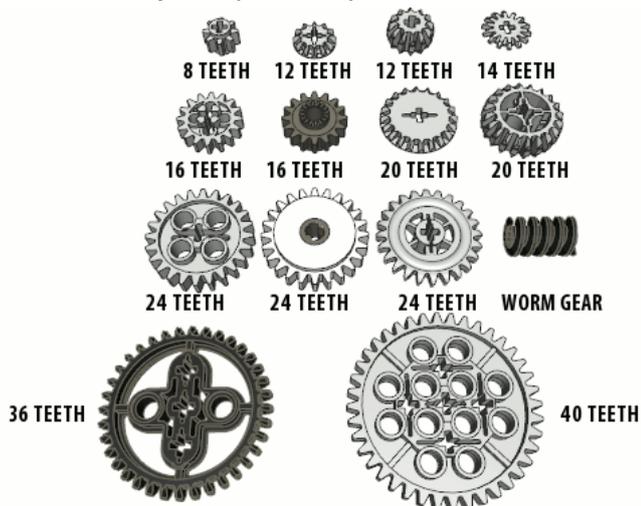


Tutorial sobre engranajes

Un tutorial completo sobre engranajes de LEGO®, sus ventajas y desventajas, además de las leyes fundamentales de la mecánica aplicables.

Texto y fotos por Paul Ian Kmiec

Traducción y adaptación por Jetro



Cuando describo mis construcciones o ideas, y cuando explico sus funciones, suelo dar por hecho que el lector tiene una comprensión básica de mecánica y de las leyes que aplican a los engranajes. Esta suposición, al parecer, es a veces errónea. Aunque puede parecer frustrante a veces, no creo que haya motivos para ignorar a las personas que aún no saben cómo funcionan los engranajes, ni para negarles el placer de construir con LEGO® Technic. Teniendo esto en cuenta, he preparado un documento en el cual he intentado plasmar mi conocimiento de engranajes de una manera accesible. Espero que el tutorial que estás a punto de leer sea práctico tanto para novatos como para constructores experimentados. Para mayor claridad se ha dividido en secciones.

1. Introducción a los engranajes.

¿Para qué necesitamos los engranajes? Una respuesta corriente sería: Para transmitir el movimiento desde un motor al mecanismo final. Esto es cierto aunque no del todo correcto. El propósito principal de los engranajes es el de transformar las propiedades de un motor de acuerdo con nuestras necesidades de la mejor manera posible. Transferir el movimiento es en realidad un efecto secundario de este proceso.

Los engranajes se pueden usar con todo tipo de movimientos: Con un motor eléctrico, una manivela, una pala eólica, un molino, cualquier cosa. Para este tutorial supondremos que el movimiento proviene de un motor eléctrico, porque es la solución habitual en LEGO Technic y aporta propiedades constantes que se pueden transformar mediante engranajes.

Cada motor tiene sus características mecánicas, específicas para cada tipo de motor. Hay varios tipos de motores de LEGO, algunos de los cuales ofrecen más potencia que otros. Lo importante es que las características mecánicas de un motor dependen de dos factores: Velocidad y Par. Estas son las dos características que podremos transformar usando los engranajes.

La velocidad es el número de vueltas que el rotor (Eje de transmisión del movimiento en un motor eléctrico) da en un determinado intervalo de tiempo. Cuanto mayor sea la velocidad, mayor número de vueltas tendremos. En mecánica, la velocidad normalmente se mide en RPM (Revoluciones Por Minuto) Una revolución por minuto significa una rotación completa del rotor por minuto – que suele ser lento. La mayoría de los motores LEGO proporcionan más de 100 RPM

Par es la fuerza con el que el rotor gira. Cuanto más alto es el par, más difícil es parar el rotor. Por consiguiente, se suelen preferir los motores que ofrecen un alto par porque pueden mover vehículos más pesados o mecanismos más complejos que los motores con bajo par. El par se mide en N.cm y todo lo que hace falta saber es cuanto más N.cm, más potente es el motor.

La potencia es, simplificando, el cociente entre el par y la velocidad. Si incrementamos el par y/o la velocidad, la potencia se incrementará en proporción. De hecho, el par de un motor es constante, no puede ser cambiado sin modificar el motor. Por otro lado, la velocidad depende del voltaje con el que es alimentado. Cuanto mayor es el voltaje, mayor es la velocidad, que nos permite aumentar la potencia mecánica manipulando el voltaje de la fuente de alimentación. El estándar oficial para motores de LEGO es un voltaje de 9V, lo cual equivale a 6 pilas tipo AA. La batería recargable que LEGO ha sacado al Mercado recientemente suministra 7.4V. Esto significa que los motores que se acoplen a esta batería tendrán una potencia mecánica inferior que los que se conecten con pilas tipo AA, pero eso solo es así en teoría ya que el voltaje de las pilas tipo AA baja con el uso mientras que el voltaje de la batería recargable se mantiene más o menos estable. Se han hecho experimentos conectando los motores a 12V y aunque estos producen una mayor potencia mecánica en estas circunstancias se debe tener en cuenta que los motores se diseñaron para 9V, no para 12V y que esto puede resultar en daños irreversibles en los motores. En este documento supondremos que todos los motores tienen la misma corriente, sea 9V o menos. Hay una comparativa exhaustiva del rendimiento de los motores de LEGO en la web de Philo [1]

¿Para qué necesitamos la velocidad y el par? Eso depende de cada mecanismo. Piensa en un coche deportivo: queremos que sea ligero y rápido. Esto significa que necesitamos una gran velocidad, pero no mucho par ya que un vehículo ligero necesita poco par para moverse. Usando engranajes podemos convertir par en velocidad o velocidad en par. Hay dos reglas muy sencillas pero muy importantes para esto:

- Si la transmisión es de un engranaje mayor a uno menor, incrementamos el par, pero disminuimos la velocidad (Que se llama Reducción)
- Si la transmisión es de un engranaje menor a uno mayor, incrementamos la velocidad, pero disminuimos el par. (Se llama Aumento)



Lo mejor de todo es que podemos convertir una parte de una propiedad en otra. No hace falta convertirlo todo. En el caso de nuestro deportivo significa que podemos elegir un motor y usar la primera de las dos reglas antes mencionadas para ganar más velocidad a cambio de algo del exceso de par. Cuanto par transformamos depende principalmente del peso del coche, así que el valor es diferente para cada modelo. Un constructor experimentado puede estimar el rango de posibilidades de transformación con tan solo saber el peso del vehículo y el tipo de motor que se emplea. La regla básica es: velocidad y par son inversamente proporcionales. Esto significa que si perdemos un 20% de velocidad ganamos un 20% de par.

Otro ejemplo sería la barrera de un paso a nivel. Podemos bajar o levantarlo con un motor, pero la velocidad nominal de cualquier motor probablemente será demasiado alta. Una barrera debería tardar al menos un par de segundos en levantarse o bajarse completamente y la mayoría de motores de LEGO® tienen una velocidad de más de 100RPM. Tenemos que usar engranajes para perder esta velocidad innecesaria y a cambio ganaremos más par que nos permitirá manejar una barrera más larga y pesada. En este caso usaremos la segunda de las reglas mencionadas anteriormente.

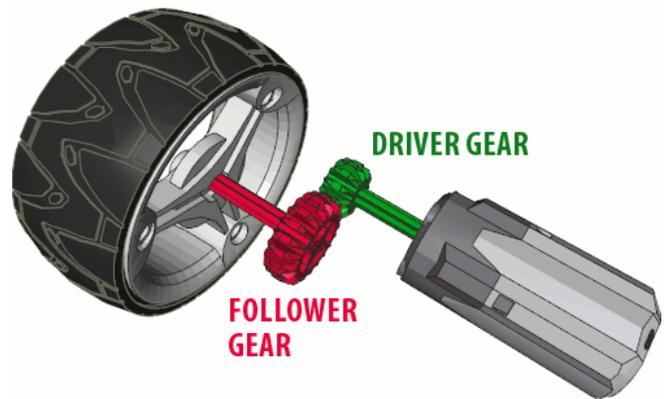
Ahora que sabemos lo que pueden hacer los engranajes veamos algo de teoría.

2. Reglas básicas

En la primera parte hemos aprendido las dos reglas de transformar par en velocidad o velocidad en par. Sabemos para qué usar los engranajes y ahora veremos cómo usarlos. Necesitamos unas nociones básicas para esto.

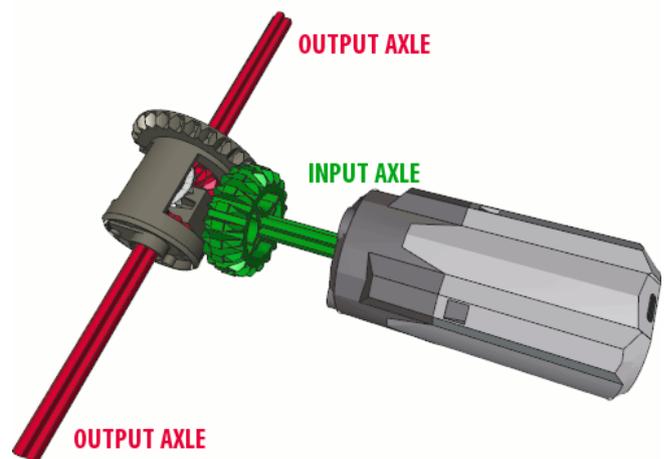
Podemos decir que usamos engranajes para transformar

las propiedades de un motor cuando hay al menos dos engranajes engranados entre sí, cada uno en un eje diferente. El engranaje que está más cercano al motor se llama eje transmisor. El eje que recibe la fuerza es llamado eje receptor. En el diagrama el transmisor y el receptor están marcados en verde y rojo respectivamente.



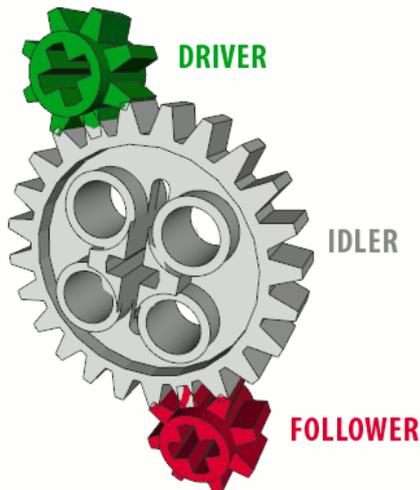
Casi cualquier mecanismo tiene su transmisor y receptor. En cada conjunto de engranajes conectados hay un transmisor y un receptor. Debería bastar recordar que el transmisor es el engranaje del cual parte el movimiento y el receptor es el que recibe ese movimiento.

Tal vez hayas notado que en el diagrama los ejes están marcados con el mismo color que los engranajes. Esto es porque podemos hablar de ejes de la misma manera que hacemos de engranajes. De hecho, muchos mecanismos tienen engranajes parcial o completamente ocultos pero ejes visibles, así que esta manera de indicarlas es a menudo más conveniente. En este caso podemos llamar al eje del engranaje transmisor (verde) "Eje de entrada" y al eje del engranaje receptor (rojo) "Eje de salida". Por tanto, entrada y salida corresponden con transmisor y receptor. Muchos de los mecanismos tienen un eje de entrada y varios de salida (ya que es difícil manejar muchos ejes de entrada con un solo motor). El conocido mecanismo diferencial es un ejemplo de una entrada y varias salidas

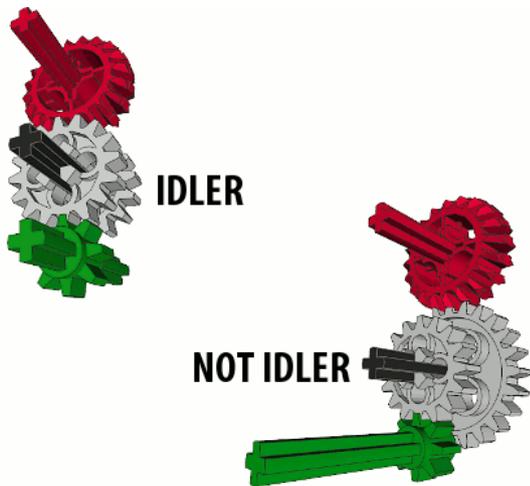


No solo existen transmisores y receptores: también hay engranajes locos. Si hay una serie de engranajes conectados el uno con el otro solo el primero es el transmisor y solo el último el receptor. Todos los engranajes intermedios son

engranajes locos y es que lo mismo daría si no estuvieran. Su presencia no afecta la transformación del par y de la velocidad: solo engranajes transmisores y receptores determinan esa transformación.



En el diagrama anterior el engranaje gris grande está conectado por un lado con el transmisor y por el otro con el receptor. Esto es típico de los engranajes locos: engranan con múltiples engranajes a la vez. Los engranajes locos habitualmente engranan con dos engranajes a la vez mientras que transmisores y receptores suelen engranar con solo uno. Esta es una forma sencilla de identificar engranajes locos, pero hay excepciones.



El diagrama muestra dos juegos de engranajes. El conjunto de la izquierda contiene un transmisor y un receptor y dos engranajes intermedios, cada uno de los cuales engrana con un solo engranaje. Estos engranajes se encuentran en el mismo eje, lo cual significa que pueden ser engranajes locos (no sería posible si estuvieran en ejes diferentes) y tienen el mismo tamaño, lo que indica que en efecto son engranajes locos. Esto es así porque muchos engranajes del mismo tamaño colocados en el mismo eje siempre actúan como un solo engranaje, independientemente de que sean 2 o 200. El conjunto derecho también contiene un transmisor y un receptor con dos engranajes intermedios, solo que estos tienen un tamaño diferente. Si el tamaño es diferente pero comparten eje no pueden ser engranajes locos. Esto es porque la diferencia en tamaño afecta la manera en la que el par y la velocidad se transforman entre el transmisor y el receptor. Para ser más exactos, el tamaño del engranaje

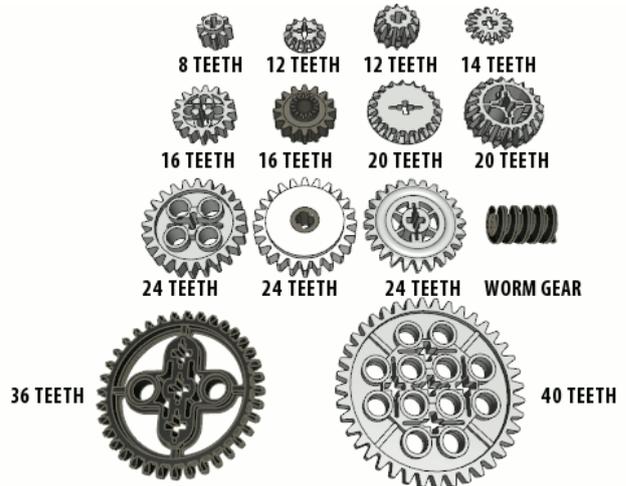
20

afecta el par que transmite. Observamos que los engranajes comparten el mismo eje, así que su velocidad es la misma, pero sus tamaños son claramente diferentes.

Con esta clasificación en mente podemos ahora echar un vistazo a los diferentes tipos de engranajes LEGO®.

3. Tipos de engranajes

LEGO ha sacado una gran variedad de engranajes en la historia de la línea Technic. Abajo hay una lista de los que siguen en uso:



Como se puede observar hay 13 engranajes circulares clásicos, y uno especial llamado "sinfín". Por otro lado, los engranajes circulares pueden ser divididos en 2 grupos: Los normales, con dientes de sección cuadrada y los cónicos, con dientes de sección redondeada. Se pueden usar casi todos los engranajes del primer grupo con los del segundo. La propiedad particular de los engranajes biselados es que se pueden colocar paralela y perpendicularmente. Son mejores para usar con liftarms por su tamaño, sin embargo, no se pueden usar con las cadenas LEGO.

Veamos una breve descripción de cada engranaje de la lista (los cónicos llevan ese apelativo en su nombre):

Engranaje de 8 dientes – el engranaje más pequeño que se fabrica actualmente. Es muy frágil y no soporta mucho par, pero es muy popular, especialmente para reducciones (al ser el más pequeño es evidente que es el más eficiente en este campo). Hay al menos tres variantes de este engranaje y el más buscado es el que está reforzado con una capa extra de plástico alrededor del eje, entre los dientes.

Engranaje cónico de 12 dientes (de una cara) – el engranaje cónico más pequeño que se fabrica. No es muy práctico para reducciones o aumentos, pero es irremplazable en el mecanismo diferencial y muy popular a la hora de transferir movimiento de forma perpendicular en un espacio limitado. Se rompe fácilmente si se somete a un par grande lo que ha llevado a la ausencia de diferenciales en algunos camiones trial.

Engranaje cónico de 12 dientes (de dos caras) – el engranaje cónico de dos caras más pequeño que se fabrica actualmente. Es mucho más robusto que el de una cara y se emplea principalmente junto con el engranaje cónico de 20 dientes de dos caras.

Engranaje de 14 dientes – el predecesor del engranaje cónico de 12 dientes de una cara. Fue diseñado específicamente para el mecanismo diferencial, pero resultó ser tan frágil que fue sustituido por el de 12 dientes. Ya no se emplea en los modelos oficiales de LEGO y no es popular entre los constructores.

Engranaje de 16 dientes (el normal) – un engranaje bastante fuerte y práctico. Es el engranaje más pequeño que se puede usar junto con las cadenas de LEGO® y es popular debido a su tamaño conveniente.

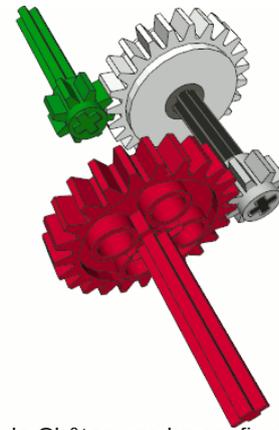
Engranaje de 16 dientes (con embrague) – disponible casi exclusivamente en dark gray, este engranaje fue diseñado específicamente para cajas de cambio. Es más débil que la versión normal y no funciona bien con las cadenas de LEGO (Tiene tendencia a soltarse debido a los dientes más cortos). Sin embargo, tiene la propiedad exclusiva de engranarse con el anillo de transmisión. Sin el anillo, se queda suelto en el eje, pero se puede usar con un bush ½ antiguo (El de dientes/corona), y se puede dejar solidario con el eje.

Engranaje cónico de 20 dientes (de una cara) – versión más grande del engranaje cónico de 12 dientes. Es poco común y no demasiado popular debido a su escaso grosor que hace que se parta si se le aplica mucho par. Suele engranarse con el engranaje cónico de 12 dientes de doble cara o el engranaje cónico de 20 dientes de dos caras.

Engranaje cónico de 20 dientes (de doble cara) – un engranaje muy popular, fuerte y fiable. Se emplea comúnmente con el engranaje cónico de 12 dientes (de dos caras) pero también en otros conjuntos.

Engranaje de 24 dientes (normal) – otro engranaje popular, fuerte y fiable. Hay al menos 3 variantes de este engranaje siendo el más nuevo el más resistente. Uno de los engranajes más prácticos de la historia de LEGO.

Engranaje de 24 dientes (con embrague) – una versión específica del engranaje de 24 dientes que no guarda ninguna relación con el de 16 dientes con embrague. Siempre es blanco con el centro dark gray, y tiene la singular propiedad de patinar alrededor del eje si se le aplica un par muy alto. Esto lo convierte en un engranaje muy útil y buscado, aunque bastante poco común. Habitualmente se le usa para aplicaciones de punta a punta, es decir, aplicaciones en las que un motor solo puede funcionar hasta que alcance un determinado punto. Esto incluye por ejemplo casi todos los mecanismos de dirección en los que las ruedas solamente pueden girar hasta alcanzar un determinado ángulo, o el mecanismo de las barreras del tren que se mencionó anteriormente, en el cual la barrera solamente se puede elevar o bajar hasta un determinado ángulo. En este tipo de mecanismos el engranaje patina cuando ese punto final se alcanza de modo que el motor puede continuar girando cuando el mecanismo se para. Otro ejemplo son los cabestrantes de los sets oficiales de LEGO que traen cabestrantes motorizados (ej. 8297), en los cuales este engranaje se usa para asegurarse de que el motor no se daña cuando se llega al final del hilo del cabestrante. Por favor ten en cuenta que este engranaje patina bajo un par muy específico y en la mayoría de los casos solo deberá patinar con un par extremadamente alto (ej. para asegurarse de que el mecanismo de dirección deje de girar al alcanzar el ángulo máximo y no se encuentra con un obstáculo). Esto se puede lograr usando este engranaje inmediatamente después del transmisor:



Gracias a Jetro de Château se ha confirmado que ha habido al menos tres versiones de este engranaje a lo largo de los años.



De izquierda a derecha:

- la versión que vino con el 8479 tiene el centro light gray y requiere más par para hacerlo patinar
- la versión más común con el centro dark gray
- la versión de un(os) set(s) desconocido(s) con el frontal liso (sin indicación de par)

Engranaje de 24 dientes (con corona) – un diseño realmente antiguo. Fue el primer engranaje capaz de engranar de manera perpendicular. Nuevamente hay al menos tres variantes del engranaje y el más antiguo y débil ha sido reemplazado gradualmente por versiones más nuevas y fuertes. La llegada de los engranajes cónicos lo convirtió en uno de los engranajes menos populares en la actualidad: es débil e incomodo de usar. Aún así, a veces puede ser muy útil debido a su formato poco habitual.

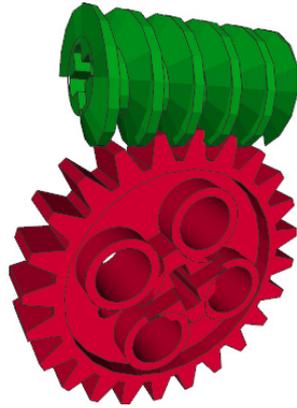
Engranaje sinfín – Un engranaje con unas determinadas características exclusivas. Para empezar, sólo puede ser usado como engranaje transmisor, nunca como receptor. Es útil en mecanismos que necesitan ser elevados y mantenidos. En estos el sinfín actúa como trinquete que soporta la parte del mecanismo que se eleva sin cargar el peso/fuerza el motor. Hay muchas posibles aplicaciones para las propiedades del engranaje sinfín, por ejemplo muchos tipos de grúas o elevadores, barreras, puentes levadizos, cabestrantes; básicamente cualquier mecanismo que necesita aguantar algo en una posición determinada cuando pare el motor.

En Segundo lugar, el sinfín es extremadamente eficiente para reducciones. Teóricamente, es 8 veces más eficiente que el engranaje de 8 dientes, porque cada revolución del sinfín hace que el engranaje receptor sólo gire un diente. Por tanto, los engranajes sinfín se usan para reducciones cuando hay un par muy alto o necesitamos una velocidad muy baja y poco espacio útil.

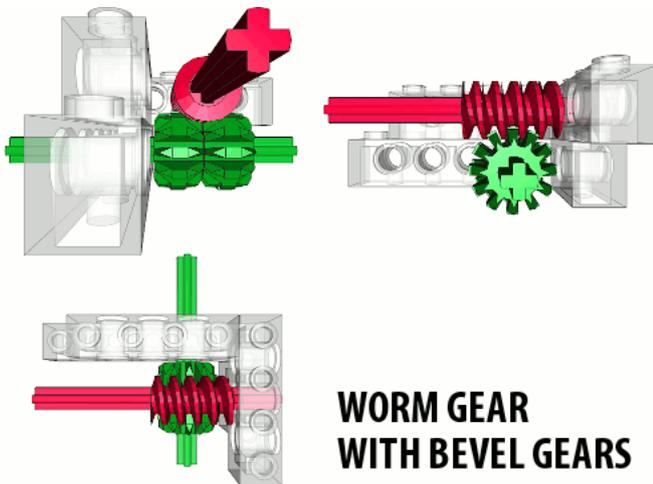
Finalmente, mientras el engranaje sinfín gira, tiene tendencia a quedarse fijo en el engranaje receptor y deslizarse sobre su propio eje. Esta tendencia tenemos que evitarla limitando longitudinalmente el sinfín con una estructura que lo rodee,

de todas formas hay mecanismos que usan esta propiedad para desplazarse de un lado a otro, por ejemplo mi válvula neumática [2] o mis indicadores automáticos de dirección [3].

El engranaje sinfín se puede usar en combinación con cualquiera de los otros engranajes listados. El uso más común es junto con el engranaje de 24 dientes normal:



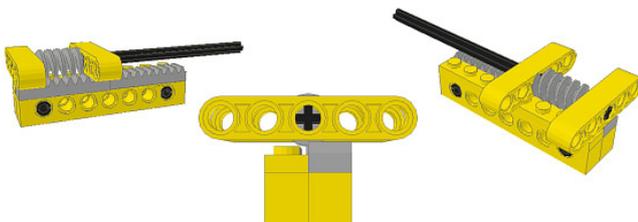
Pero se puede usar igualmente con cualquier otro engranaje. En la siguiente imagen se pueden observar algunos ejemplos de engranajes sinfín combinados con un receptor en un encapsulado fuerte [4]. Aplicando la necesaria separación se puede usar también con los engranajes cónicos:



En la imagen se han usado 2 engranajes cónicos de 12 dientes de dos caras, pero se podría hacer igualmente usando uno solo, o dos de una cara o incluso uno solo de una cara. Incluso es posible utilizarlo para mover cremalleras, que dan pie a mecanismos de extensión muy compactos.

WORM-GEAR-ON-RACK EXTENSION

ONE OR TWO ROWS OF RACK CAN BE USED. THE WORM GEAR MUST BE BRACED BETWEEN LIFTARMS, NOT BETWEEN BRICKS, TO OBTAIN PROPER SPACING FROM THE RACK



Engranaje cónico de 36 dientes (de dos caras) – el engranaje cónico más grande que se fabrica actualmente y el único del que no existe una versión de una cara. Es un

engranaje muy conveniente y sorprendentemente fuerte aunque también poco visto. Casi siempre es negro.

Engranaje de 40 dientes (normal) – el engranaje normal más grande que se fabrica actualmente. De uso poco frecuente por su enorme tamaño, aunque a veces muy práctico.

Con esto se termina la lista de engranajes de la que podemos elegir (existen algunos engranajes anticuados, pero son tan excepcionales que nunca he tenido ninguno en mis manos). Ahora veamos por qué el tamaño de los engranajes importa.

4. Relaciones de transmisión.

Según Wikipedia[5], la relación de transmisión es la relación matemática en el número de dientes entre dos engranajes, o dos engranajes conectados con una cadena, o dos poleas conectadas con una correa. No trataremos sobre poleas en este documento. La relación para dos engranajes conectados con una cadena es la misma que si estuvieran directamente conectados. Por tanto, la relación de transmisión simplemente es:

Número de dientes del receptor / número de dientes del transmisor

Ya que el espacio entre los dientes de cada engranaje es igual, contar el número de dientes es una manera sencilla de calcular su circunferencia. Y la relación de transmisión es básicamente la relación entre las circunferencias de los engranajes.

¿Para qué necesitamos la relación de transmisión? Básicamente para calcular la velocidad final de un mecanismo y el par que proporcionará. Piensa en un transmisor de 8 dientes y un receptor de 24. En la sección 1 aprendimos que esto es una reducción: ganamos algo de par pero perdemos algo de velocidad. La relación de transmisión es de 24:8 lo cual es igual a 3:1. Por favor toma nota de que es práctica habitual calcular las relaciones de manera que terminen en 1. ¿Por qué? Porque si miramos la relación 3:1 es sencillo concluir que la velocidad de giro se reduce tres veces, lo que significa que tres giros del transmisor / eje de entrada dan lugar a una sola vuelta del receptor / eje de salida. Ya que la reducción de velocidad resulta en un incremento inversamente proporcional del par, sabemos que el par se ha multiplicado por tres.

Veamos el ejemplo contrario: tenemos un transmisor de 20 dientes y un receptor de 12. La relación de transmisión es de 12:20, lo cual es igual a 0.6:1. Esto significa que necesitamos 0,6 giros del transmisor para que el receptor de una sola vuelta. Por tanto ganamos un 40% en velocidad pero perdemos un 40% de par.

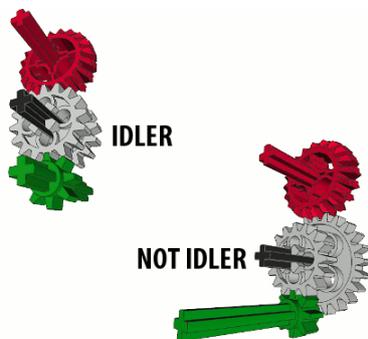
Como se ha visto, es fácil diferenciar entre aumentar y reducir mirando la relación de transmisión. Si el primer número de esa relación es mayor que el segundo (como en 3:1), se trata de una reducción. Si el primer número de la relación de transmisión es más pequeño que el Segundo, tenemos una relación de aumento, llamado también acelerar o subir marcha. Si tenemos una relación de 1:1 la velocidad y el par siguen iguales, como si se tratara de engranajes locos.

Ya podemos calcular la relación de transmisión de dos engranajes, pero ¿y si hay más engranajes en el mecanismo? En ese caso, ignoramos todos los engranajes locos y calculamos las relaciones para cada pareja de transmisor / receptor. Luego, para llegar a la relación final de todo el

mecanismo, simplemente multiplicamos esas relaciones. Tomemos como ejemplo el mecanismo de la sección 3, con dos parejas de transmisores de 8 dientes y receptores de 24 dientes. La relación de transmisión del primer conjunto es de 3:1 al igual que el del segundo conjunto. Si multiplicamos esas relaciones llegamos a la relación final que es de 9:1, lo cual concuerda con la realidad.

Ahora que sabemos calcular la relación de transmisión, volvamos al ejemplo con y sin engranaje loco de la sección 2:

Observa el conjunto de la izquierda. Consiste en dos parejas de engranajes: un transmisor de 8 dientes con un receptor de 16 y un transmisor de 16 dientes con un receptor de 20 (supongamos que no sabemos si hay engranajes locos en este conjunto por lo que calcularemos las relaciones de cada pareja por separado). La relación de la primera pareja es de 2:1 y la de la segunda de 1.25:1. Si multiplicamos estos valores, llegamos a una relación final de 2.5:1, que es igual a 20:8 – esa es la relación del primer y el último engranaje entre sí. Como se puede observar, los engranajes locos no han afectado la relación en absoluto y por eso los podemos ignorar.



Ahora, observa el conjunto de engranajes de la derecha. Está compuesto por otras dos parejas de engranajes: un transmisor de 8 dientes con un receptor de 16 y un transmisor de 24 dientes con un receptor de 20. La primera relación nuevamente es de 2:1, pero la relación de la segunda pareja es de 0.833:1. Si multiplicamos estos dos valores llegamos a una relación final de 1.66:1, que no es igual a la de 2.5:1 (la relación exclusivamente entre el primer y el último engranaje). En este caso los engranajes intermedios no eran locos y por tanto afectan a la relación de transmisión final por lo que no se les puede ignorar.

Finalmente, ¿cómo se calcula la relación de transmisión cuando se emplea un sinfín? Eso es aún más sencillo:

Número de dientes de receptor: 1

Eso es así porque, como ya se comentó anteriormente, una sola vuelta del sinfín hace que el receptor avance un solo diente. Por lo tanto, harían falta 24 vueltas del sinfín para dar una vuelta completa a un engranaje de 24 dientes lo cual demuestra que efectivamente existe la relación 24:1

Puedes usar el calculador de mi página web para averiguar las relaciones de transmisión de tus mecanismos LEGO® [6].

5. Rendimiento

Acabada la teoría volvemos a la práctica la cual es un poco triste. Cada engranaje que usemos generará un rozamiento que habrá que vencer para que gire. Por consiguiente cada engranaje que usemos absorberá parte de la fuerza del motor y el rendimiento de los engranajes es la medida de cuanta fuerza es transmitida y cuanta es perdida. Desgraciadamente, es muy difícil calcular el rendimiento de cada engranaje, y por lo que sé no hay especificaciones precisas para el rendimiento

de los engranajes LEGO, pero sabemos que se pierde fuerza, así que podemos usar las dos reglas básicas de máxima eficiencia:

- Cuantos menos engranajes, mejor.
- Cuanto más pequeños los engranajes, mejor.

Desgraciadamente esto significa que la relación de transmisión 1:1 existe solamente en teoría. Si hay engranajes hay pérdidas, así que la relación real será algo similar a 1, algo: 1. El único mecanismo con relación 1:1 es un motor conectado al engranaje final. Por ejemplo en mi modelo del tanque Leclerc T6 [7], los motores de propulsión estaban conectados directamente a las ruedas para lograr un rendimiento de 1:1 [4]

¿Qué hay de los aumentos? Evidentemente se pueden usar engranajes para conseguir una relación de transmisión de, por ejemplo, 1:6 que incrementará la velocidad. Sin embargo, el cociente final de la velocidad del par será inferior al cociente de velocidad del motor, debido a las pérdidas. Usar engranajes siempre entraña pérdidas. Por lo tanto, si quieres transformar la velocidad y el par de un motor tendrás que tener presente que parte de ello se perderá.

Hay dos casos en los cuales la eficiencia es crucial. El primero es la caja de cambios con anillos de transmisión. Este tipo de caja de cambios emplea engranajes de 16 dientes con embrague, y aunque todos estos engranajes son accionados, solamente algunos realmente transmiten la propulsión. Esto significa que algunos engranajes – la mayoría de ellos si la caja de cambios tiene más de 4 velocidades – no emplean la potencia del motor para nada. Son los llamados engranajes muertos que son incluso peores que los engranajes locos ya que estos últimos normalmente son necesarios para transmitir la fuerza de un lugar a otro, mientras que los engranajes muertos ni siquiera hacen falta. Pero no se les puede eliminar de la caja de cambios porque cada velocidad que se selecciona emplea un conjunto de engranajes diferentes para transformar la fuerza. Esto significa que un determinado engranaje puede ser un engranaje muerto en la 1ª, 2ª y 3ª marcha pero ser necesario para transformar la fuerza en la 4ª marcha. Una caja de cambios con muchos engranajes muertos siempre tiene un mayor rendimiento en las reducciones grandes donde el motor emplea poca potencia para hacer su tarea principal de modo que queda mucha para impulsar los engranajes muertos. Se puede observar en el vídeo de mi caja de cambios de 10 marchas [8] que el motor se ve más y más forzado a medida que se cambia de la primera a la segunda y tercera marcha y así sucesivamente. De hecho, algún tiempo después de la publicación de esa caja de cambios construí otra de 14 marchas, solo para satisfacer mi curiosidad. Al conectarlo a un motor PF XL, este se paró y ni siquiera pudo hacer funcionar la caja de cambios en la primera marcha, a pesar del gran par de este motor.

El segundo mecanismo es... el sinfín. Como ya se ha mencionado, el sinfín es popular debido a la gran reducción que ofrece. Pero de hecho es el peor engranaje en términos de rendimiento. Según algunas fuentes se pierde casi un tercio de la potencia del motor debido al gran rozamiento que ocasiona (este rozamiento es precisamente la razón por la cual este engranaje nunca puede ser receptor) y la tendencia de deslizarse a lo largo del eje en el que se monta. Este rozamiento es suficiente para calentar el sinfín considerablemente si se ve expuesto a un gran par durante un tiempo prolongado. Los engranajes sinfín son irremplazables para algunas aplicaciones, pero en general solamente deben ser usadas si son realmente necesarias.

6. Juego

El juego de los dientes del engranaje es un tema complicado (más en Wikipedia [9]). Respecto a la mecánica aplicada a LEGO considerar que es el espacio libre entre los dientes de dos engranajes consecutivos. En una situación perfecta no debería haber ningún juego entre dientes y estos deberían estar en completo contacto el uno con el otro. Desafortunadamente es muy difícil conseguir esa situación con engranajes normales (es mucho más sencillo con engranajes helicoidales, pero estos no existen en el mundo de LEGO Technic), y los engranajes de LEGO siempre tendrán algo de juego. Las reglas generales son:

- Los engranajes normales tienen mucho más juego que los cónicos.
- Cuanto más pequeño es el engranaje, más juego tiene.
- Los juegos de dos engranajes consecutivos se suman.

Como supondrás, el engranaje de 8 dientes es auténtica dinamita cuando se trata de generar juego. De todos los engranajes normales, el de 40 dientes es el que menos juego genera. Entre los engranajes cónicos las diferencias son mucho más pequeñas debido al diseño de sus dientes – cualquier engranaje cónico genera un juego muy inferior al del temido engranaje de 8 dientes. Como se ha mencionado antes, el juego de engranajes que están engranados se suma y por tanto es una Buena idea usar los engranajes normales conjuntamente con los cónicos – el juego resultante será algo más reducido.

¿Cómo funciona esto para el sinfín? Nuevamente este engranaje es único al producir casi ningún juego, pero eso no significa que los mecanismos que emplean un sinfín están libres de juego. Por desgracia aún tienen el juego del receptor. Por lo tanto, un mecanismo con un sinfín y un receptor de 16 dientes siempre tendrá más juego que uno con un sinfín y un receptor de 24 dientes. Nuevamente, es recomendable usar el sinfín conjuntamente con un engranaje cónico debido a su juego relativamente insignificante.

¿Por qué es malo el juego? Piensa en un mecanismo de dirección con ruedas grandes, accionado por un motor con una reducción de 27x – a saber, tres juegos de transmisor de 8 dientes y un receptor de 24 dientes. Estos tres engranajes de 8 dientes generan tanto juego que no solamente degradarán la precisión en la dirección, sino que además harán que las ruedas tengan un margen de libertad por lo que pueden desviarse de su trayectoria al encontrarse con un obstáculo.

Habitualmente el juego no es un problema importante para los vehículos (salvo para los muy grandes), pero es molesto cuando se requiere precisión. Muchos tipos por ejemplo de grúas, puentes levadizos o placas giratorias sufren de juego. La mejor manera de evitarlo es usar neumática en vez de engranajes o emplear los actuadores lineales que en estos momentos son el elemento mecánico de LEGO® que menos juego tiene.

Espero que hayas encontrado este tutorial de utilidad y que te ayude a disfrutar del mundo LEGO Technic un poco más.

7. Apéndices

Engranaje cónico de 20 dientes y centro abierto, rueda de palancas y las diferencias entre tres tipos de engranajes de 8 dientes.



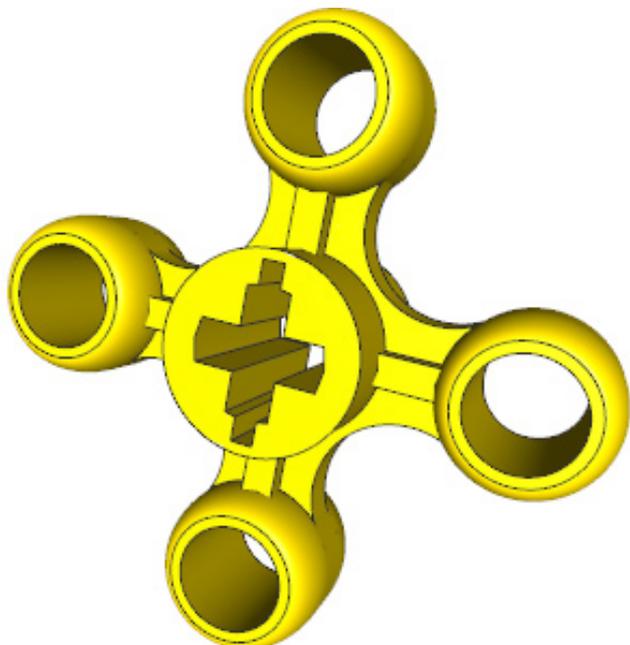
En 2010 se introdujo un Nuevo tipo de engranaje: el engranaje cónico de 20 dientes y centro abierto. Fue, como se puede observar, una modificación del engranaje cónico de 20 dientes anterior, enfocado a ofrecer nuevas posibilidades, no a sustituirlo. Estas posibilidades son más evidentes con los actuadores lineales: el problema de estos actuadores es que cuando se les conecta a un eje con el acoplamiento correspondiente se posan sobre el mismo eje del que proviene su accionamiento. Esto significa que la carga del actuador genera fricción en ese eje con el resultado de un rendimiento que se degrada rápidamente a medida que la carga se incrementa.

El nuevo engranaje parece haberse diseñado específicamente para evitar este problema. Hasta ahora era posible accionar un actuador de este modo con un engranaje cónico de una cara con 12 o 20 dientes. Ahora hay una tercera opción. La diferencia radica en que este nuevo engranaje gira libremente alrededor del eje en el cual va apoyado. Por lo tanto, la carga del actuador lineal ya no afecta el rendimiento de los engranajes que lo accionan. La siguiente imagen ilustra las tres configuraciones, con el nuevo engranaje en tercer lugar (las tres configuraciones dan una relación de transmisión de 1:1).



El Nuevo engranaje también es más grueso, debido al huso de medio stud de grosor que tiene en su base. Los engranajes cónicos de 20 dientes de una cara solían partirse con cierta facilidad debido a su poco contacto con el eje, y este huso será una gran ayuda para prevenirlo. Este nuevo engranaje se partirá con mucha menos facilidad y su única desventaja es que, debido a su centro abierto, solamente se puede emplear como engranaje loco.

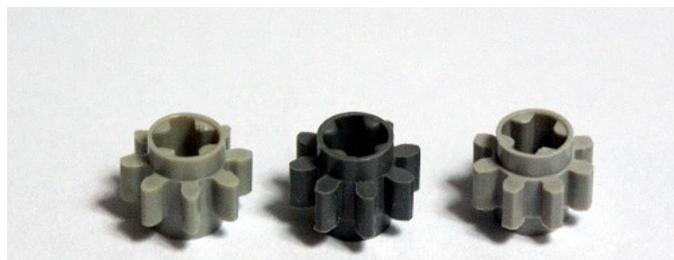
Las ruedas de palancas existen hace ya unos cuantos años. Fueron omitidos en el tutorial inicial porque no son engranajes. Hay dos cosas importantes que hay que saber acerca de estas ruedas de palancas: en primer lugar, solo se pueden usar junto con otra rueda de palancas, y en Segundo lugar, son mucho más robustas que los engranajes y aguantan mucho más par. Esa segunda propiedad las hace populares entre, por ejemplo, constructores de Truck Trial. Las ruedas de palancas se pueden combinar tanto de manera



perpendicular como paralela. Se emplean habitualmente en una configuración perpendicular ya que los engranajes que pueden transferir el movimiento en esa configuración corren más riesgo de partirse si se les aplica mucho par con las ruedas de palancas. Un buen ejemplo del uso de la rueda de palancas es el set 8421 de LEGO, en el cual se emplean de manera transversal para accionar los estabilizadores lo cual requiere de un par considerable. La desventaja de esta pieza es que habitualmente solo engrana en un único punto (dos en la configuración paralela) y que ese punto cambia cuatro veces en cada giro completo. Por lo tanto, funcionan como un engranaje con tan solo 4 dientes, es decir, de forma desigual. Esto queda especialmente claro cuando se les aplica mucho par en una configuración perpendicular y su velocidad de giro empieza a fluctuar. Además, debido a que el par se aplica a tan pocos puntos las ruedas de palancas tienden a gastarse. Es común observar el desgaste de las ruedas de palancas en los puntos de contacto en vehículos Truck Trial, aunque solamente en vehículos realmente pesados y después de un buen tiempo de uso

Finalmente, los tres tipos de engranajes de 8 dientes que se mencionan en el tutorial. LEGO® suele hacer pequeñas modificaciones en sus moldes a lo largo del tiempo, y muchas piezas tienen una forma ligeramente diferente a lo largo de

los años. Es difícil averiguar la cronología de los cambios que afectan a los engranajes de ocho dientes, pero parece que el tipo más fuerte fue el último en aparecer, y está siendo usado en los Technic sets actuales. Por favor, ten en cuenta que esto son solo suposiciones. Existe la posibilidad de que varios tipos de la misma pieza se fabriquen aún con diferentes moldes, y que un determinado set contenga un tipo u otro o incluso una mezcla de tipos. Los engranajes presentan este aspecto:



El engranaje de la izquierda parece ser el tipo inicial. El del medio se introdujo algún tiempo después. Tiene la misma parte central, pero los dientes son distintos: son más cortos gruesos y probablemente más fuertes. Es una diferencia mínima que es difícil de apreciar hasta que juntas engranajes de dos tipos diferentes. El tercer engranaje representa lo que parece ser el tipo actual. Mantiene la forma de los dientes del modelo intermedio pero en ciertas partes parece haber una capa de material adicional entre los dientes que los engrosa. Es una diferencia bastante notable y probablemente sea un intento de evitar que los dientes se doblen si reciben mucho par. Este tipo de engranaje es el más apreciado por cualquier constructor que conoce estas diferencias.

- [1] (<http://www.philohome.com/motors/motorcomp.htm>)
- [2] Pneumatic Autovalve: <http://sariel.pl/2008/12/pneumatic-autovalve/>
- [3] Automated trafficators system <http://sariel.pl/2009/09/automated-trafficators-system/>
- [4] <http://sariel.pl/2009/06/worm-gear-casings/>
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_de_transmisi%C3%B3n
- [6] <http://sariel.pl/tools/ratios/>
- [7] <http://sariel.pl/2009/08/leclerc/>
- [8] <http://sariel.pl/2009/01/10-speed-manual-gearbox/>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Backlash_%28engineering%29#

¿Te ha parecido interesante?

Este artículo nos gustaría que fuera el principio de una serie de tutoriales, encontrados entre la amplia comunidad de AFOLS en internet, y que por su calidad creemos que pueden interesar a toda la comunidad y que pueden encontrar en nuestra revista un nuevo modo de ampliar sus fronteras y darse a conocer a un nuevo público.

Si has escrito o has encontrado en internet un tutorial sobre LEGO que crees puede ser interesante para el resto de la comunidad, simplemente mándanos el enlace a info@hisppabrickmagazine.com

Esperamos vuestras aportaciones.

#