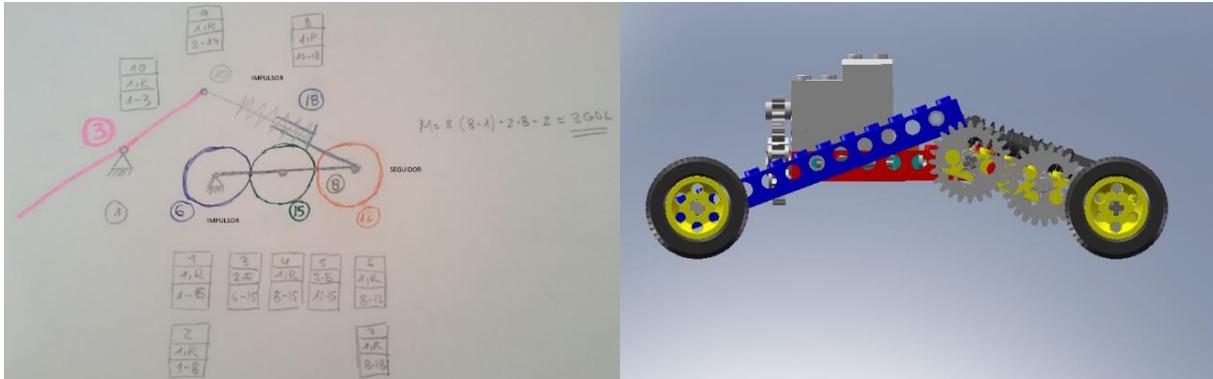


Fig. 105. Diagrama cinemático del mecanismo de suspensión, T-0193.

6.5. MODELO VIRTUAL 8862-1

El siguiente modelo se trata del primer montaje complejo que se realizó durante este trabajo. En este caso se trató de una actividad guiada por el tutor responsable mediante vídeos donde se mostraba el montaje paso a paso, además disponíamos de un documento eDrawings y de los componentes necesarios para el montaje.

Se trata de una retroexcavadora, entre los mecanismos simulados se encuentra el mecanismo de elevación e inclinación de la pala delantera, de elevación inclinación y giro de la pala trasera, la dirección de las ruedas delanteras y el mecanismo de anclaje trasero.

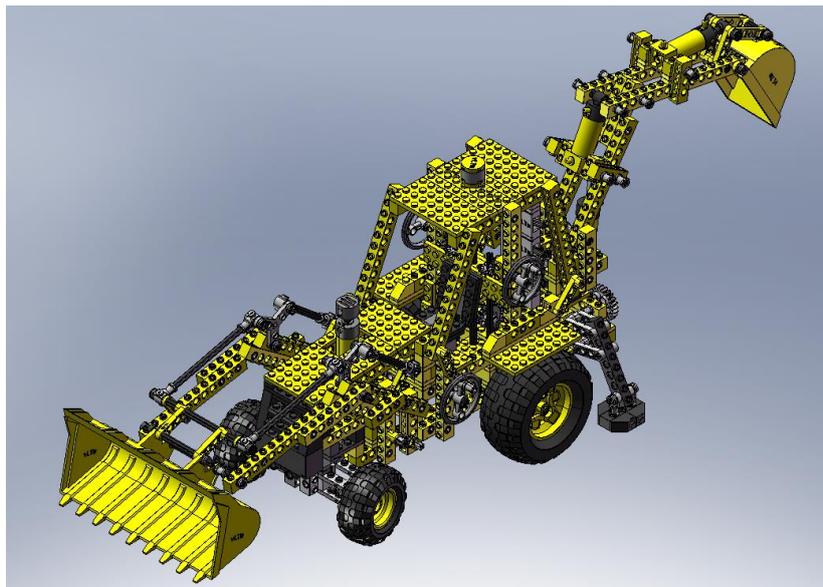


Fig. 106. Modelo montado 8862-1.

Como podemos observar en este modelo la cantidad de piezas con movimiento relativo entre ellas es considerablemente amplia, lo cual refleja la dificultad del montaje.

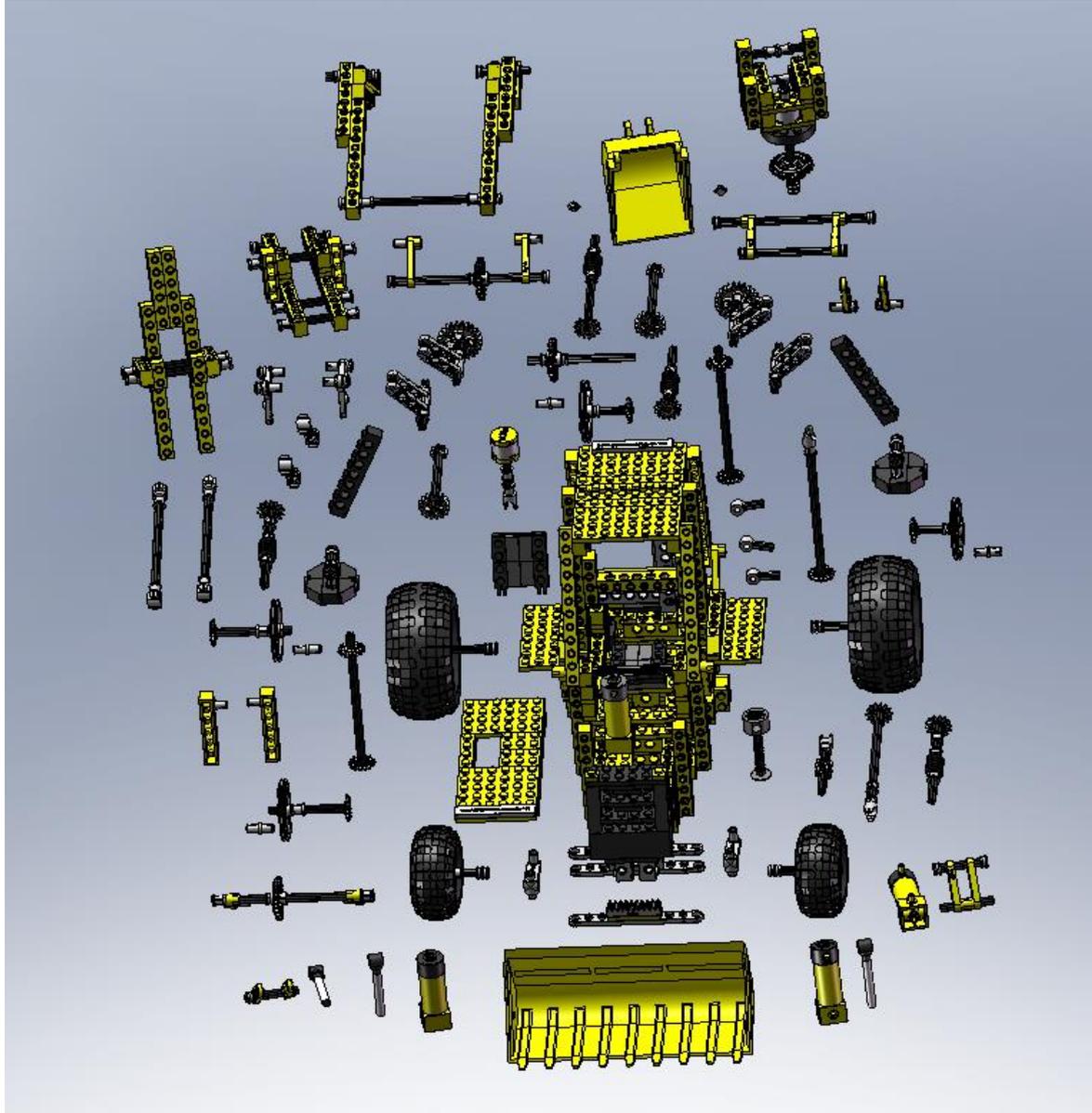


Fig. 107. Piezas separadas 8862-1.

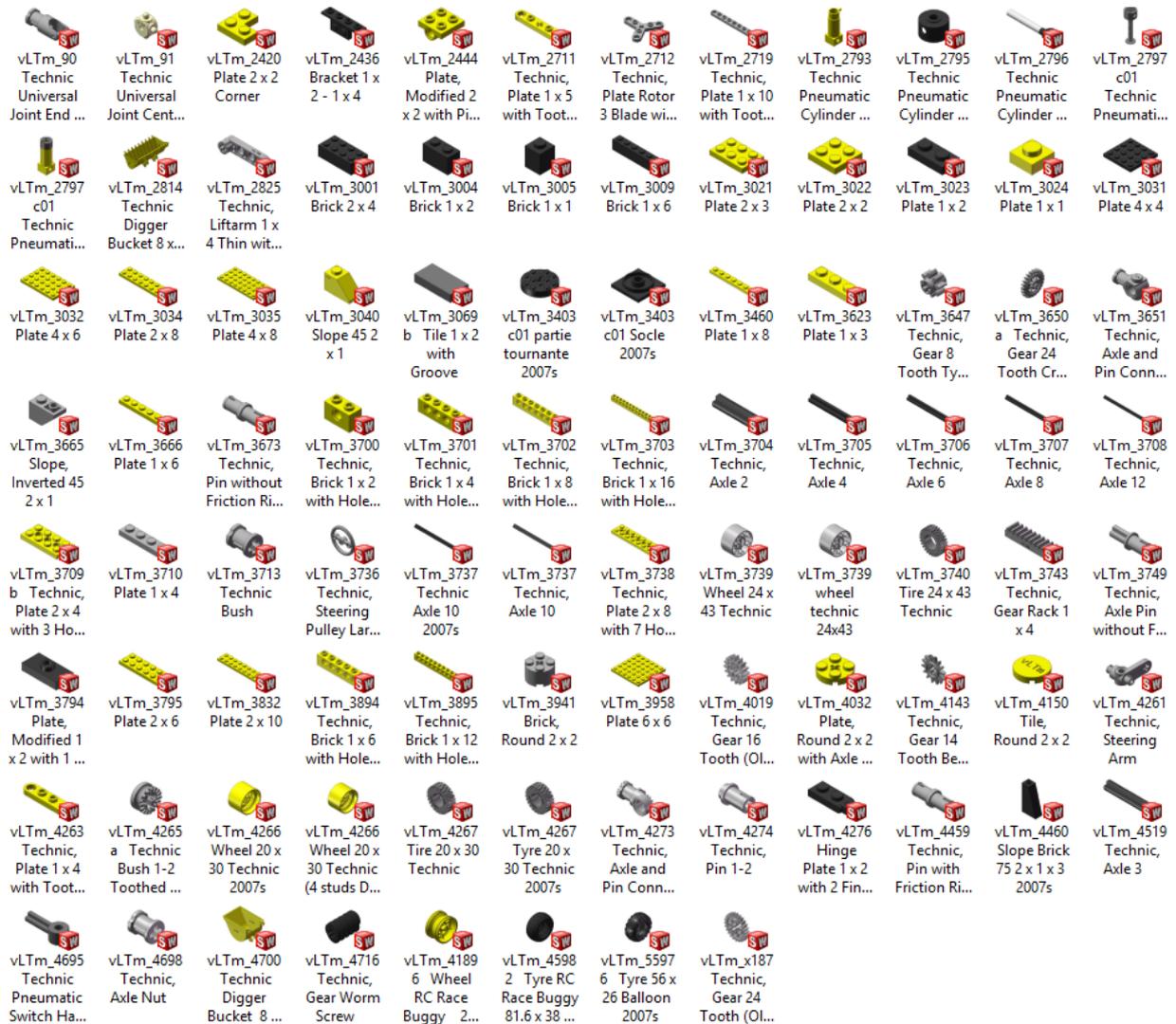


Fig. 108. Componentes 8862-1.

6.6. MODELO VIRTUAL 8446-1

Este modelo es el primer montaje complejo realizado de forma autónoma durante este TFG. Para su realización ha sido utilizado un documento eDrawings y los componentes proporcionados por el tutor.

Además se trata del primero de los tres modelos principales de este TFG, por ello haremos un estudio más detallado del mismo.

Se trata de un vehículo terrestre de tres ejes, con un mecanismo de dirección complejo actuando sobre los dos ejes delanteros, mecanismos de elevación, cierre y giro de la pinza trasera y un mecanismo de elevación de la capota delantera.

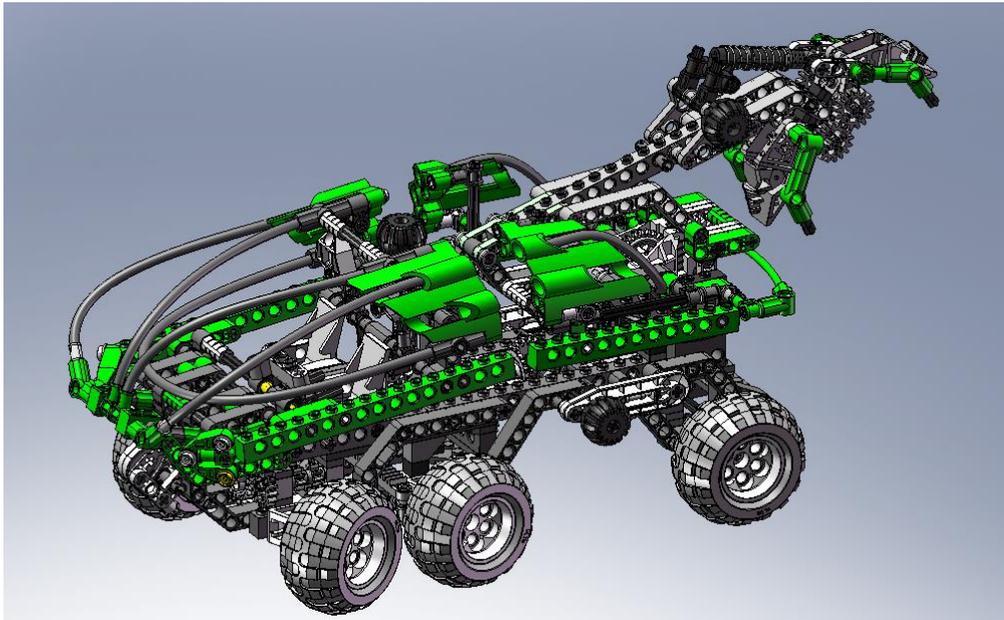


Fig. 109. Modelo montado 8446-1.

La siguiente imagen muestra las diferentes piezas que conforman este modelo.

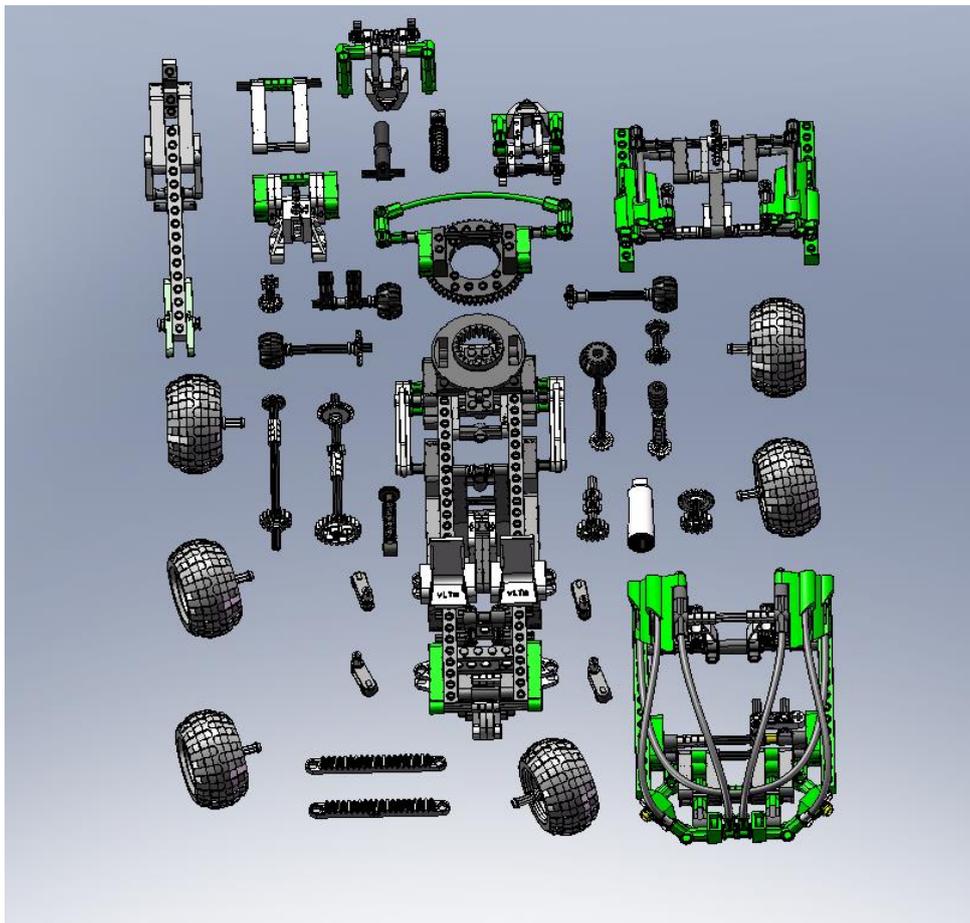


Fig. 110. Piezas separadas 8446-1.

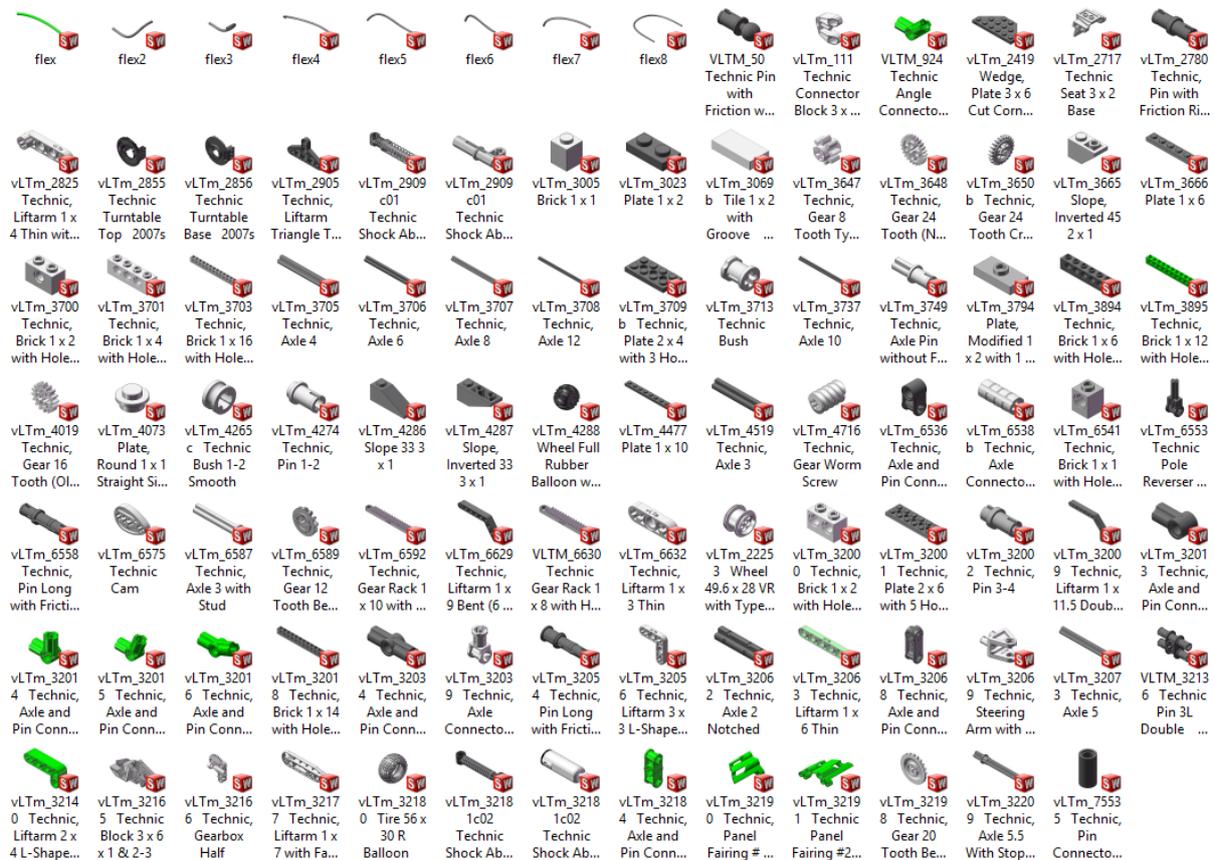


Fig. 111. Componentes 8446-1.

Por último se han realizado los diagramas cinemáticos de los mecanismos planos que conforman el modelo.

En primer lugar se analiza el mecanismo de elevación de la capota delantera.

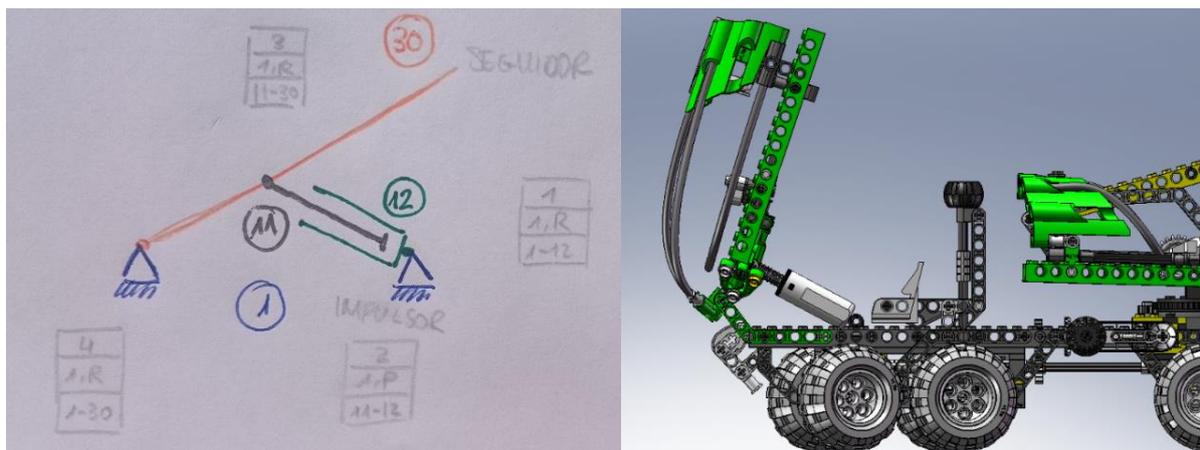


Fig. 112. Diagrama cinemático del mecanismo de elevación de la capota delantera, 8446-1.

$$M = (3 * (4 - 1)) - 2 * 4 = 1 \text{ GDL}$$

El siguiente mecanismo analizado es la dirección de dos ejes del vehículo.

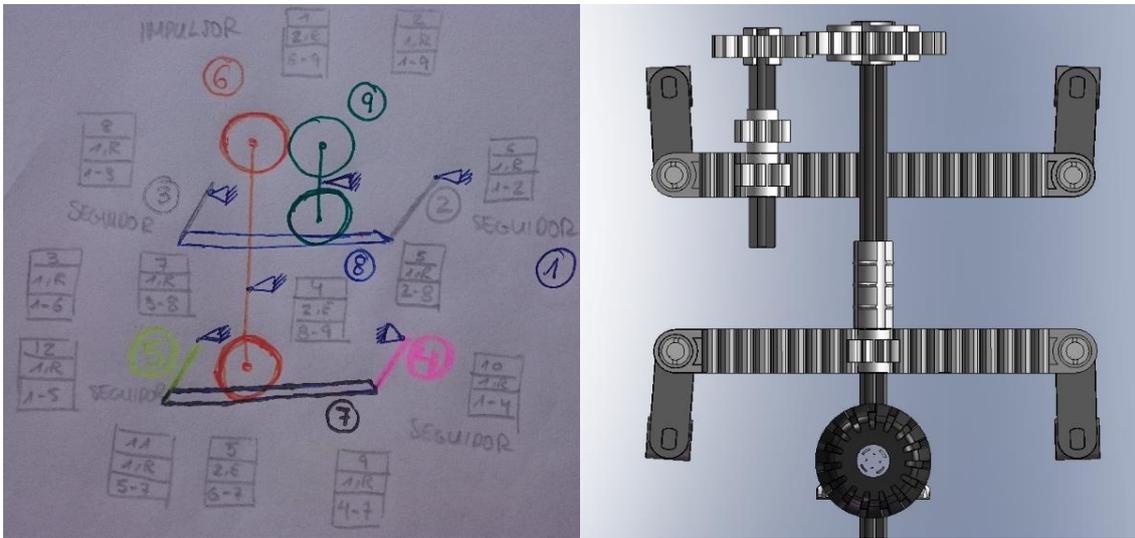


Fig. 113. Diagrama cinemático del mecanismo de dirección, 8446-1.

$$M = 3 * (9 - 1) - 2 * 10 - 3 = 1 \text{ GDL}$$

Finalmente analizamos el mecanismo de la grúa trasera que equipa este modelo.

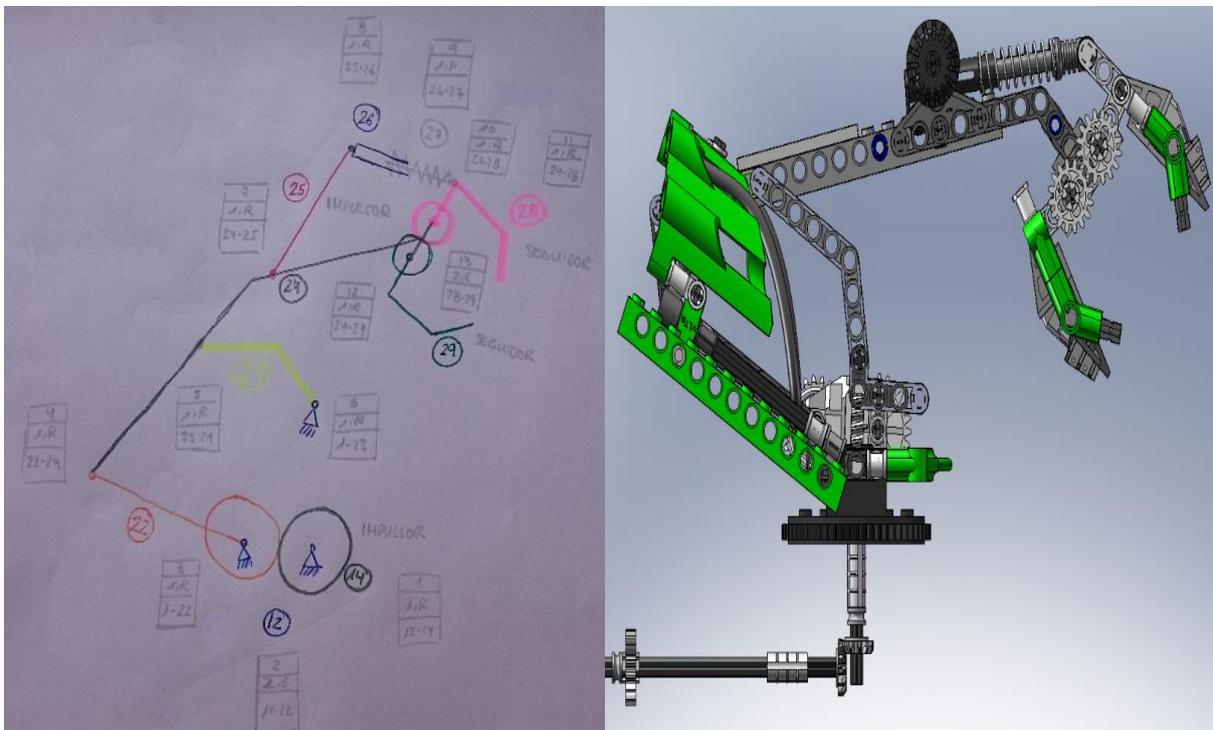


Fig. 114. Diagrama cinemático del mecanismo de la grúa trasera, 8446-1.

$$M = 3 - (10 - 2) - 2 * 11 - 2 = 3 \text{ GDL}$$

6.7. MODELO VIRTUAL 8448

El montaje de esta actividad corresponde al segundo de los tres modelos principales, en este caso se ha realizado el montaje de 6 versiones diferentes del modelo, los cuales compartían un “sub-modelo” que denominaremos “CHASIS”.

Para realizar esta actividad contábamos con las instrucciones de todos los modelos y un documento eDrawings del modelo 8448-1, por tanto en un principio hemos podido ayudarnos de dicho documento, pero el montaje ha sido principalmente siguiendo las instrucciones.

6.7.1. Modelo 8448-0 (CHASIS)

Este “sub-modelo” se trata del “CHASIS” de un automovilismo junto con los mecanismos básicos del mismo. Los mecanismos que podemos encontrar son: un sistema de amortiguación en las ruedas traseras, mecanismo de dirección delantero dirigido por un volante, un mecanismo diferencial en las ruedas traseras, un motor térmico y un sistema de transmisión trasero.

Además hemos creado dos versiones del chasis, una con el motor ubicado en la parte delantera y otra con el motor ubicado en la zona trasera, y dependiendo el modelo a realizar se tendrá que utilizar una u otra versión.

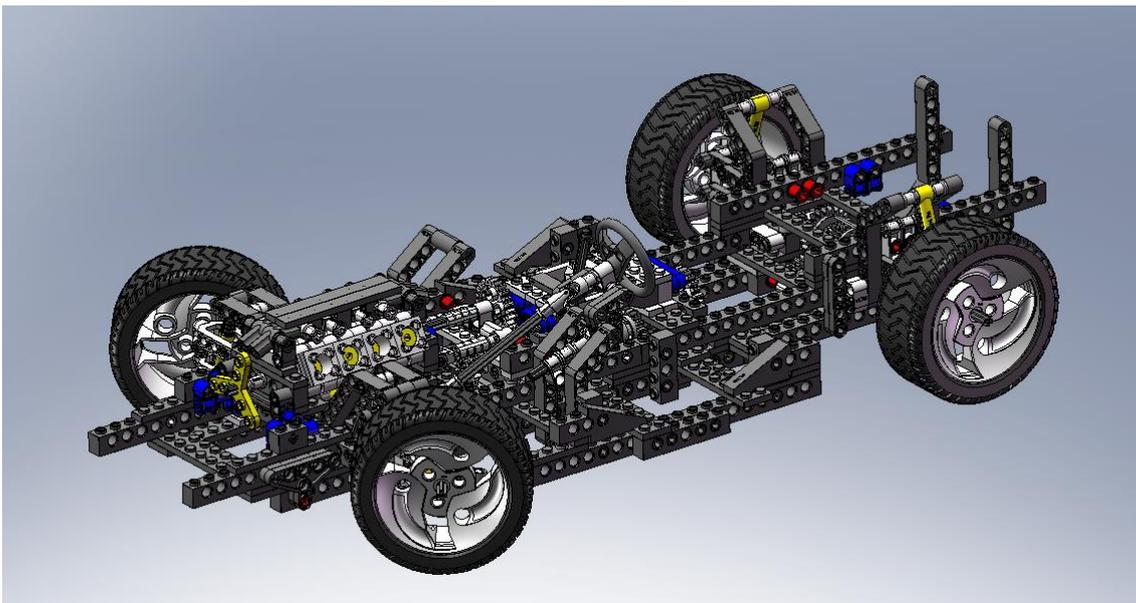


Fig. 115. Modelo montado 8448-0 (CHASIS) motor delantero.

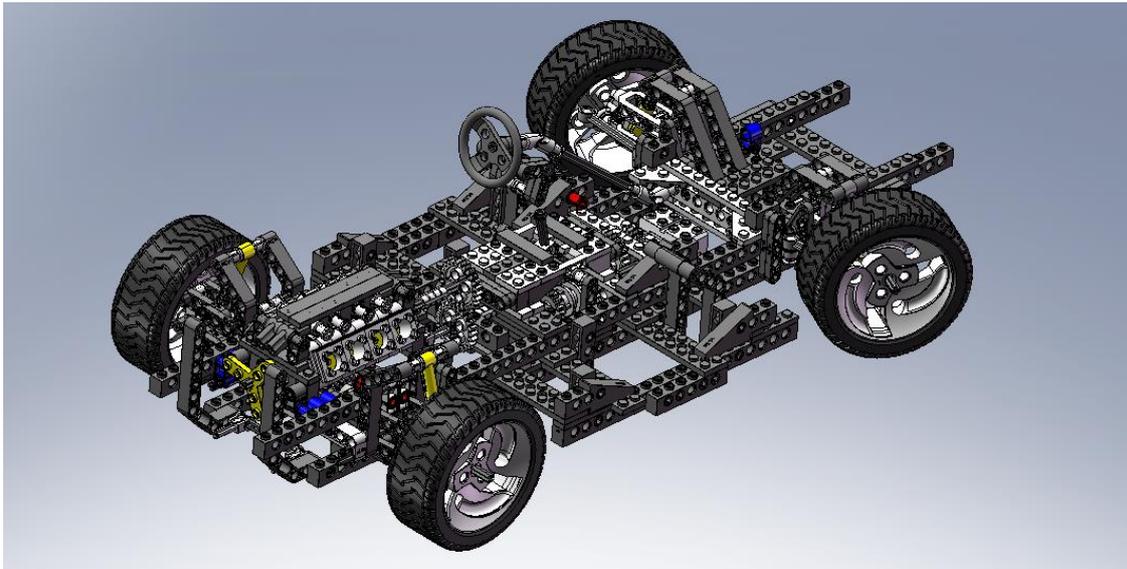


Fig. 116. Modelo montado 8448-0 (CHASIS) motor trasero.

En la siguiente imagen podemos ver las piezas utilizadas en el montaje del chasis, como se puede observar aun siendo un “sub-modelo”, supone un proceso de creación de elevada dificultad.

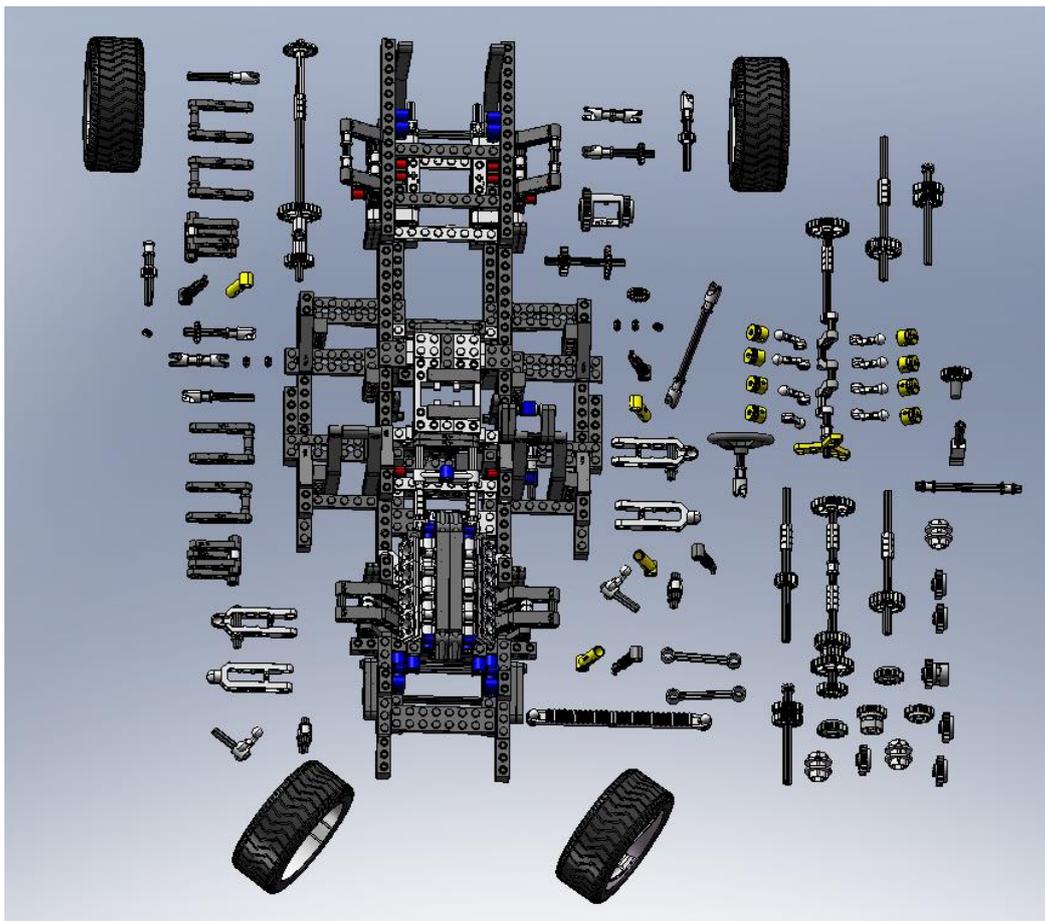


Fig. 117. Piezas separadas 8448-0 (CHASIS)

6.7.2. Modelo 8448-1 (CONVERTIBLE)

El primer modelo creado a partir del chasis con motor delantero es el denominado “CONVERTIBLE”, se trata de un deportivo con un mecanismo que permite poner y quitar la cobertura superior del habitáculo, permitiendo al deportivo transformarse en un descapotable.

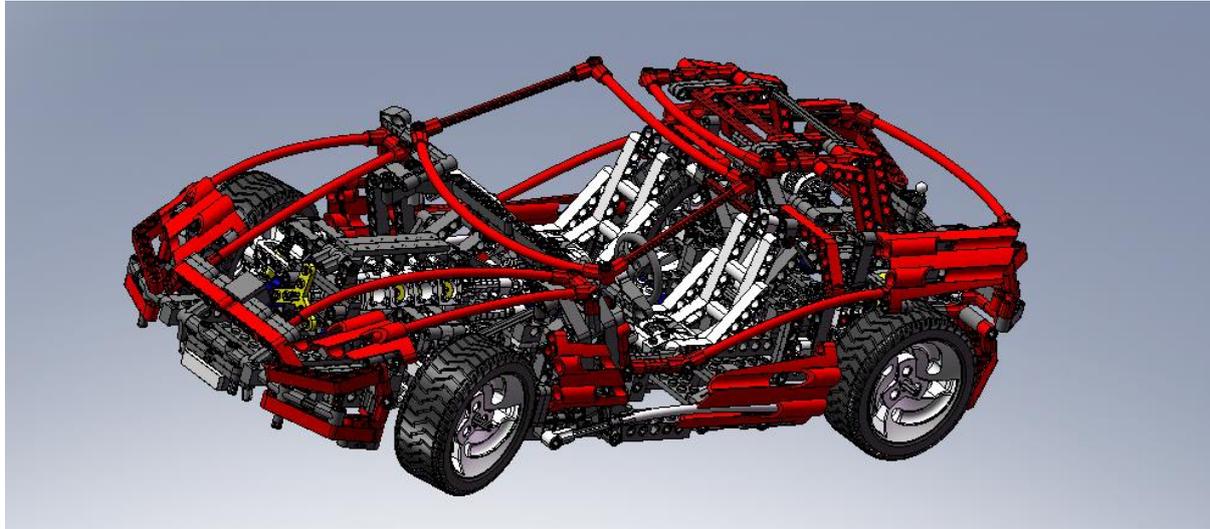


Fig. 118. Modelo montado 8448-1 (CONVERTIBLE).

En las piezas mostradas está por una parte el “CHASIS” (el cual en realidad está formado por una serie de piezas y mecanismos), la carrocería y las piezas del mecanismo neumático de elevación de la capota.

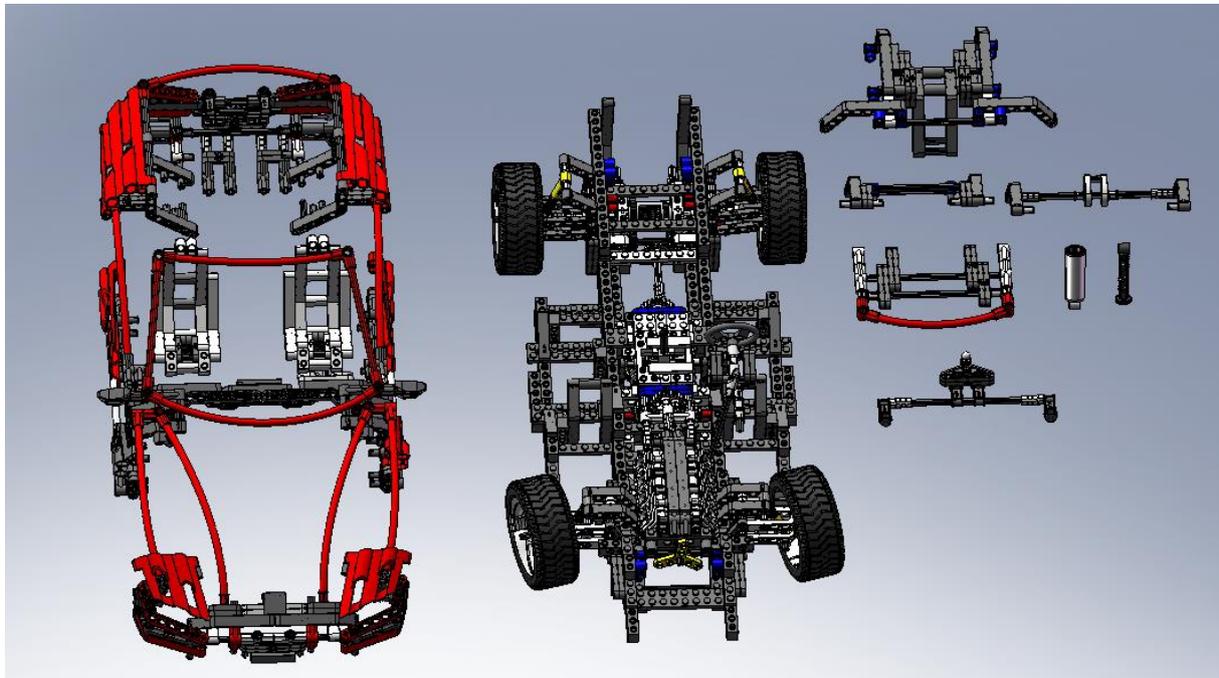


Fig. 119. Piezas separadas 8448-1 (CONVERTIBLE).

6.7.3. Modelo 8448-2 (WING DOORS)

El segundo de los modelos está también creado sobre el “CHASIS” además de reutilizarse la carrocería del modelo “CONVERTIBLE”. Este deportivo además de contener los mecanismos del “CHASIS” tiene un mecanismo de apertura vertical de las puertas.

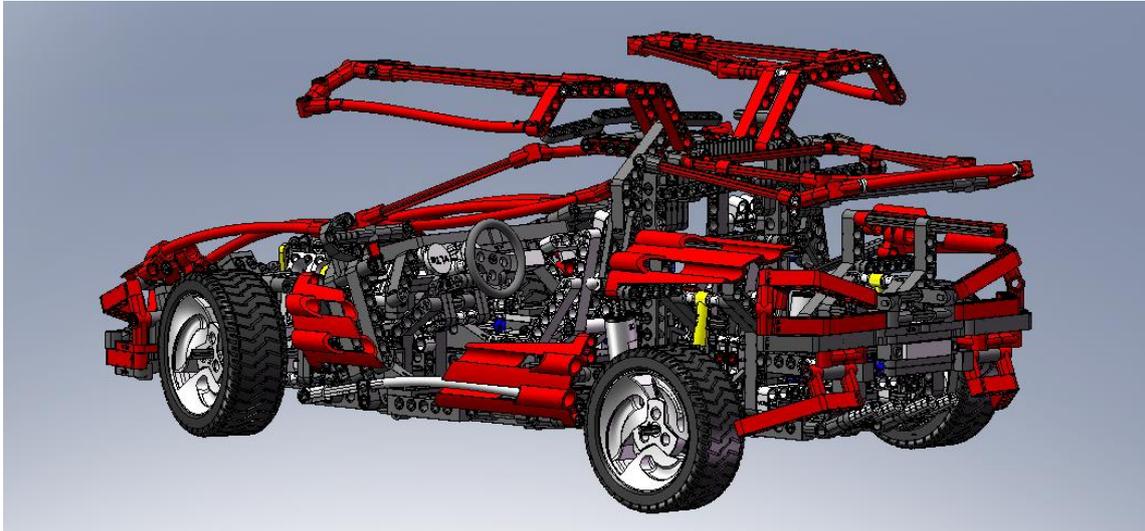


Fig. 120. Modelo montado 8448-2 (WING DOORS).

En la siguiente imagen podemos observar las piezas del modelo, por una parte tenemos el “CHASIS” junto con la carrocería del modelo “CONVERTIBLE” ya montado, y por otra parte tenemos las piezas que conforman el mecanismo neumático de apertura de las puertas.

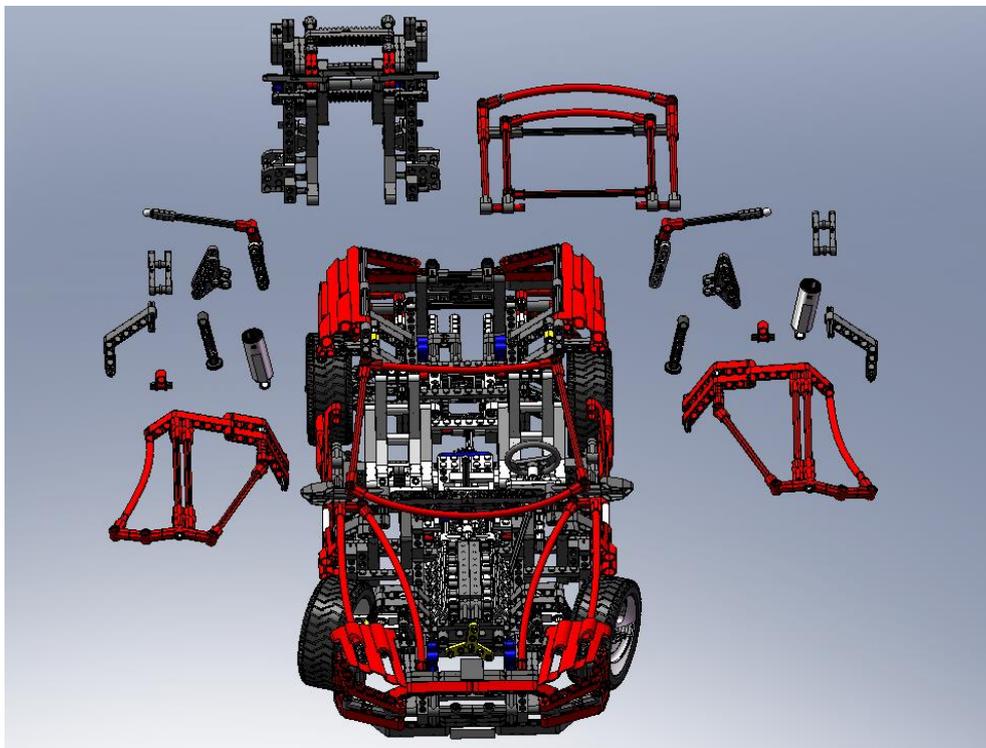


Fig. 121. Piezas separadas 8448-2 (WING DOORS).

6.7.4. Modelo 8448-3 (CONCEPT CAR)

El tercer modelo también creado sobre el “CHASIS” con motor delantero, consiste en un coche conceptual, en el cual se desarrolla sobre la base un mecanismo neumático que pudiera elevar toda la cubierta del habitáculo

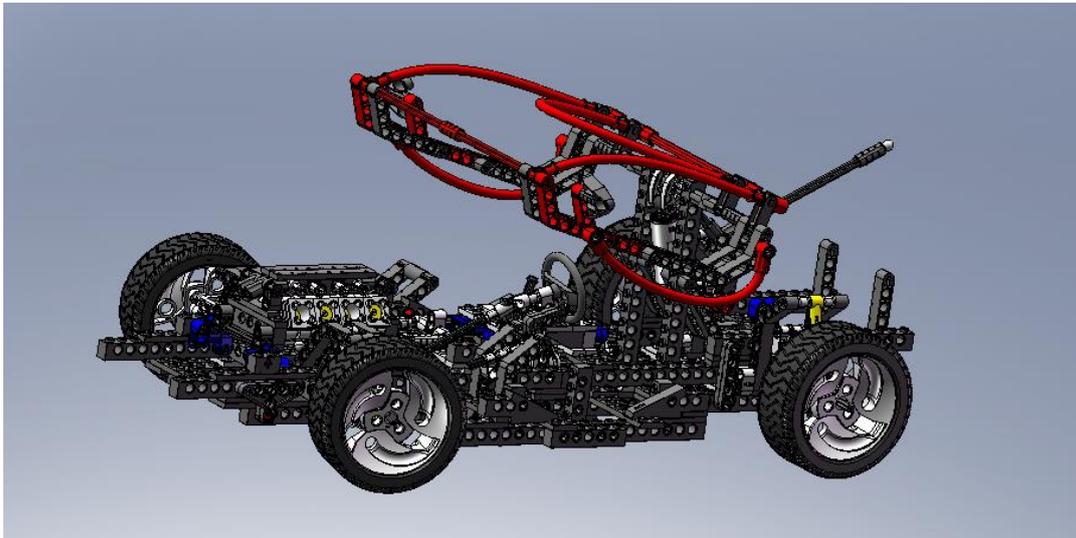


Fig. 122. Modelo montado 8448-3 (CONCEPT CAR).

En la siguiente imagen se pueden observar las distintas piezas que conforman el mecanismo de elevación, además del “CHASIS”.

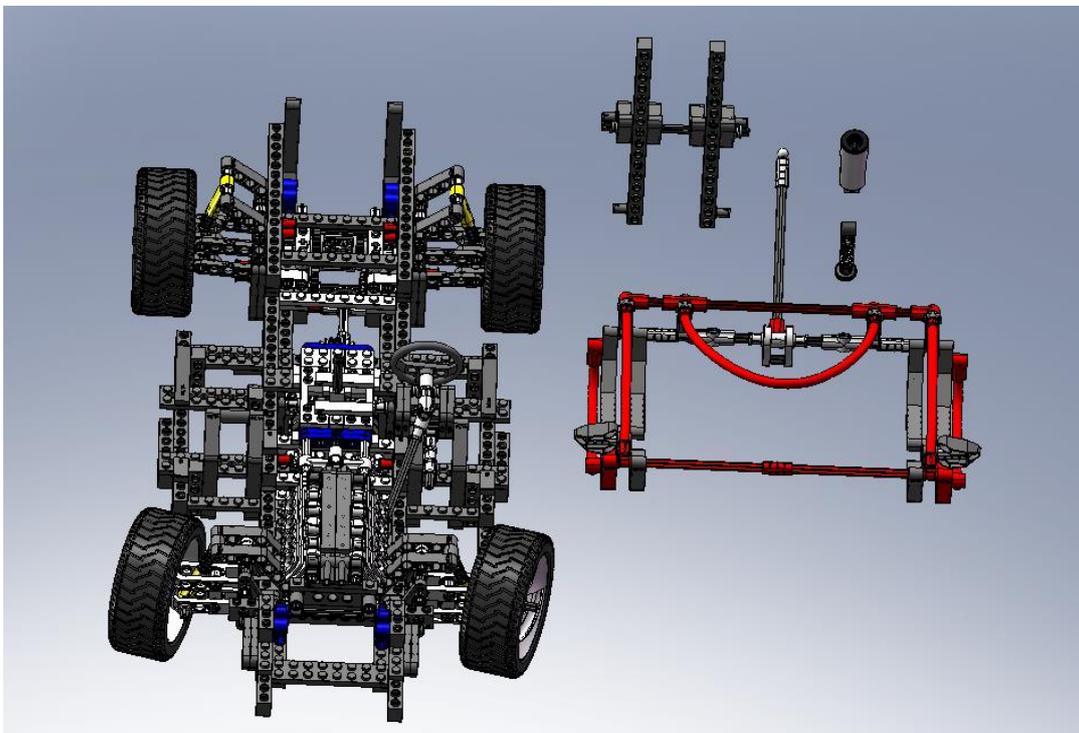


Fig. 123. Piezas separadas 8448-3 (CONCEPT CAR).

6.7.5. Modelo 8448-4 (RACER)

El siguiente modelo es el primero en crearse a partir del “CHASIS” con el motor ubicado en la parte trasera. Se trata de otro modelo conceptual que trata de proporcionar una solución al mecanismo necesario para levantar la cobertura trasera del motor en un coche de carreras.

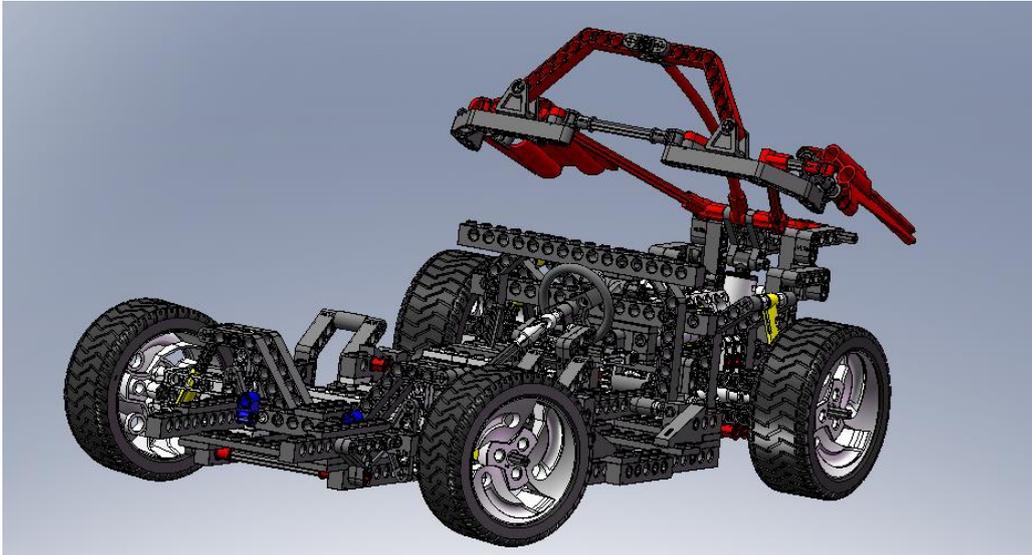


Fig. 124. Modelo montado 8448-4 (RACER).

En la imagen siguiente podemos ver las distintas piezas que forman el mecanismo neumático de elevación de la cobertura y la propia cobertura, así como el “CHASIS” con motor trasero.

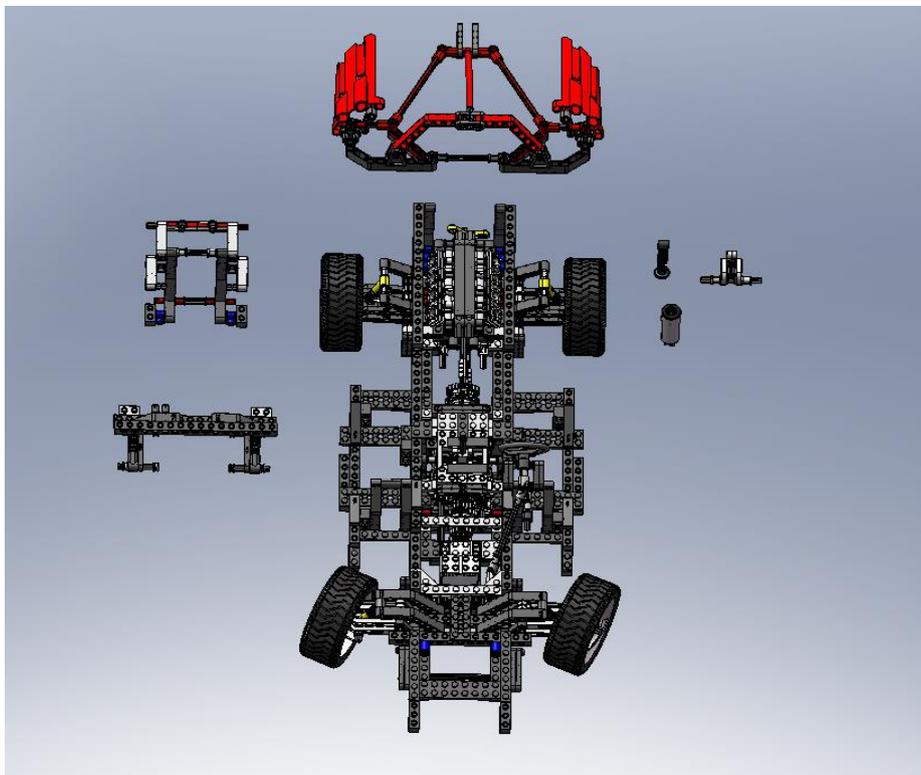


Fig. 125. Piezas separadas 8448-4 (RACER).

6.7.6. Modelo 8448-5 (HOT ROD)

El siguiente modelo vuelve a estar construido sobre el “CHASIS” con el motor en la parte delantera. En esta ocasión se trata de un vehículo conceptual en el que se resuelve un mecanismo complejo de apertura y cierre de una capota.

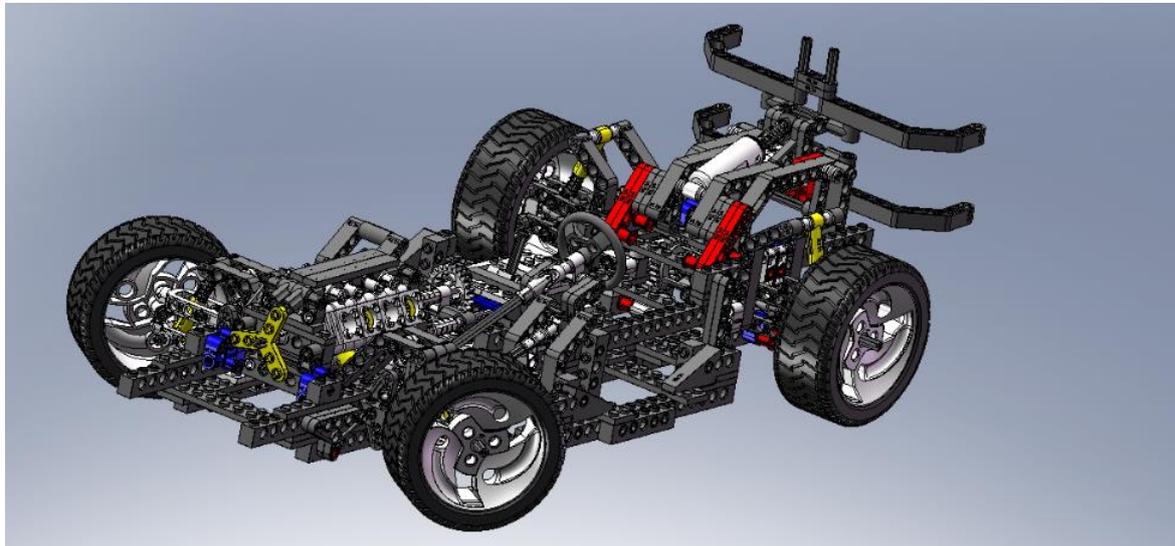


Fig. 126. Modelo montado 8448-5 (HOT ROD).

En la imagen pueden observarse las diferentes piezas que forman este modelo.

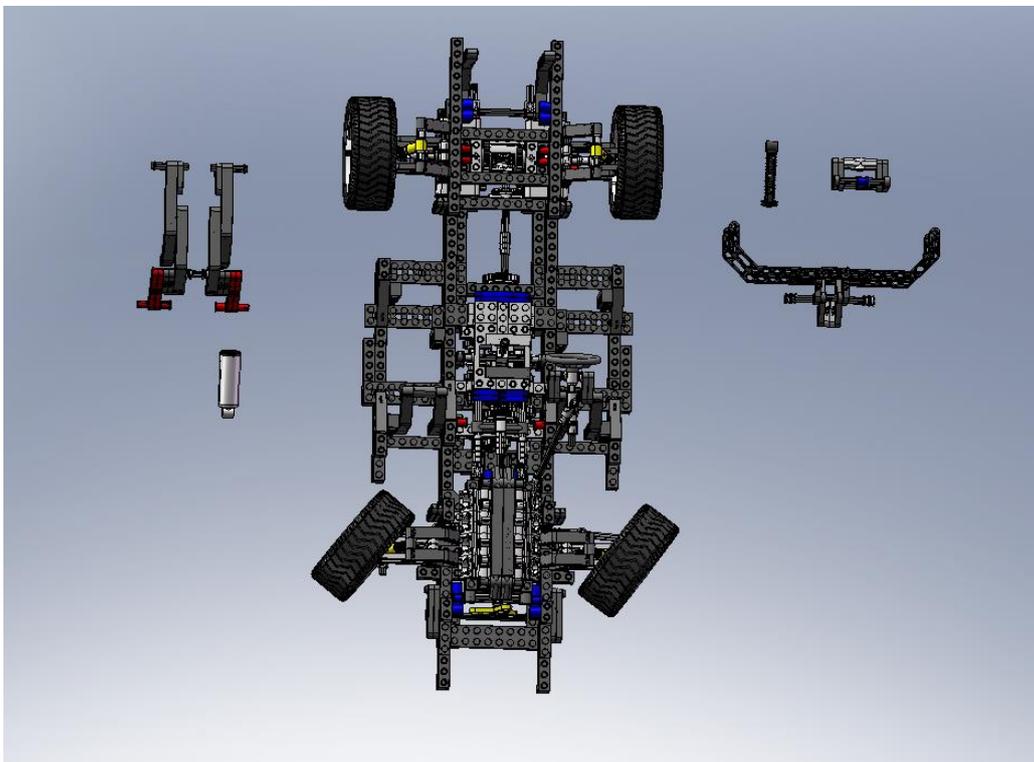


Fig. 127. Piezas separadas 8448-5 (HOT ROD).

6.7.7. Modelo 8448-6 (BUGGY)

El último modelo está creado sobre el “CHASIS” con el motor en la parte trasera. Se trata de otro diseño conceptual, en el que se pretende resolver el mecanismo de cierre y apertura del habitáculo de un vehículo tipo “buggy”.

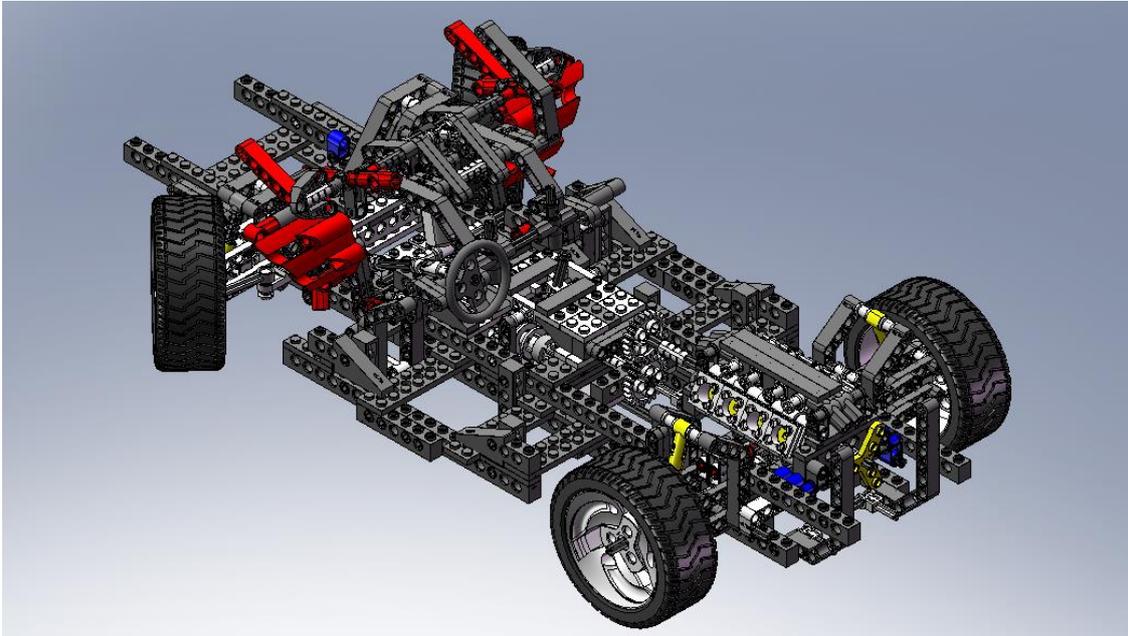


Fig. 128. Modelo montado 8448-6 (BUGGY).

En la imagen se pueden observar las piezas con movimiento relativo que han sido utilizadas en el diseño.

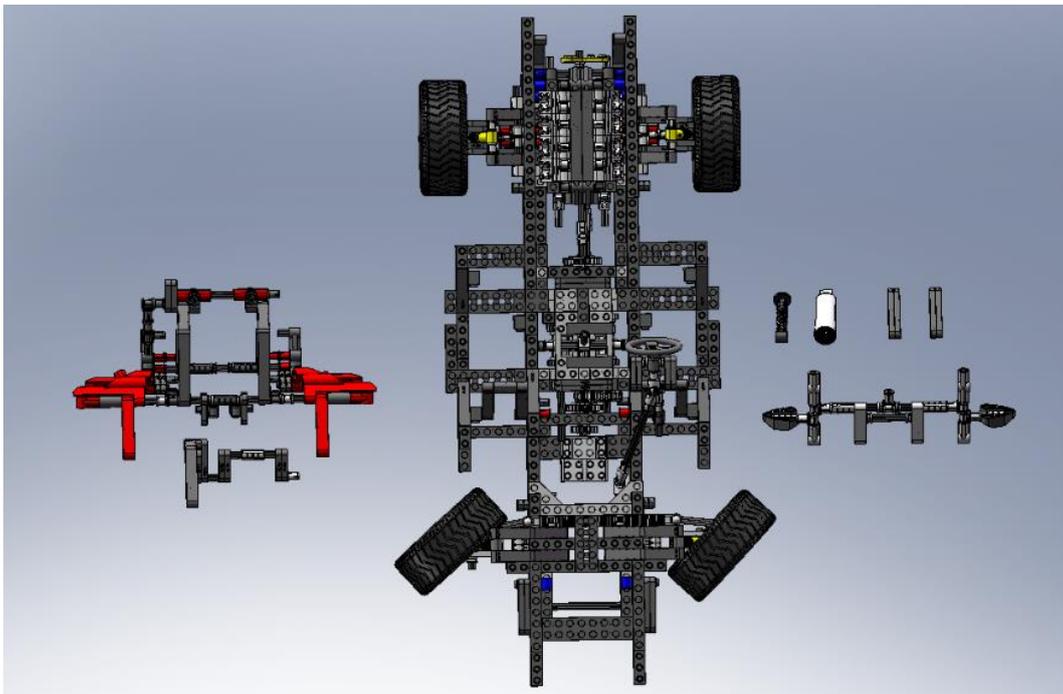


Fig. 129. Modelo montado 8448-6 (BUGGY).

6.7.8. Componentes utilizados

A continuación se muestran todos los componentes LEGO® Technic que han sido utilizados para la creación de estos 6 modelos.



Fig. 130. Componentes modelos 8448.

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Fig. 131. Componentes modelos 8448.

7. ANÁLISIS CINEMÁTICO Y SIMULACIÓN DE MODELOS VIRTUALES

7.1. MODELO VIRTUAL 8816-1

La siguiente actividad es la primera que conlleva un análisis cinemático y una simulación. En este caso se trata nuevamente de una actividad guiada por el tutor mediante vídeos, además el montaje se ha realizado a partir de sus piezas compactadas, con el fin de que el tiempo dedicado al montaje sea el mínimo posible y poder aprovecharlo en el aprendizaje del proceso de análisis cinemático y simulación

El modelo en cuestión es un vehículo sencillo con un mecanismo de amortiguación trasera y otro mecanismo de dirección delantera guiado por un volante.

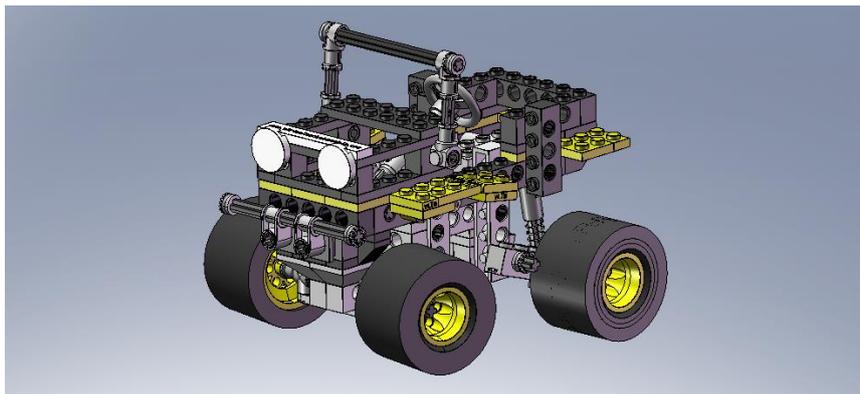


Fig. 132. Modelo montado 8816-1.

En esta imagen pueden verse las diferentes piezas compactadas proporcionadas para el montaje del vehículo.

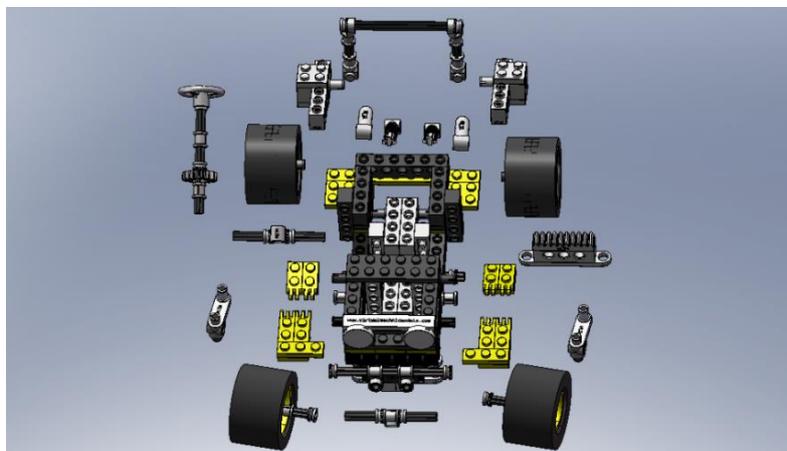


Fig. 133. Piezas separadas 8816-1.

En la siguiente imagen se puede apreciar el modelo cinemático formando un mecanismo realizado en COSMOS Motion, ya sobre la base de simulación.



Fig. 134. Sistema cinemático simulado, 8816-1.

7.2. MODELO VIRTUAL 8459-2

El siguiente modelo se trata de otra actividad guiada mediante vídeos y en la que se han proporcionado las piezas ya compactadas por la misma razón que la anterior actividad.

En este caso se trata de una grúa con el chasis dividido en dos partes con posibilidad de movimiento rotatorio relativo entre ellas. Está compuesto por un motor térmico delantero con un sistema de transmisión, un sistema de dirección delantero guiado por un volante, un mecanismo diferencial para las ruedas, un mecanismo que permite girar la parte trasera, y un mecanismo de elevación y cierre de la pinza de la grúa.



Fig. 135. Modelo montado 8459-2.

En la imagen podemos observar las piezas que permiten conformar los distintos mecanismos y que forman el modelo en cuestión.

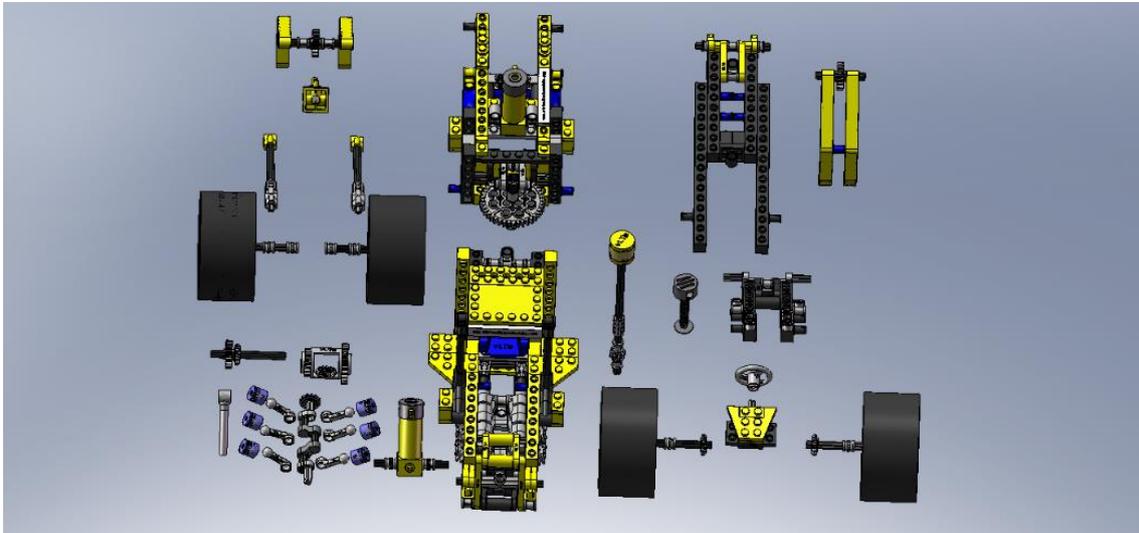


Fig. 136. Piezas separadas 8459-2.

En la siguiente imagen podemos ver el sistema cinemático ya creado y listo para ser simulado sobre la base.

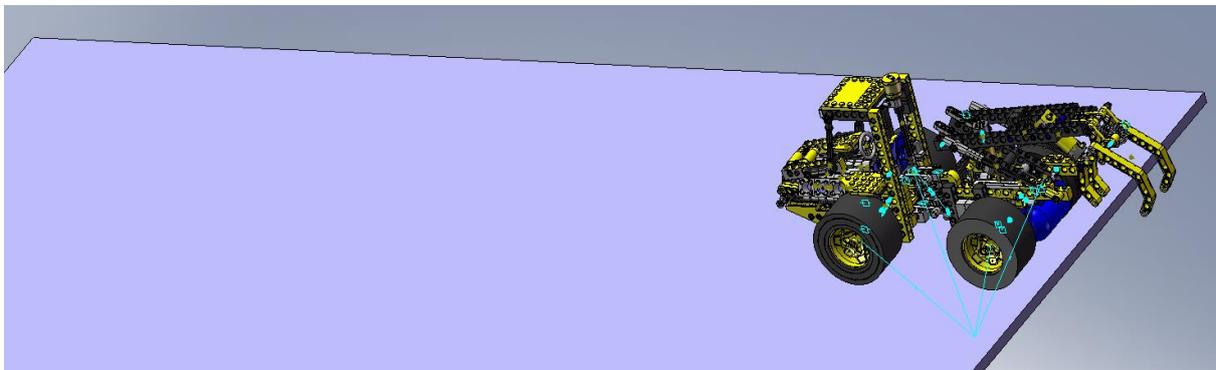


Fig. 137. Sistema cinemático simulado, 8459-2.

7.3. MODELO VIRTUAL 8862-1

En esta actividad se ha realizado el análisis cinemático y simulación de un modelo que habíamos creado con anterioridad. En este caso la primera parte de la actividad ha sido guiada mediante vídeos, la creación, análisis y simulación del sistema cinemático de los mecanismos de la pala delantera y los referentes al desplazamiento del vehículo, y la segunda parte ha sido realizada de forma autónoma.

Aunque la simulación es sobre un modelo que hemos montado a partir de los componentes, para realizar todo este proceso se opta por crear nuevamente el modelo a partir de las piezas compactadas, para facilitar los procesos de cálculo de COSMOS Motion.

En la imagen podemos observar el sistema cinemático resultante.

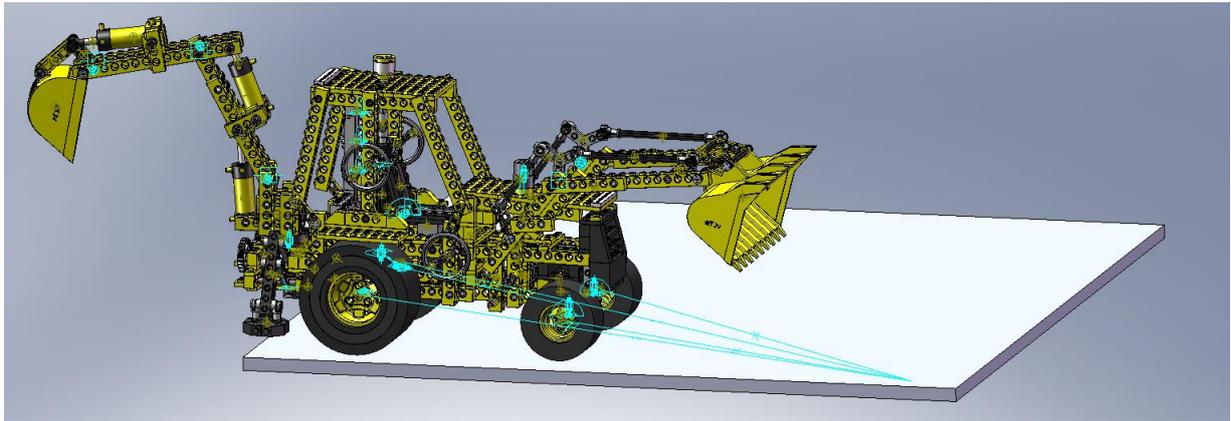


Fig. 138. Sistema cinemático simulado, 8862-1.

7.4. MODELO VIRTUAL 8042-3

En esta actividad nuevamente realizamos la creación análisis y simulación del sistema cinemático de un modelo creado previamente a partir de los componentes básicos LEGO® Technic, pero vuelto a crear a partir de sus piezas compactadas.

En este caso el proceso entero ha sido llevado a cabo de forma totalmente autónoma, pudiéndose observar el modelo cinemático en la imagen.

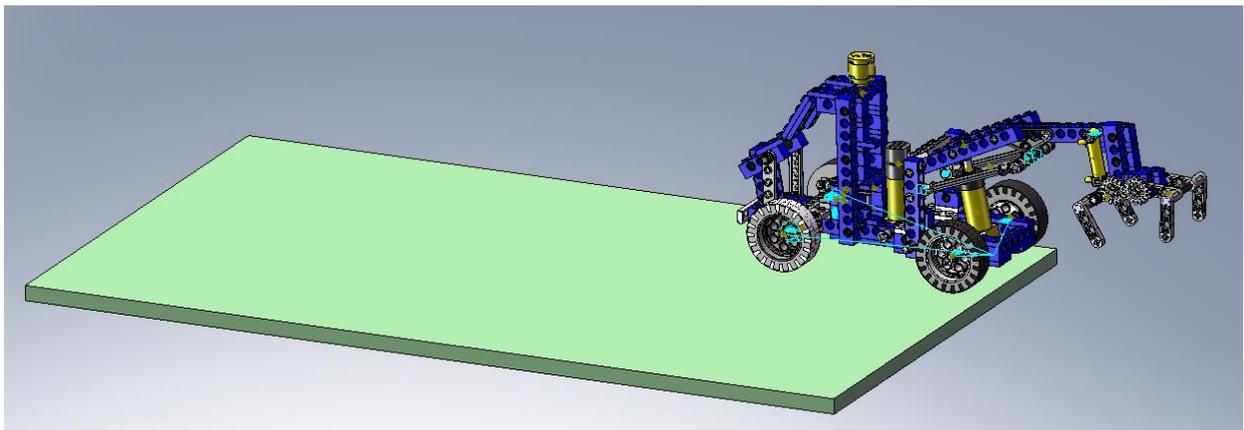


Fig. 139. Sistema cinemático simulado, 8042-3.

7.5. MODELO VIRTUAL 8446-1

La última actividad realizada ha sido la creación análisis y simulación del sistema cinemático de un modelo creado previamente a partir de los componentes básicos LEGO® Technic, pero vuelto a crear a partir de sus piezas compactadas.

En este caso vamos a entrar más en detalle sobre el sistema cinemático creado, pues se trata de uno de los modelos principales de este TFG.

El primer sistema cinemático creado corresponde al mecanismo de elevación de la capota delantera, en este caso hemos logrado obtener un mecanismo “auto-alineado”, es decir con 0 restricciones en exceso aplicando un “joint” de revolución en la base del impulsor neumático, un cilíndrico en la unión izquierda de la capota con el chasis, un “in plane” en la unión derecha, uno de traslación entre el impulsor y el brazo impulsor, y un “in line” entre el brazo impulsor y el chasis.

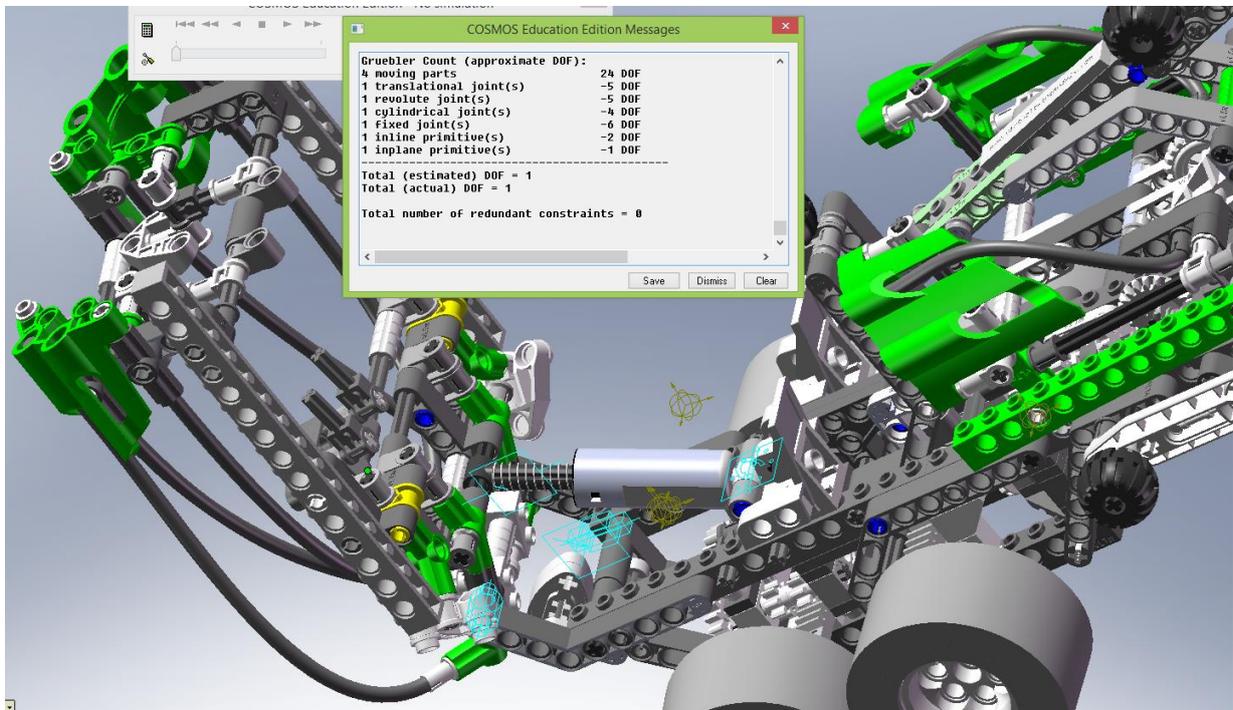


Fig. 140. Sistema cinemático del mecanismo de elevación delantero, 8446-1.

El siguiente sistema cinemático corresponde al sistema de dirección de los dos ejes delanteros del vehículo, en este caso también ha sido posible alcanzar el objetivo de diseñar un mecanismo “auto-alineado”. Sin entrar en excesivos detalles, se ha logrado principalmente utilizando “joints” de tipo cilíndrico, “in plane” e “in line”, así como cuatro acoplamiento.

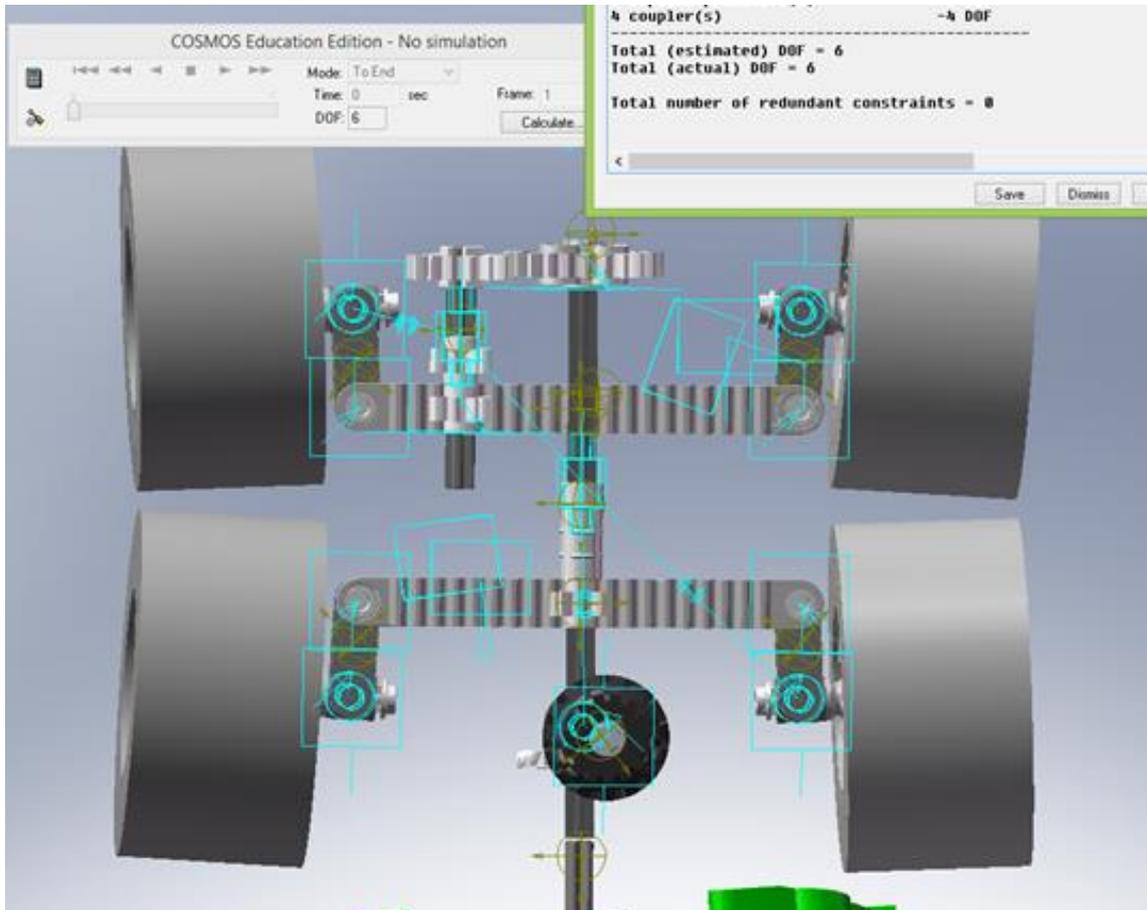


Fig. 141. Sistema cinemático del mecanismo de dirección, 8446-1.

Finalmente se ha creado el sistema cinemático relativo al mecanismo de giro y elevación trasero, en este caso debido al diseño de las piezas y a la imposibilidad de establecer acoplamientos en “joints” que no sean de tipo revolución, cilíndrico y traslación; no ha sido posible encontrar una solución que permitiera crear un mecanismo “auto-alineado” y como puede observarse tenemos 6 restricciones en exceso.

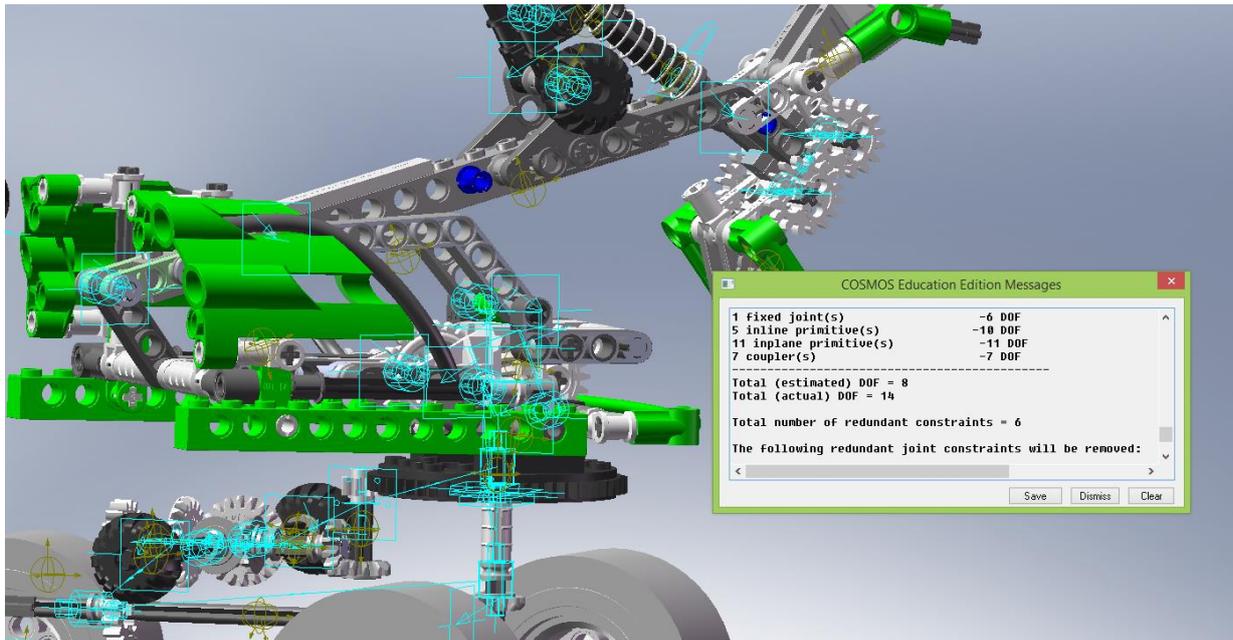


Fig. 142. Sistema cinemático del mecanismo de la grúa trasera, 8446-1.

Después se ha procedido a simular el modelo sobre una base.

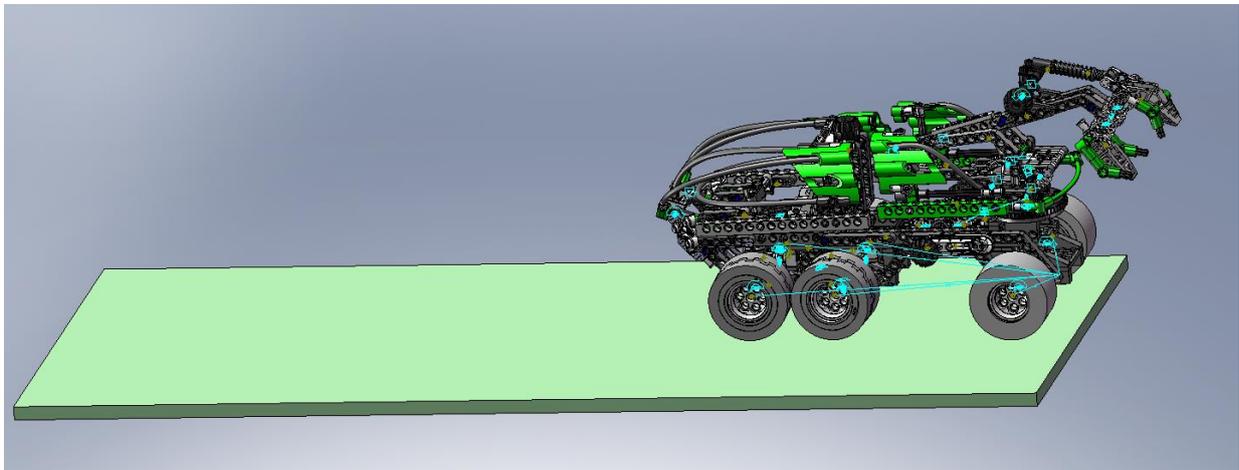


Fig. 143. Sistema cinemático simulado, 8446-1.

8. MONTAJE REAL Y VIRTUAL DE UN MODELO

8.1 MONTAJE DEL MODELO REAL

Como ya se ha comentado anteriormente una de las opciones que tenemos para usar de referencia al crear un modelo virtual, es tener acceso al modelo real.

Por este motivo se ha realizado el montaje real de un modelo LEGO® Technic facilitado por el tutor responsable del trabajo. Por otra parte también se pretende profundizar en el conocimiento del sistema de construcción LEGO® y sus componentes.



Fig. 144. Componentes e instrucciones modelo 9396-1.



Fig. 145. Construcción fase 1 modelo 9396-1.

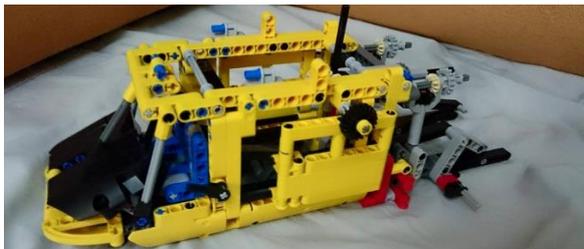


Fig. 146. Construcción fase 2 modelo 9396-1.



Fig. 147. Construcción fase 3 modelo 9396-1.



Fig. 148. Montaje final modelo 9396-1.

8.2 CREACION DEL MODELO VIRTUAL

Posteriormente se ha procedido a la creación virtual del modelo, usando como referencia el modelo real y las instrucciones. Sin embargo, no ha sido posible completar el proceso del montaje antes de la fecha de entrega de esta memoria.

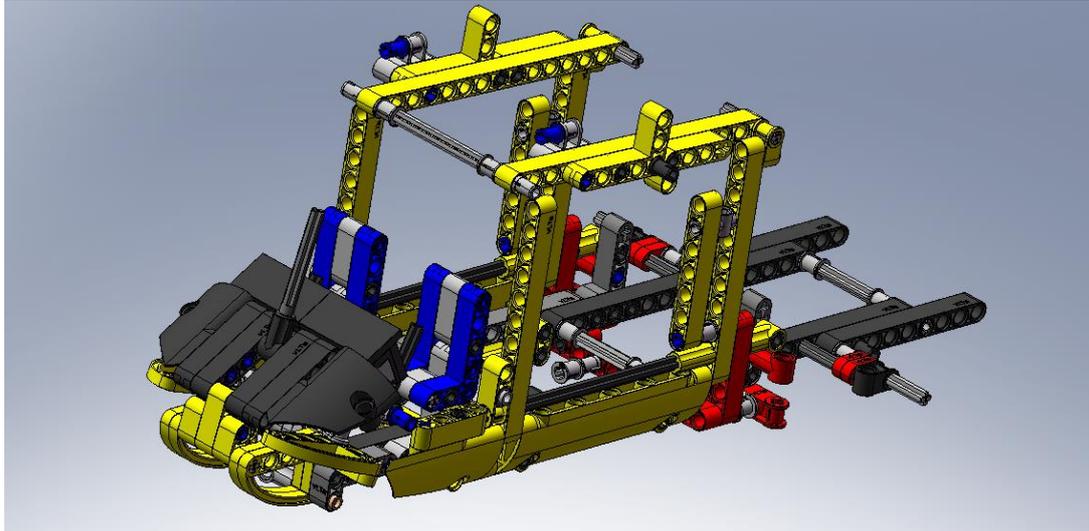


Fig. 149. Montaje parcial modelo 9396-1.

9. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante la elaboración de este TFG hemos sido capaces de reproducir sistemas mecánicos reales en un espacio virtual, mediante el sistema de construcción LEGO® Technic.

Además, hemos comprobado que es posible usar estos modelos virtuales para ayudar en el diseño de los mecanismos a la hora de encontrar soluciones “auto-alineadoras”, así como para obtener una visión ampliada de los mecanismos que queremos diseñar.

9.2. COMPETENCIAS OBTENIDAS

A nivel didáctico, la realización de este TFG permite ampliar el conocimiento sobre la utilización de programas informáticos de diseño mecánico, en concreto de SolidWorks, complementando los conocimientos ya obtenidos en este campo durante los estudios cursados en la ETSII. Además de reafirmar los conocimientos teóricos sobre mecanismos y sistemas cinemáticos.

Finalmente cabe recordar que todo el proceso desarrollado puede ser aplicado en el mundo laboral, utilizando el propio sistema material de LEGO® Technic para representar distintos mecanismos y máquinas y así resolver de manera eficaz diferentes problemas de diseño en modelos reales (por ejemplo las uniones necesarias para obtener un mecanismo “auto-alineado”), o aplicando las herramientas CAD y de simulación directamente sobre casos reales industriales.

10. BIBLIOGRAFÍA

Material de referencia facilitado por el tutor del TFG.

- PDFs con material docente.
- TFGs de referencia.

Libros

- “Isogawa Yoshihito, Tora no Maki, 2007”
- “L. N. Reshetov, Self-aligning mechanisms, 1982”

Páginas web

- www.virtualtechmodels.com
- www.lego.com
- www.lego.com/en-us/technic
- www.bricklink.com
- www.brickset.com
- www.technicbricks.com

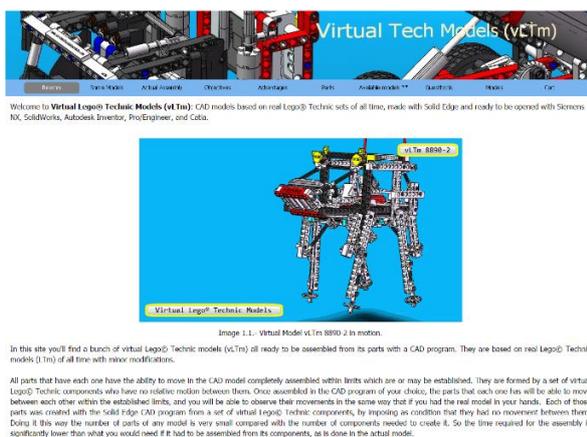


Fig. 150. www.virtualtechmodels.com



Fig. 151. www.lego.com

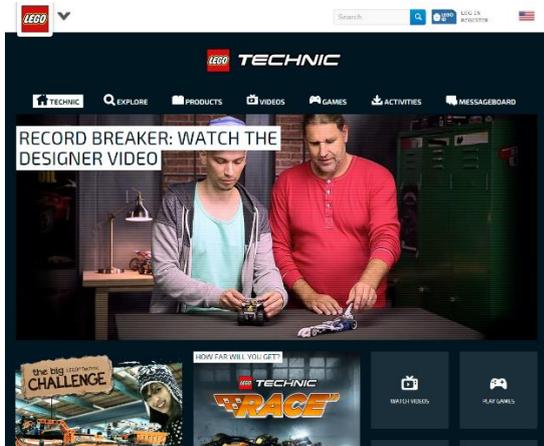


Fig. 152. www.lego.com/en-us/technic



Fig. 153. www.bricklink.com



Fig. 154. www.brickset.com



Fig. 155. www.technicbricks.com



PRESUPUESTO



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. Introducción | 93 |
| 2. Contenido | 93 |
| 2.1. Software | 93 |
| 2.2. Equipo informático | 93 |
| 2.3. Modelos LEGO® Technic | 94 |
| 2.4. Modelos virtuales LEGO® Technic | 94 |
| 3. Resumen | 95 |

1. INTRODUCCIÓN

A continuación se va a proceder a realizar el presupuesto de este proyecto. Se va a desglosar en 4 apartados: software, equipo informático, modelos LEGO® Technic y modelos virtuales LEGO® Technic.

Se va a considerar un sueldo de 30€/h.

2. CONTENIDO

2.1. SOFTWARE

Para la realización de este trabajo se ha hecho uso del programa informático de CAD SolidWorks 2007 SP3.1 y de su complemento COSMOS Motion.

| Programa informático | Unidades | Precio unitario (€) | Horas lab./año | Horas TFG | Coste |
|---------------------------------------|----------|---------------------|----------------|--------------|---------------|
| SolidWorks 2007 SP3.1 + COSMOS Motion | 1 | 5300 | 2024 | 300 | 785,57 |
| | | | | TOTAL | 785,57 |

Tabla 1. Presupuesto software.

2.2. EQUIPO INFORMÁTICO

El uso del programa de CAD utilizado en este proyecto requiere de un equipo informático con unas prestaciones altas, en concreto vamos a considerar los componentes del ordenador con el que se ha realizado el TFG:

Procesador: Intel Core I7-3770.

Memoria Ram: 8 GB.

Tarjeta gráfica: Nvidia GeForce GTX-750

| Equipo | Unidades | Precio unitario (€) | Horas lab./año | Horas TFG | Amortización | Coste |
|--------|----------|---------------------|----------------|-----------|--------------|--------------|
| PC | 1 | 1200 | 2024 | 300 | 25% | 44,46 |
| | | | | | TOTAL | 44,46 |

Tabla 2. Presupuesto equipo informático.

2.3. MODELOS LEGO® TECHNIC

Para realizar el modelo virtual de un modelo LEGO® Technic es apropiado tener acceso al modelo real y a sus instrucciones.

| Modelo LEGO® Technic | Unidades | Precio unitario (€) | Coste |
|----------------------|----------|---------------------|---------------|
| 8446 | 1 | 92,5 | 92,5 |
| 8448 | 1 | 500 | 500 |
| 9396 | 1 | 149,98 | 149,98 |
| TOTAL | | | 742,48 |

Tabla 3. Presupuesto modelos LEGO® Technic.

2.4. MODELOS VIRTUALES LEGO® TECHNIC

En este apartado se resume el coste por ensamblar los modelos, crear y analizar el sistema cinemático y simularlo.

| Modelo LEGO® Technic | Tarea | Horas de trabajo | Precio (€/h) | Precio Tarea (€) | Coste (€) |
|----------------------|-----------------------|------------------|--------------|------------------|-------------|
| 8446-1 | Montaje virt. | 50 | 30 | 1500 | 1830 |
| | Auto-alineado | 8 | 30 | 240 | |
| | Simulación | 3 | 30 | 90 | |
| 8448-0 | Montaje virt. | 60 | 30 | 1800 | 4650 |
| 8448-1 | Montaje virt. | 30 | 30 | 900 | |
| 8448-2 | Montaje virt. | 25 | 30 | 750 | |
| 8448-3 | Montaje virt. | 5 | 30 | 150 | |
| 8448-4 | Montaje virt. | 10 | 30 | 300 | |
| 8448-5 | Montaje virt. | 10 | 30 | 300 | |
| 8448-6 | Montaje virt. | 15 | 30 | 450 | |
| 9396-1 | Montaje real | 10 | 30 | 300 | 510 |
| | Montaje virt. parcial | 7 | 30 | 210 | |
| TOTAL | | | | | 6990 |

Tabla 4. Presupuesto modelos virtuales LEGO® Technic.

3. RESUMEN

A continuación se va a mostrar una tabla con los resultados finales obtenidos en el presupuesto, además de añadir un 6% en concepto de “Beneficio Industrial” y un 21% de IVA

| Capítulo | Coste (€) |
|---------------------------------|----------------|
| Software | 785,87 |
| Equipo informático | 44,46 |
| Modelos LEGO® Technic | 742,48 |
| Modelos Virtuales LEGO® Technic | 6990 |
| SUBTOTAL | 8562,81 |

Tabla 5. Subtotal.

| Concepto | Coste (€) |
|---------------------------|-----------------|
| Subtotal | 8562,81 |
| Beneficio Industrial (6%) | 513,77 |
| IVA (21%) | 1906,08 |
| TOTAL | 10982,66 |

Tabla 6. Total.