



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Modelado Virtual en un programa de CAD y Simulación
Cinemática y Dinámica en un programa de CAE de los
modelos LEGO® Technic: LTm-42122-1 y vLTm-42080-1

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Guillem Navajas, Jose

Tutor/a: Oliver Herrero, José Luís

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



CONTENIDO

-Memoria.....	Pág. 3
-Presupuesto.....	Pág. 76



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

MEMORIA



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN AL TFG	7
2. RESUMEN Y OBJETO DEL PROYECTO	8
3. DEFINICIÓN DE MODELOS Y HERRAMIENTAS	10
3.1. El Lego© Technic	10
3.2. Modelos Lego© Technic virtuales	11
3.3. Utilidad de los modelos virtuales	12
3.4. Modelos Lego© Technic comparables a piezas o máquinas reales	12
3.5. Modelos Isogawa Yoshihito	13
4. METODOLOGÍA	14
5. NOMENCLATURA	15
6. ENSAMBLADO	16
6.1. Presentación y objetivos	16
6.2. Procedimiento de ensamblado	16
6.2.1. Elección del modelo	16
6.2.2. Selección de los componentes	16
6.2.3. Ensamblaje	17
6.2.3.1 Metodología de ensamblaje	17
6.2.3.2. Relaciones de posición	18
6.2.3.2.1. Relaciones de posición estándar	18
6.2.3.2.1.1. Coincidencia	19
6.2.3.2.1.2. Paralelismo	19
6.2.3.2.1.3. Perpendicularidad	20
6.2.3.2.1.4. Tangencia	20



6.2.3.2.1.5. Concentricidad.....	21
6.2.3.2.2. Relaciones de posición avanzadas	21
6.2.3.2.2.1. Engranaje	22
6.2.3.2.2.2. Piñón cremallera	22
6.2.3.3. Geometrías auxiliares	23
7. COMPACTACIÓN	25
8. PROCESO DE AUTO-ALINEADO DEL MODELO CINEMÁTICO.....	26
8.1. Presentación y objetivos.....	26
8.2. Mecanismos auto-alineados.	26
8.2.1. Conceptos básicos.....	27
8.2.2. Pares cinemáticos.....	27
8.2.2.1. Tipos de pares cinemáticos	27
8.2.2.2. Restricciones de un par cinemático	28
8.2.3. Grados de libertad.....	29
8.2.4. Diagramas cinemáticos.....	30
8.2.5. Tipos de restricciones en Cosmos Motion.....	31
8.2.5.1. Revolute.....	32
8.2.5.2. Traslational	32
8.2.5.3. Cylindrical	33
8.2.5.4. Spherical	33
8.2.5.5. Fixed	33
8.2.5.6. In-line.....	34
8.2.5.7. In-Plane.....	34
9. MODELOS TRABAJADOS.....	35
9.1. Modelos Isogawa Yoshihito.....	35
9.1.1. Modelos Isogawa-xxx.....	35



9.1.2. Modelos the LEGO Mindstorms ev3.....	36
9.2. Simulación modelo 8816-1	38
9.2.1. Componentes	38
9.3. Modelo 8459-2	40
9.3.1. componentes del modelo	41
9.3.2. Simulación del modelo	42
9.4. Modelo 8862-1	43
9.4.1. Simulación del cuerpo del vehículo.....	44
9.4.2. Simulación de la cuchara delantera	45
9.4.3. Simulación de la cuchara trasera	46
9.4.4. Simulación final del modelo.....	47
9.5. Modelo 42122-1.	48
9.5.1. Componentes	50
9.5.2. Montaje.....	56
9.5.3. Auto-alineamiento del modelo	57
9.5.4. Simulación sobre la base	58
9.6. Modelo 42080-1.	59
9.6.1. Componentes	61
9.6.2. Montaje.....	67
9.6.3. Auto-alineamiento del modelo	68
10. VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS	72
11. CONCLUSIÓN A LA MEMORIA	74
12. BIBLIOGRAFÍA.....	75



1. INTRODUCCIÓN AL TFG

Con la mejora de la capacidad computacional, en los años 70 del siglo pasado, científicos, tecnólogos y empresas empiezan a vislumbrar las posibilidades de mejora del diseño, la fabricación o la industrialización de nuevos productos.

A finales de esa misma década se empieza a hablar del desarrollo de técnicas como CAD, CAE o CAM, genéricamente conocidas como CAx, término acuñado por Jason Lemon, de la empresa SDRC (Structural Dynamics Research Corp.) para el desarrollo de sistemas de diseño, ingeniería y de fabricación asistidos por ordenador.

Pocos años más tarde, la empresa automovilística AMC destaca e incorpora a su estrategia la importancia de poner en el mercado los nuevos productos lo más rápidamente posible, con la consiguiente reducción de costes de desarrollo a repercutir en el producto final. De ahí surge el concepto de PLC (Product Lifetime Cycle) que integra de forma natural los costes de diseño, fabricación y también los costes de garantía y mantenimiento.

En los años 80, los equipos necesarios para el desarrollo de estas tecnologías no las hacían viables al común de las empresas sino a grandes corporaciones o empresas tecnológicamente punteras.

Aun así, el diseño de nuevos productos seguía haciéndose de la forma tradicional, con los sistemas informáticos asistiendo en la elaboración de cálculos y de planos. Las técnicas CAx tenían gran importancia para la comprobación y como herramienta de análisis, pero condicionaban poco el desarrollo de nuevos productos.

La rápida evolución de la capacidad de los ordenadores y la mejora de las aplicaciones, posibilitan su uso no sólo como herramienta de cálculo o dibujo sino como herramienta fundamental para el diseño completo de nuevas máquinas y productos. Y no sólo para el uso por parte de grandes corporaciones, cualquier pequeña o mediana empresa e incluso equipos domésticos tienen suficiente capacidad para utilizarlos.

A día de hoy, el desarrollo de nuevos productos o la mejora de los existentes exige tener en cuenta conceptos como disponibilidad, fiabilidad, durabilidad, mantenibilidad o, después de su concepción y fabricación, su comercialización. Únicamente es posible atender todos estos conceptos mediante técnicas CAx, por lo que es imprescindible para cualquier ingeniero el dominio de estas técnicas.



2. RESUMEN Y OBJETO DEL PROYECTO

El objeto principal del proyecto es complementar los conocimientos de ingeniería adquiridos mediante el uso de aplicaciones o herramientas informáticas de diseño, cuya inclusión en el programa de estudios merecería la pena considerar.

En sustitución de la maquinaria real, utilizaremos un sistema de construcción modular, los “Modelos Lego© Technic” que, con un gran trabajo de desarrollo detrás, es muy popular pues permite trabajar con distintos niveles de complejidad y se puede encontrar fácilmente a precios asequibles.

El proyecto consta de una primera fase de aprendizaje en la que se realizan modelos previamente desarrollados siguiendo las indicaciones y explicaciones del profesor para, en una segunda fase, también supervisada por el profesor, definir y desarrollar nuevos modelos de manera autónoma a partir de las destrezas adquiridas en la fase anterior.

Es importante señalar que, además de las técnicas necesarias para realizar el proyecto, también se adquiere y se sigue una sistemática de trabajo que posibilita acometer cualquiera de los modelos que integran el trabajo.

Primeramente, sobre la base de los componentes reales, se obtienen los componentes virtuales mediante la aplicación de CAD ‘Solid Works’. Estos componentes virtuales han sido facilitados por el profesor que tutela el trabajo.

Sobre el catálogo existente de componentes virtuales, se realiza una selección de los componentes precisos para realizar cada uno de los montajes.

Definimos y ensamblamos las piezas, montajes parciales de hasta diez componentes que no tienen movimiento relativo entre sí.

Una vez se cuenta con todas las piezas, se procede al ensamblado del montaje mediante la aplicación ‘Solid Works 2007’. Hecho esto y habiendo constatado el correcto ensamblado del modelo, se procede a compactar las piezas de forma que pasen a ser una única entidad, lo que facilita la ejecución de los programas de simulación CAE, en este caso, el complemento ‘Cosmos Motion’ de la aplicación ‘Solid Works 2007’ que venimos utilizando.

Seguidamente se procede a definir los pares cinemáticos necesarios para conseguir un mecanismo auto-alineado y, con ello, poder realizar la simulación del movimiento del modelo para mostrar su funcionamiento.

Finalmente se simula todo lo anterior sobre una base bajo los efectos de la gravedad para poder apreciar el movimiento real de la máquina. Esta simulación es visualizable en versiones más recientes de Solid Works en las que nos podemos descargar el documento eDrawings consiguiendo un documento que incluya todas las partes de la máquina, así como su movimiento.

Cabe mencionar que a lo largo del trabajo se ha hecho uso de otros programas de virtualización como puede ser el Recurdyn. Para ello realizamos el montaje en la aplicación SolidWorks 2021 para luego trasladar el fichero a esta aplicación y con ello realizar la simulación.



En resumen, se puede acometer cualquier proyecto de optimización de maquinaria mediante la construcción de un prototipo de real con piezas Lego© Technic y asegurar mediante su traslación al entorno ‘Solid Works’ y el complemento ‘CosmoMotion’ la selección de piezas a utilizar, el correcto alineamiento y funcionamiento cinemático del conjunto. La simulación obtenida puede servir tanto para optimizar el prototipo como para formar parte de la información comercial del producto.

Desde un planteamiento profesional, podría darse una situación como la descrita a continuación:

“A un despacho de ingenieros acude una persona con un prototipo de máquina que quiere construir a escala real. La ha creado a partir de piezas de Lego© Technic reales para conseguir un modelo a escala. Quiere averiguar el tipo de cojinetes que se deberían colocar en cada unión de piezas para conseguir que el mecanismo real sea auto-alineado, pues quiere que tenga una vida útil lo más larga posible y reducir su coste de mantenimiento.

El despacho acepta el encargo y le indica que como resultado del trabajo: (1) se le facilitará un modelo virtual de la máquina a escala que ha traído, operativa en el entorno de Solidworks; (2) un modelo en Cosmos Motion o Recurdyn, 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.”

3. DEFINICIÓN DE MODELOS Y HERRAMIENTAS

3.1. El Lego© Technic

El grupo Lego© es una compañía danesa con sedes distribuidas por todo el mundo, que desarrolla un producto inicialmente concebido como un juego de construcción a base de ladrillos o bloques que se ha ido expandiendo en tamaño y contenidos hasta convertirse en una empresa líder a nivel mundial en la fabricación de juguetes.

Los juegos de construcción, además de entretener, estimulan la imaginación, la creatividad, la psicomotricidad y el aprendizaje. Lego© ha extendido el concepto primitivo y desarrollado nuevos componentes que ofrecen posibilidades casi ilimitadas.

De entre las distintas series desarrolladas por Lego© (Creator, Architecture, Mindstorms...) este trabajo se centra en la serie Technic. Esta línea permite crear modelos más o menos avanzados con partes móviles relativamente complejas pues cuenta con componentes dirección, engranajes o cilindros neumáticos. En definitiva, mecanismos que se pueden encontrar en aplicaciones y máquinas reales.

Los modelos de la serie Technic ha ido evolucionando y mejorando con el tiempo y desde el año 2000 incorpora la metodología de montaje “studless construction” a base de pernos y pasadores o chavetas mucho más versátil, que sustituyó al sistema de montaje tradicional a base de bloques.



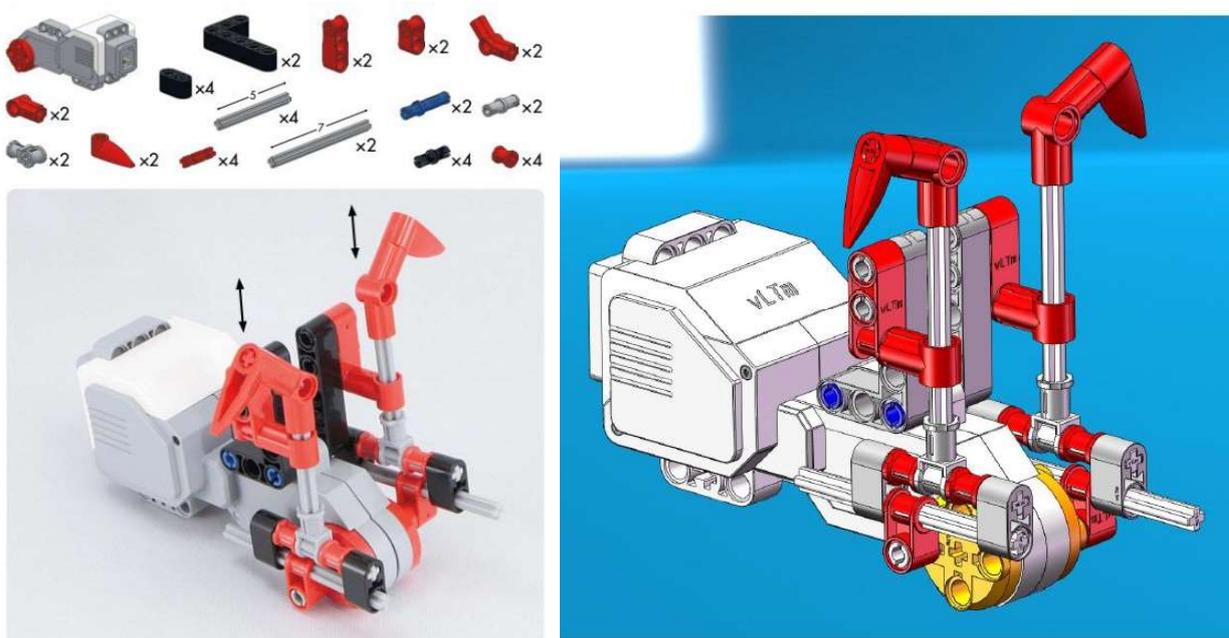
(Fig.01. Ejemplos de modelos Lego© Technic. Google images)

3.2. Modelos Lego© Technic virtuales

Los modelos Lego© Technic virtuales son una representación en un entorno virtual de modelos Lego© Technic reales. Si, como se ha mencionado, los objetivos de los juguetes de construcción es desarrollar la imaginación, la psicomotricidad y el aprendizaje, estos modelos comparten los aspectos anteriores y además añade el objetivo adicional de desarrollar el uso de las aplicaciones de CAD en el diseño y de CAE para la simulación de todo tipo de sistemas mecánicos.

Al igual que en los montajes reales, en los que el set contiene todos los componentes necesarios para la realización del modelo además de unas instrucciones de montaje, el modelo virtual contiene también todos los componentes virtualizados al igual que las instrucciones de montaje todo ello suministrado por el profesor responsable.

Si bien el proceso es similar, la diferencia del montaje virtual respecto al físico es que en el virtual se identifican como piezas virtuales conjuntos de componentes Lego© Technic que en una máquina real o en el propio modelo físico no tienen movimiento relativo entre ellas. De esta manera no se reproduce exactamente el modelo real en un programa de CAD, sino que se va más allá, se trata de identificar, durante el proceso de montaje, las piezas que la máquina real del modelo Lego© Technic tendría y virtualizarlas de forma independiente para, posteriormente, poder simular su movimiento.



(Fig.02. Comparación ensamblaje real con virtual)

3.3. Utilidad de los modelos virtuales

La manera más eficiente de aprender es a través de la práctica. Los modelos Lego© Technic reproducen fielmente las características de máquinas reales y dan una visión muy acertada de su comportamiento. Son, por tanto, una forma más sencilla y asequible de reproducir y crear modelos de maquinaria reales.

Por otro lado, en la actualidad el diseño mecánico se realiza con aplicaciones informáticas. El conocimiento de estas herramientas informáticas requiere tiempo y mucha práctica que se adquiere mediante la réplica de un número suficiente de modelos.

La utilización de herramientas informáticas desde el principio, en nuestro caso SolidWorks 2007 sobre la base de modelos Lego© Technic virtuales, nos permite tomar contacto con gran variedad de mecanismos que aparecen en máquinas reales y tomar conciencia de su funcionamiento para posteriormente aplicar estos conocimientos a mecanismos más elaborados, para la optimización de máquinas ya existentes o para la introducción de nuevos modelos.

Sin experiencia previa y gran capacidad de percepción espacial, no es posible entender de forma intuitiva el funcionamiento e interacción de los mecanismos que describe la literatura. En este aspecto la utilización de modelos Lego© Technic junto con los programas Solid Works y su complemento CosmosMotion nos permiten comprender el funcionamiento de los mecanismos mediante la simulación de la cinemática del modelo.

3.4. Modelos Lego© Technic comparables a piezas o máquinas reales

Sobre la base de un producto cuyo fin inicial es el entretenimiento, el concepto permite montar mecanismos realmente complejos: ejes que transmitan movimiento, cajas de cambio, diferenciales, suspensiones, dirección de vehículos, cuadriláteros articulados, etc. y, por lo tanto, la recreación a escala de máquinas reales complejas y completamente funcionales.



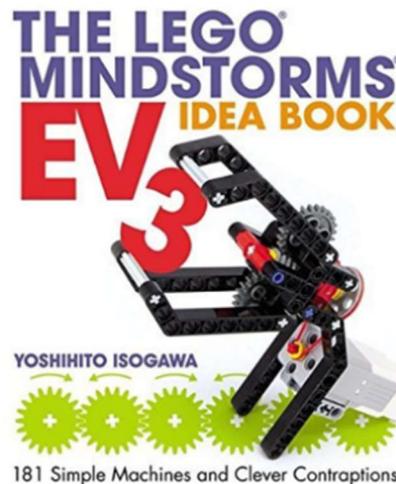
(Fig.03. Amortiguadores con muelle real y virtual)

3.5. Modelos Isogawa Yoshihito

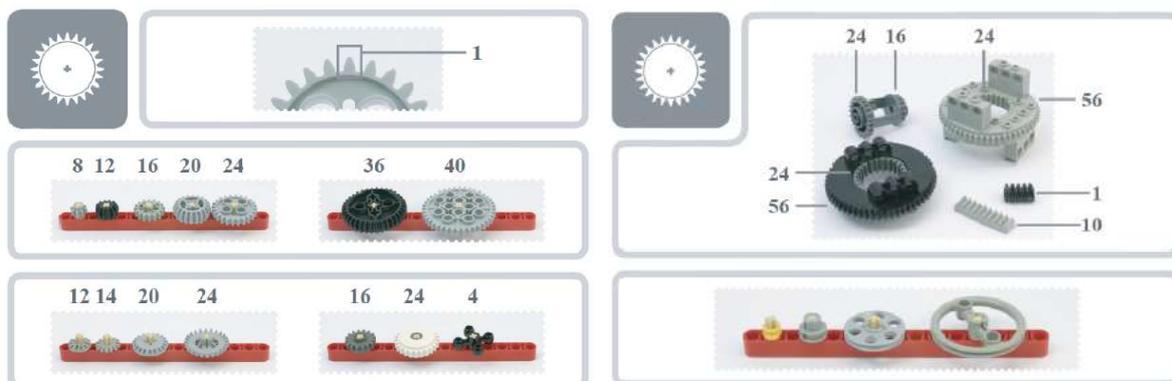
Isogawa Yoshihito es el autor de varios libros en los que se explica de forma gráfica como crear un gran número de mecanismos a partir de componentes de Lego© Technic. Los montajes que aparecen en los libros de Yoshihito se caracterizan por ser sencillos y por no ser necesarios un gran número de componentes para construirlos. Estos mecanismos se encuentran clasificados según su tipo de movimiento.

El trabajo de Isogawa constituye una verdadera biblioteca básica de mecanismos de gran ayuda para el aprendizaje y su traslación al entorno Lego© Technic.

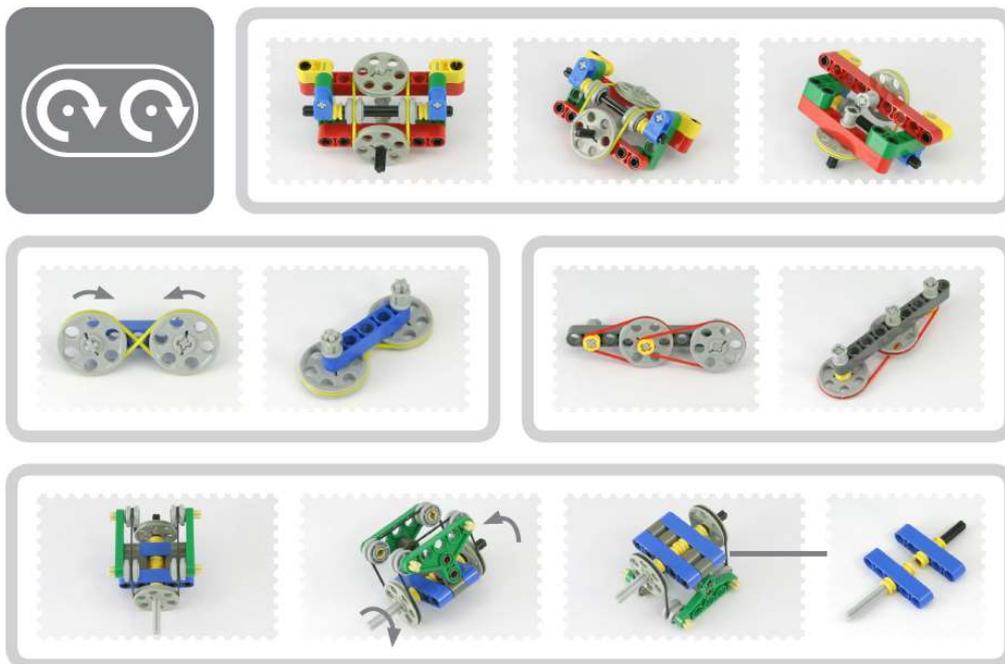
Para la primera parte de este trabajo se han utilizado los montaje contenidos en los libros “Tora no Maki” y “The LEGO© MINDSTORMS EV3 Idea Book” con el fin de aprender el funcionamiento de SolidWorks 2007, seleccionando montajes que incluyan gran diversidad de mecanismos.



(Fig.04. Libro “The LEGO© MINDSTORMS EV3 Idea Book” Isogawa Yoshihito)



(Fig.05. Número de dientes de los engranajes. LEGO© Technic Tora no Maki - Isogawa Yoshihito)



(Fig.06. Pág. 29 LEGO© Technic Tora no Maki - Isogawa Yoshihito)

4. METODOLOGÍA

El gran volumen de trabajo asociado al proyecto requiere establecer un proceso para llevarlo a cabo de manera sistemática. Las fases principales del proceso para el desarrollo de un nuevo modelo son las siguientes:

- Ensamblado: en que se dará forma al modelo partiendo de los componentes unitarios, se definen las piezas que lo conformarán, siguiendo las instrucciones de Lego© Technic o los documentos virtuales disponibles.
- Compactación: En este paso del proceso se consolidan los componentes de cada pieza para conformar un sólido único que, posteriormente, será tratado más fácilmente por los programas.
- Modelo cinemático: Se determinarán en esta fase los pares cinemáticos que actúan entre las distintas piezas del modelo, de forma que el movimiento quede completamente definido y sin un exceso de restricciones.
- Simulación: Se recrea virtualmente el movimiento determinado en la fase anterior para que pueda ser visualizado.



5. NOMENCLATURA

Es necesario establecer una nomenclatura estándar que permita localizar e identificar los componentes, las piezas y los montajes y los archivos que los contienen. Se utilizará una nomenclatura para los componentes, otra para las piezas, y otra para el ensamblaje final. Asimismo, los archivos en los que se realizan el modelo cinemático y la simulación también tienen una denominación que permita diferenciarlos.

La nomenclatura para las piezas presenta el siguiente formato:

vLTm_xxxx-x_part-0xx00_2022.

Según esta nomenclatura, xxxx-x se corresponde con el código del modelo xxxx de Lego© Technic y “-x” hace referencia a la variante del modelo en caso de poder hacer varios montajes con los mismos componentes.

Las cifras “0xx00” representan el orden de cada pieza en el montaje. En el caso de que estas piezas superen los 10 componentes se separan en sub-ensamblajes, que igualmente tendrán un máximo de 10 componentes y que se acaban uniendo en la pieza final. Estos sub-ensamblajes tienen la nomenclatura de la propia pieza a la que pertenecen cambiando los valores posteriores al “xx” por el número que identifique el orden en que van a ser colocados en el montaje de la pieza.

Como ejemplo visual de la nomenclatura de componentes, a continuación, se reseñan los componentes que constituyen la pieza 02000 del modelo 42122-1.

vLTm_42122-1_part-02000_2022
vLTm_42122-1_part-02001_2022
vLTm_42122-1_part-02002_2022
vLTm_42122-1_part-02003_2022

Los ensamblajes tienen la siguiente nomenclatura:

vLTm_xxxx-x_2022

En esta nomenclatura sólo es necesario indicar el número del modelo al que se hace referencia. Una vez realizado el proceso de creación del modelo se pasa a la parte de desarrollo del análisis cinemático y de la simulación, donde la nomenclatura de los documentos adquiere el identificador “-motion” para diferenciarlo del montaje aludiendo al uso del complemento CosmosMotion. Este tipo de documentos quedaría de la forma siguiente:

vLTm_xxxx-x_2022-motion

Tras esto se realiza la simulación en contacto con una pieza base para estudiar su comportamiento real y su movimiento bajo los efectos de la gravedad y el rozamiento. A este archivo se le da el nombre añadiendo el sufijo “-base” a modo de facilitar la diferenciación con la simulación sin base.

Quedaría de la forma siguiente:

vLTm_xxxx-x_2022-motion-base



6. ENSAMBLADO

6.1. Presentación y objetivos

En esta fase se ensamblan los distintos componentes con la ayuda de las instrucciones del modelo Lego© Technic para obtener el modelo completo.

De acuerdo a la metodología empleada, la diferencia fundamental entre el montaje de un modelo Lego© Technic real del mismo montaje en formato virtual es que para este último definimos el concepto de pieza como un conjunto de componentes ensamblados sin movimiento relativo entre ellos. En el proceso de definición de las piezas, restringiremos el número de componentes a un máximo de diez.

No se trata, por tanto, de reproducir fielmente en un programa de CAD un modelo real Lego© Technic y ensamblarlo mediante el uso de las herramientas informáticas correspondientes, sino que se da un paso más, diferenciando durante el montaje las piezas que tienen un movimiento relativo entre ellas para proceder a su virtualización de forma coherente.

Se consigue así un modelo móvil, más asimilable a máquinas reales y mejor adaptado para las siguientes fases del proyecto. En este proceso se adquiere una gran soltura en el manejo de programas y herramientas de CAD, en nuestro caso como ya se ha comentado, Solid Works 2007.

6.2. Procedimiento de ensamblado

El ensamblado del modelo ha seguido unos pasos muy marcados, que se detallan a continuación.

6.2.1. Elección del modelo

Lo primero y más importante es escoger los modelos que se quieren virtualizar. Resulta conveniente comenzar por la virtualización de aquellos modelos con una complejidad de montaje menor, para ir habituándose al procedimiento a seguir y tener soltura a la hora de llegar a los modelos más complejos.

Los primeros modelos serán algunos de los que aparecen en el libro Tora no Maki del japonés Isogawa Yoshihito y posteriormente se pasará a los modelos oficiales de Lego© Technic.

6.2.2. Selección de los componentes

Elegido el modelo para montar, hay que identificar y seleccionar todos los componentes que serán necesarios para el ensamblaje del modelo. La mejor forma para llevar a cabo esta tarea es obtener el inventario de la web: www.bricklink.com donde solo tendremos que buscar el modelo y aparecerán todos los componentes que lo forman junto a su precio en caso de querer adquirir alguna de las piezas.

Las instrucciones del modelo cuentan también con un inventario que detalla los componentes que aparecen en el modelo.



6.2.3. Ensamblaje

Tras analizar e identificar los diferentes componentes que formarán parte del modelo, con la aplicación Solid Works, se montan inicialmente las diferentes piezas de acuerdo a los criterios mencionados, de forma que cada una se comporta como un único elemento rígido.

Con todas las piezas conformadas, se monta el modelo final en el que se definirán las restricciones necesarias que aseguren los movimientos relativos entre las piezas. De la misma manera se deben establecer las relaciones de posición de las piezas en el archivo ensamblaje para dar forma al modelo siguiendo las instrucciones.

En la parte izquierda se puede observar el árbol de las piezas dentro del ensamblaje. Cada una de ellas cuenta a su vez con un árbol desplegable donde se pueden apreciar por una parte los componentes y relaciones que la definen, y por otra las relaciones que la posicionan con respecto al resto de piezas del ensamblaje. Esta disposición de archivos resulta de gran ayuda pues permite comprobar las relaciones establecidas para una pieza en particular y de esta forma poder editarlas con facilidad cuando sea necesario.

6.2.3.1 Metodología de ensamblaje

Para crear los modelos se seguirán unas normas. Primeramente, se editará el color de los componentes. Cuando un componente tenga varios colores en un mismo modelo, se elegirá el color más repetido. Posteriormente, cuando haya que colocar ese componente y su color no sea el que corresponde podrá ser editado en el propio montaje. De esta forma se reduce el número de veces que hay que colorear los componentes.

Hay que establecer cuál será la pieza principal, que también puede ser llamada pieza fija o chasis, como la pieza número 1. Suele ser la más grande y, posteriormente, en el modelo final estará en una posición fija y no podrá moverse en ninguna dirección. El resto de las piezas se numerarán según se vayan creando y en el modelo final sí tendrán movimiento relativo respecto a la pieza fija o chasis.

En el caso de que las piezas estén formadas por más de 10 componentes habrá que trocearlas, en tantos trozos sean necesarios, de modo que ninguno supere los 10 componentes. Esto quiere decir que para una pieza que esté formada por muchos componentes el proceso de montaje consistirá en la creación de varias sub-piezas que posteriormente serán ensambladas para obtener la pieza final. Se fija el límite en 10 componentes para mejorar el rendimiento computacional ya que las piezas grandes aumentarían la carga de trabajo del ordenador y sería muy complicado y lento trabajar con modelos grandes.

Cuando ya están todas las piezas creadas, se procede a añadirlas al montaje final. La primera pieza del ensamblaje será la pieza fija o chasis, el resto de las piezas se irán añadiendo por orden cronológico.

6.2.3.2. Relaciones de posición

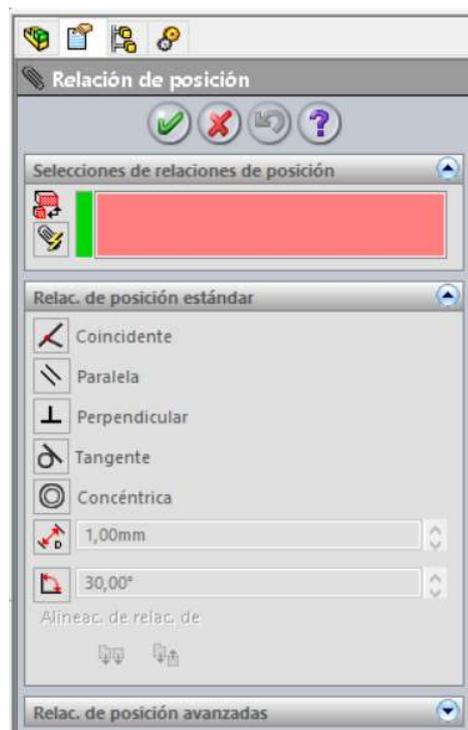
Las relaciones de posición son las restricciones que nos permite añadir SolidWorks 2007 para indicar la posición en la que queda cada componente o pieza. SolidWorks nos ofrece 2 tipos de relaciones de posición: las estándar y las avanzadas.

El primer tipo es el más habitual ya que nos permite prácticamente definir cualquier orientación y posición. El segundo tipo se emplea en menor medida ya que generalmente sirve para restringir piezas que no tienen un contacto fijo directo entre ellas, como puede ser un engranaje.

6.2.3.2.1. Relaciones de posición estándar

Las relaciones de posición estándar sirven para establecer la posición de las piezas en la máquina de forma que se permitan los movimientos que cada una de ellas tenga que poder tener.

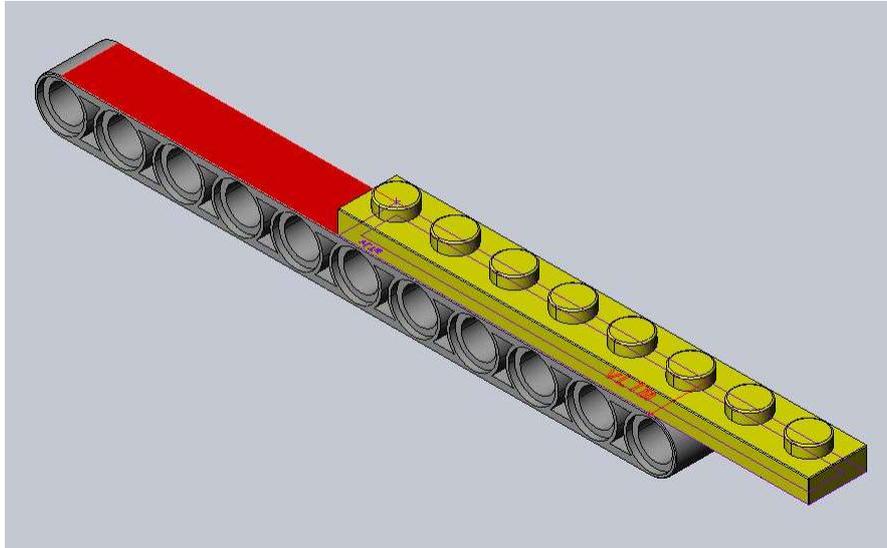
Para poder posicionar correctamente las piezas se requiere tomar a una de ellas como pieza fija y partir de ella para colocar el resto. En el caso del ensamblaje final del modelo, se suele tomar como pieza fija del modelo al chásis del vehículo.



(Fig.07. Relaciones de posición estándar)

6.2.3.2.1.1. Coincidencia

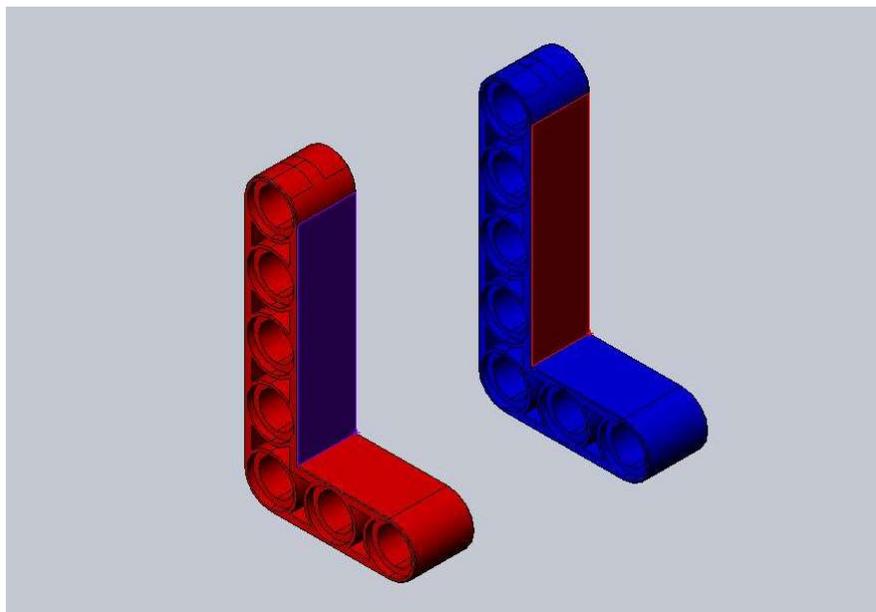
Hace coincidentes las caras o puntos de las piezas seleccionadas.



(Fig.08. Relación de posición coincidente)

6.2.3.2.1.2. Paralelismo

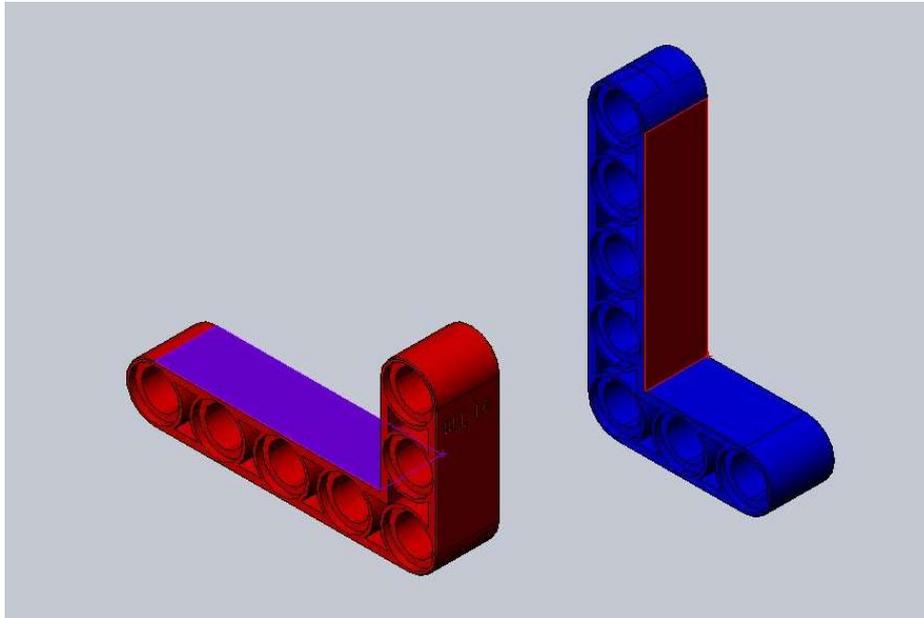
Posiciona paralelamente las caras o aristas de las piezas distintas a las que se les quiere establecer la relación. Ofrece la posibilidad de determinar la distancia entre los planos.



(Fig.09. Relación de posición paralelo)

6.2.3.2.1.3. Perpendicularidad

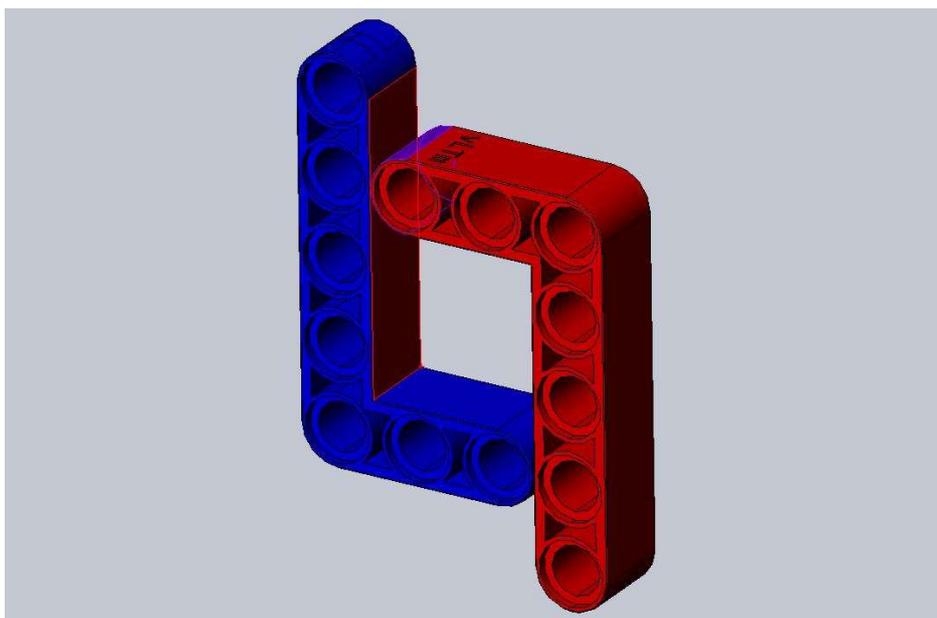
Posiciona perpendicularmente las caras o aristas de las piezas distintas a las que se les quiere establecer la relación. También ofrece la posibilidad de determinar la distancia entre los planos.



(Fig.10. Relación de posición perpendicular)

6.2.3.2.1.4. Tangencia

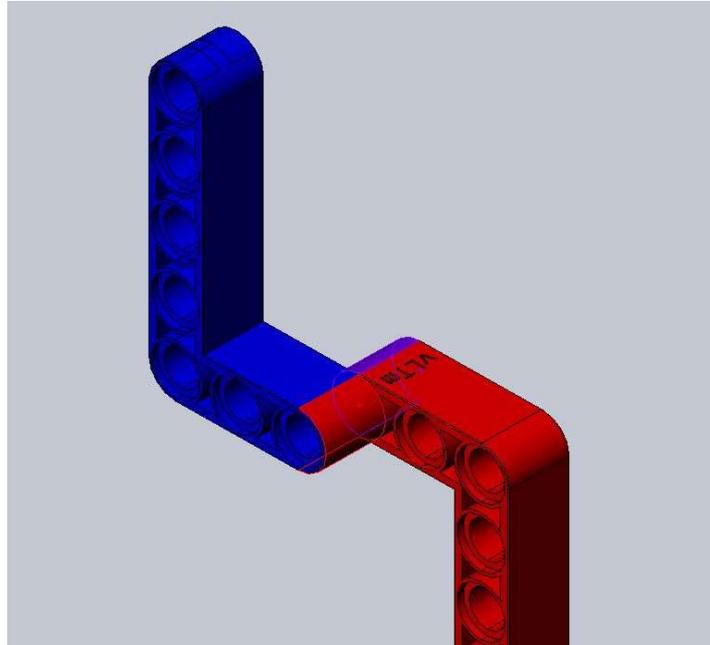
Igual que la relación de coincidencia, establece un contacto entre dos superficies, siendo esta vez entre una superficie plana y una curva de forma que se pueda cambiar el ángulo que forman sin perder el contacto.



(Fig.11. Relación de posición tangente)

6.2.3.2.1.5. Concentricidad

Fuerza a dos superficies cilíndricas a compartir el mismo eje.



(Fig.12. Relación de posición concéntrica)

6.2.3.2.2. Relaciones de posición avanzadas

En este punto se hablará únicamente de dos relaciones de posición avanzadas. El resto de las relaciones de posición avanzadas o bien no ha sido necesario usarlas en el proyecto o exigen la introducción de una medida para su correcta definición, lo que resta precisión al montaje y se ha preferido evitar.



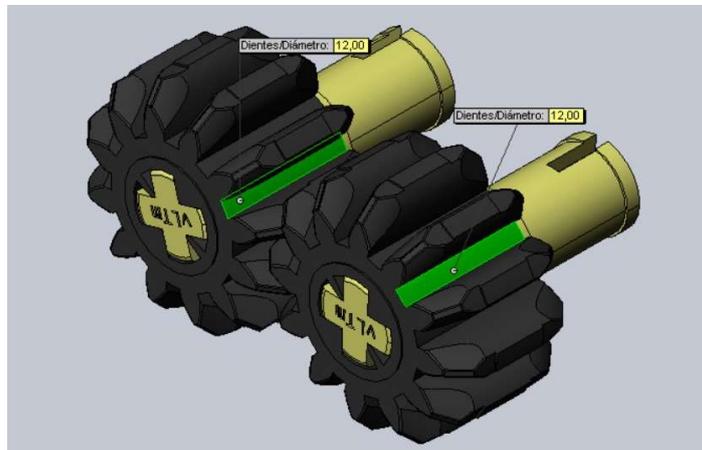
(Fig.13. Relaciones de posición avanzadas)

Por ese motivo a continuación se detallan únicamente aquellas que se han utilizado.

6.2.3.2.2.1. Engranaje

Permite establecer el giro de un eje respecto de otro. Esta relación puede definirse de varias maneras, como pueden ser introducir los diámetros o la opción que se ha utilizado en este proyecto, establecer el número de dientes que tiene cada una de las ruedas dentadas.

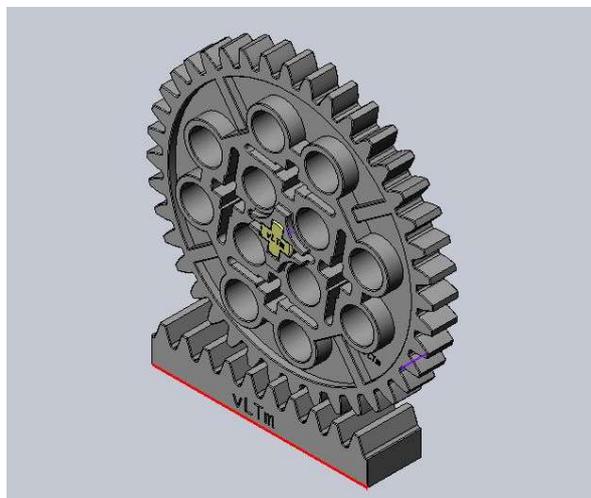
Este ha sido el método empleado para describir la relación existente entre un tornillo sin fin y una rueda dentada. Esta relación se consigue determinando como uno el número de dientes del tornillo. De esta forma se consigue que por cada diente que avanza la rueda dentada, el tornillo sin fin dará una vuelta.



(Fig.14. Relación de posición engranaje y engranaje-sin fin)

6.2.3.2.2.2. Piñón cremallera

Requiere la determinación del desplazamiento lateral de la cremallera en relación con el giro de la rueda dentada. Para hacerlo se ha utilizado la longitud que avanza la cremallera por cada vuelta de la rueda dentada.



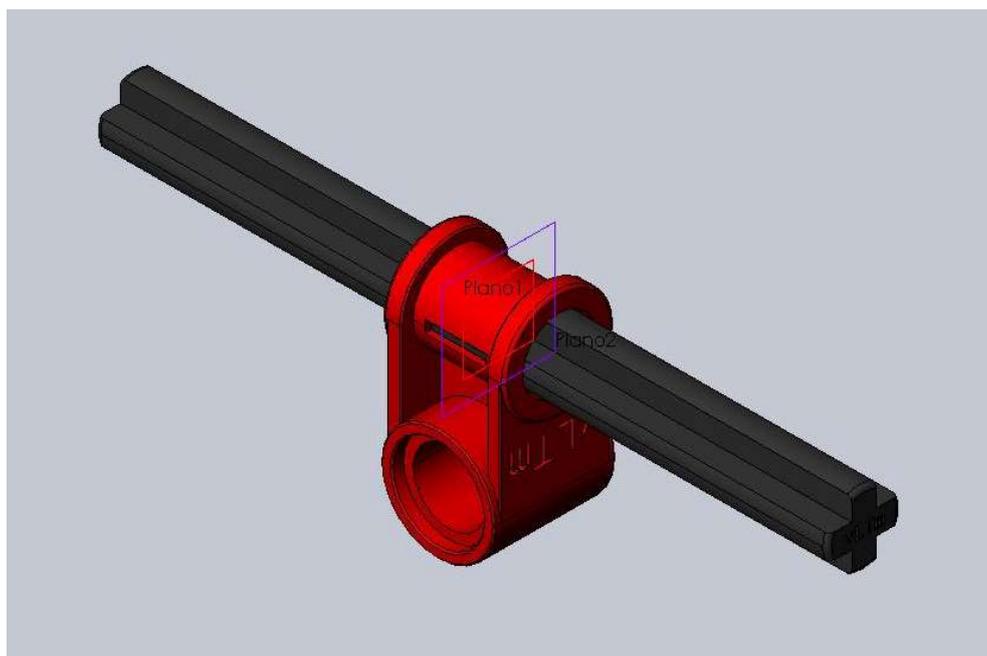
(Fig.15. Piñón cremallera)

6.2.3.3. Geometrías auxiliares

Para poder definir correctamente algunas relaciones de posición entre componentes hace falta editar las piezas para crear en ellas planos o puntos y poder hacerlos coincidentes entre sí. En Solid Works esto se conoce como geometrías auxiliares y resultan muy útiles para crear equivalencias a pares esféricos o hacer coincidentes piezas por su sección media.



(Fig.16. Ejemplo unión componentes esféricos)



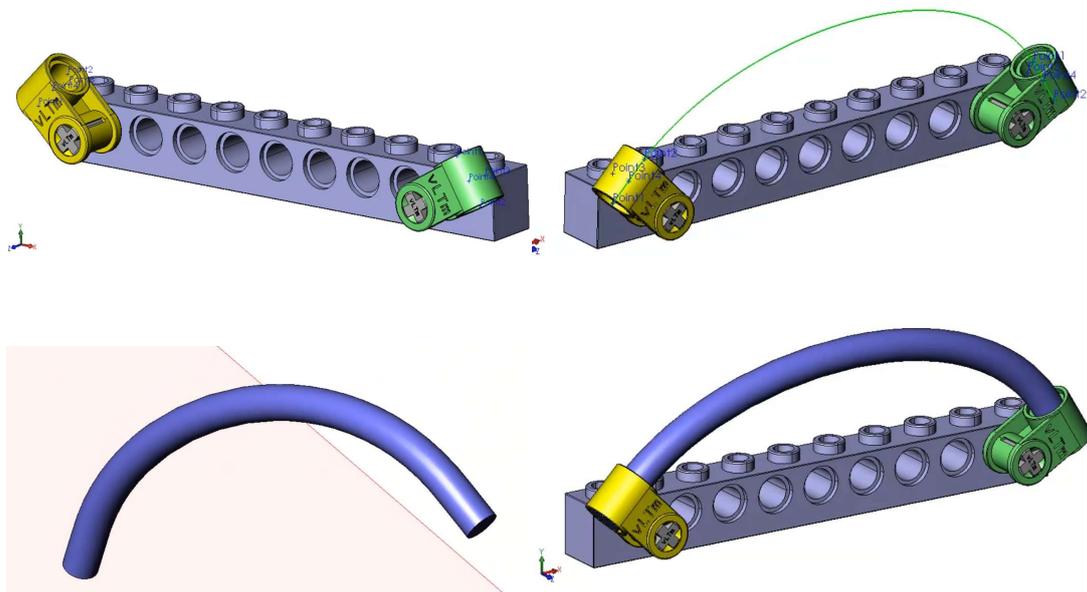
(Fig.17. Coincidencia de planos)

Los componentes de los modelos Lego® Technic no siempre son rígidos. En ocasiones presentan componentes flexibles para poder crear estructuras menos rígidas. Esto implica un inconveniente a la hora de virtualizarlo en Solid Works, ya que este programa considera rígidos a cada componente que compone el modelo. Por lo tanto, para poder incluir estos componentes hace falta crear una pieza que cumpla con las condiciones geométricas que el montaje vaya a requerir.

Para ello es necesario partir de la posición de los componentes con los que estará en contacto y utilizar geometrías auxiliares como puntos y líneas para definir la curva que la pieza flexible tiene que describir.

Esta curva se exporta a un nuevo documento donde se define la geometría tubular que suelen tener estas piezas y se extruye a lo largo de toda la curva.

De esta forma se obtiene una pieza con las características geométricas que el modelo necesita.



(Fig.18. Ejemplo proceso de creación de componente flexible)



7. COMPACTACIÓN

Una vez terminado el proceso de ensamblaje se tiene un modelo virtualizado compuesto por una gran cantidad de piezas. Cada una de ellas están formadas a su vez por varios componentes, lo que supone que el programa Solid Works esté constantemente procesando el modelo con una cantidad muy elevada de componentes que, en muchos casos, no tienen movimientos relativos entre sí.

Por este motivo resulta conveniente realizar un proceso de compactación de las piezas, en el que cada una de ellas pasa de estar compuesta por componentes diferentes a ser una entidad única. Esto implica que una vez realizado el proceso de compactación la pieza no puede ser modificada, pues lo considera un único sólido.



8. PROCESO DE AUTO-ALINEADO DEL MODELO CINEMÁTICO

8.1. Presentación y objetivos

El proceso de creación y ensamblaje del modelo es quizá la parte más llamativa del proyecto y, sin embargo, comparte importancia con otro de los objetivos principales del trabajo, el desarrollo del modelo cinemático auto-alineado. Esta tarea permite complementar el trabajo de modelización, estudiando de forma teórica los pares cinemáticos necesarios entre cada unión de piezas para conseguir eliminar las restricciones en exceso del modelo.

Para ello se hace uso del programa Cosmos Motion, un complemento del software SolidWorks 2007.

El proceso de auto-alineado resulta muy importante a la hora de realizar estudios de esfuerzos de las piezas que componen a las máquinas. Estos no deben presentar restricciones en exceso para que el cálculo refleje los esfuerzos reales que la pieza soporta.

Una de las tareas en el diseño de un mecanismo es comprobar que, en efecto, el dispositivo constituye un mecanismo y no una estructura rígida. La movilidad está definida por el número de grados de libertad del mecanismo y se puede determinar fijando pares cinemáticos uno a uno hasta que el mecanismo no puede moverse. El número de pares cinemáticos que hayamos fijado constituyen la movilidad del mecanismo.

Para ser considerado mecanismo esta movilidad ha de tener un valor de uno o superior. En caso contrario se considera una estructura, que puede ser estáticamente determinada en caso de tener 0 grados de libertad, o estáticamente indeterminada en caso de tener una movilidad negativa.

Otra tarea del ingeniero será establecer las condiciones geométricas y las tolerancias precisas que posibiliten el montaje. Estas condiciones 'extra' son también conocidas como restricciones redundantes (i.e.: mesa de cuatro patas en suelo irregular que obliga a que la longitud de la cuarta pata deba ser absolutamente precisa para evitar su inestabilidad)

No obstante, las piezas y componentes no son perfectos, tampoco lo son las condiciones del entorno. Si el error es suficientemente grande, puede que haya que forzar para completar el montaje o que, directamente, este no sea posible.

8.2. Mecanismos auto-alineados.

La teoría de mecanismos y máquinas estudia los pares cinemáticos de los mecanismos y trata de determinar los tipos de pares cinemáticos y su empleo. Con su libro 'Mecanismos Auto-Alineados', el Profesor L.N. Reshetov ha contribuido decisivamente a su estudio, concluyendo que, para conseguir una mejora esencial en el funcionamiento de un mecanismo, este debe estar determinado estáticamente, o como el autor señala: ser auto-alineador.

Un mecanismo estáticamente determinado no está sujeto a la variación de las dimensiones de sus elementos. Por lo tanto, la determinación estática de un mecanismo no solo resuelve el problema de reducir el gasto de montaje, sino que también resuelve al mismo tiempo el problema de elevar la fiabilidad en servicio. Según el libro del L. Reshetov, la existencia de restricciones excesivas en un mecanismo es un factor perjudicial.



Lo que se persigue es disponer de un conjunto de mecanismos manejables tanto físicamente como en el ordenador (virtualmente), con los que poder practicar la creación de modelos cinemáticos autoalineados, es decir, sin restricciones en exceso. Para ello es imprescindible tener un modelo virtual con el que se pueda definir y comprobar el modelo cinemático auto-alineado mediante la aplicación integrada Cosmos Motion.

8.2.1. Conceptos básicos

Todo mecanismo está compuesto por una serie de componentes que aportan distintas funciones en el comportamiento del mismo. Para tener movilidad tiene que haber un componente que aporte el movimiento, a la que se le denomina impulsor. Las piezas que se mueven debido a este movimiento se les conoce como seguidoras.

Estos dos tipos de componentes pueden tener varias formas de transmisión del movimiento entre ellas. Si bien pueden tener movimiento relativo entre sí por medio de un par cinemático que limita los movimientos de una respecto de la otra, puede haber también una transmisión del movimiento que no requiera este tipo de pares y que se base únicamente en el contacto entre las piezas, haciendo que la impulsora empuje a la seguidora para conseguir el movimiento.

Esta forma de transmisión del movimiento resulta extremadamente útil en las máquinas de la actualidad, ya que tiene la característica de en muchos casos modificar la velocidad del seguidor en comparación con el impulsor. A este valor se le conoce por el nombre de factor de transmisión.

Este concepto suele asociarse a los engranajes o poleas y, sin embargo, hace referencia a la razón entre el ángulo girado o la distancia recorrida por el seguidor y la magnitud correspondiente el movimiento del impulsor.

El valor puede tomar valores tanto negativos como positivos, donde el signo indica el sentido de giro de una pieza con respecto de la otra.

Puesto que este trabajo tiene como uno de los principales objetivos el cálculo de la movilidad de los mecanismos y el establecimiento de pares cinemáticos entre componentes, hace falta definir el concepto de cinemática.

El término ‘cinemática’ deriva del griego, concretamente de la unión de dos componentes. Por una parte “kineema”, que significa “movimiento” y por otra el sufijo “-tikos” que significa “relativo a”. Hace referencia a la parte de la mecánica que estudia los tipos de movimientos que tiene un cuerpo, sin tener en cuenta las fuerzas que los provocan. Por ello es un estudio de la posición y la trayectoria de los objetos en función del tiempo.

8.2.2. Pares cinemáticos

8.2.2.1. Tipos de pares cinemáticos

Un par cinemático es toda aquella unión entre distintos elementos de un mecanismo que restringe alguno de sus movimientos relativos y permite otros.

Los pares cinemáticos pueden clasificarse en dos tipos. Los pares cinemáticos bidimensionales (permiten un único tipo de movimiento) y los tridimensionales (permiten dos o más tipos de movimientos simultáneamente).

Puede hacerse también una clasificación en función del contacto que tengan las partes que forman el par. En caso de que el contacto se de en todos los puntos que forman la unión se conoce como par inferior. En el caso de que no se de el contacto en todos los puntos de la unión el tipo de par recibe el nombre de superior. Existe también pares que son combinaciones de ambos tipos.

8.2.2.2. Restricciones de un par cinemático

Considerando seis tipos de movimientos tridimensionales (tres correspondientes al desplazamiento en cada uno de los ejes y otros tres a los giros en torno a los ejes) una restricción es aquel movimiento de este tipo que queda imposibilitado por el tipo de par cinemático escogido para la unión de componentes.

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

(Fig.19. Pares cinemáticos y sus restricciones)

En esta tabla cada fila (numeradas del 1 al 5 en números romanos) representa el número de restricciones correspondientes a cada par y siendo por lo tanto el número de la columna izquierda la movilidad de los pares.

8.2.3. Grados de libertad

El movimiento de los cuerpos puede describirse y estudiarse como composición de su movimiento con respecto a los ejes tridimensionales. Estos movimientos pueden ser longitudinales o rotacionales, dando un total de 6 posibles movimientos elementales.

Al unir cuerpos entre sí por medio de pares cinemáticos se restringen alguno de estos movimientos.

Los grados de libertad hace referencia a los movimientos independientes que quedan tras la unión de los cuerpos.

Al número de grados de libertad de un par cinemático también se le llama conectividad y al número de grados de libertad de un mecanismo se le llama movilidad del mecanismo.

La movilidad de un mecanismo se puede describir también como el número de coordenadas requeridas para tener información de las posiciones de todas las partes que configuran dicho mecanismo. Se toma como referencia una de sus componentes a la que se considera fija y se denomina “cuerpo base”.

Partiendo de esta definición se puede hacer una distinción en cuanto al cálculo de la movilidad de los mecanismos planos y espaciales.

Un mecanismo plano es aquel en el que todos los componentes que lo conforman tienen movilidad en un único plano o en planos paralelos entre sí. De esta forma los movimientos permitidos para las distintas partes del mecanismo serían limitadas a los dos ejes del plano y la rotación del mismo, es decir 3 grados de libertad.

La movilidad de mecanismos planos se calcula haciendo uso de la fórmula:

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

(Ec. 01. Movilidad de mecanismos planos)

Donde N es el número de piezas que componen el mecanismo, P el número de pares cinemáticos que los conectan y f_i la movilidad que el par i permite.

La ecuación por lo tanto calcula la movilidad que tendría el mecanismo si todos los pares restringieran los 3 grados de libertad posibles para luego sumar la conectividad de cada uno y obtener así la movilidad del mecanismo.

Esto implica que cualquier fórmula que calcule la movilidad de los mecanismos, por diferente que pueda parecer, se basa en el mismo concepto que la fórmula anterior.

Al pasar a mecanismos espaciales cada componente pasa de poder tener tres movimientos elementales a tener 6 posibles movimientos (tres a lo largo de los tres ejes y tres de rotación sobre los ejes). La fórmula anterior deja de poder ser aplicable a estos casos y se pasa a una equivalente en la que el multiplicador pasa de valer tres a seis. Esta adaptación de la fórmula a los mecanismos espaciales tiene el nombre de Criterio de Gruebler o Criterio de Kutzbach.

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

(Ec. 02. Movilidad de mecanismos espaciales)

Nuevamente, N es el número de piezas que componen el mecanismo, P el número de pares cinemáticos que los conectan y f_i la movilidad que el par i permite.

Esta es precisamente la ecuación empleada por el complemento Cosmos Motion para realizar los cálculos de la movilidad de los mecanismos.

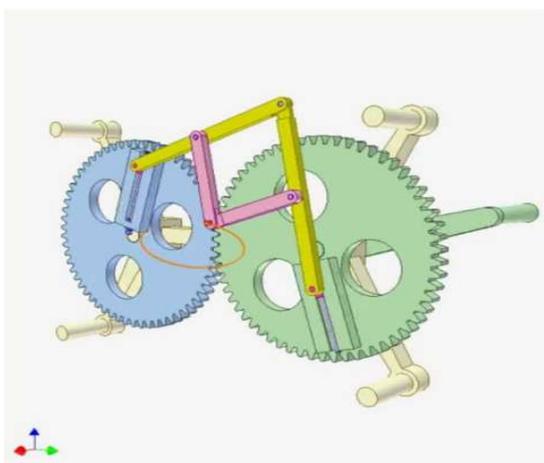
8.2.4. Diagramas cinemáticos.

La movilidad de los mecanismos aparte de poder calcularse con las fórmulas anteriormente expuestas, tienen una forma de representación muy esquematizada que ayuda a visualizar el comportamiento de los mismos. Esta representación tiene el nombre de diagrama cinemático del mecanismo.

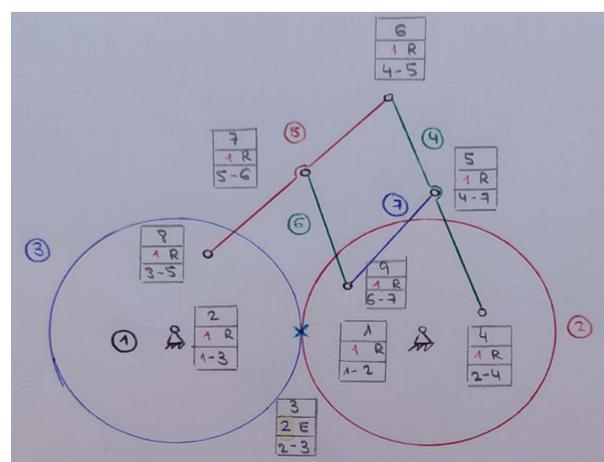
En este proyecto para facilitar más el diferenciar las partes y los pares cinemáticos se han utilizado distintos colores entre componentes contiguos. Además se establece que los puntos fijos del mecanismo son el componente 1 del mecanismo y se les da el color negro.

Si bien se ha trabajado tanto diagramas cinemáticos de mecanismos planos como de mecanismos espaciales, se ha invertido un mayor tiempo en el análisis y desarrollo de los diagramas de mecanismos planos. Esto a causa de que la gran mayoría de los mecanismos que componen las máquinas virtualizadas siguen este tipo de movimiento.

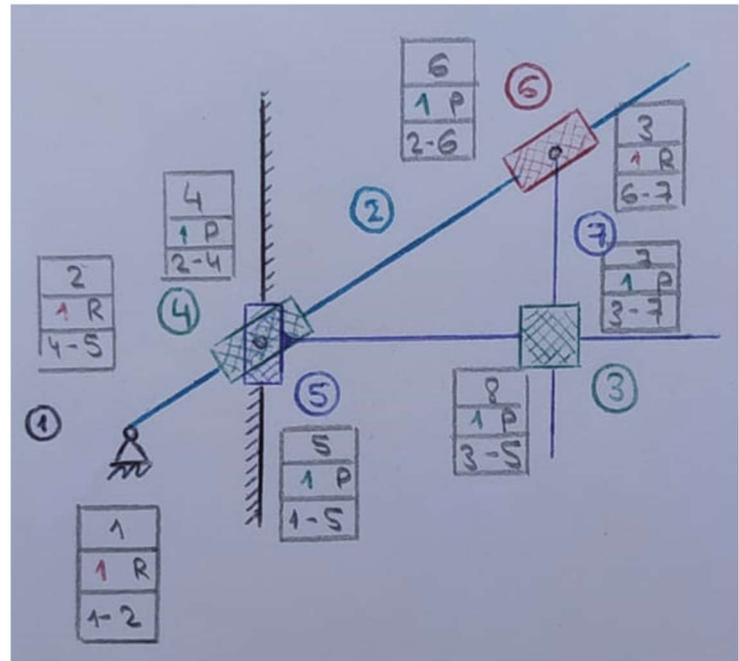
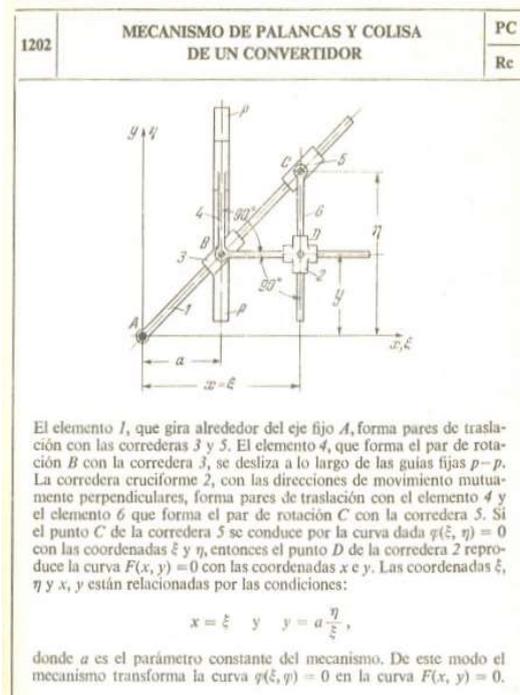
Algunos ejemplos de diagramas cinemáticos son:



(Fig.20. Thang - 30)



$$M_{2D} = 3 * (7 - 9 - 1) + 8 + 2 = 1 \text{ GDL}$$



(Fig.21. 1202. Mecanismos Artobolevsky)

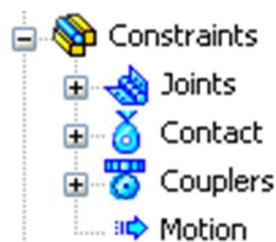
$$M_{2D} = 3 * (7 - 8 - 1) + 3 + 5 = 2 \text{ GDL}$$

8.2.5. Tipos de restricciones en Cosmos Motion

El complemento Cosmos Motion ofrece una gran cantidad de posibilidades a la hora de establecer restricciones entre piezas.

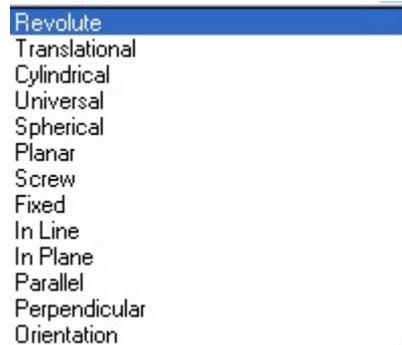
En concreto agrupa todas las posibles restricciones en 4 grupos:

- Joints: Pares cinemáticos
- Contact: Restricciones de contacto. Muy útiles para establecer contactos entre las ruedas y la base de los modelos.
- Couplers: Restricciones de acoplamiento. Muy usadas en los modelos a la hora de establecer relaciones de giro entre engranajes.
- Motion: Restricción de movimiento. Este tipo de restricción no ha sido usado en el proyecto.



(Fig.22. Tipos de restricciones)

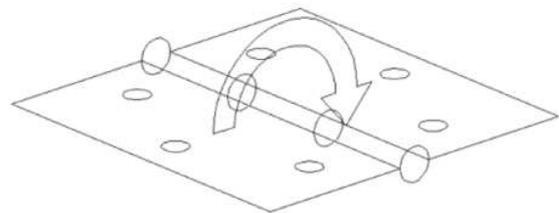
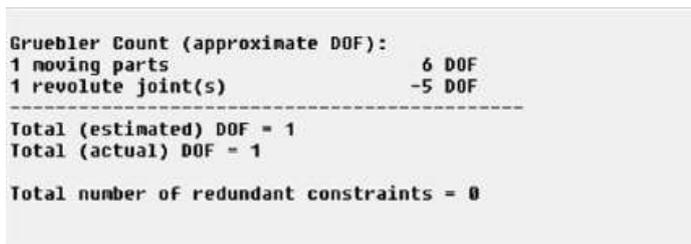
Profundizando un poco más en los pares cinemáticos presentes en Cosmos Motion encontramos trece tipos distintos.



(Fig.23. Tipos de pares en Cosmos Motion)

De los tipos que el Cosmos Motion ofrece, a lo largo del proyecto se ha hecho uso de siete de ellos que son los siguientes:

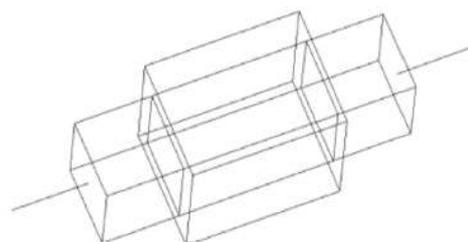
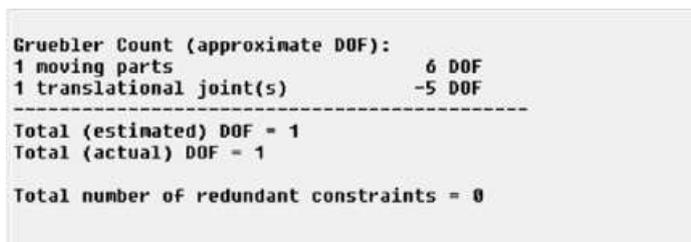
8.2.5.1. Revolute



(Fig.24. Par cinemático Revolute)

Par que permite el giro respecto de un eje pero limita el resto de los movimientos, dando como consecuencia un par con conectividad de uno.

8.2.5.2. Traslational



(Fig.25. Par cinemático Traslational)

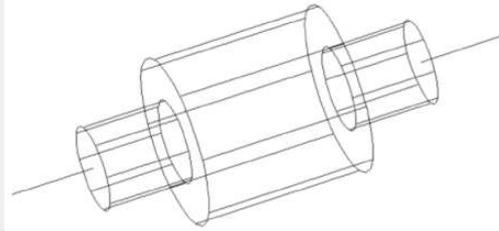
Par que permite el desplazamiento a lo largo de un eje pero limita el resto de movimientos. Tiene conectividad igual a uno.

8.2.5.3. Cylindrical

```

Gruebler Count (approximate DOF):
1 moving parts           6 DOF
1 cylindrical joint(s)  -4 DOF
-----
Total (estimated) DOF = 2
Total (actual) DOF = 2

Total number of redundant constraints = 0
    
```



(Fig.26. Par cinemàtic Cylindrical)

Par que permite el desplazamiento a lo largo de un eje y el giro entorno a este restringiendo el resto de los movimientos. Tiene conectividad dos.

8.2.5.4. Spherical

```

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

Total number of redundant constraints = 0
    
```



(Fig.27. Par cinemàtic Spherical)

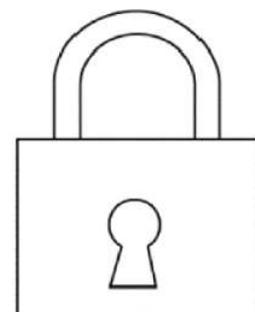
Par que permite los tres giros, pero restringe los tres desplazamientos. Tiene conectividad tres.

8.2.5.5. Fixed

```

Gruebler Count (approximate DOF):
1 moving parts           6 DOF
1 fixed joint(s)        -6 DOF
-----
Total (estimated) DOF = 0
Total (actual) DOF = 0

Total number of redundant constraints = 0
    
```

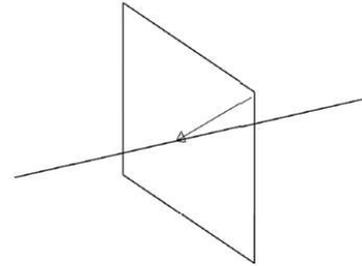


(Fig.28. Par cinemàtic Fixed)

Par que impide todos los movimientos de una pieza respecto de otra. Tiene conectividad 0.

8.2.5.6. In-line

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

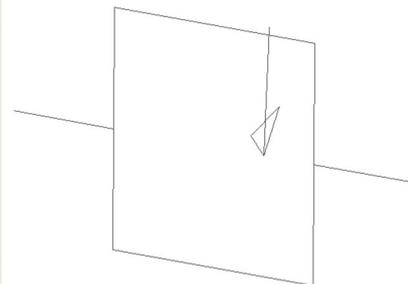


(Fig.29. Par cinemàtic In-Line)

Permite los giros entorno a los tres ejes y el desplazamiento a lo largo de uno de ellos. Tiene una conectividad de cuatro.

8.2.5.7. In-Plane

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



(Fig.30. Par cinemàtic In-Plane)

Permite el giro en torno a los tres ejes y el desplazamiento en dos de ellos dando una conectividad de cinco.

9. MODELOS TRABAJADOS

Este proyecto parte de un proceso de adaptación y aprendizaje en el desarrollo de los modelos virtualizados de Lego© Technic.

Para ello y haciendo uso de la herramienta Solid Works realizamos el proceso de montaje de máquinas con una complejidad cada vez mayor hasta llegar a los modelos finales y más complejos del proyecto. De igual forma se ha ido realizando simulaciones del movimiento de máquinas cada vez más complejas con el complemento Cosmos Motion.

Cabe destacar que no en todos los casos se hacía el montaje y la simulación cinemática de todos los modelos, habiendo ocasiones en las que se hacía sólo una de estas tareas.

Además, se ha utilizado otras aplicaciones de simulación de los modelos para aprender a trabajar con estos programas para tener un punto de vista más general y no sólo tener conocimiento en el uso de un tipo de programa. Esta aplicación ha sido Recurdyn, un software de simulación con el que, haciendo uso de un modelo de Volvo L70C creado con SolidWorks 2021, se pudo establecer los pares cinemáticos pertinentes para conseguir un movimiento coherente de la máquina. Sin embargo, y dado que no se elabora con piezas de Lego©, este modelo no va a ser tenido en cuenta en este apartado.

9.1. Modelos Isogawa Yoshihito

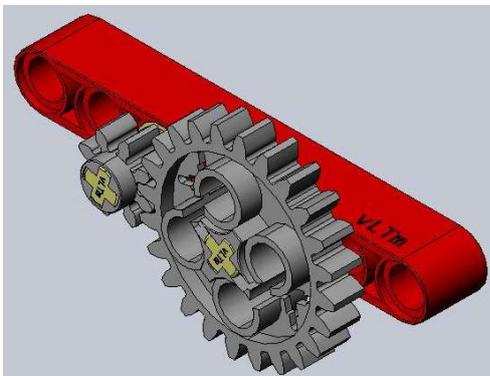
Partiendo de los modelos físicos que Isogawa Yoshihito presenta en sus tres libros “The LEGO Technic Idea Book: Fantastic Contraptions”, “The LEGO Technic Idea Book: Simple Machines” y “The LEGO Technic Idea Book: Wheeled Wonders”, se han virtualizado algunos de ellos como primera toma de contacto con el programa.

Se parte de imágenes de los modelos desde distintas perspectivas, de esta forma el autor da a conocer las piezas usadas y la colocación de cada una en el montaje.

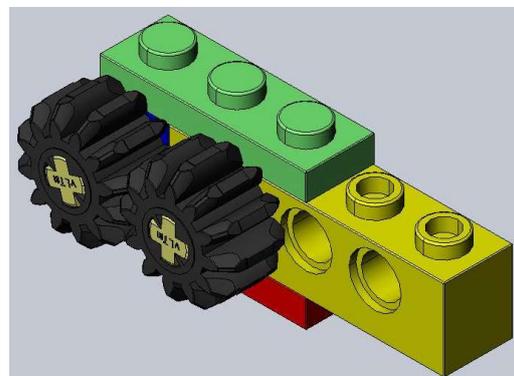
La tarea consiste en reproducirlas virtualmente y comprobar que el movimiento de la máquina una vez montada es el esperable.

Algunos ejemplos de los modelos virtualizados de Isogawa Yoshihito serían:

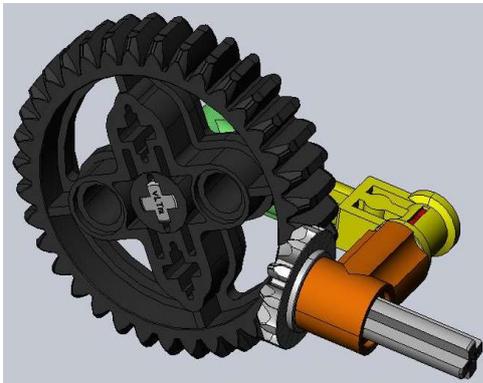
9.1.1. Modelos Isogawa-xxx



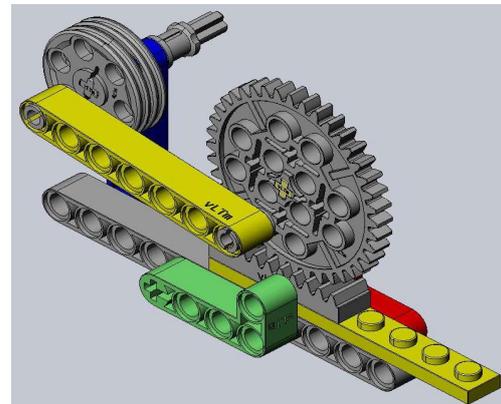
(Fig.31. Par cinemático In-Plane)



(Fig.32. Par cinemático In-Plane)



(Fig.33. Par cinemàtic In-Plane)

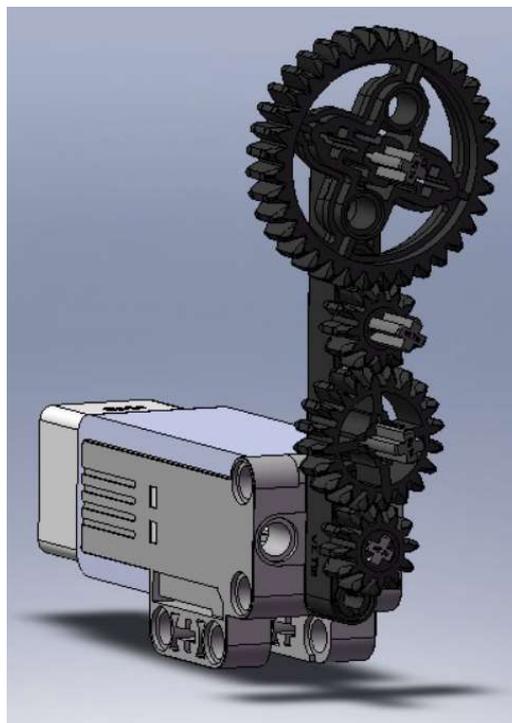


(Fig.34. Par cinemàtic In-Plane)

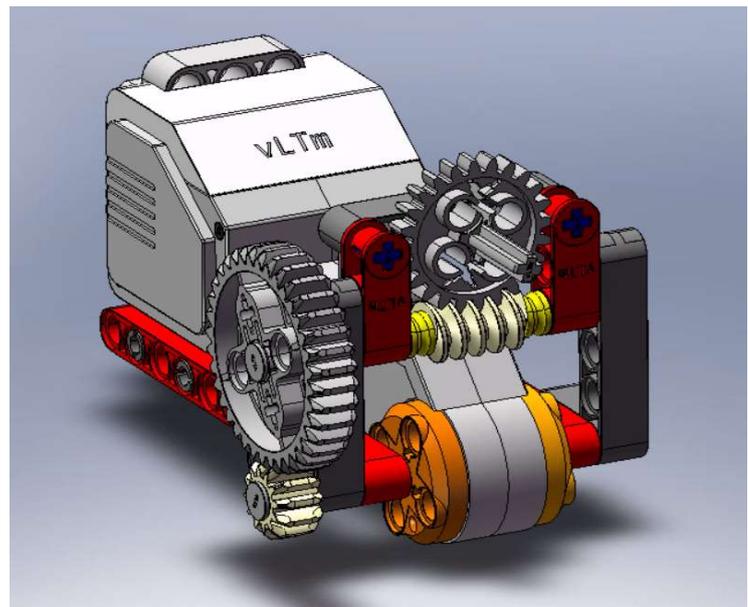
9.1.2. Modelos the LEGO Mindstorms ev3.

Este libro de Isogawa Yoshihito presenta ideas de modelos con movimientos más elaborados haciendo uso de motores o pares esféricos.

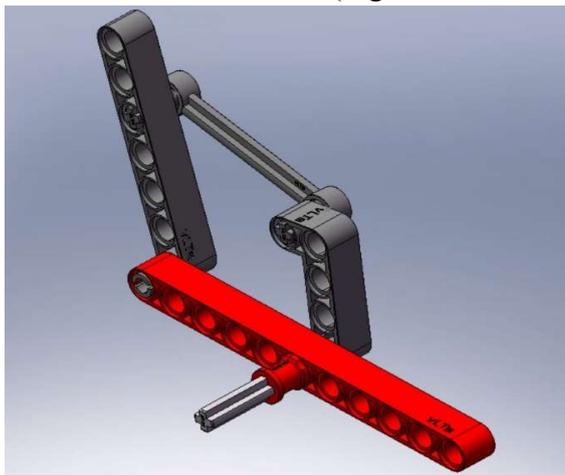
Es una recopilación de montajes aplicables y adaptables a una gran variedad de máquinas, con lo que sirve como referencia para poder hacer elaboraciones propias a partir del uso de alguna de estas ideas o de la combinación de varias.



(Fig.35. Modelo ev3_0024)

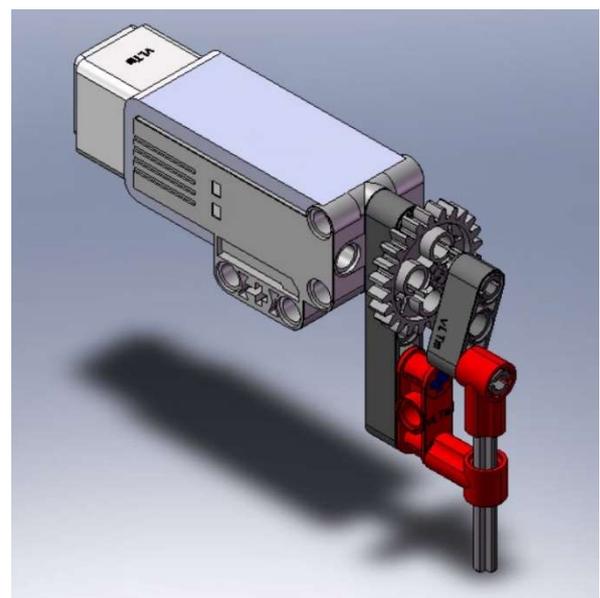


(Fig.36. Modelo ev3_0050)



(Fig.37. Modelo ev3_0053)

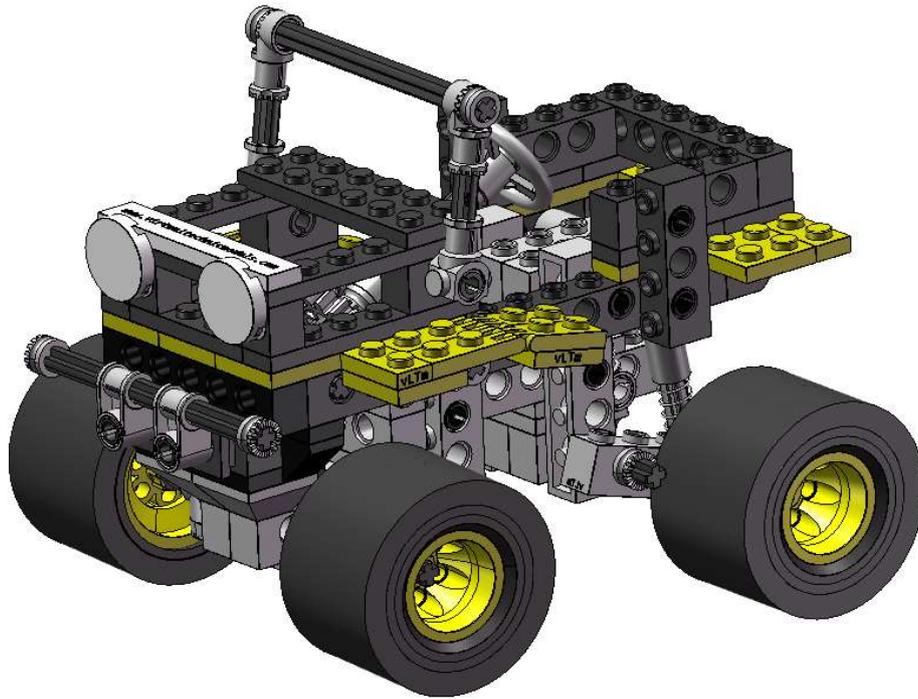
(Fig.38. Modelo ev3_0069)



9.2. Simulación modelo 8816-1

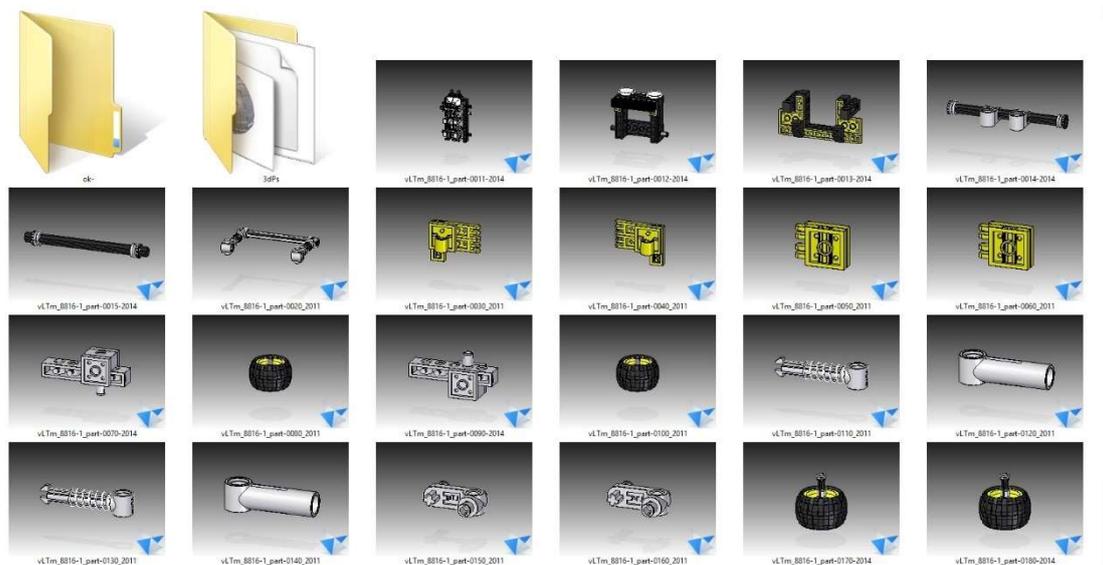
Esta actividad parte de un montaje ya realizado del vehículo y es una toma de contacto de las simulaciones con Cosmos Motion.

La tarea consiste en establecer los pares cinemáticos de la máquina de forma que el movimiento quede totalmente definido, pero sin restricciones en exceso.



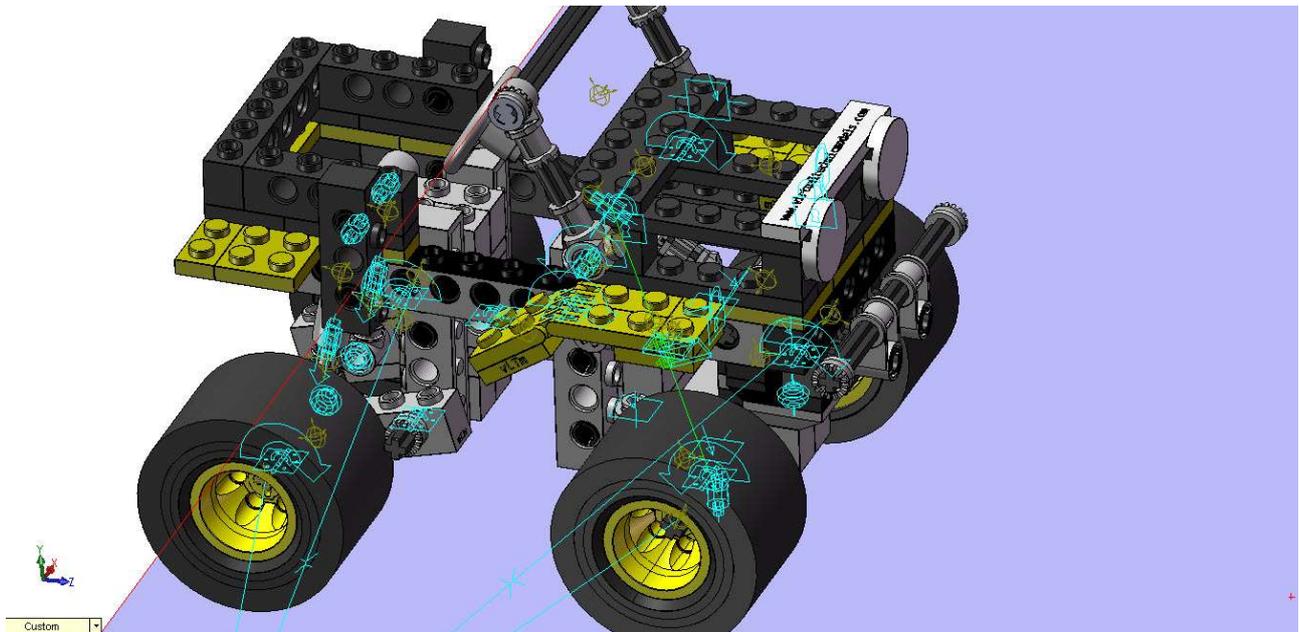
(Fig.40. Modelo 8816-1 virtual)

9.2.1. Componentes



(Fig.41. Componentes del modelo)

Definidos los pares cinemáticos hay que asignar movimiento a cada uno para conseguir visualizar todos los posibles movimientos de la máquina.
Hace falta incluir la relación de contacto de las ruedas con la base para que estas tengan interacción entre sí.



(Fig.42. Simulación del modelo)

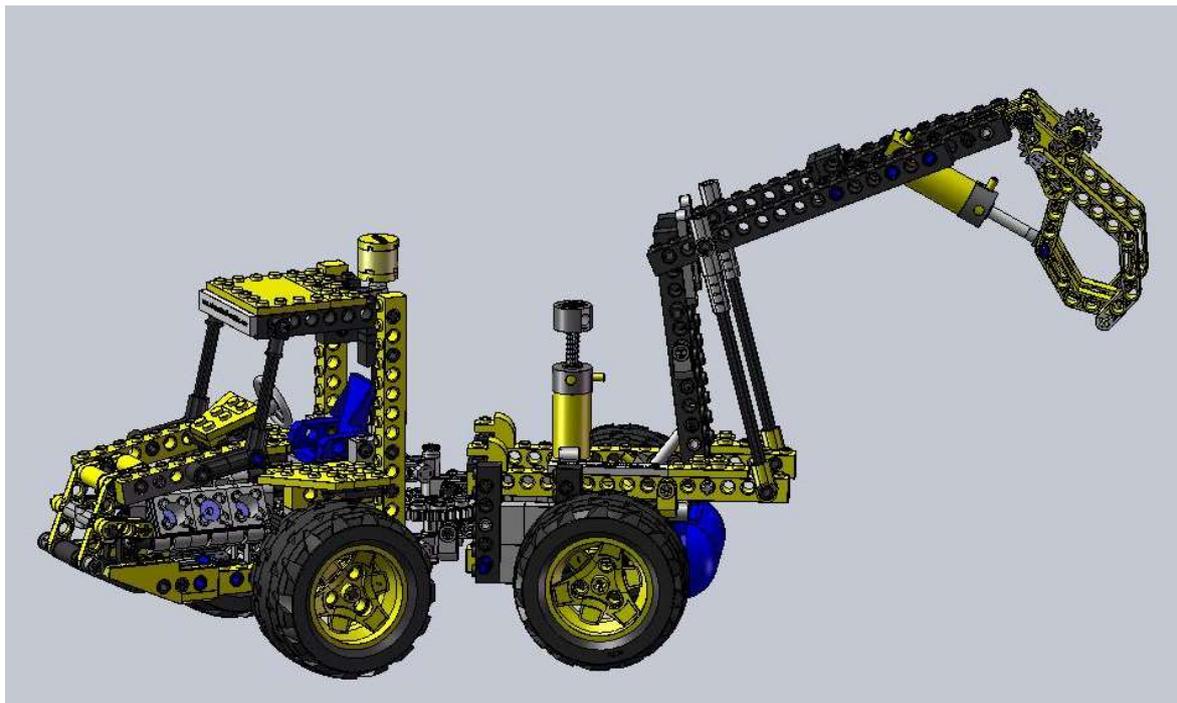
9.3. Modelo 8459-2

A diferencia del modelo anterior, en este caso se ha tenido que realizar el montaje del modelo además de hacer la simulación cinemática del mismo.

Se trata de un camión grúa de pinza con el que hubo que simular el agarrar un objeto del suelo para levantarlo y desplazarlo.



(Fig.43. Montaje real del modelo)

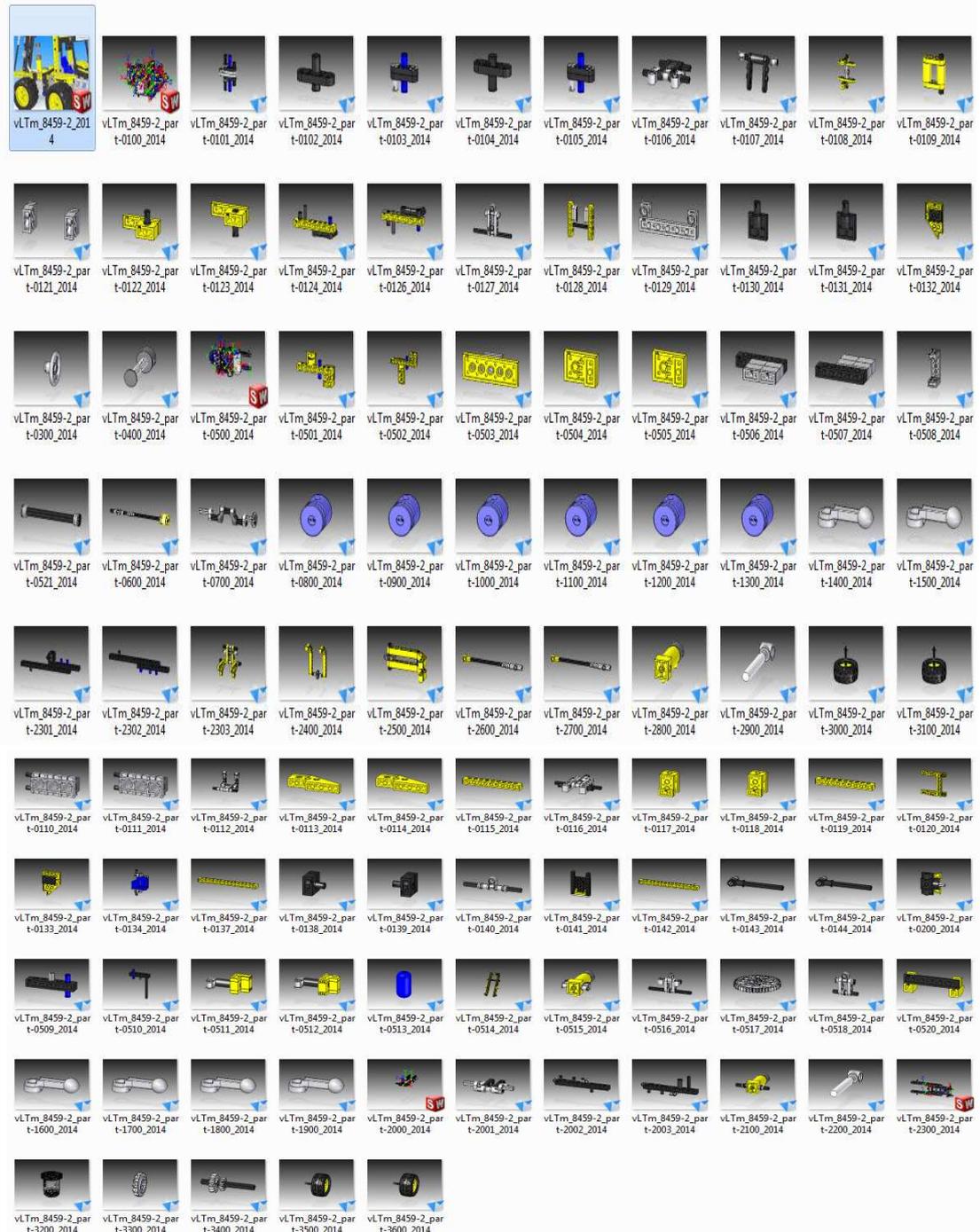


(Fig.44. Montaje virtual del modelo)

9.3.1. componentes del modelo

Pese a tener que ensamblar el modelo, no se parte de las componentes individuales, si no de piezas compuestas por distintos componentes.

A partir de un conjunto de 102 partes se agrupan de forma que acaben siendo 36 piezas independientes con movimiento relativo entre sí.



(Fig.45. Listado de componentes)

9.3.2. Simulación del modelo

Establecidos los pares pertinentes, se asigna a cada par cinemático un movimiento que tenga coherencia con el resultado final que se busca.

Para facilitar el proceso de simulación al complemento Cosmos Motion se simplifica la geometría de las partes en contacto con la base, pasando el vehículo de tener ruedas con superficies rugosas a tenerlas lisas.

Esto acelera el proceso computacional de la simulación y no se obtiene un resultado que es prácticamente equivalente al que se obtiene sin esta simplificación.

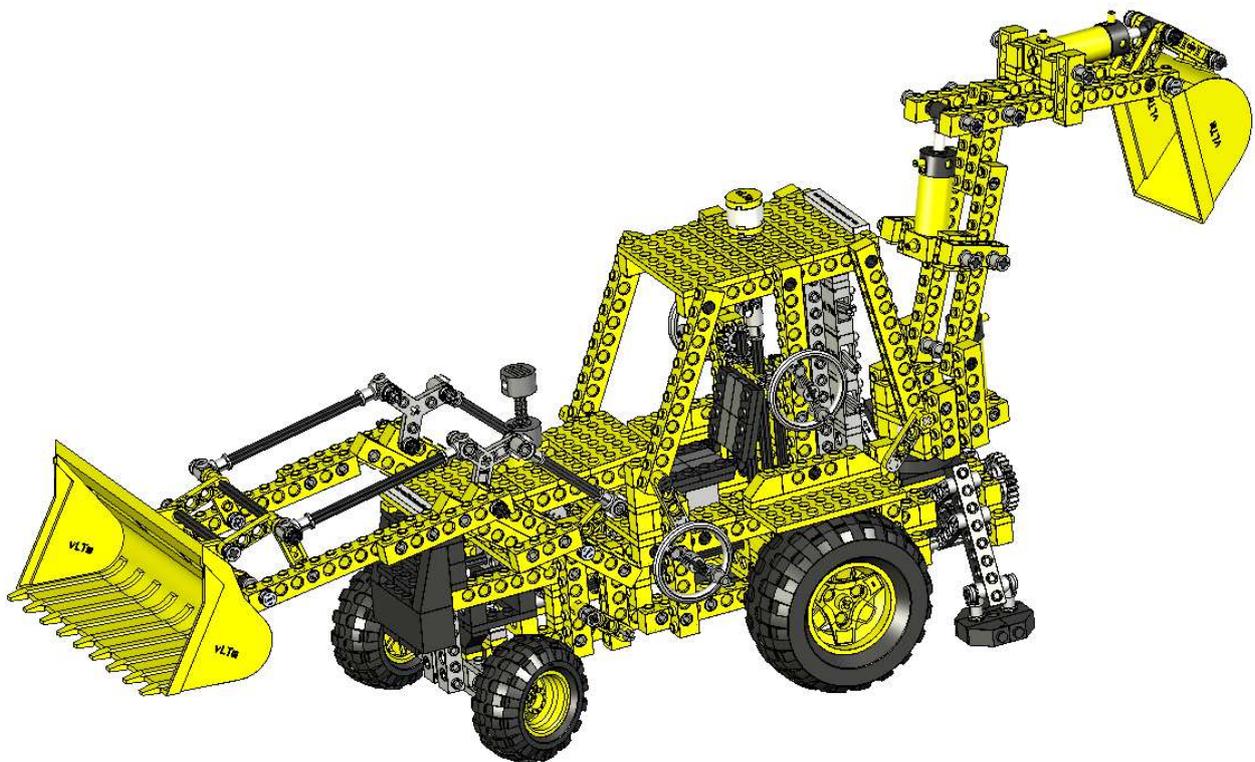


(Fig.46. Modelo sobre la base)

9.4. Modelo 8862-1



(Fig.47. Montaje real del modelo. Imagen de Technicopedia)



(Fig.48. Montaje virtual del modelo)

Al igual que en el caso anterior, para este modelo se parte de piezas compuestas por varios componentes. Hay que ensamblarlos y disponerlos de forma que al acabar el ensamblaje haya el mínimo número de piezas posibles.

Realizado el proceso de virtualización se pasa a la tarea de añadir los pares y realizar las simulaciones cinemáticas del modelo.

Para ello se dividió la tarea en tres procesos independientes: El proceso de simulación del cuerpo del vehículo, la simulación de la cuchara delantera y la simulación de la cuchara trasera.

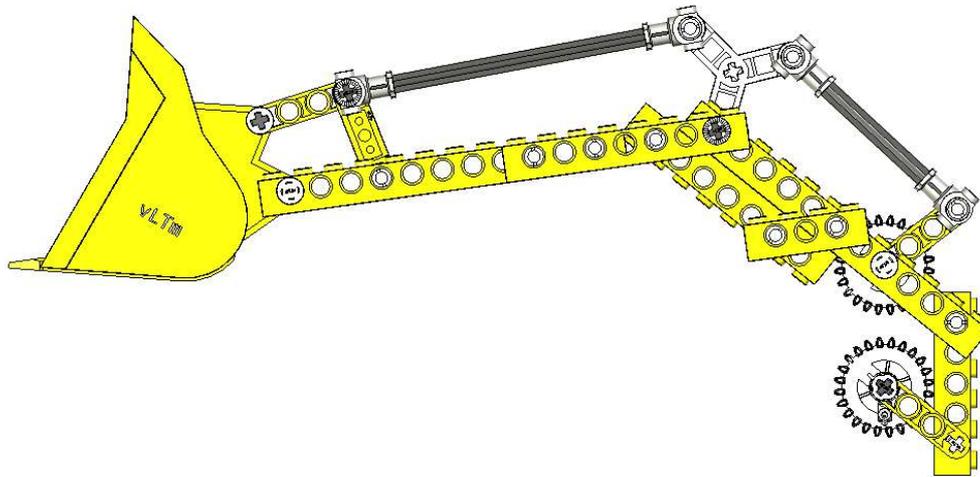
9.4.1. Simulación del cuerpo del vehículo



(Fig.49. Montaje virtual del cuerpo del vehículo)

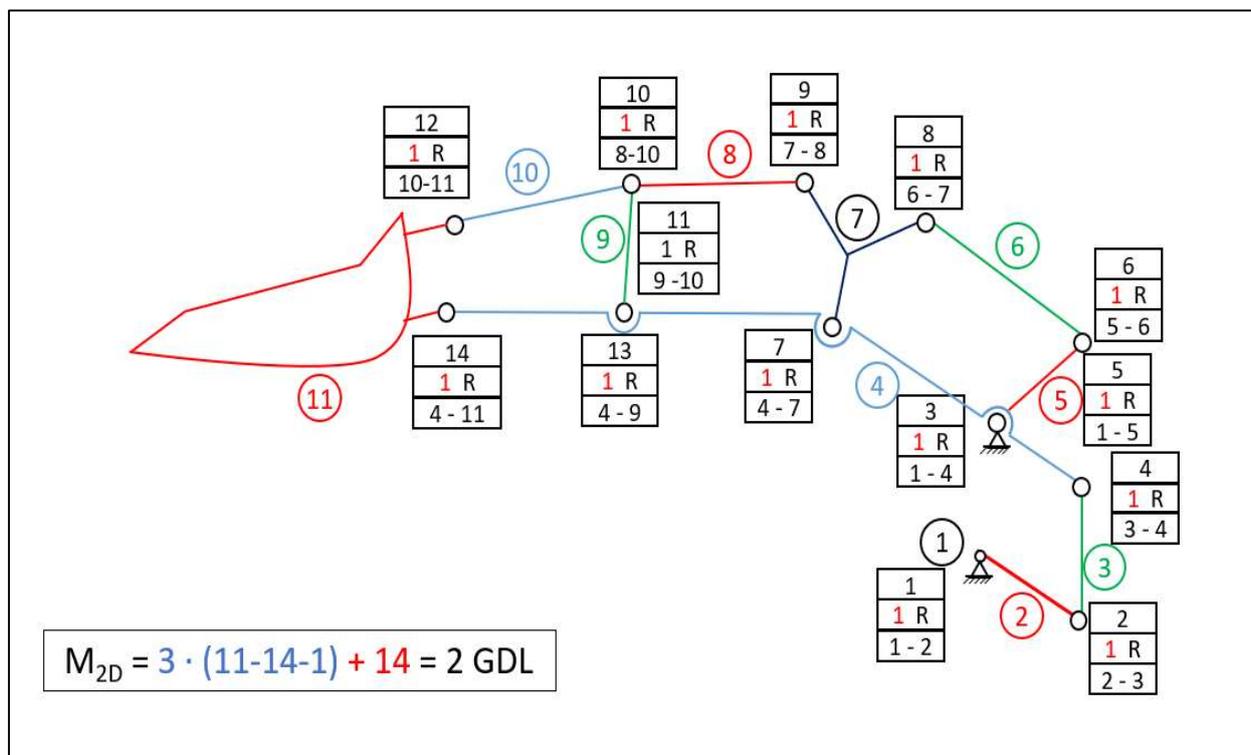
De nuevo y para mejorar el tiempo de procesamiento del ordenador al realizar la simulación, a la hora de establecer el contacto entre las ruedas y la base, se ha modificado la geometría de los neumáticos para que el contacto se dé entre superficies lisas.

9.4.2. Simulación de la cuchara delantera



(Fig.50. Montaje virtual de la cuchara delantera)

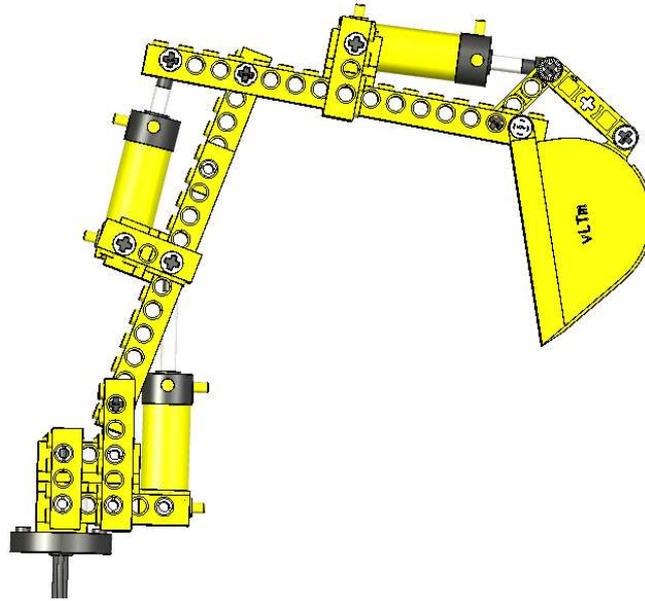
Para realizar esta simulación primeramente se hace un estudio del mecanismo plano.



(Fig.51. Diagrama cinemático de la cuchara delantera)

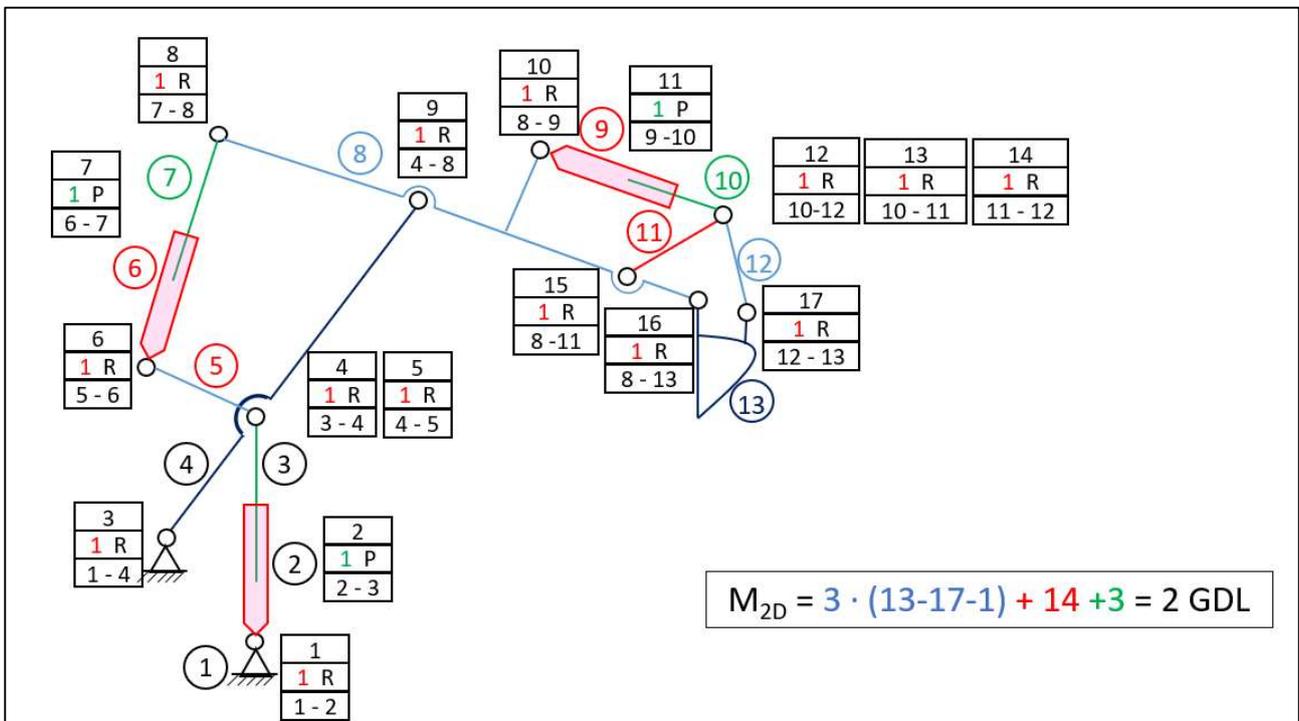
Haciendo uso de la fórmula de Gruebler para mecanismos bidimensionales se obtiene un total de 2 grados de libertad, correspondientes uno a la inclinación del brazo de la cuchara y el otro a la inclinación de la propia cuchara.

9.4.3. Simulación de la cuchara trasera



(Fig.52. Montaje virtual de la cuchara trasera)

De igual forma se realiza primeramente el estudio del mecanismo plano del mecanismo.



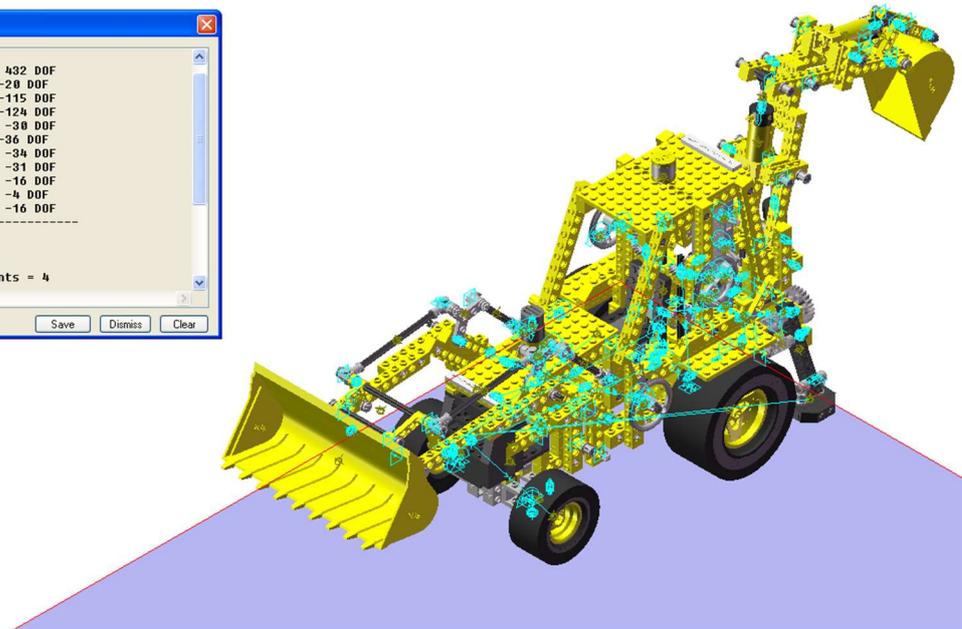
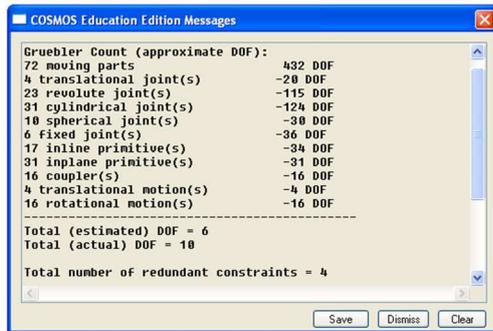
(Fig.53. Diagrama cinemático de la cuchara delantera)

Nuevamente se obtienen 2 grados de libertad al utilizar la fórmula de Gruebler para mecanismos planos que se corresponden con la inclinación del brazo y con la inclinación de la cuchara trasera, que tienen movimientos independientes.

9.4.4. Simulación final del modelo

Se puede pasar ya al establecimiento de los pares cinemáticos en el modelo tridimensional, ajustando los que sean necesarios para obtener los mecanismos auto-alineados.

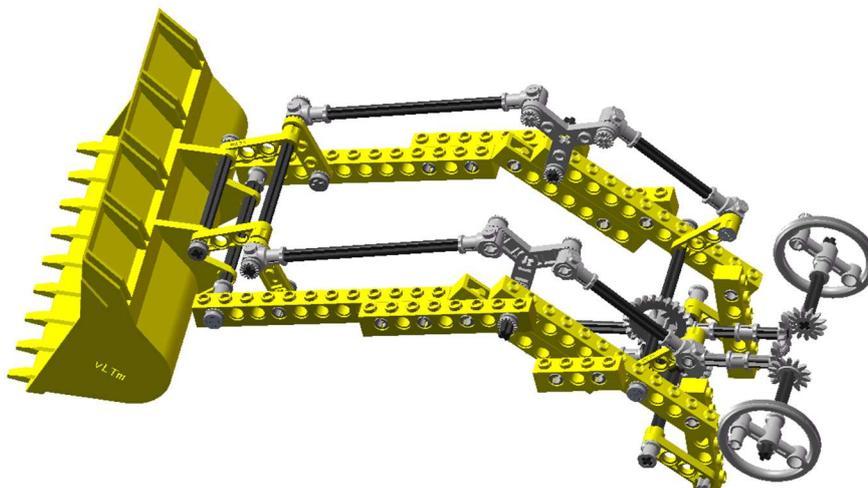
A estos pares cinemáticos se les puede imponer movimientos de forma que posteriormente en la simulación el movimiento de la máquina sea el buscado.



(Fig.54. Simulación sobre la base)

El modelo presenta un total de 10 grados de libertad. Estos se corresponden con los 6 que tiene el chasis del vehículo por el hecho de estar libre, con la libertad de giro que tiene cada una de las ruedas traseras, y con la libertad de giro que tiene que tener cada uno de los apoyos traseros para poder adaptarse a la hora de apoyarse en el suelo.

Como se puede observar hay un total de 4 restricciones en exceso que no pueden ser eliminadas del modelo. Esto es a causa del mecanismo de la cuchara delantera, que tiene 4 cuadriláteros que se repiten a ambos lados y que realizan la misma función, dando como consecuencia una restricción en exceso por cada cuadrilátero repetido.



(Fig.55. Mecanismo de la cuchara delantera)

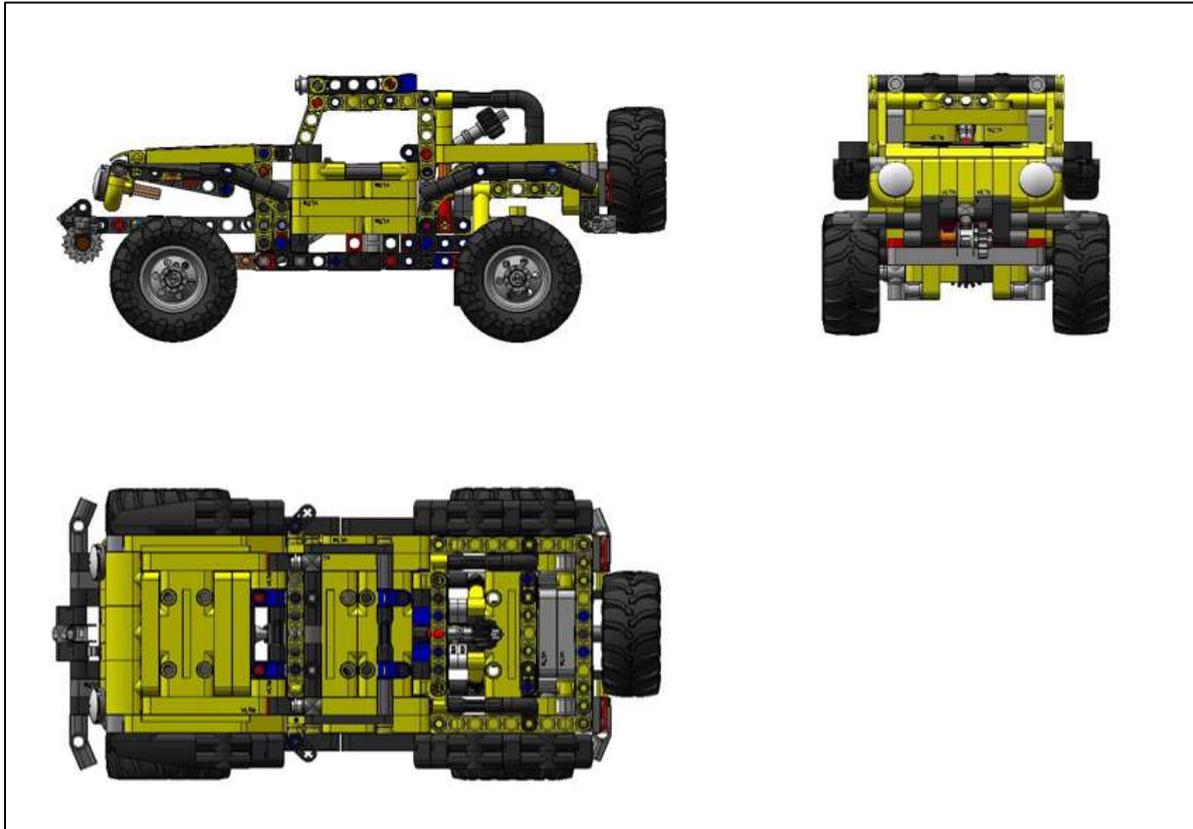
9.5. Modelo 42122-1.



(Fig.56. Modelo 42122-1 real. Obtenido de lego.com)



(Fig.57. Modelo 42122-1 virtual)



(Fig.58. Vistas del modelo)

El modelo Lego© Technic 42122 es una representación detallada de un vehículo de la marca Jeep, en concreto el modelo Jeep Wrangler. Se ha virtualizado con Solid Works 2007 y simulado haciendo uso del complemento Cosmos Motion.

9.5.1. Componentes

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	2	25214	Black Brick, Round 1 x 1 d. 90 Degree Elbow Macaroni - No Stud - Type 2 - Axle Hole
	1	x77ac50	Black String, Cord Thin 50cm
	2	99010	Black Technic Turntable 28 Tooth, Top
	8	18651	Black Technic, Axle 2L with Pin with Friction Ridges
	4	3705	Black Technic, Axle 4L
	2	32034	Black Technic, Axle and Pin Connector Angled #2 - 180 degrees
	12	32192	Black Technic, Axle and Pin Connector Angled #4 - 135 degrees
	2	10197	Black Technic, Axle and Pin Connector Hub with 2 Perpendicular Axles
	9	32184	Black Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular 3L with Center Pin Hole

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	2	92907	Black Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Split
	8	26287	Black Technic, Axle Connector 3L
	1	32270	Black Technic, Gear 12 Tooth Double Bevel
	37	60483	Black Technic, Liftarm Thick 1 x 2 - Axle Hole
	2	32316	Black Technic, Liftarm Thick 1 x 5
	2	32524	Black Technic, Liftarm Thick 1 x 7
	2	11478	Black Technic, Liftarm Thin 1 x 5 - Axle Holes
	6	32140	Black Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 2 x 4
	2	32526	Black Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5
	2	60484	Black Technic, Liftarm, Modified T-Shape Thick 3 x 3

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	1	11946	Black Technic, Panel Fairing #21 Very Small Smooth,
	1	11947	Black Technic, Panel Fairing #22 Very Small Smooth, Side A
	1	71709	Black Technic, Panel Plate 3 x 7 x 1
	2	39793	Black Technic, Pin Connector Block, Liftarm 1 x 3 x 3
	87	2780	Black Technic, Pin with Friction Ridges
	2	15100	Black Technic, Pin with Friction Ridges and Pin Hole
	1	2819	Black Technic, Steering Wheel Small, 3 Studs Diameter
	5	70695	Black Tire 56 x 26 Tractor
	30	43093	Blue Technic, Axle 1L with Pin with Friction Ridges
	1	44	Blue Technic, Axle and Pin Connector Toggle Joint Smooth

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	6	32523	Blue Technic, Liftarm Thick 1 x 3
	72	6558	Blue Technic, Pin 3L with Friction Ridges
	1	30395	Dark Bluish Gray Hook Tow Ball
	2	15092	Dark Bluish Gray Plate, Modified 2 x 2 with Pins on Bottom
	4	87083	Dark Bluish Gray Technic, Axle 4L with Stop
	2	32209	Dark Bluish Gray Technic, Axle 5.5L with Stop
	4	32016	Dark Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Angled #3 - 157.5 degrees
	5	27940	Dark Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Hub with 2 Axles
	8	18654	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 1 (Spacer)
	6	32316	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 5

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	2	32524	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 7
	5	40490	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 9
	4	41239	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 13
	6	32526	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5
	2	15535	Dark Bluish Gray Tile, Round 2 x 2 with Hole
	2	6587	Dark Tan Technic, Axle 3L with Stud
	5	56145	Flat Silver Wheel 30.4mm D. x 20mm with No Pin Holes and Reinforced
	1	61510	Light Bluish Gray String Reel 2 x 1 x 2 Drum with Axle Hole
	12	3713	Light Bluish Gray Technic Bush
	2	99009	Light Bluish Gray Technic Turntable 28 Tooth, Base

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	1	6553	Light Bluish Gray Technic, Axle 2L with Reverser Handle Axle Connector
	3	32073	Light Bluish Gray Technic, Axle 5L
	5	22961	Light Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Hub with 1 Axle
	6	6536	Light Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular
	5	63869	Light Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Triple
	7	6538c	Light Bluish Gray Technic, Axle Connector 2L (Smooth with x Hole + Orientation)
	1	94925	Light Bluish Gray Technic, Gear 16 Tooth (Second Version - Reinforced)
	4	6632	Light Bluish Gray Technic, Liftarm Thin 1 x 3 - Axle Holes
	2	14720	Light Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified H-Shape Thick 3 x 5 Perpendicular
	14	4274	Light Bluish Gray Technic, Pin 1/2 without Friction Ridges

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	4	48989	Light Bluish Gray Technic, Pin Connector Perpendicular 3L with 4 Pins
	2	3673	Light Bluish Gray Technic, Pin without Friction Ridges
	1	62520c01(Inv)	Light Bluish Gray Technic, Universal Joint 3L
	17	32054	Orange Technic, Pin 3L with Friction Ridges and Stop Bush
	19	11214	Red Technic, Axle 1L with Pin 2L with Friction Ridges
	24	32062	Red Technic, Axle 2L Notched
	2	32039	Red Technic, Axle Connector with Axle Hole
	2	32449	Red Technic, Liftarm Thin 1 x 4 - Axle Holes
	1	32526	Red Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5
	6	60484	Red Technic, Liftarm, Modified T-Shape Thick 3 x 3
	2	87082	Red Technic, Pin 3L with Friction Ridges and Center Pin Hole
	2	6628a	Red Technic, Pin with Friction Ridges and Tow Ball with Round Pin Hole
	3	15462	Reddish Brown Technic, Axle 5L with Stop
	6	3749	Tan Technic, Axle 1L with Pin without Friction Ridges
	2	32002	Tan Technic, Pin 3/4
	2	32556	Tan Technic, Pin 3L without Friction Ridges

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	2	4073	Trans-Clear Plate, Round 1 x 1
	2	2654	Trans-Clear Plate, Round 2 x 2 with Rounded Bottom (Boat Stud)
	4	3069b	Trans-Red Tile 1 x 2 with Groove
	4	41677	White Technic, Liftarm Thin 1 x 2 - Axle Holes
	2	25214	Yellow Brick, Round 1 x 1 d. 90 Degree Elbow Macaroni - No Stud - Type 2 - Axle Hole
	11	4265c	Yellow Technic Bush 1/2 Smooth
	2	2853	Yellow Technic Engine Crankshaft
	24	4519	Yellow Technic, Axle 3L
	2	44294	Yellow Technic, Axle 7L
	5	32013	Yellow Technic, Axle and Pin Connector Angled #1
	2	42003	Yellow Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular 3L with 2 Pin Holes
	2	32291	Yellow Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Double
	2	6538c	Yellow Technic, Axle Connector 2L (Smooth with x Hole + Orientation)

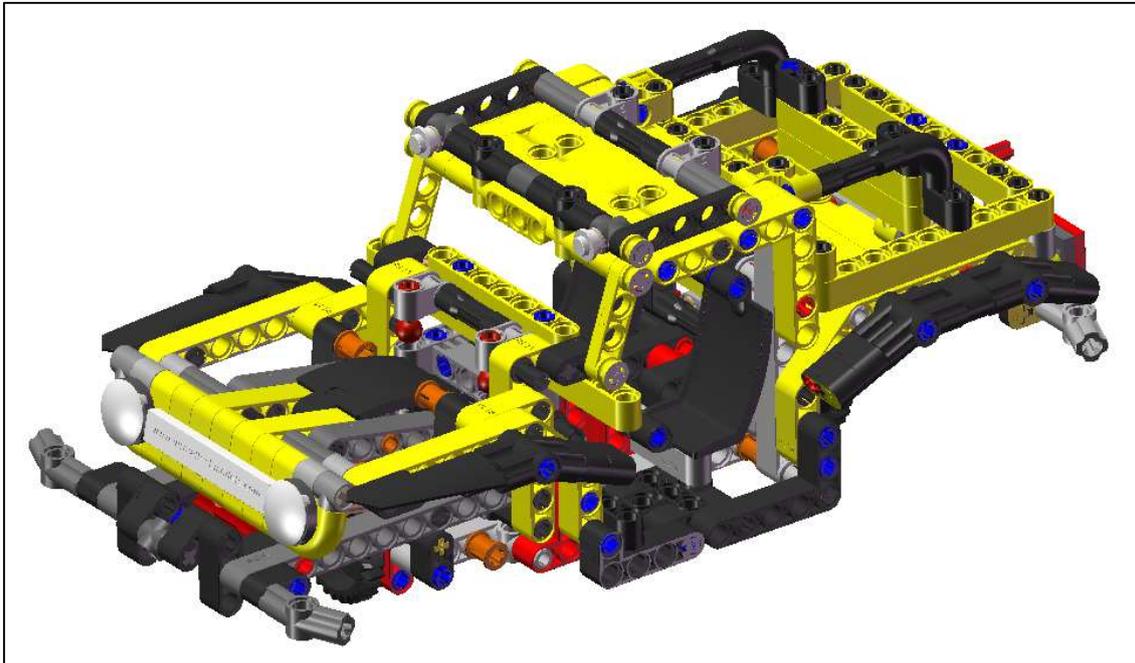
Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	3	71682	Yellow Technic, Panel Curved 2 x 3 x 1
	3	71709	Yellow Technic, Panel Plate 3 x 7 x 1
	2	44809	Yellow Technic, Pin Connector Perpendicular 2 x 2 Bent
	3	15100	Yellow Technic, Pin with Friction Ridges and Pin Hole
	2	731c04(inv)	Yellow Technic, Shock Absorber 6.5L - Hard Spring, Tight Coils in Middle
	2	6636	Yellow Tile 1 x 6
	1	2780	Black Technic, Pin with Friction Ridges
	1	18654	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 1 (Spacer)
	1	3713	Light Bluish Gray Technic Bush
	1	4274	Light Bluish Gray Technic, Pin 1/2 without Friction Ridges
	1	3673	Light Bluish Gray Technic, Pin without Friction Ridges

Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	6	32523	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 3
	5	32523pb22	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 3 with Silver and Black Grille Pattern
	2	32316	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 5
	12	32524	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 7
	3	40490	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 9
	1	32525	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 11
	1	41239	Yellow Technic, Liftarm Thick 1 x 13
	2	32449	Yellow Technic, Liftarm Thin 1 x 4 - Axle Holes
	4	32009	Yellow Technic, Liftarm Modified Bent Thick 1 x 11.5 Double Yellow
	9	32140	Yellow Technic, Liftarm Modified Bent Thick L-Shape 2 x 4
	4	32526	Yellow Technic, Liftarm Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5
	2	32526pb023	Yellow Technic, Liftarm Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5 with Silver and Black Grille Pattern

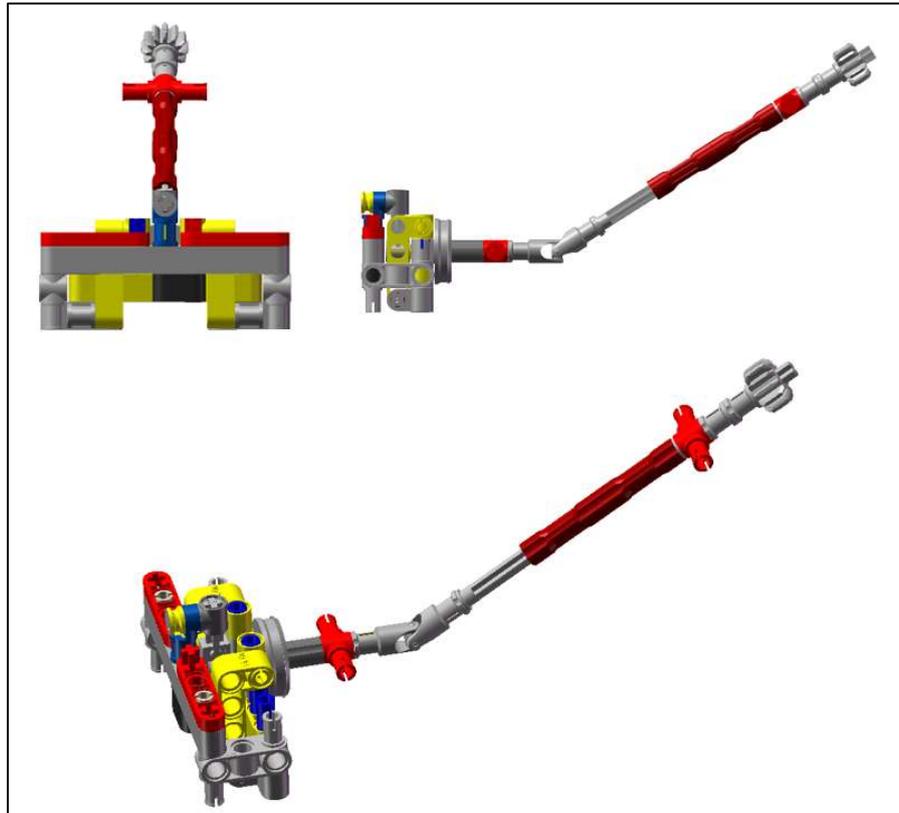
Imagen	Nº piezas	Identificativo	Descripción
	1	32002	Tan Technic, Pin 3/4
	1	4073	Trans-Clear Plate, Round 1 x 1
	1	4265c	Yellow Technic Bush 1/2 Smooth
	5	56145c06(inv)	Flat Silver Wheel 30.4mm D. x 20mm with No Pin Holes and Reinforced Rim with Black Tire 56 x 26 Tractor (56145 / 70695)
	2	99009c01(inv)	Light Bluish Gray Technic Turntable 28 Tooth with Black Top (99009 / 99010)

(Fig.59. Tabla de componentes. Obtenido de bricklink.com)

9.5.2. Montaje

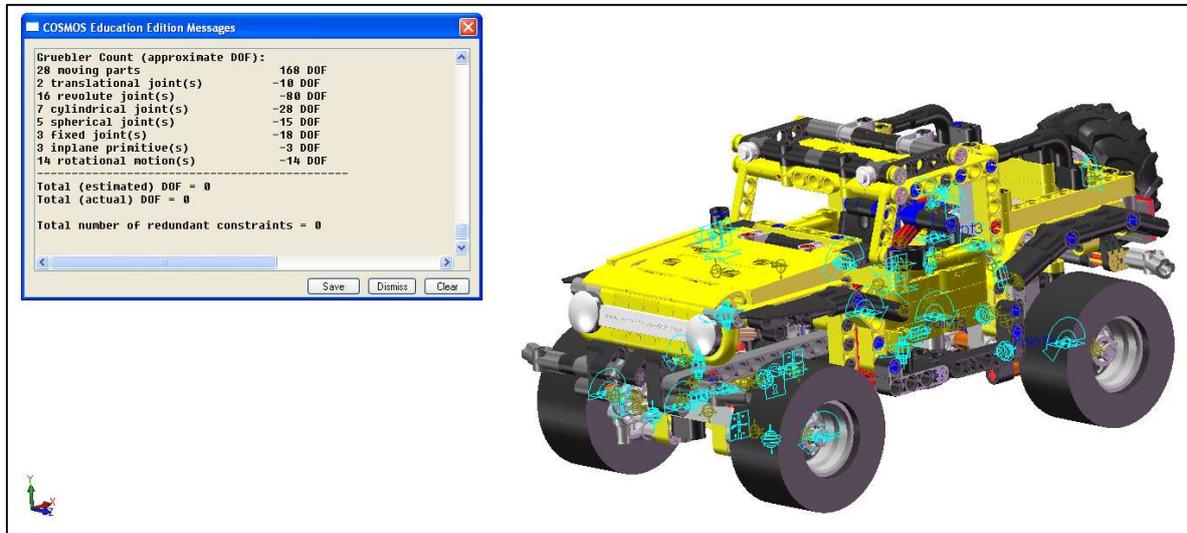


(Fig.60. Chasis del modelo)



(Fig.61. Sistema de direcció del vehicle)

9.5.3. Auto-alineamiento del modelo

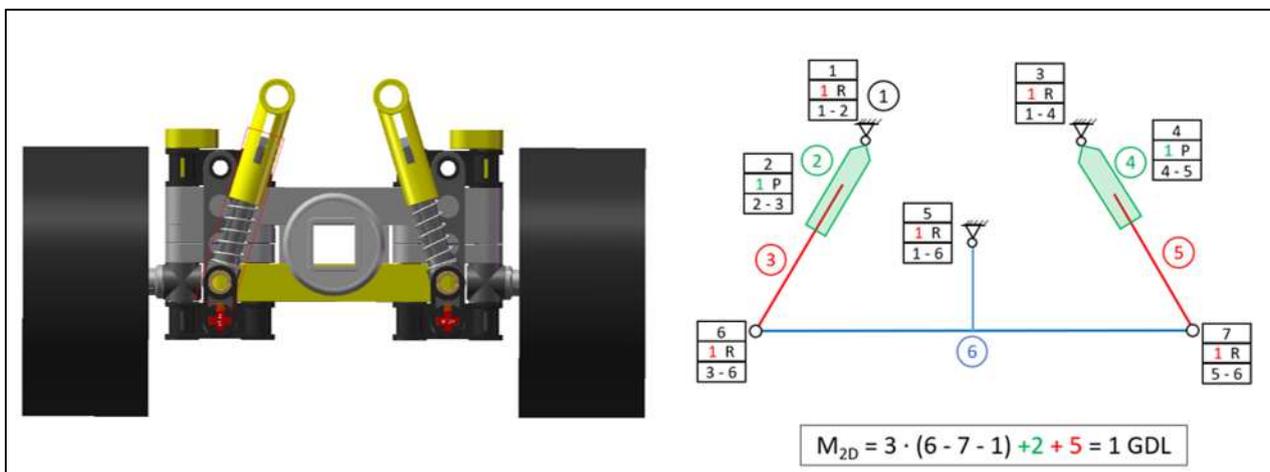


(Fig.62. Análisis cinemático del modelo)

Previamente a realizar la simulación con Cosmos del modelo completamente ensamblado, hay que establecer todos los pares cinemáticos existentes entre los distintos componentes del vehículo.

Habiendo hecho esto y sin tener en cuenta el movimiento relativo del propio vehículo con respecto de la base, el modelo presenta un total de 12 grados de libertad, y estableciendo los movimientos en los pares cinemáticos pertinentes para conseguir el movimiento deseado, estos grados de libertad pasan a ser 2, correspondientes a la rotación de los ejes de las ruedas que tienen que poder moverse libremente ante cualquier posible desnivel en el terreno.

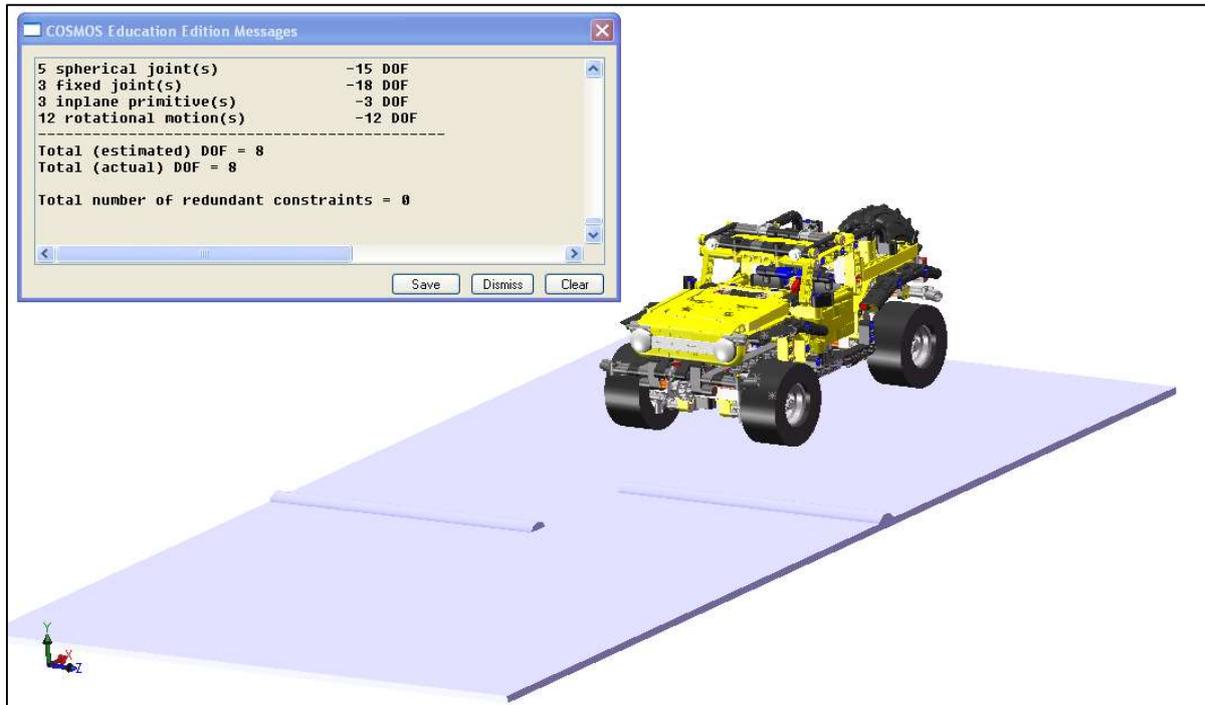
Como ambos ejes pueden girar libremente con respecto del chasis del vehículo, en cualquier perturbación la carrocería se inclinaría hacia uno de los lados por el efecto de la gravedad y no volvería a su posición. Para remediarlo, el coche tiene amortiguadores de muelles en el eje de las ruedas traseras, que permite mantener al coche horizontal al suelo a la vez que permite mitigar el impacto contra desniveles de un eje sin ningún tipo de amortiguación.



(Fig.63. Diagrama cinemático de la suspensión trasera)

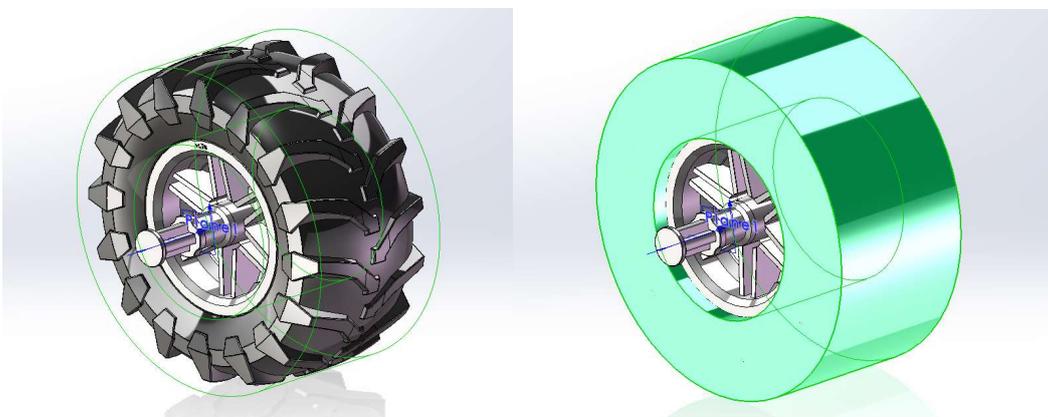
Para que la máquina quede auto-alineada los pares cinemáticos deben seleccionarse y disponerse de forma que no haya restricciones en exceso. Utilizando los cojinetes definidos conseguiremos el movimiento deseado maximizando la vida útil del vehículo.

9.5.4. Simulación sobre la base



(Fig.64. Vista del modelo con la base)

Una vez incluimos la base en la simulación y establecemos el chasis como parte móvil se añaden los grados de libertad asociados a los seis posibles movimientos que puede tener la carrocería con respecto a la parte fija. Con ello pasamos de tener los 2 grados de libertad de los ejes a tener 8. Para limitar el movimiento en vertical del vehículo y que no tenga interacción con la base, hace falta incluir su contacto con las ruedas. Para hacerlo lo conveniente es simplificar la geometría de las ruedas para facilitar el proceso de simulación al programa.



(Fig.65. Simplificación geometría de las ruedas)

De esta forma el Cosmos Motion pasa de estudiar el contacto entre la base y una superficie rugosa a hacerlo con una superficie lisa, acelerando todo el proceso.

9.6. Modelo 42080-1.

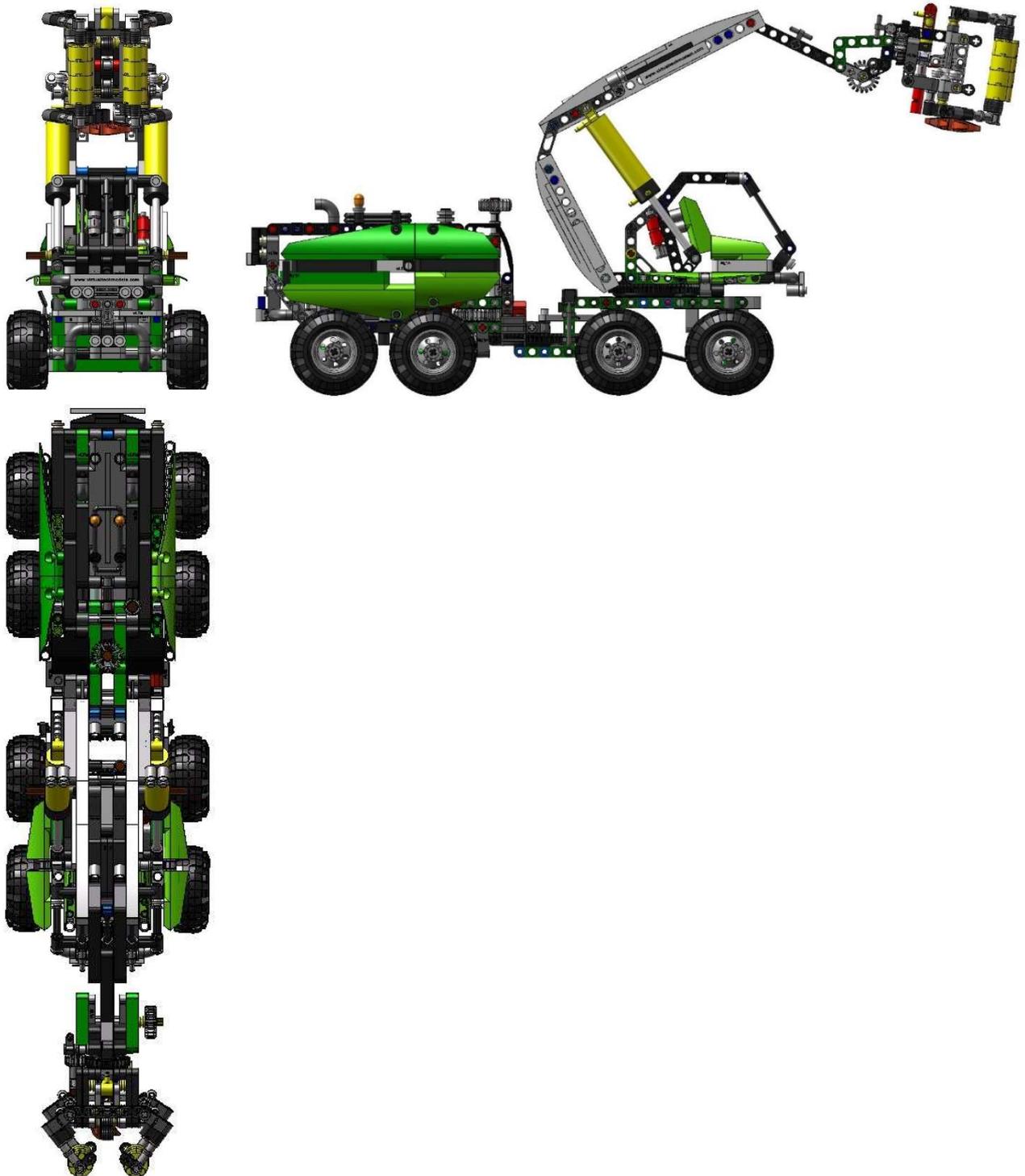


(Fig.66. Modelo 42080-1 real. Obtenido de lego.com)



(Fig.67. Modelo 42080-1 virtual)

José Guillem Navajas



(Fig.68. Vistas del modelo)

El modelo 42080-1 es una representación de una máquina forestal, siendo capaz de talar madera y almacenarla.

Ha sido virtualizado con Solid Works 2007 y simulado haciendo uso del complemento Cosmos Motion.

9.6.1. Componentes

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	2	23444	Black Bar 1 x 6 x 3 with 4 Studs
	2	5102c10	Black Hose, Pneumatic 4mm D. 10L / 8.0cm
	1	5102c13	Black Hose, Pneumatic 4mm D. 13L / 10.4cm
	1	5102c40	Black Hose, Pneumatic 4mm D. 40L / 32.0cm
	1	21766	Black Hose, Pneumatic 4mm D. V2 Precut 6L / 4.8cm
	3	75c06	Black Hose, Rigid 3mm D. 6L / 4.8cm
	1	3835	Black Minifigure, Utensil Axe
	3	3666	Black Plate 1 x 6
	1	3021	Black Plate 2 x 3
	6	61409	Black Slope 18 2 x 1 x 2/3 with Grille
	4	32072	Black Technic Knob Cog / Gear / Wheel
	1	99010	Black Technic Turntable 28 Tooth, Top
	2	18938	Black Technic Turntable 60 Tooth, Top
	2	18651	Black Technic, Axle 2L with Pin with Friction Ridges
	11	3705	Black Technic, Axle 4L
	14	32013	Black Technic, Axle and Pin Connector Angled #1
	5	32184	Black Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular 3L with Center Pin Hole

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	8	32291	Black Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Double
	2	92907	Black Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Split
	2	63869	Black Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Triple
	4	6538c	Black Technic, Axle Connector 2L (Smooth with x Hole + Orientation)
	6	45590	Black Technic, Axle Connector Double - Flexible Rubber
	2	32270	Black Technic, Gear 12 Tooth Double Bevel
	4	32269	Black Technic, Gear 20 Tooth Double Bevel
	15	60483	Black Technic, Liftarm Thick 1 x 2 - Axle Hole
	10	32524	Black Technic, Liftarm Thick 1 x 7
	16	11478	Black Technic, Liftarm Thin 1 x 5 - Axle Holes
	2	32348	Black Technic, Liftarm, Modified Bent Thick 1 x 7 (4 - 4)
	9	32271	Black Technic, Liftarm, Modified Bent Thick 1 x 9 (7 - 3)
	10	32140	Black Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 2 x 4
	1	32293	Black Technic, Link 1 x 9
	2	24116	Black Technic, Panel Curved 3 x 5 x 3
	92	2780	Black Technic, Pin with Friction Ridges

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	3	6628	Black Technic, Pin with Friction Ridges and Tow Ball (Undetermined Type)
	1	26603	Black Tile 2 x 3
	8	55976	Black Tire 56 x 26 Balloon
	1	5102c27	Blue Hose, Pneumatic 4mm D. 27L / 21.6cm
	2	26445	Blue Hose, Pneumatic 4mm D. V2 Precut 4L / 3.2cm
	1	37461	Blue Hose, Pneumatic 4mm D. V2 Precut 14L / 11.2cm
	1	bb0875	Blue Pneumatic Pump Small (6L) V2 with Reinforced Cylinder
	30	43093	Blue Technic, Axle 1L with Pin with Friction Ridges
	4	41677	Blue Technic, Liftarm Thin 1 x 2 - Axle Holes
	1	24116	Blue Technic, Panel Curved 3 x 5 x 3
	42	6558	Blue Technic, Pin 3L with Friction Ridges
	4	48729b	Dark Bluish Gray Bar 1L with Clip Mechanical Claw - Cut Edges and Hole on Side
	1	30104	Dark Bluish Gray Chain 21 Links (16-17L)
	2	4175	Dark Bluish Gray Ladder 1 1/2 x 2 x 2
	1	3837	Dark Bluish Gray Minifigure, Utensil Shovel (Round Stem End)
	1	6117	Dark Bluish Gray Minifigure, Utensil Tool Chainsaw Blade
	4	99021	Dark Bluish Gray Pneumatic Hose Connector with Axle Connector

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	1	61403	Dark Bluish Gray Technic Circular Saw Blade 9 x 9 with Pin Hole and Teeth in Same Direction
	7	87083	Dark Bluish Gray Technic, Axle 4L with Stop
	3	10197	Dark Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Hub with 2 Perpendicular Axles
	20	42003	Dark Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular 3L with 2 Pin Holes
	11	18654	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 1 (Spacer)
	3	32316	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 5
	2	32065	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thin 1 x 7
	2	6629	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Bent Thick 1 x 9 (6 - 4)
	4	32009	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Bent Thick 1 x 11.5 Double
	6	32526	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5
	5	60484	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified T-Shape Thick 3 x 3
	2	11946	Dark Bluish Gray Technic, Panel Fairing #21 Very Small Smooth, Side B
	2	11947	Dark Bluish Gray Technic, Panel Fairing #22 Very Small Smooth, Side A
	1	15458	Dark Bluish Gray Technic, Panel Plate 3 x 11 x 1
	4	2431	Dark Bluish Gray Tile 1 x 4
	2	60474	Dark Brown Plate, Round 4 x 4 with Hole

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	4	3062b	Dark Orange Brick, Round 1 x 1 Open Stud
	3	98585	Dark Orange Technic, Axle Connector Block Round with 2 Pin Holes and 3 Axle Holes (Hero Factory Weapon Barrel)
	1	4073	Flat Silver Plate, Round 1 x 1
	8	56145	Flat Silver Wheel 30.4mm D. x 20mm with No Pin Holes and Reinforced Rim
	12	40490	Green Technic, Liftarm Thick 1 x 9
	4	32278	Green Technic, Liftarm Thick 1 x 15
	8	32526	Green Technic, Liftarm, Modified Bent Thick L-Shape 3 x 5
	1	64683	Green Technic, Panel Fairing # 3 Small Smooth Long, Side A
	1	64391	Green Technic, Panel Fairing # 4 Small Smooth Long, Side B
	1	64681	Green Technic, Panel Fairing # 5 Long Smooth, Side A
	1	64393	Green Technic, Panel Fairing # 6 Long Smooth, Side B
	1	30374	Light Bluish Gray Bar 4L (Lightsaber Blade / Wand)
	1	59510c01(inv)	Light Bluish Gray Electric 9V Battery Box 4 x 11 x 7 PF with Orange Switch and Dark Bluish Gray Covers
	1	99499c01	Light Bluish Gray Electric, Motor 9V Power Functions L with Dark Bluish Gray Bottom
	4	21767	Light Bluish Gray Hose, Pneumatic 4mm D. V2 Precut 10L / 8.0cm
	1	37461	Light Bluish Gray Hose, Pneumatic 4mm D. V2 Precut 14L / 11.2cm
	1	26438	Light Bluish Gray Hose, Pneumatic 4mm D. V2 Precut 40L / 32.0cm

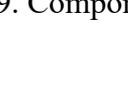
Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	2	bb0874	Light Bluish Gray Pneumatic Switch with Pin Holes and Axle Hole
	3	4697b	Light Bluish Gray Pneumatic T Piece Second Version (T Bar with Ball in Center)
	33	3713	Light Bluish Gray Technic Bush
	1	99009	Light Bluish Gray Technic Turntable 28 Tooth, Base
	2	18939	Light Bluish Gray Technic Turntable 60 Tooth, Base
	1	2736	Light Bluish Gray Technic, Axle 1L with Tow Ball
	18	32073	Light Bluish Gray Technic, Axle 5L
	8	60485	Light Bluish Gray Technic, Axle 9L
	7	32034	Light Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Angled #2 - 180 degrees
	17	6536	Light Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular
	6	41678	Light Bluish Gray Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular Double Split
	5	26287	Light Bluish Gray Technic, Axle Connector 3L
	15	32039	Light Bluish Gray Technic, Axle Connector with Axle Hole
	7	32063	Light Bluish Gray Technic, Liftarm Thin 1 x 6
	4	32056	Light Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Bent Thin L-Shape 3 x 3
	2	33299	Light Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Crank / Pin 1 x 3 - Axle Holes

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	1	64179	Light Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Frame Thick 5 x 7 Open Center
	6	99773	Light Bluish Gray Technic, Liftarm, Modified Triangle Thin 3 x 5 with Short Supports
	58	4274	Light Bluish Gray Technic, Pin 1/2 without Friction Ridges
	5	48989	Light Bluish Gray Technic, Pin Connector Perpendicular 3L with 4 Pins
	13	15100	Light Bluish Gray Technic, Pin with Friction Ridges and Pin Hole
	5	3673	Light Bluish Gray Technic, Pin without Friction Ridges
	1	2412b	Light Bluish Gray Tile, Modified 1 x 2 Grille with Bottom Groove / Lip
	1	42610	Light Bluish Gray Wheel 11mm D. x 8mm with Center Groove
	1	64683	Lime Technic, Panel Fairing # 3 Small Smooth Long, Side A
	1	64391	Lime Technic, Panel Fairing # 4 Small Smooth Long, Side B
	1	64681	Lime Technic, Panel Fairing # 5 Long Smooth, Side A
	1	64393	Lime Technic, Panel Fairing # 6 Long Smooth, Side B
	2	11946	Lime Technic, Panel Fairing #21 Very Small Smooth, Side B
	2	11947	Lime Technic, Panel Fairing #22 Very Small Smooth, Side A
	1	3062b	Medium Azure Brick, Round 1 x 1 Open Stud
	1	4073	Medium Azure Plate, Round 1 x 1
	2	60483	Orange Technic, Liftarm Thick 1 x 2 - Axle Hole
	10	25214	Pearl Dark Gray Brick, Round 1 x 1 d. 90 Degree Elbow Macaroni - No Stud - Type 2 - Axle Hole

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	2	3062b	Red Brick, Round 1 x 1 Open Stud
	1	98368	Red Minifigure, Utensil Toolbox
	8	3713	Red Technic Bush
	19	11214	Red Technic, Axle 1L with Pin 2L with Friction Ridges
	22	32062	Red Technic, Axle 2L Notched
	6	42003	Red Technic, Axle and Pin Connector Perpendicular 3L with 2 Pin Holes
	1	32523	Red Technic, Liftarm Thick 1 x 3
	8	6632	Red Technic, Liftarm Thin 1 x 3 - Axle Holes
	7	87082	Red Technic, Pin 3L with Friction Ridges and Center Pin Hole
	18	32054	Red Technic, Pin 3L with Friction Ridges and Stop Bush
	2	62462	Red Technic, Pin Connector Round 2L with Slot (Pin Joiner Round)
	24	92947	Reddish Brown Brick, Round 2 x 2 with Axle Hole and Grille / Fluted Profile
	4	24316	Reddish Brown Technic, Axle 3L with Stop
	10	15462	Reddish Brown Technic, Axle 5L with Stop
	9	3749	Tan Technic, Axle 1L with Pin without Friction Ridges
	2	99008	Tan Technic, Axle 4L with Center Stop

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	2	32269	Tan Technic, Gear 20 Tooth Double Bevel
	5	32002	Tan Technic, Pin 3/4
	1	32556	Tan Technic, Pin 3L without Friction Ridges
	17	4073	Trans-Clear Plate, Round 1 x 1
	2	58176	Trans-Orange Bar with Light Cover (Bulb) / Bionicle Barraki Eye
	2	85861	Trans-Orange Plate, Round 1 x 1 with Open Stud
	2	4073	Trans-Red Plate, Round 1 x 1
	4	3023	White Plate 1 x 2
	6	3666	White Plate 1 x 6
	4	61678	White Slope, Curved 4 x 1
	4	85970	White Slope, Curved 10 x 1
	2	3701	White Technic, Brick 1 x 4 with Holes
	2	3895	White Technic, Brick 1 x 12 with Holes
	2	3703	White Technic, Brick 1 x 16 with Holes
	2	32316	White Technic, Liftarm Thick 1 x 5
	3	32524	White Technic, Liftarm Thick 1 x 7
	2	32525	White Technic, Liftarm Thick 1 x 11

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	2	32449	White Technic, Liftarm Thin 1 x 4 - Axle Holes
	4	2431	White Tile 1 x 4
	8	27266	Yellow Brick, Round 2 x 2 with Spikes and Axle Hole
	1	3899	Yellow Minifigure, Utensil Cup
	1	19475c01	Yellow Pneumatic Cylinder V2 1 x 5
	2	19467c01	Yellow Pneumatic Cylinder V2 2 x 11
	21	4265c	Yellow Technic Bush 1/2 Smooth
	21	4519	Yellow Technic, Axle 3L
	14	44294	Yellow Technic, Axle 7L
	1	75c06	Black Hose, Rigid 3mm D. 6L / 4.8cm
	1	2780	Black Technic, Pin with Friction Ridges
	1	43093	Blue Technic, Axle 1L with Pin with Friction Ridges
	1	48729b	Dark Bluish Gray Bar 1L with Clip Mechanical Claw - Cut Edges and Hole on Side
	1	18654	Dark Bluish Gray Technic, Liftarm Thick 1 x 1 (Spacer)
	1	4073	Flat Silver Plate, Round 1 x 1
	1	4697b	Light Bluish Gray Pneumatic T Piece Second Version (T Bar with Ball in Center)

Imagen	Nº Piezas	Identificativo Pieza	Descripción
	1	3713	Light Bluish Gray Technic Bush
	1	4274	Light Bluish Gray Technic, Pin 1/2 without Friction Ridges
	1	3673	Light Bluish Gray Technic, Pin without Friction Ridges
	1	4073	Medium Azure Plate, Round 1 x 1
	1	3713	Red Technic Bush
	1	32002	Tan Technic, Pin 3/4
	1	4073	Trans-Clear Plate, Round 1 x 1
	1	58176	Trans-Orange Bar with Light Cover (Bulb) / Bionicle Barraki Eye
	1	85861	Trans-Orange Plate, Round 1 x 1 with Open Stud
	1	4073	Trans-Red Plate, Round 1 x 1
	1	4265c	Yellow Technic Bush 1/2 Smooth
	8	56145c02(inv)	Flat Silver Wheel 30.4mm D. x 20mm with No Pin Holes and Reinforced Rim with Black Tire 56 x 26 Balloon (56145 / 55976)
	1	99009c01(inv)	Light Bluish Gray Technic Turntable 28 Tooth with Black Top (99009 / 99010)
	2	18939c01(inv)	Light Bluish Gray Technic Turntable 60 Tooth with Black Top (18939 / 18938)

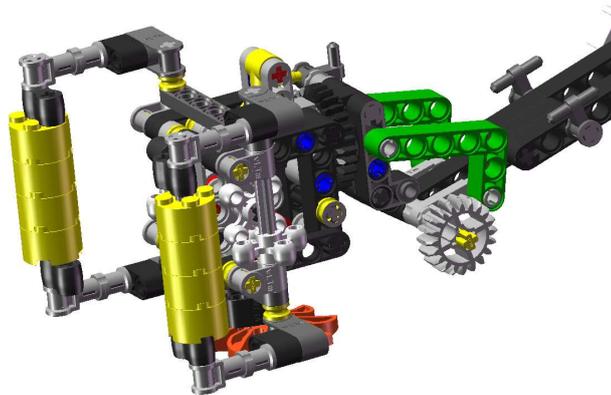
(Fig.69. Componentes del modelo. Obtenido de bricklink.com)

9.6.2. Montaje

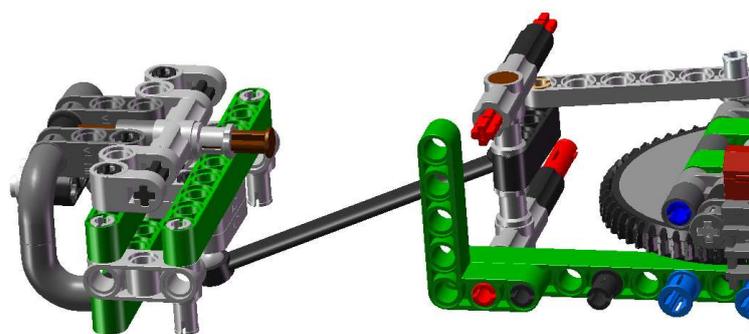


(Fig.70. Conjunto de piezas del modelo)

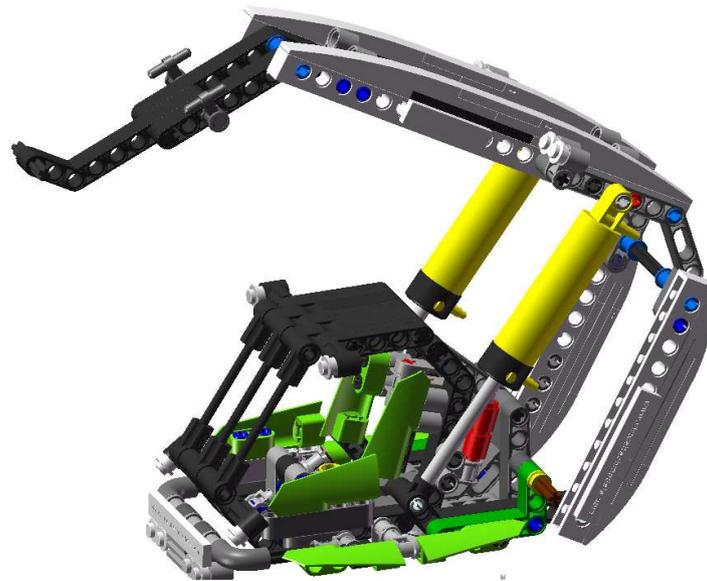
El modelo presenta un total de 1031 componentes agrupadas de forma que formen 48 piezas diferentes unidas entre sí por diversos tipos pares cinemáticos.



(Fig.71. Mecanismo de abrazaderas y corte)

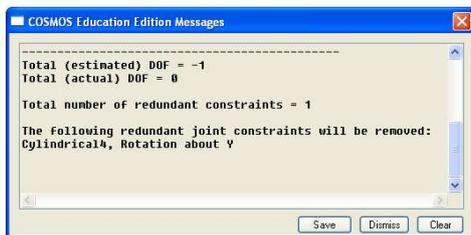


(Fig.72. Mecanismo de giro de las ruedas)



(Fig.73. Mecanismo del brazo)

9.6.3. Auto-alineamiento del modelo

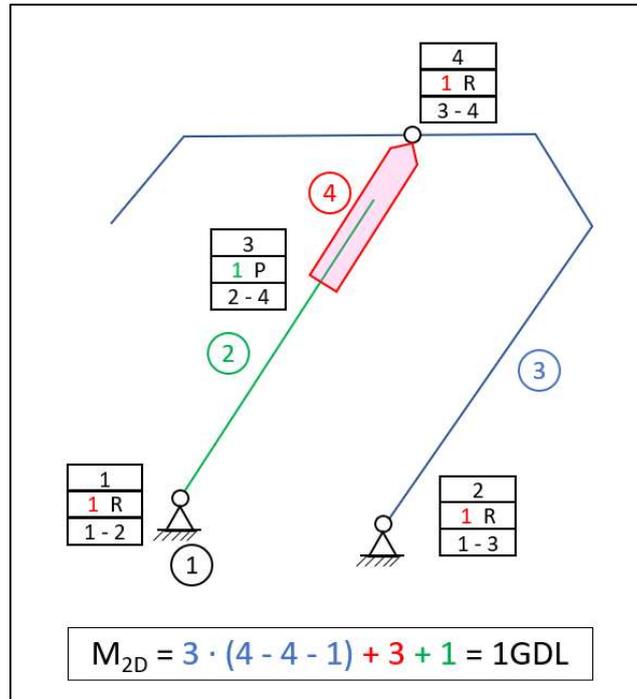


(Fig.74. Análisis cinemático del modelo)

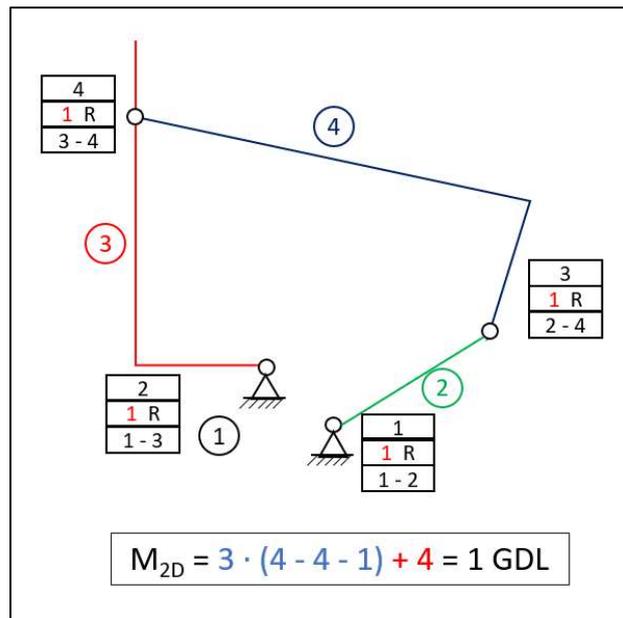
Habiendo realizado todo el proceso de montaje se establecen nuevamente todos los pares cinemáticos del modelo.

Para ello se hacen en primer lugar los diagramas cinemáticos de todos los mecanismos planos que tiene la máquina para luego trasladarlos a las tres dimensiones.

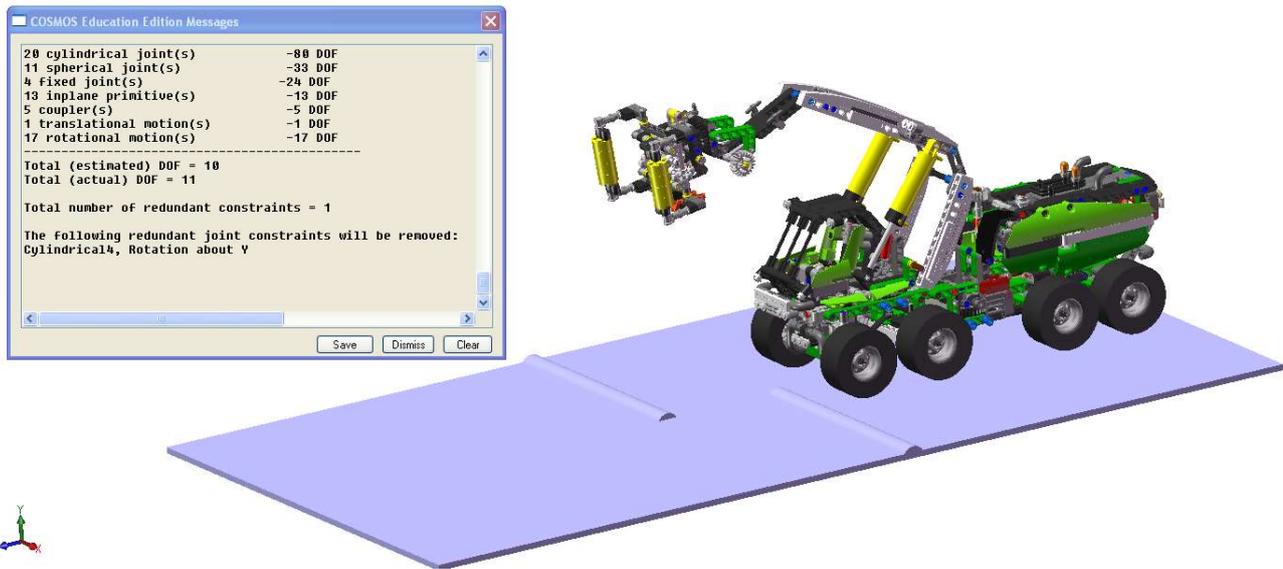
Los mecanismos planos que presenta el vehículo son tres, correspondientes a la inclinación del brazo, la inclinación de la garra y el giro de las ruedas.



(Fig.75. Diagrama cinemático del brazo)



(Fig.76. Diagrama cinemático inclinación de la garra)



(Fig.78. Simulación del modelo sobre la base)

Para hacer una simulación que represente los movimientos de la máquina lo más fielmente posible, se ha realizado un proceso de búsqueda de información acerca de las posibilidades que un vehículo de este tipo ofrece.

10. VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Todo el proceso de creación y simulación hasta ahora se realiza con la versión del 2007 de Solid Works haciendo uso del complemento Cosmos Motion. Sin embargo, resulta interesante para el proyecto poder disponer de las simulaciones obtenidas en forma de archivos fácilmente visualizables.

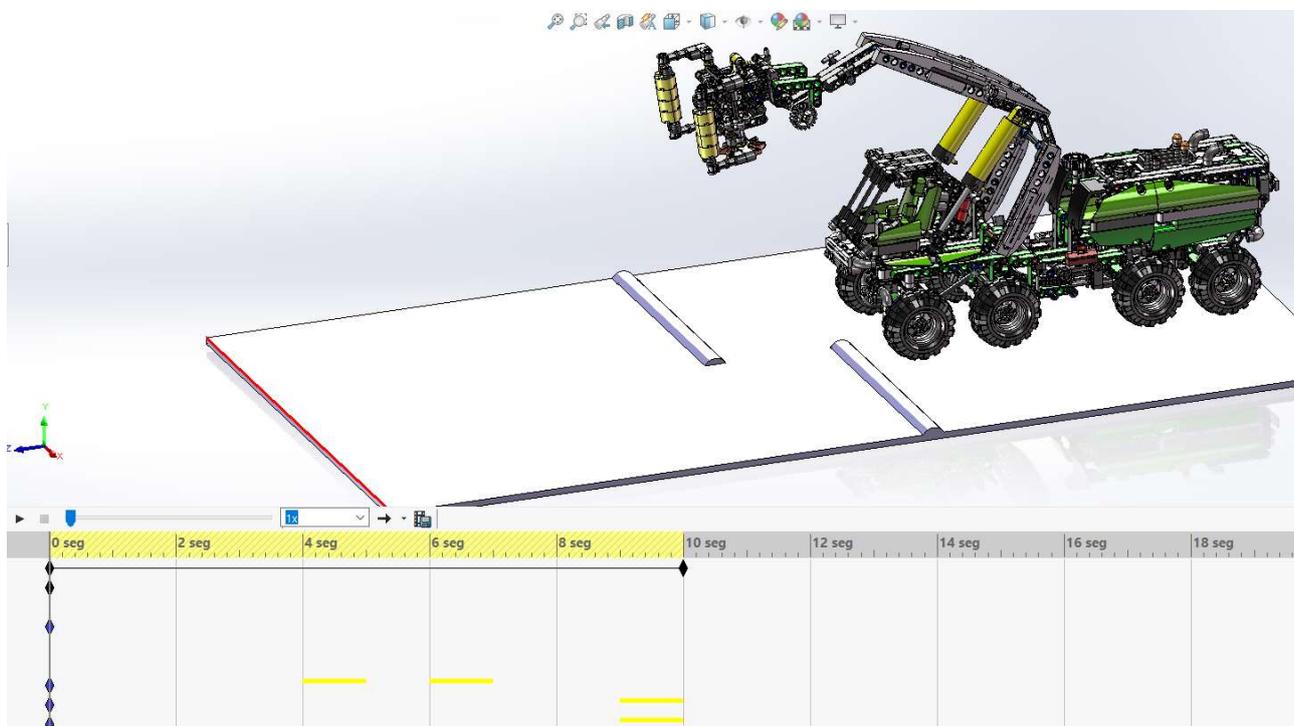
Para ello es necesario hacer uso de versiones más recientes del programa de Solid Works y realizar de nuevo las simulaciones. De esta forma tenemos la opción de descargarnos un archivo de tipo eDrawings que contenga el montaje y las animaciones cinemáticas.

Se puede también descargar la animación en formato “.avi” o “.mp4” para poder visualizarlo de manera cómoda en cualquier dispositivo.

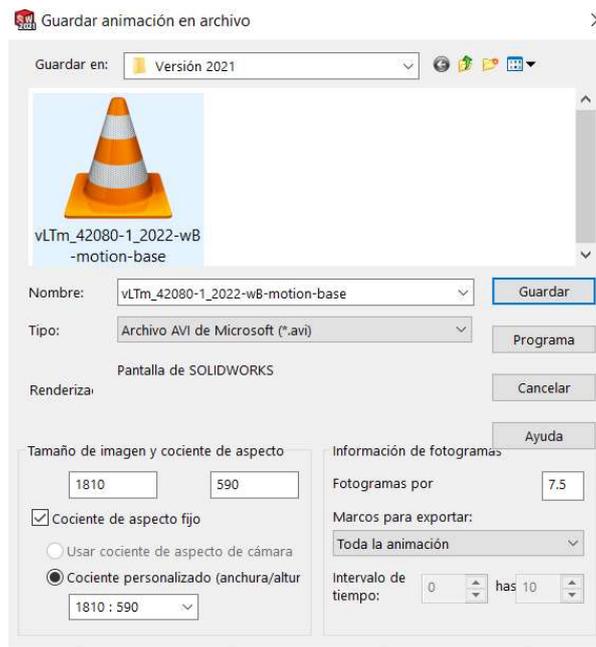
Al abrir un fichero de una versión antigua en una más reciente, los archivos se actualizan al sistema operativo de la nueva versión provocando que no se puedan abrir posteriormente en la versión en la que se ha trabajado.

Por lo tanto, es recomendable realizar una copia de los ficheros de la versión hecha en el 2007 antes de abrirlo en una versión más reciente del programa.

En este proyecto se ha hecho uso de la versión Solid Works 2021 para actualizar las animaciones de los modelos.



(Fig.79. Simulación en Solid Works 2021)



(Fig.80. Obtención de la simulación en video)

De esta forma puede hacerse la simulación desde diferentes ángulos y unirlos en un mismo archivo de video para poder visualizar correctamente el movimiento del modelo.



11. CONCLUSIÓN A LA MEMORIA

Se podría decir que uno de los pilares fundamentales de la sociedad moderna son las máquinas y mecanismos de todo tipo que ha creado el ser humano y a los que, de forma generalizada, no se les suele prestar demasiada atención.

El acercamiento a un proceso de virtualización y simulación como el llevado a cabo en el proyecto cambia la perspectiva con respecto a este asunto. Se aprende a saber apreciar y admirar el funcionamiento de las máquinas con las que convivimos.

Los modelos de Lego© Technic no son más que representaciones a escala y modulares de vehículos y máquinas presentes en nuestra sociedad y, como tal, presenta una complejidad sólo apreciable cuando te enfrentas a este tipo de tareas de virtualización.

Haciendo uso de todo lo aprendido podemos diseñar máquinas y escoger los cojinetes convenientes para evitar tener restricciones en exceso y así maximizar su vida útil.

Además, este trabajo puede ayudar a futuros alumnos que puedan tener acceso a los modelos virtuales y los ficheros eDrawings de los mismos donde poder ver la disposición de las piezas y estudiar su movimiento.

Todo el trabajo realizado es de gran ayuda para complementar lo aprendido a lo largo del grado. Habilidades como la inteligencia visual-espacial (que ya se habían trabajado durante la carrera en asignaturas como “ingeniería gráfica), se han potenciado más gracias al uso constante de programas CAD.

Además, el proyecto ha mejorado algunas de las competencias transversales obtenidas en el grado, tales como podrían ser:

- Aplicación y pensamiento práctico. Resolviendo el trabajo haciendo uso de conocimientos previos adaptados a la situación.
- Pensamiento crítico: Haciendo replantear el funcionamiento de algunas máquinas con el fin de comprenderlas.
- Planificación y gestión del tiempo. Estableciendo prioridades y ajustando las actividades a un calendario
- Instrumental específica. Conociendo las técnicas y procedimientos más avanzados como son el uso de programas CAD como SolidWorks o de simulación como Recurdyn.



12. BIBLIOGRAFIA

Libros de consulta:

- Isogawa Yoshihito, *LEGO Technic Tora No Maki*, 2010.
- L. Reshetov, *Self-aligning mechanisms*, Mir Publishers, 1982
- Isogawa Yoshihito, *LEGO Technic Idea Book: FANTASTIC CONTRAPTIONS*, 2010.
- Isogawa Yoshihito, *LEGO Technic Idea Book: SIMPLE MACHINES*, 2010.
- Isogawa Yoshihito, *LEGO Technic Idea Book: WHEELED WONDERS*, 2010.

Articulos:

- Wieslaw M. Szydlowski, *Self-Aligning Mechanisms, Forgotten Part of ME Curriculum*,
- A.N. Costa. *Application of Multibody Systems Techniques to Vehicle Modelling*.

Páginas web:

- Lego©. www.lego.com
- Lego© Technic. <http://www.lego.com/en-us/technic>
- Brickset. www.brickset.com
- Bricklink. <http://www.bricklink.com>
- Virtual models. www.virtualtechmodels.com
- Brick Instructions. https://lego.brickinstructions.com/en/lego_instructions/theme/lego_techinc/1
- Peeron. <http://www.peeron.com>

Videos de montaje:

- Montaje Lego© Technic Modelo 42122. <https://www.youtube.com/watch?v=LkqOpPOXw38>
- Montaje Lego© Technic Modelo 42080. <https://www.youtube.com/watch?v=BRERmpdrao>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

PRESUPUESTO



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	78
1.1. Capítulo 1: software	78
1.2. Capítulo 2: equipo informático	78
1.3. Capítulo 3: modelos virtuales Lego© Technic	79
1.4. Capítulo 4: elaboración del informe	79
2. PRESUPUESTO	80

1. INTRODUCCIÓN

Para contabilizar el coste total de este proyecto se desglosa el presupuesto en 4 capítulos que engloban los bloques independientes de recursos empleados en su realización. El cómputo global se obtendrá al final, como suma de cada bloque.

Se parte del supuesto en que un solo cliente es el demandante de un proyecto específico a medida, por lo que asume la totalidad de los costes.

1.1. Capítulo 1º: Software

En este epígrafe se incluye el coste de las licencias del programa CAD SolidWorks.

Se supone un periodo de amortización de la licencia de un año. Como es un programa muy versátil, de uso generalizado se asume también que se utilizará en otros proyectos con una gran carga de trabajo que se estima en el 85% a lo largo del año.

El coste a aplicar en el presupuesto asociado al software lo calcularemos en función de las horas dedicadas al proyecto sobre el total de horas de uso del programa a lo largo del año, siendo este valor el resultado de multiplicar los días laborables en un año (249) por las horas diarias de trabajo (8 h) dando un valor de 1992 horas/año.

Software	Coste del Software (€)	Horas / año (2022)	Carga Trabajo Anual Software	Amortización Anual	Horas de uso en el proyecto	Coste (€)
SolidWorks 2007 + Cosmos Motion	5300	1992	1693,2	100,00 %	355	1111,21
SolidWorks Profesional 2021 + eDrawings	8662	1992	1693,2	100,00 %	60	306,95
TOTAL						1418,15

(Tabla 01. Presupuesto del software)

1.2. Capítulo 2º: Equipo informático

Para la realización de este trabajo ha sido necesario utilizar equipos informáticos capaces de soportar el software informático con suficientes prestaciones. Concretamente se ha utilizado para el grueso del trabajo un equipo portátil MSI GV62 8RD con procesador Intel Core 7 – 8th gen con tarjeta gráfica con memoria dedicada.

Para mayor fluidez, parte del proceso de montaje de las modelizaciones se ha realizado en un PC de sobremesa de más capacidad de procesado.

Se supone una amortización de 4 años para los equipos informáticos y una carga de trabajo próxima al 100%.

Equipos Informáticos	Unidades	Coste unitario (€)	Horas / año (2022)	Amortización Anual	Horas de uso En el proyecto	Coste (€)
Laptop MSI	1	1100	1992	25,00 %	310,25	42,83
PC Sobremesa	1	1800	1992	25,00 %	54,75	12,37
TOTAL						55,20

1.3. Capítulo 3º: Modelos virtuales Lego© Technic.

A continuación, se presenta el desglose del coste de la realización del proyecto en sí. Para dar a conocer el tiempo completo destinado a la realización del proyecto se presentan tanto la fase de aprendizaje como la fase de trabajo autónomo. Pero como no sería ético cobrar el tiempo destinado al aprendizaje y con el objetivo de que se diferencien fácilmente, estas están contabilizadas con un precio de cero euros por hora.

Descripción	Tarea	Horas	Precio Hora (€)	Coste Tarea (€)	Coste Modelo (€)
MODELOS PREVIOS	Aprendizaje	80	0,00	0	0
MODELO 42122-1.	Virtualización	65	30,00	1950	4290
	Auto-alineación	43	30,00	1290	
	Simulación	35	30,00	1050	
MODELO 42080-1.	Virtualización	92	30,00	2760	5790
	Auto-alineación	56	30,00	1680	
	Simulación	45	30,00	1350	
				TOTAL	10080

(Tabla 03. Honorarios elaboración de los modelos)

1.4. Capítulo 4: Elaboración del informe

Finalmente, para la elaboración del informe final, que engloba el planteamiento inicial, la planificación y desarrollo del trabajo y, finalmente, resultado final y conclusiones del trabajo. En la elaboración del informe se han consumido un total de 35,5 horas.

Descripción	Horas	Precio Hora (€)	Coste Total (€)
Informe	80	30,00	2400

(Tabla 04. Honorarios elaboración del informe)

2.RESUMEN

A continuación, se presenta el sumatorio del presupuesto del proyecto total aplicando un 21% de IVA y un 6% en concepto de beneficio industrial.

Si el propósito de este apartado es estimar los costes de un proyecto realizado por un estudio de ingeniería, habría que tener en cuenta los costes generales o indirectos de toda empresa, que engloba tanto el personal no relacionado directamente con el proyecto, costes de gestión, local/oficina, suministros, etc., sin embargo, para este trabajo no se van a tener en cuenta.

Capítulo	Coste (€)
1.- Software	954,70
2.- Equipo Informático	55,20
3.- Modelos Virtuales Lego® Technic	10080
4.- Elaboración Informe	1065,00
SUBTOTAL	12154,90

(Tabla 05. Presupuesto)

Conceptos	Coste (€)
Subtotal	12154,90
Beneficio Industrial (6%)	729,29
TOTAL	12884,19
IVA Aplicado (21%)	2705,68
TOTAL IVA Incluido	15589,87

(Tabla 06. Presupuesto total)