

## Modelo 1 de los sistemas de transmisión – Balanza (palanca)

Para determinar el peso de un objeto, debemos conocer la relación del peso con un valor de referencia o unitario establecido. Con las balanzas expuestas en esta tarea y la siguiente podremos lograrlo al colocar dos palancas móviles en equilibrio. La proyección en el peso de referencia se desarrollará, a continuación, a través de una escala adecuada.

### Tarea de construcción



*Imagen 1: balanza*

Realiza el montaje de la balanza que se muestra en la imagen 1. Esta balanza funciona de acuerdo con el principio de la palanca: si se aumenta el peso en la base colgante (a la izquierda en la imagen), se debe desplazar hacia fuera el contrapeso deslizante compuesto por los cuatro componentes amarillos (en el centro de la imagen) para compensar y que el indicador (el eje negro) vuelva a hallarse exactamente en la punta del bloque angular rojo.

Recorta la plantilla para la escala de la balanza y sujétala con dos ganchos en forma de S a la izquierda y la derecha del soporte angular negro. Coge un lápiz negro y marca la «posición cero» del contrapeso (con la base colgante vacía), es decir el punto en el que se halla la punta del bloque angular rojo debajo del contrapeso en la escala, con una línea y un 0.

### Tarea temática

A continuación, se debe calibrar la balanza. Para ello, debes colocar «pesos unitarios» en la base colgante. Si no tienes elementos con un peso exacto, también puedes usar los componentes amarillos como «peso unitario» (pesan poco más de 5 g).

Marca con líneas en la escala la posición correspondiente del bloque angular rojo debajo del contrapeso cuando el contrapeso se ajusta de manera que el indicador de la balanza se halle exactamente sobre el bloque angular inferior. De este modo, puedes completar la escala. Comprueba que hayas calibrado la balanza correctamente con objetos, cuyos pesos conozcas.

1. ¿Cuál es la distancia entre dos marcas de 10 g en la escala?
2. ¿Cuál es el peso máximo que puedes determinar con la balanza?
3. ¿Qué magnitudes físicas son equivalentes cuando la balanza está en equilibrio?

### Tarea experimental

1. ¿Cómo puedes modificar la balanza para que el rango de medición se duplique? Menciona, como mínimo, dos posibilidades.
2. ¿Cómo podrías hacer que la balanza sea más precisa (también para esto hay varias posibilidades)?

## Soluciones

### Modelo 1 de los sistemas de transmisión – Balanza (palanca)

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

Se entrega al alumnado una copia de las escalas de medición para recortar.

#### Tarea temática

La balanza se puede calibrar con cualquier «peso unitario». Las marcas en la escala se deben distribuir en líneas parciales seleccionadas de forma apropiada.

1. La distancia entre las líneas debe ser uniforme, dado que el contrapeso se desplazará de forma directamente proporcional con el aumento del peso en la base colgante. La distancia entre dos marcas de 10 g debería ser aproximadamente de 5 cm.
2. Como máximo, la balanza puede pesar poco más de 35 g.
3. Cuando la balanza está en equilibrio, es decir que la barra está en posición horizontal y el indicador de la balanza se halla en la punta del bloque angular rojo, los pares de giro a la derecha y a la izquierda del eje coinciden.

#### Tarea experimental

1. El rango de medición de la balanza puede duplicarse al duplicar la longitud del lado derecho de la balanza en la imagen, o al acortar a la mitad el lado izquierdo. Por último, se puede duplicar el contrapeso deslizante en el costado derecho de la balanza.
2. Para una mayor precisión de la balanza, se debe utilizar un contrapeso más pequeño o prolongar el costado izquierdo de la balanza. Para saber el rango de medición, se debe prolongar el costado derecho de la balanza de forma correspondiente.

## Anexos

Modelo 1: manual de instrucciones de la balanza, hoja con escalas vacías para recortar.

## Modelo 2 de los sistemas de transmisión – Pesacartas (palanca)

El nombre correcto del siguiente tipo de balanza mecánica es «balanza de péndulo» y continúa siendo muy popular hoy en día como pesacartas.

### Tarea de construcción



*Imagen 1: pesacartas*

Realiza el montaje del pesacartas de la imagen 1. A diferencia de la balanza con la barra, con esta no es necesario ajustar un contrapeso. El peso colocado en la base (derecha) genera un desplazamiento correspondiente en el indicador izquierdo (componente amarillo con bloque angular en la punta). La balanza se encuentra en un equilibrio estable.

Recorta la plantilla para la escala del pesacartas y sujétala con dos ganchos en forma de S a la izquierda y la derecha del soporte angular amarillo doblado. Coge un lápiz negro y marca la «posición cero» de la balanza (con la base vacía), es decir el punto en el que se halla la punta del bloque angular rojo en la escala, con una línea y un 0.

### Pregunta temática

A continuación, también se debe calibrar esta balanza. Para ello, debes volver a colocar «pesos unitarios» en la base (véase la tarea 1). Marca con líneas la posición correspondiente de la punta del bloque angular rojo en la escala. Comprueba que hayas calibrado la balanza correctamente con objetos, cuyos pesos conozcas.

¿Cuál es el peso máximo que puedes medir con esta balanza?

### Tarea experimental

1. ¿Cómo se puede aumentar el rango de medición en esta balanza?
2. ¿Cómo se puede hacer más precisa la medición con esta balanza (en este caso, también hay varias posibilidades para lograrlo)?
3. ¿Por qué se achican las distancias de dos marcas de 10 g en la escala al aumentar el peso?

## Soluciones

### Modelo 2 de los sistemas de transmisión - Pesacartas (palanca)

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

*Referencia histórica:* El pesacartas (o también balanza de péndulo) es una invención de *Philipp Matthäus Hahn* (1739-1790), quien lo desarrolló entre los años 1764 y 1770. Asimismo, Hahn desarrolló también algunas de las primeras calculadoras mecánicas basadas en principios constructivos de Leibniz para el cálculo de sus relojes e instrumentos astronómicos.

Se entrega al alumnado una copia de las escalas de medición para recortar.

### Pregunta temática

El pesacartas se puede calibrar también con cualquier «peso unitario». Las marcas en la escala deben estar distribuidas en líneas parciales seleccionadas de forma apropiada: hacia la izquierda (con un mayor desplazamiento del indicador), las líneas deben tener una distancia cada vez menor.

El peso máximo que puede determinarse con esta balanza es de poco más de 25 g.

### Tarea experimental

1. El rango de medición puede ampliarse al aumentar el peso del brazo indicador de la balanza. Esto mismo puede hacerse prolongando el indicador.
2. Para una mayor precisión de la balanza, también se debe ampliar la palanca derecha, por ejemplo, al aumentar la distancia entre ambos ejes de giro y las articulaciones mediante componentes, o a través de una reducción del peso del brazo indicador de la balanza, por ejemplo, al sustituir los componentes 30 por piezas estáticas. Sin embargo, de este modo, se achica el rango de medición.
3. Las distancias de las marcas de diferencias de peso idénticas disminuyen porque el brazo indicador realiza un movimiento circular. La proporción del movimiento del indicador que se desarrolla lateralmente (y necesita poca fuerza) disminuye, mientras que la proporción del movimiento que levanta el indicador aumenta. Por eso, el ángulo de desplazamiento no crece de manera lineal.

El cambio puede calcularse a través del par de giro: los pares de giro de ambos lados son siempre iguales cuando la balanza está detenida.

## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 2: manual de instrucciones del pesacartas, hoja con escalas vacías para recortar.



## Modelo 3 de los sistemas de transmisión – Polipasto y torno

El polipasto es uno de los sistemas de transmisión más antiguos. Sin él, nunca hubieran existido las impresionantes construcciones de piedra de la Antigüedad. El polipasto multiplica la fuerza al distribuir el esfuerzo de elevación en varias cuerdas. El trabajo realizado (levantar un peso) continúa siendo el mismo, pero se debe tirar por más tiempo, aunque con menos fuerza.

### Tarea de construcción

En primer lugar, realiza el montaje del polipasto simple de la imagen 1.



*Imagen 1: polipasto con un máximo de cuatro poleas.*

### Pregunta temática

En la imagen 2, se muestran tres rieles distintos con cuerdas que utilizan dos, tres y cuatro poleas del polipasto. Colócalos de manera sucesiva y responde las preguntas a continuación.

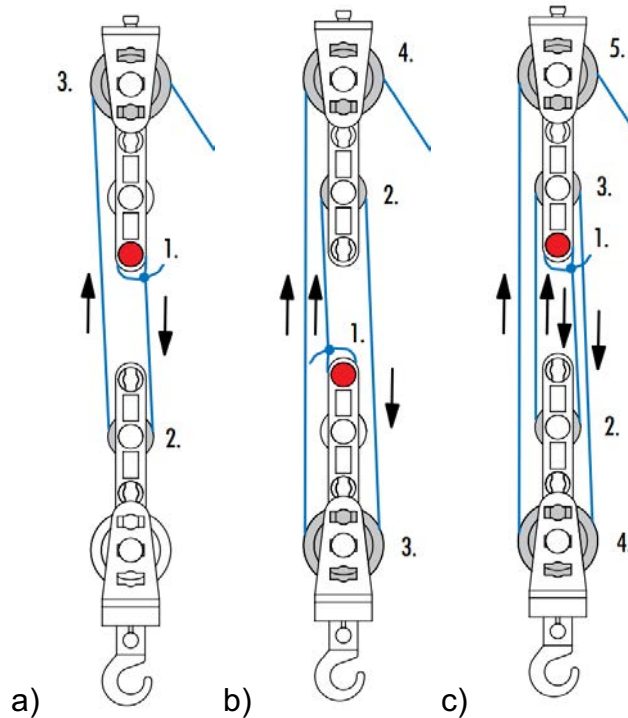
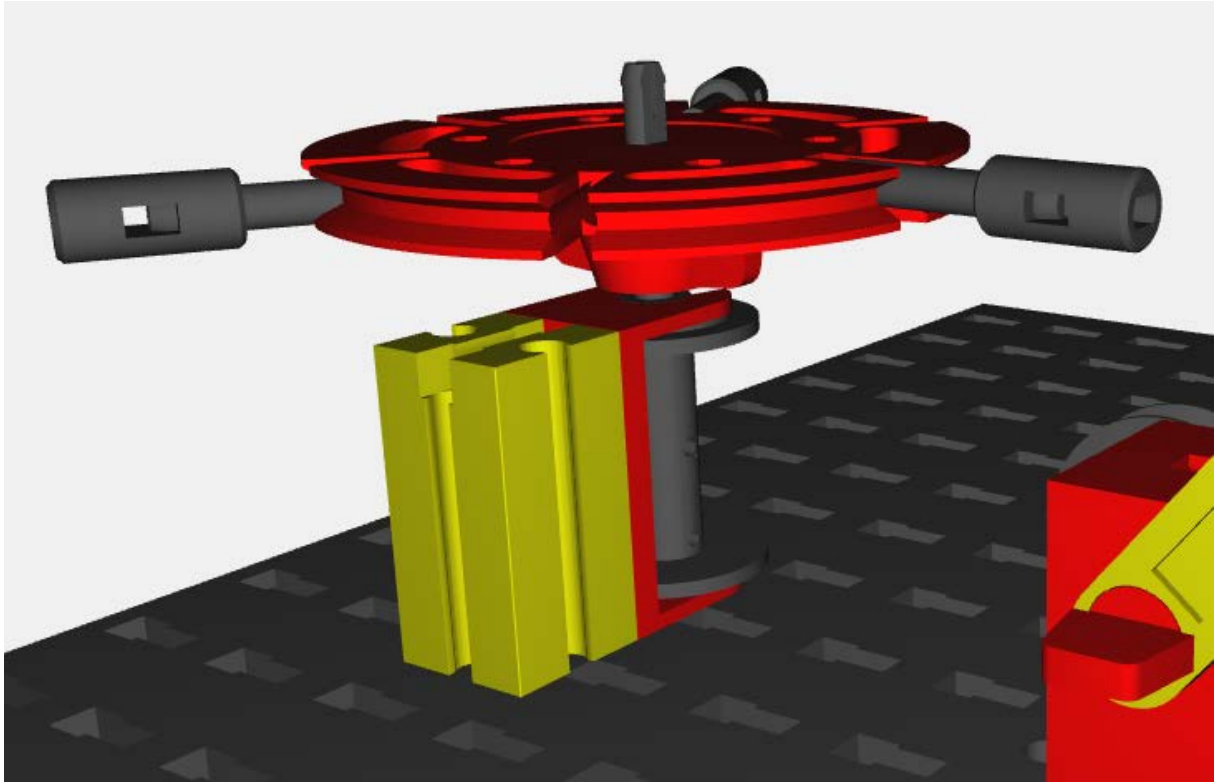


Imagen 2: tres rieles distintos con cuerdas y a) dos, b) tres, y c) cuatro poleas.

1. ¿Cuántas vueltas de la manivela necesita el cabrestante sin polipasto para levantar un objeto de alrededor 10 cm, y cuántas en los casos a), b), y c)?
2. ¿Cómo es la multiplicación de la fuerza de las tres versiones de polipasto a), b), y c), en relación con una cuerda sin polipasto?
3. ¿Por qué se denomina también «polipasto factorial» a este tipo de polipasto?

## Tarea experimental

Añade un torno al polipasto, como se muestra en la imagen 3.



*Imagen 3: torno en el polipasto.*

El efecto del torno puedes comprenderlo al pensarlo como una palanca: la fuerza ejercida en el centro del adaptador de encastre puedes convertirla a la fuerza ejercida en el tambor en la cuerda.

1. ¿Cuál es la multiplicación de la fuerza del torno con a) un eje de encastre 30 y b) un eje de encastre 45 como palanca?
2. ¿Cuál es el «precio» de la multiplicación de la fuerza con el torno?
3. ¿Qué multiplicación de la fuerza es más sencilla de lograr? ¿La del torno o la del polipasto? Menciona diferentes ventajas y desventajas de ambos multiplicadores de la fuerza.

## Soluciones

### Modelo 3 de los sistemas de transmisión – Polipasto y torno

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

*Referencia histórica:* el momento de la invención del polipasto se desconoce. Las descripciones más antiguas de polipastos que se conocen son del romano *Marcus Vitruvius Pollio* (aprox. 80-15 a. C.), quien describió los conocimientos en materia de construcción existentes en aquel entonces en sus «Diez libros de arquitectura». Entre ellos, se encuentran también tornos que se utilizaban en las grúas de construcción romanas.

#### Pregunta temática

1. La cantidad exacta de vueltas de la manivela depende del grosor del tambor de la cuerda, es decir, de la cantidad de cuerda ya enrollada. Sin polipasto serían tres vueltas, en el caso a), aproximadamente seis y media, en el caso b) casi 10 y, en el caso c) 13.
2. La multiplicación de la fuerza es inversamente proporcional a la longitud necesaria de la cuerda. En el caso a), la fuerza se duplica, en el b), se triplica, y en el c), se cuadruplica. La multiplicación de la fuerza puede contarse en el número de lazos de la cuerda.
3. De este modo, se explica también el término «polipasto factorial»: el número de poleas utilizadas es el factor de la multiplicación de la fuerza.

#### Tarea experimental

1. La multiplicación de la fuerza del torno equivale a la relación de la palanca larga con el radio del tambor de la cuerda. Si la cuerda se enrolla directamente sobre el tambor (diámetro 0,7 cm) y se coloca la mano en el centro del adaptador de encastre, la multiplicación en el caso a) será de  $4,5/0,35 \approx 12,85$ , y, en el caso b),  $6/0,35 \approx 17,14$ .

Con la cuerda enrollada, el radio del tambor aumenta y, de este modo, disminuye la multiplicación de la fuerza. Al comparar el torno con la manivela, se debe contemplar, no obstante, que la manivela ya genera una multiplicación de la fuerza alrededor del factor  $1,2/0,35 \approx 3,42$ .

2. El «trayecto» que debe realizarse al girar el torno crece de forma proporcional a la multiplicación de la fuerza. Esto puede entenderse fácilmente, dado que la circunferencia es igual a  $2 \pi r$ , es decir que se incluye en el cálculo de la circunferencia una multiplicación del radio con el mismo factor.

3. En el torno se puede provocar rápidamente una amplia multiplicación de la fuerza con pocos medios. Por el contrario, con el polipasto se necesitan muchas poleas adicionales. Si las poleas del polipasto factorial se disponen una debajo de la otra, el trayecto de elevación se acorta. Sin embargo, esto puede evitarse mediante poleas dispuestas en paralelo. La longitud adicional necesaria de cuerda debe adaptarse al tambor de la cuerda. La ventaja es que el peso que debe levantarse se distribuye en las cuerdas, por lo que no se necesita un cable de tracción más estable en caso de pesos más elevados.

Por el contrario, la palanca del torno y el cable de tracción deben hacer frente a toda la fuerza multiplicada o al peso que debe levantarse y, por tanto, diseñarse de forma más robusta para pesos mayores. Una palanca más larga en el torno requiere, además, una superficie circular de desplazamiento con el tamaño correspondiente alrededor del torno. Dado que la fuerza de tracción en el tambor de la cuerda aumenta con el peso que debe levantarse, el torno debería disponer también de un gatillo.

## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 3: manual de instrucciones del polipasto con cabrestante, manual de instrucciones del polipasto con torno

## Tareas del modelo 4 (con variantes) de los sistemas de transmisión – Mecanismo de cuatro barras, biela-manivela, y elevador de tijera

En general, los accionamientos generan un movimiento de rotación. Sin embargo, para la salida, con frecuencia se necesita un movimiento de ida y vuelta. A este fin, se utilizan mecanismos de cuatro barras, bielas-manivelas y elevadores de tijera. Las bielas-manivelas desempeñan una función fundamental en los motores de combustión interna como «cigüeñal»: transforman el movimiento del eje del pistón en un movimiento de rotación del eje de salida.

### Tarea de construcción

El sistema de transmisión que puede verse en la imagen 1 es un «mecanismo de cuatro barras» que transforma un movimiento circular (el del disco excéntrico) en un movimiento oscilante: el eje en el extremo superior del componente montado de manera móvil se mueve a lo largo de un arco de círculo. Un uso clásico del mecanismo de cuatro barras puede encontrarse en un limpiaparabrisas convencional.



*Imagen 1: mecanismo de cuatro barras.*

Añade dos escobillas separadas al mecanismo de cuatro barras para convertirlo en un limpiaparabrisas (puedes simular las escobillas por medio de riostras estáticas fijadas a los costados del componente central con un gancho en S).

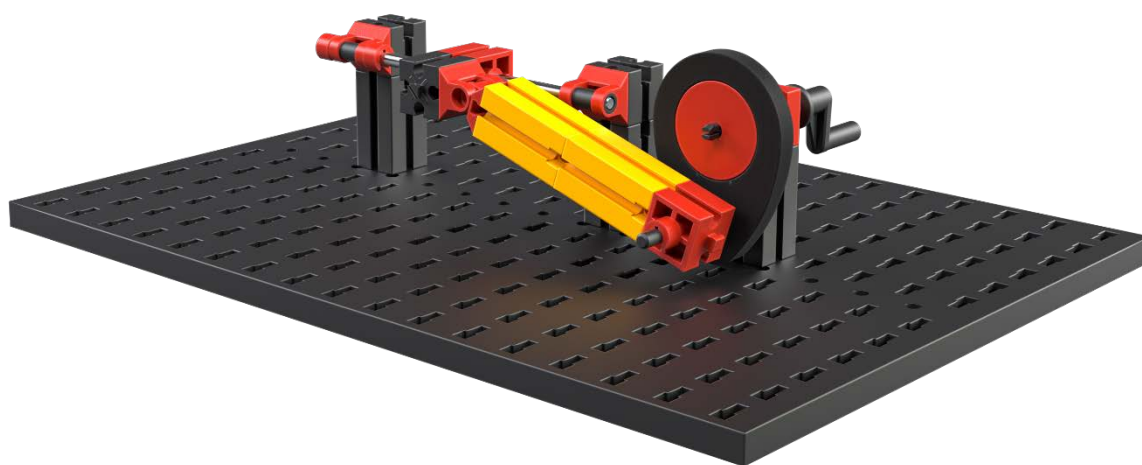
### Tarea experimental

1. Un sistema de transmisión muy similar al mecanismo de cuatro barras es la biela-manivela que puede observarse en la imagen 2. Sin embargo, a diferencia del mecanismo de cuatro barras, en este caso, el movimiento circular del disco excéntrico no se convierte en movimiento oscilante, sino en movimiento horizontal: a través de la

guía del eje metálico, el componente 15 perforado se mueve en línea recta de un lado a otro.

Además de la función ya mencionada de cigüeñal en los motores de vehículos, existen otras posibilidades útiles de empleo, por ejemplo, como «sistema de avance».

Convierte la biela-manivela en un sistema de avance como el mencionado que desplace una hoja de papel de manera uniforme por un trayecto definido sobre la placa base. Prueba el funcionamiento.



*Imagen 2: biela-manivela*

2. En la imagen 3 hay un elevador de tijera para coches, denominado «gato», que se levanta por medio de un engranaje con tornillo sinfín. El engranaje se autobloquea, es decir que el gato permanece estable en la posición en la que se haya ajustado el engranaje con tornillo sinfín.





*Imagen 3: gato con engranaje de tornillo sin fin*

Realiza el montaje del gato según la imagen. ¡Te sorprenderás con la altura que puede alcanzar! ¿Cómo podría aumentarse aún más la elevación del gato? Menciona varias posibilidades y compáralas.

## Soluciones

### Modelo 4 (con variantes) de los sistemas de transmisión – Mecanismo de cuatro barras, biela-manivela, y elevador de tijera

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

*Referencia histórica:* las bielas-manivelas se utilizaban ya en la Antigüedad, con el objetivo de aprovechar el movimiento de rotación de una rueda hidráulica para amoladoras de disco. Sus primeros registros datan del siglo III d. C. A través del desarrollo de la máquina de vapor y la invención del «motor de vapor» por parte de *James Watt* (1736-1819), comenzaron a desempeñar una función fundamental como cigüeñal a finales del siglo XVIII.

### Tarea de construcción

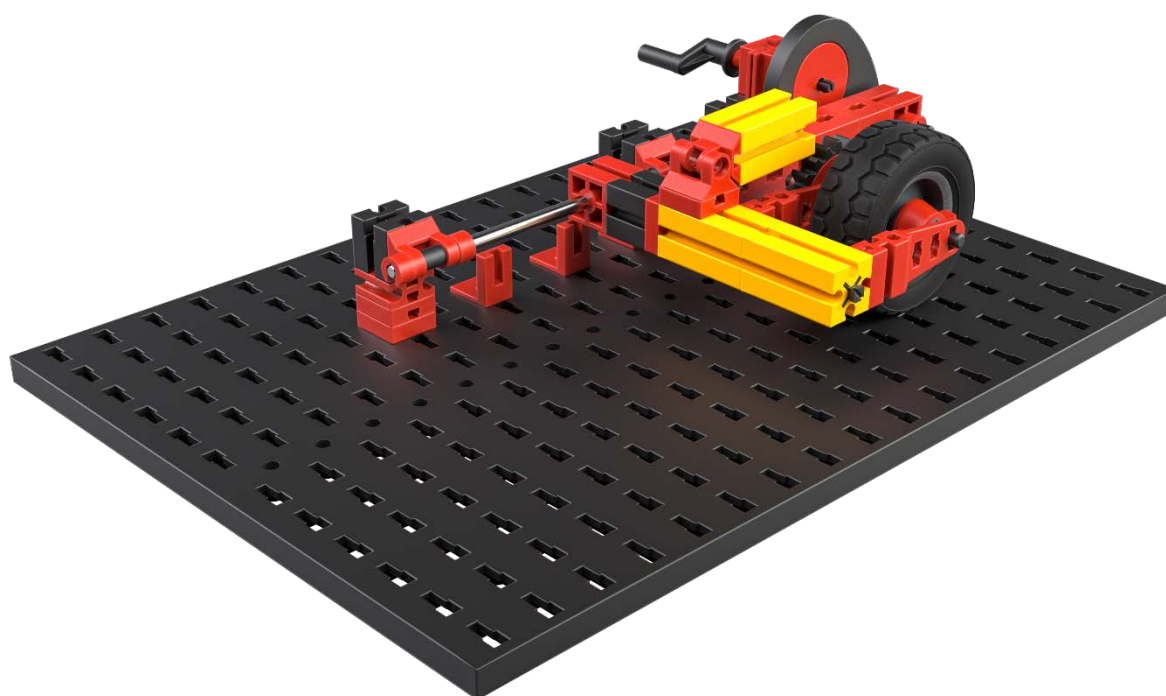


Una posibilidad para el montaje de los limpiaparabrisas.

A través de una palanca más grande o más pequeña debajo de la unión de ambas bielas oscilantes, se puede disminuir o ampliar el desplazamiento lateral de las escobillas.

### Tarea experimental

1. El sistema de avance necesita una rueda con gatillo, de modo que solo pueda desplazarse en una dirección y se tope con un bloqueo al avanzar en la dirección contraria y, por ejemplo, «tire» de una hoja de papel en la base.



El avance está establecido por la excéntrica utilizada. En esta construcción, son aprox. 4,75 cm.

2. La elevación del gato puede aumentarse al prolongar el engranaje con tornillo sinfín o con pares adicionales de riostras destinados a prolongar la elevación de la tijera. Con la primera solución, aumenta la longitud del engranaje. Para que la elevación de la tijera no termine siendo demasiado estrecha y, de este modo, inestable, al mismo tiempo, se debería ampliar también la longitud de las riostras en igual medida. Con la segunda solución, se necesita más fuerza para la misma elevación, dado que el trayecto por el que se mueve la tuerca del tornillo sinfín permanece igual. De este modo, se reduce la multiplicación de la fuerza del sistema de transmisión para la elevación.

## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 4: manual de instrucciones del mecanismo de cuatro barras, manual de instrucciones de los limpiaparabrisas, manual de instrucciones de la biela-manivela, manual de instrucciones del sistema de avance, manual de instrucciones del gato/elevador de tijera

## Tareas del modelo 5 de los sistemas de transmisión – Eje cardán

A veces, el eje de accionamiento y el eje de salida de un sistema de transmisión no se encuentran ni en la misma línea ni en paralelo, sino que forman un ángulo obtuso. En esos casos, se debe modificar la dirección del giro del eje con una transmisión por cardán, también denominada articulación en cruz o, simplemente, cardán.

### Tarea de construcción

Realiza el montaje del cardán que se muestra en la imagen 1. ¿Qué ángulo forman el eje de accionamiento y el de salida?



*Imagen 1: cardán*

Si impulsas el eje de accionamiento a través de la manivela, podrás ver que el movimiento del eje de salida no se desarrolla de manera simétrica: a veces se mueve más rápido y a veces, más lento que el eje de accionamiento. Este efecto se denomina «error del cardán».

### Tarea temática

A continuación, prolonga el eje de accionamiento con un acoplamiento de encastre y un eje de encastre 45, y el eje de salida al sustituir el eje de encastre 30 por un eje de encastre 45. Añade una placa giratoria 60 con un cubo plano al eje de accionamiento, de manera que la tuerca del cubo se halle en dirección al cardán, y añade un segundo cojinete antes de volver a colocar la manivela encastrable. Sustituye la rueda con una segunda placa giratoria 60 con cubo plano. En este caso, la tuerca del cubo debe hallarse en dirección opuesta al cardán. Por último, prolonga el cojinete del eje de accionamiento y del eje de salida con un componente 15 con bloque angular de 60° colocado para poder leer mejor el disco con la escala de ángulos (véase la imagen 2).

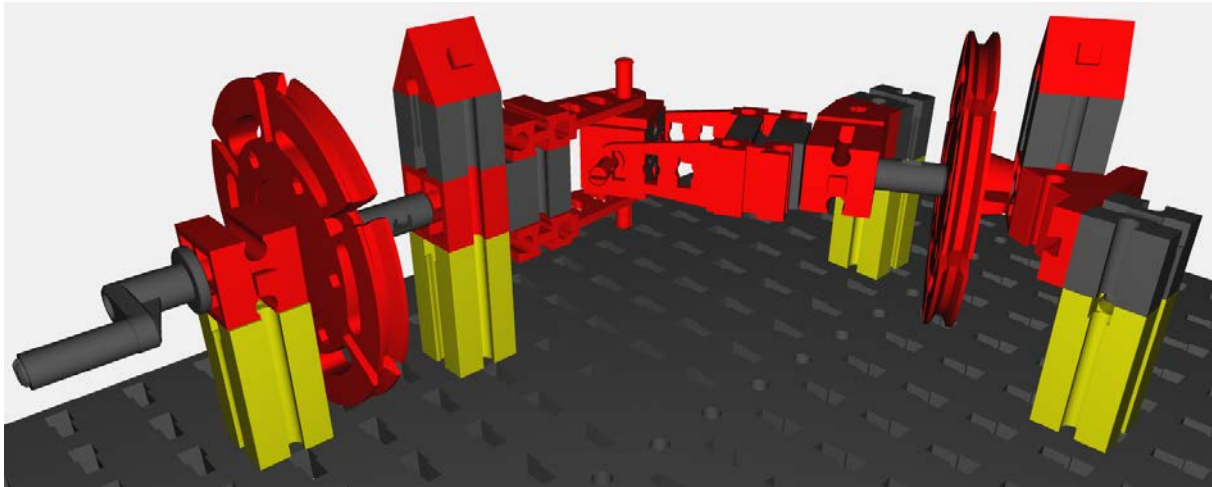


Imagen 2: ampliación del cardán con dos goniómetros.

Recorta los dos discos con la escala de los ángulos (imagen 3), perfóralos en el centro, e introdúcelos en los dos ejes delante de los discos giratorios, de modo que el disco del eje de accionamiento se fije entre la manivela y el disco giratorio, y el del eje de salida haga lo propio entre el acoplamiento de encastre y el disco giratorio. También puedes sujetarlos al disco giratorio con cinta adhesiva transparente.

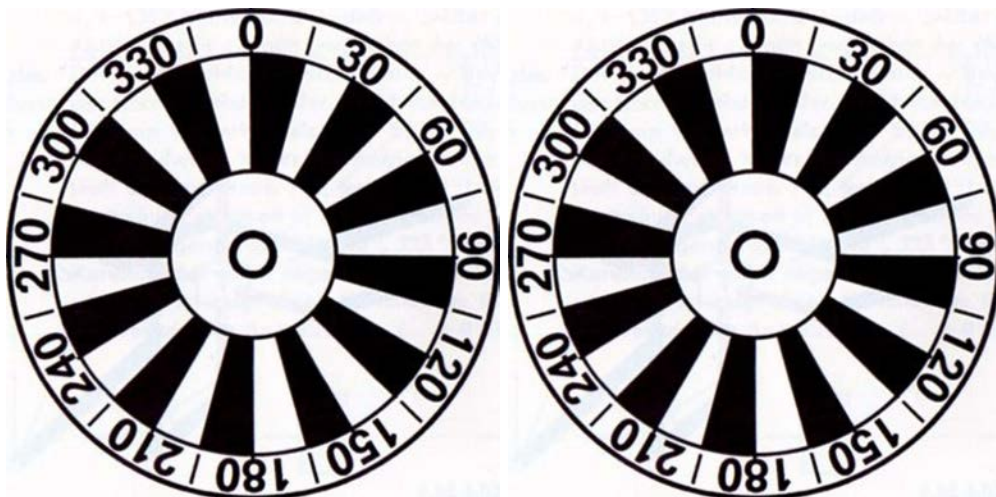


Imagen 3: discos con escala a modo de goniómetro.

Coloca el cardán en la misma posición que en la imagen 2 y orienta los dos goniómetros de manera que la punta del bloque angular rojo coincida con los 0°. A continuación, gira la manivela en pasos de 15° cada uno desde 0° a 180° y apunta los valores de los ángulos del segundo goniómetro situado en el eje de salida.

Introduce los resultados de la medición y la diferencia correspondiente entre el eje de salida y el de accionamiento («delta») en la siguiente tabla.



Ángulo de giro del accionamiento	Ángulo de giro de la salida	$\Delta$	Ángulo de giro del accionamiento	Ángulo de giro de la salida	$\Delta$
0°	0°	0°	90°	90°	0°
15°			105°		
30°			120°		
45°			135°		
60°			150°		
75°			165°		
90°	90°	0°	180°	180°	0°

### Tarea experimental

Como has visto, el error del cardán puede ser importante. El error es mayor, a medida que el ángulo con el que se desplaza el eje es más grande.

Sin embargo, resulta interesante saber que, si unimos dos cardanes para formar un eje, de manera que el eje de accionamiento y el de salida se hallen en paralelo, se solucionan los errores de ambos cardanes. Por eso, en la práctica, los cardanes se suelen utilizar en accionamientos uniformes solo cuando el desplazamiento es reducido o en pares en forma de eje cardán.



*Imagen 4: eje cardán con dos cardanes.*

La imagen 4 muestra un eje cardán como el descrito. Realiza el montaje según esta imagen y resuelve las siguientes tareas con su ayuda.

1. ¿Cuál es el ángulo máximo con el que los dos cardanes continúan girando «correctamente»?
2. Realiza el montaje de ambos goniómetros en el eje de accionamiento y el eje de salida del eje cardán, y comprueba si el error del cardán realmente se ha solucionado.
3. ¿Con qué otros sistemas de transmisión se te ocurre que se puede alcanzar un desplazamiento del eje acorde al eje cardán del accionamiento a la salida? ¿Cuáles son sus ventajas o desventajas, en comparación con el eje cardán?



## Soluciones

### Modelo 5 de los sistemas de transmisión - Eje cardán

Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.

*Referencia histórica:* El nombre «cardán» hace referencia al erudito y matemático italiano *Gerolamo Cardano* (1501-1576), quien, en el año 1550, describió la posteriormente denominada «suspensión cardán» en su obra «De Subtilitate». En la práctica, esta suspensión también denominada «suspensión con aros» ya había sido descrita por Filón de Bizancio en el año 230 a. C. y dibujada varias veces alrededor del 1500 por *Leonardo da Vinci* (1452-1519). En la actualidad, no se conoce ninguna divulgación por parte de Cardano de la articulación con aros o en cruz que podría derivarse de la suspensión con aros. La descripción más antigua conocida de la articulación en cruz se halla en el libro «Technica Curiosa» del año 1664 de *Caspar Schott* (1608-1666).

La solución del error del cardán en un eje cardán fue un descubrimiento del físico inglés *Robert Hooke* (1635-1703) en el año 1683.

Se entrega al alumnado una copia para recortar de los discos para medir los ángulos.

### Tarea de construcción

El eje de accionamiento y el de salida forman un ángulo aproximado de 119°.

### Tarea temática

Ángulo de giro del accionamiento	Ángulo de giro de la salida	$\Delta$	Ángulo de giro del accionamiento	Ángulo de giro de la salida	$\Delta$
0°	0°	0°	90°	90°	0°
15°	17°	2°	105°	95°	-10°
30°	42,5°	12,5°	120°	102,5°	-17,5°
45°	57,5°	12,5°	135°	115°	-20°
60°	70°	10°	150°	125°	-25°
75°	77,5°	2,5°	165°	150°	-15°
90°	90°	0°	180°	180°	0°

### Tarea experimental

1. El ángulo máximo ajustable con el cardán (el ángulo mínimo entre la parte de accionamiento y central del eje cardán) es de aprox.  $117^\circ$ .
3. Como sistemas de transmisión alternativos, se pueden proponer, por ejemplo, un sistema de transmisión por ruedas dentadas (dos ruedas dentadas de igual tamaño en el eje de accionamiento y el eje de salida y, en el medio, una rueda dentada cualquiera para que no se invierta la dirección), un sistema de transmisión por cadena o uno por correa. La desventaja del sistema de transmisión por ruedas dentadas es la pérdida de eficiencia (hasta 10 %), mientras que la desventaja del sistema de transmisión por correa es la conexión no positiva. Los sistemas de transmisión por cadena tienen un número de revoluciones máximo claramente inferior que los sistemas de transmisión por ruedas dentadas (factor 10 a 30).

## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 5: manual de instrucciones del cardán, hoja con discos para recortar para medir ángulos con el cardán, manual de instrucciones del cardán con discos para recortar para medir ángulos

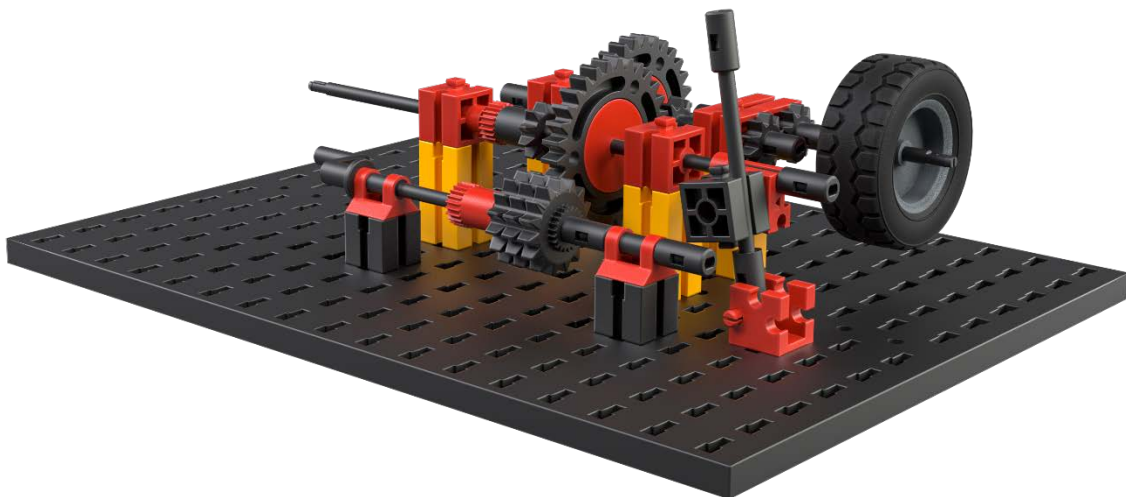
## Tareas del modelo 6 de los sistemas de transmisión – Transmisión manual

A aquellos sistemas de transmisión, cuya transmisión es variable, los llamamos de transmisión manual. La transmisión manual es utilizada en automóviles con motores de combustión, ya que estos motores solo tienen un alto grado de eficiencia en un rango de revoluciones relativamente reducido. La transmisión manual permite traducir la velocidad de giro del eje de accionamiento en diferentes velocidades de giro del eje de salida.

### Tarea de construcción

Las transmisiones manuales suelen estar construidas con engranajes. A continuación, distinguiremos las ruedas dentadas utilizadas en función de su número de dientes: Llamamos Z30 a la rueda dentada de 30 dientes, Z10 a la de diez dientes y así sucesivamente.

En la imagen 1 puedes ver una cadena cinemática (con manivela, adelante) y un árbol de transmisión secundario (con rueda, atrás a la derecha en el dibujo). En el medio vemos un eje de transmisión (vacío) que puede moverse en sentido horizontal mediante una palanca (a la derecha).



*Imagen 1: Transmisión manual – Construcción básica*

Amplía esta construcción inicial a una transmisión manual mediante la cual pueden elegirse dos relaciones de transmisión diferentes (también llamadas «marchas»).

### Tarea temática

1. ¿Qué relaciones realiza tu sistema de transmisión? ¿Qué tan grande es la diferencia de las velocidades de giro de los ejes de salida (ante una misma velocidad de los ejes de accionamiento) en ambas marchas?
2. Tu transmisión manual es una de las varias que pueden construirse con las ruedas dentadas dadas (Z10, Z15, Z20, Z30, Z40). ¿Qué otras transmisiones manuales de dos velocidades podrías realizar con estas ruedas dentadas (y, de ser necesario, otras distancias entre los ejes de transmisión)?

### Tarea experimental

1. Amplía tu transmisión manual de dos velocidades a una transmisión manual de tres velocidades. ¿Qué relaciones realiza tu sistema de transmisión? ¿Aún hay otras construcciones posibles?
2. Añade una marcha atrás a tu transmisión manual de tres velocidades.

## Hoja de soluciones del modelo 6 de los sistemas de transmisión – Transmisión manual

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

Los estudiantes recibirán el manual de instrucciones para la construcción básica de la transmisión manual.

### Tarea de construcción



### Tarea temática

1. El árbol de maniobra de la imagen traduce 1:3 de reducción o 3:1 de aceleración. Además, el árbol de transmisión traduce al eje de maniobra en una relación de 1:2 de reducción. En la primera marcha la transmisión manual traduce 1:6 de reducción y en la segunda marcha 3:2 de aceleración. La velocidad de giro del eje de salida difiere en ambas marchas en un factor de 9.

2. Existen numerosas opciones de construcción alternativas:

Con dos Z20 se puede reemplazar una de las dos relaciones de transmisión del eje de maniobra por una relación de transmisión de 1:1. Entonces la velocidad de giro del eje de salida difiere en ambas marchas en un factor de 3.

Con dos Z10 y dos Z40 puede realizarse una relación de transmisión de 1:4 con una de 4:1 (de reducción y de aceleración respectivamente); las velocidades de giro diferirán, entonces, en un factor de 16.

Si en la transmisión manual mencionada recientemente se sustituye uno de los dos pares de ruedas dentadas por dos Z30, se podrá reemplazar la relación de transmisión de 1:4 o 4:1 por una de 1:1. En este caso, las velocidades de giro del eje de salida solo difieren en un factor de 4.

Con dos Z15 y dos Z30 o dos Z10 y dos Z20 puede establecerse una conexión con una relación de transmisión de 1:2 y de 2:1; las velocidades de giro del eje de salida difieren en esta conexión también en un factor de 4.

Una conexión con dos Z15 y dos Z10 genera las relaciones de transmisión de 3:2 y 2:3; la diferencia en las velocidades de giro del eje de salida en esta construcción es de 9:4 (es decir, un factor de 2,25).

Con dos Z15 y dos Z20 se obtiene una relación de transmisión de 3:4 y una de 4:3; la diferencia en las velocidades de giro en esta conexión es de un factor de 16:9 (es decir, aproximadamente 1,8).

Con dos Z15 y dos Z40 se obtiene una relación de transmisión de 3:8 y una de 8:3; las velocidades de giro del eje de salida difieren en un factor de 64:9 (es decir, aproximadamente 7,1).

## Tarea experimental

1. La siguiente transmisión manual de tres marchas (con dos Z30, dos Z20 y dos Z10) realiza las relaciones de transmisión de 1:3, 1:1 y 3:1.



Con dos Z40, dos Z30 y dos Z20 son posibles las relaciones de transmisión de 1:2, 1:1 y 2:1.

Las mismas relaciones de transmisión pueden realizarse también (de forma mucho más compacta) con dos Z10, dos Z15 y dos Z20.

2. La marcha atrás (¡cambio de dirección!) con una relación de transmisión de 1:1 es generada por los tres anclajes Z10 a la izquierda del dibujo. La rueda dentada central puede ser reemplazada por cualquier otra rueda dentada y colocarse a mayor altura o profundidad para conectar los dos anclajes Z10 externos.

*Observación:* Una modificación en la relación de transmisión del eje de accionamiento al eje de maniobra y de la relación final al eje de salida (constante de 1:1 en los ejemplos de sistemas de transmisión previos) permite dimensionar una transmisión manual completa.

Si se conocen el rango de revoluciones del motor y el rango de velocidades a cubrir, se puede calcular la relación de transmisión total necesaria de la transmisión manual y, a partir de ello, desarrollar el sistema de transmisión.



## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

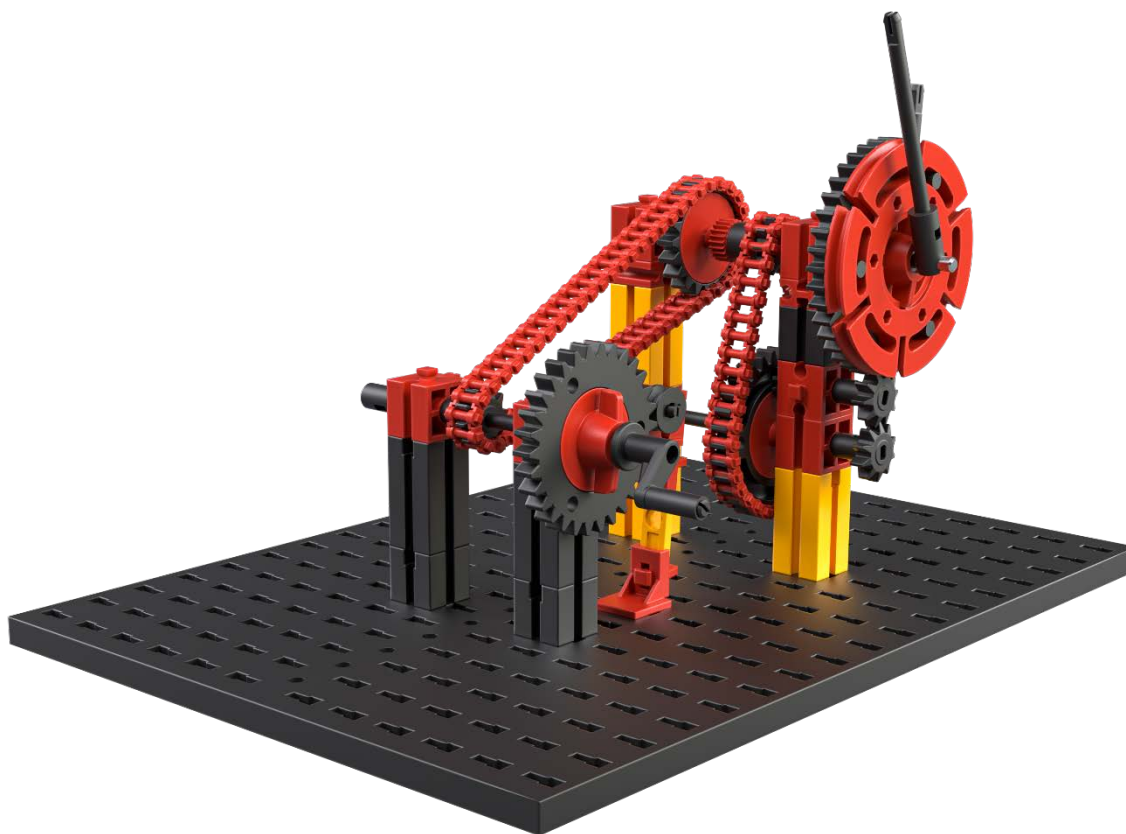
Modelo 6: Manual de instrucciones para la construcción básica de la transmisión manual, manual de instrucciones de la transmisión manual de dos velocidades, manual de instrucciones de la transmisión manual de tres velocidades, manual de instrucciones de la transmisión manual de tres velocidades con marcha atrás.

## Tareas del modelo 7 de los sistemas de transmisión – Engranaje de reloj

### Tarea de construcción

Uno de los detalles técnicos más ingeniosos en un reloj es que varias agujas – al menos las que indican las horas y los minutos – giran sobre un mismo eje a diferentes velocidades.

Lo realizamos mediante un «bujes sin freno». La aguja de los minutos es accionada por el eje metálico en la imagen 1, mientras que el disco de giro 60, montado sobre el mismo eje con el buje sin freno negro, es movido por el Z40 ubicado detrás.



*Imagen 1: Engranaje de reloj – Construcción básica*

El reloj debe accionarse mediante un único árbol de transmisión: el eje sobre el cual se asienta la aguja de los minutos. Ahora, si la aguja de las horas (el disco de giro 60 o bien el Z40) debe girar de forma independiente a este: ¿Cuál es la relación de transmisión necesaria entre la aguja de los minutos y el disco de giro 60?

### Tarea temática

Construye ahora el sistema de transmisión para accionar la aguja de los minutos, partiendo del eje de la aguja como eje de transmisión.

Para ello, procede «hacia atrás»: Considera el Z10 por debajo del Z40. ¿Qué relación de transmisión hay entre el eje del Z10 y el disco de giro 60? ¿Qué relación de transmisión se requiere, entonces, entre el eje del Z10 y el de la aguja de los minutos?

Pregúntate ahora qué ruedas dentadas puedes utilizar para lograr esta relación de transmisión y luego aplica esta relación de transmisión de modo que el eje de la aguja de los minutos se conecte con el Z10 por debajo del disco de giro 60.

### Tarea experimental

1. Indicar las 12 horas en la esfera del reloj es habitual pero no obligatorio. Sería más natural indicar todas las horas del día en una vuelta, es decir, dividir la esfera del reloj en 24 horas. ¿Cómo sería el sistema de transmisión necesario? ¿Puedes construirlo?

2. Todavía falta un accionamiento para el reloj. Lo realizaremos con una manivela.

Como accionamiento, monta en el lateral del reloj una manivela con una rueda dentada con bloqueo, de modo que con cada «clic» del bloqueo (es decir, cada diente de la rueda dentada) la aguja de los minutos se mueva exactamente un minuto.

## Hoja de soluciones del modelo 7 de los sistemas de transmisión – Engranaje de reloj

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

*Referencia histórica:* Los relojes astronómicos fueron una de las primeras aplicaciones de los engranajes. El engranaje más antiguo es el llamado «mecanismo de Anticitera» del siglo II a. C., un reloj astronómico con el que era posible predecir los eclipses lunares y solares. Los primeros relojes mecánicos que indicaban la hora fueron los relojes de las iglesias. Surgieron en el siglo XIV d. C.

### Tarea de construcción

Para la transmisión entre el eje de los minutos y la aguja de las horas es necesaria una relación de 1:12 de reducción. Cuando la aguja de los minutos termine de dar 12 vueltas exactas, la aguja de las horas debe haber girado exactamente una vez.

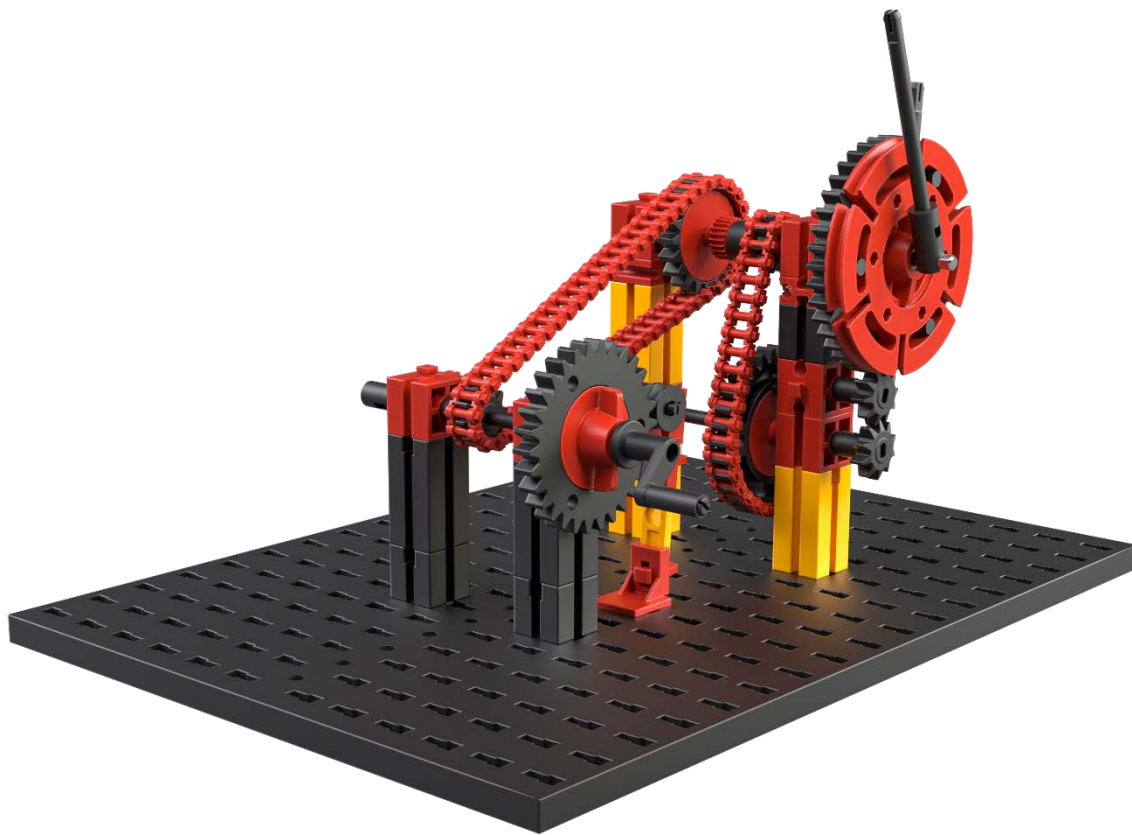
### Tarea temática

Hay varias soluciones posibles para el sistema de transmisión; una de ellas es la siguiente: Además de la relación de transmisión de 1:4 (del anclaje Z10 al Z40) necesitamos también una relación de transmisión de 1:3. Aquí debemos prestar atención a la dirección de giro: En el engranaje de cadena se mantiene; con los dos anclajes Z10 se invierte dos veces.

### Tarea experimental

Engranaje de reloj con una aguja de las horas no convencional de 24 h: Añadimos una relación de transmisión de 1:2 de reducción al sistema de transmisión. Al reemplazar el engranaje de cadena por dos engranajes (1:3 y 1:2) se mantiene la dirección de giro.

Accionamiento por manivela con «minutero»: un Z30 y una relación de 1:2 de reducción garantizan que la aguja de los minutos avance en una fracción de 1/60 de vuelta con cada diente del Z30.



## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 7: Manual de instrucciones de construcción básica de agujas del engranaje de reloj, (manual de instrucciones de engranaje de reloj con aguja 24 h), manual de instrucciones de engranaje de reloj con accionamiento por manivela.

## Tareas del modelo 8 de los sistemas de transmisión – Engranajes planetarios

Los sistemas de transmisión son especialmente adecuados para muchas aplicaciones prácticas en las que el cambio de movimiento es coaxial, es decir, el árbol de accionamiento y el árbol de salida están alineados. Son compactos, fáciles de instalar y de combinar.

### Tarea de construcción

La imagen 1 representa un sistema de transmisión coaxial con engranajes cónicos. Monta el sistema de transmisión de este modo. ¿Qué cambio de movimiento se produce?



*Imagen 1: Engranaje cónico coaxial*

Un sistema de transmisión coaxial también puede contener una relación de transmisión. El sistema de transmisión en la imagen 2 utiliza un engranaje de corona. Móntalo de este modo. ¿Qué relación de transmisión realiza?



*Imagen 2: Multiplicador coaxial con rueda de corona*

## Tarea temática

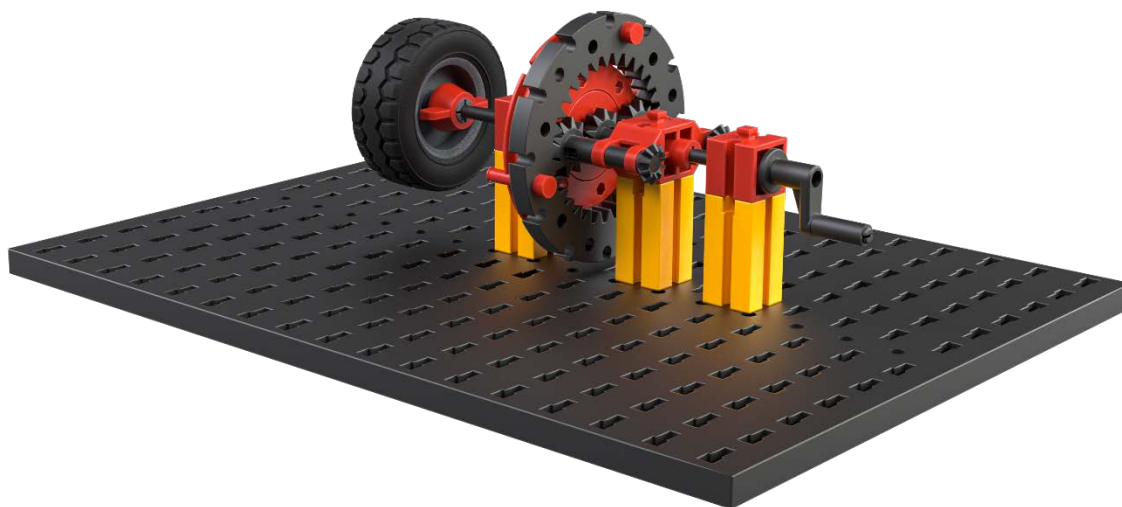
Los engranajes planetarios son una forma particular de multiplicadores coaxiales. Por lo general, estos se construyen como engranajes cilíndricos rectos, es decir, los dientes de las ruedas dentadas se ubican de forma perpendicular al eje (árbol). Los engranajes planetarios están compuestos por

- una «rueda solar» (una rueda dentada en el centro),
- varias «ruedas planetarias» que giran alrededor de la rueda solar y cuyos ejes están unidos por un soporte planetario, y
- una «rueda hueca», en cuya rueda dentada interior se insertan los dientes de las ruedas planetarias.

Los engranajes planetarios pueden construirse de forma muy compacta. En función de cuál de los tres árboles del engranaje planetario – el de la rueda solar, el del soporte planetario o el de la rueda hueca – se monte «fijo», se consigue una relación de transmisión diferente.

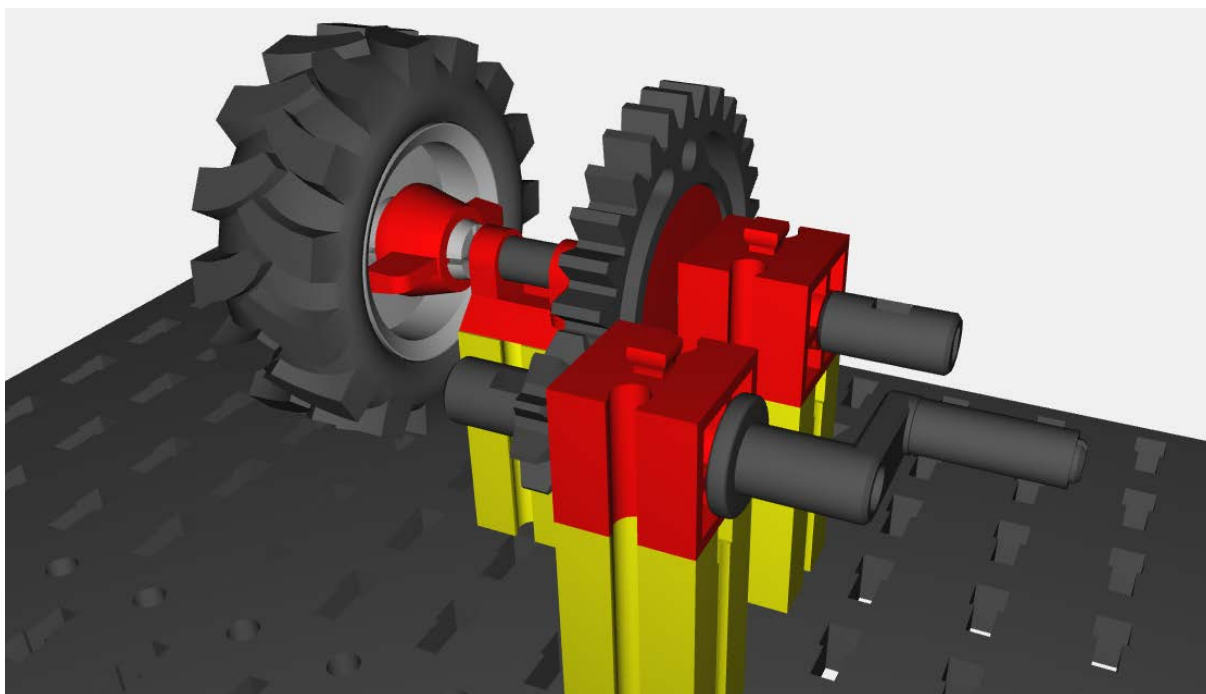
En primer lugar, examine y construya el siguiente engranaje planetario con el soporte planetario fijo y la rueda solar sobre el árbol de transmisión (imagen 3):





*Imagen 3: Engranaje planetario con soporte fijo de ruedas planetarias (soporte planetario) y accionamiento de rueda solar*

La relación de transmisión de este engranaje planetario es idéntica a la del siguiente engranaje cilíndrico recto (imagen 4):



*Imagen 4: Engranaje cilíndrico recto equivalente al engranaje planetario*

¿A qué se debe esto? Explícalo. ¿Qué relación de transmisión realiza, entonces, el engranaje planetario con soporte planetario fijo y la rueda solar como mecanismo de accionamiento?



### Tarea experimental

1. En el engranaje planetario en la imagen 3 el soporte planetario está fijo. Construye otro engranaje planetario, en el que se fije la rueda solar o la rueda hueca.
2. ¿Qué relaciones de transmisión se logran con los engranajes planetarios cilíndricos rectos fischertechnik con la rueda dentada interior Z30? Completa la siguiente tabla:

<b>Fijo</b>	<b>Accionamiento</b>	<b>Salida</b>	<b>Relación de transmisión</b>	<b>Cambio de dirección</b>
<b>Soporte planetario</b>	Rueda solar	Rueda hueca		sí/no
<b>Soporte planetario</b>	Rueda hueca	Rueda solar		sí/no
<b>Rueda hueca</b>	Rueda solar	Soporte planetario		sí/no
<b>Rueda hueca</b>	Soporte planetario	Rueda solar		sí/no
<b>Rueda solar</b>	Soporte planetario	Rueda hueca		sí/no
<b>Rueda solar</b>	Rueda hueca	Soporte planetario		sí/no

Como has podido ver, algunos de los sistemas de transmisión causan un cambio de dirección. Los identificamos en la relación de transmisión a través de un signo menos («-»).

3. La «conexión en serie» de engranajes planetarios permite realizar importantes relaciones de transmisión. Examina tres engranajes planetarios diferentes. ¿Qué dos sistemas de transmisión (diferentes) conectarías para realizar la mayor relación de transmisión de reducción posible?

## Hoja de soluciones del modelo 8 de los sistemas de transmisión – Engranajes planetarios

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

*Referencia histórica:* En 1780, *James Pickard* obtuvo la patente del mecanismo biela-manivela, para ese entonces ya conocido desde hacía, al menos, 1500 años, e intentó utilizarla para extorsionar a *James Watt* (1736-1819), que se encontraba muy cerca de finalizar su primera «máquina de vapor». En consecuencia, el congenial asistente de Watt, *William Murdoch* (1754-1839), inventó sin vacilar el engranaje de sol y planeta, que consistía en dos ruedas dentadas acopladas, de las cuales una giraba como un «planeta» alrededor de la otra (el «sol»), para burlar la patente de Pickard. En 1781, Watt recibió una patente propia por esta invención, junto con su máquina de vapor de expansión (patente n.º GB 1321).

Los estudiantes recibirán el manual de instrucciones del engranaje planetario con soporte planetario fijo.

### Tarea de construcción

El engranaje cónico coaxial causa una inversión en la dirección de giro.

El engranaje de corona genera una relación de transmisión de reducción de 1:3,2.

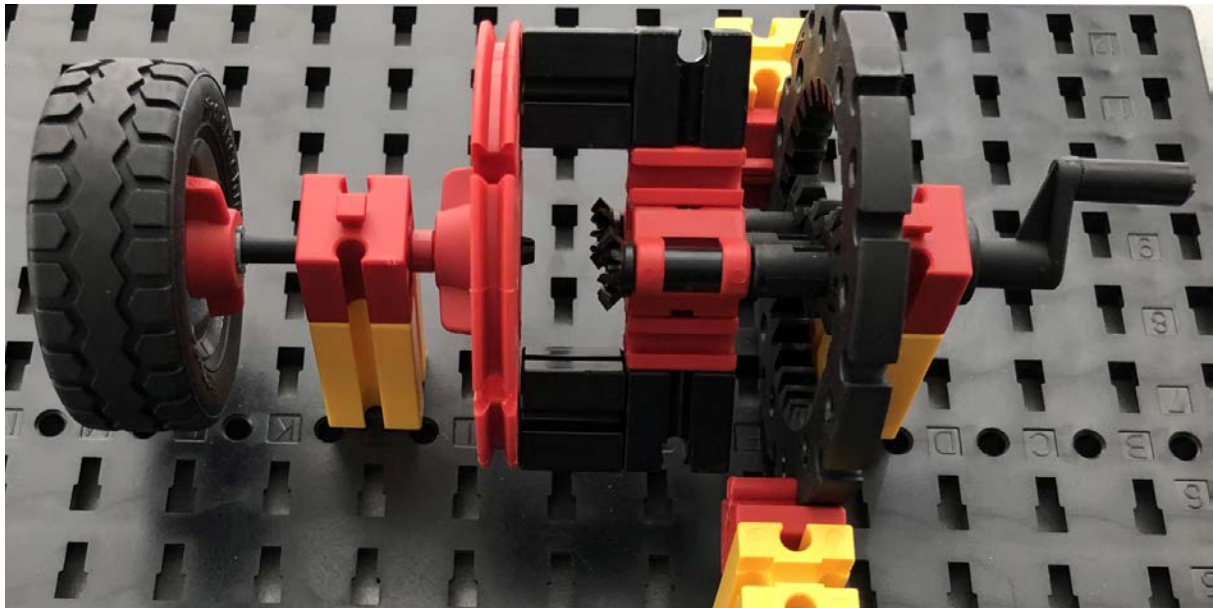
### Tarea temática

Ambos sistemas de transmisión son idénticos, ya que ambas ruedas dentadas exterior e interior tienen 30 dientes. En el engranaje planetario, ambas ruedas planetarias causan un cambio de dirección (la dirección de giro de la rueda dentada interior se mantiene). En el engranaje cilíndrico recto simple, la transición del Z10 al Z30 provoca un cambio de dirección.

El engranaje planetario con soporte planetario fijo y rueda solar sobre el árbol de transmisión genera, por lo tanto, una relación de transmisión de 1:3 de reducción con cambio de dirección de giro.

### Tarea experimental

1. Con la rueda dentada interna Z30 de fischertechnik se pueden lograr los siguientes engranajes planetarios: a) engranaje planetario con rueda hueca fija:



Variante interesante de este sistema de transmisión: el árbol de una rueda planetaria como salida produce un cuerpo motor agitador:



b) engranaje planetario con rueda solar fija:



2. Con estos engranajes planetarios fischertechnik pueden realizarse las siguientes relaciones de transmisión:

<b>Fijo</b>	<b>Accionamiento</b>	<b>Salida</b>	<b>Relación de transmisión</b>	<b>Cambio de dirección</b>
<b>Soporte planetario</b>	Rueda solar	Rueda hueca	-3	sí
<b>Soporte planetario</b>	Rueda hueca	Rueda solar	-0,33	sí
<b>Rueda hueca</b>	Rueda solar	Soporte planetario	4	no
<b>Rueda hueca</b>	Soporte planetario	Rueda solar	0,25	no
<b>Rueda solar</b>	Soporte planetario	Rueda hueca	0,75	no
<b>Rueda solar</b>	Rueda hueca	Soporte planetario	1,33	no

3. La mayor relación de transmisión de reducción posible puede lograrse a través de la conexión del primer y tercer sistema de transmisión (de la tabla). Realiza una relación de transmisión (con cambio de dirección) de -12.

## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 8: Manual de instrucciones de engranajes planetarios con soporte planetario fijo, manual de instrucciones de engranajes planetarios con rueda hueca fija, manual de instrucciones de engranajes planetarios con rueda solar fija.

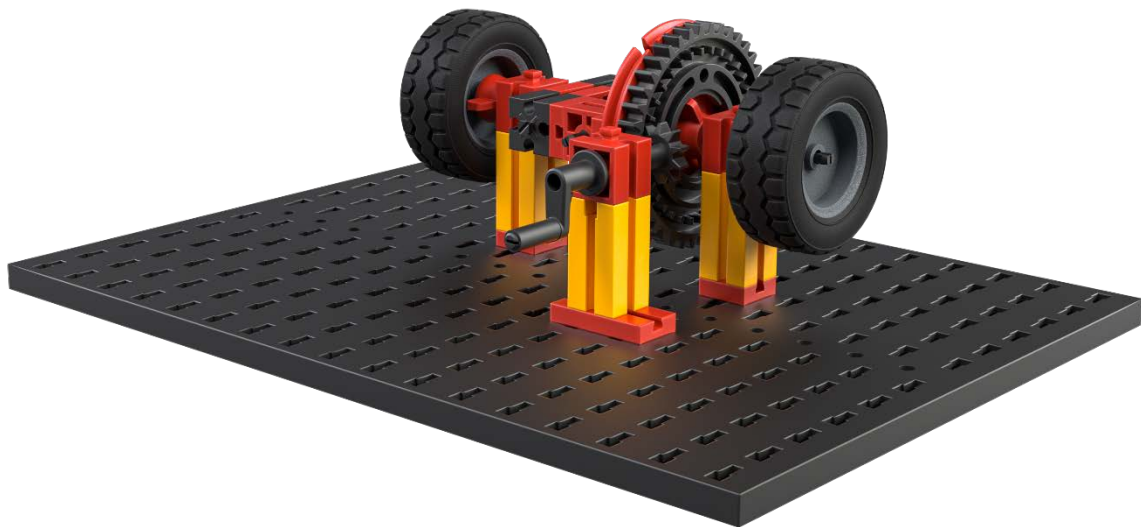


## Tareas del modelo 9 de los sistemas de transmisión – Diferencial

Sin un diferencial, un coche no podría doblar en una curva cerrada– este permite que las ruedas de un eje rígido accionado giren a diferentes velocidades.

### Tarea de construcción

El diferencial es una forma especial de engranaje planetario: Es un engranaje planetario de engranajes cónicos.



*Imagen 1: Diferencial*

Construye el diferencial de la imagen 1. ¿Qué sucede si un vehículo accionado de este modo por un diferencial dobla en una curva cerrada?

### Tarea temática

1. ¿Qué cambio de movimiento realiza el diferencial?
2. Simula que una rueda se bloquea (por ejemplo: al frenar) sosteniéndola con firmeza. Describe qué sucede.

### Tarea experimental

1. ¿Qué sucede si una de las ruedas derrapa, por ejemplo, en un terreno arenoso o en el hielo?



2. Como medida frente al derrape de las ruedas, los vehículos todo terreno cuentan con un «bloqueo diferencial», que prácticamente «puentea» al diferencial. ¿Cómo podrías añadir algo así a tu diferencial?

## Hoja de soluciones del modelo 9 de los sistemas de transmisión – Diferencial

*Para cada tarea se proporciona al alumnado un manual de instrucciones (véase anexo) destinado a ayudar en la construcción y la resolución de las tareas. En aquellas tareas en las que es de utilidad, será indicado al inicio de la respectiva hoja de soluciones.*

*Referencia histórica:* El engranaje diferencial fue patentado en 1828 por *Onésiphore Pecqueur* (1792-1852) como elemento fundamental de su automóvil a vapor. Sin embargo, este se asemeja mucho al «dinamómetro» publicado por *James White* en 1822. Es posible que el diferencial ya fuera conocido por los chinos en el siglo III d. C. Probablemente el ingeniero *Ma Jun* (200-265) lo utilizó en la construcción del «carro brújula» mecánico, que siempre apuntaba en la misma dirección cardinal.

Los estudiantes recibirán el manual de instrucciones para la construcción del diferencial.

### Tarea de construcción

Al doblar en una curva, la rueda interna gira más lento, mientras que la externa lo hace más rápido en la misma proporción. La velocidad de accionamiento se distribuye, por lo tanto, en las dos ruedas.

### Tarea temática

1. El diferencial transmite el giro del eje de accionamiento con una rueda de corona a un eje de salida girado en  $90^\circ$  y genera así una relación de transmisión de 1:3,2 de reducción.
2. Al bloquear una rueda, la otra gira con el doble de velocidad del eje de accionamiento.

### Tarea experimental

1. Si una rueda derrapa, la otra se detiene porque el diferencial transmite el accionamiento al eje que ejerce la menor resistencia.
2. Un bloqueo diferencial puede realizarse, por ejemplo, por medio de un segundo eje paralelo al eje de salida que puede conectarse al eje de salida de cualquiera de los lados del diferencial mediante una rueda dentada o un engranaje de cadena, de modo que ambos ejes laterales deban girar a la misma velocidad.

## Anexos

Manuales de instrucciones y plantillas para los sistemas de transmisión y modelos:

Modelo 9: Manual de instrucciones del diferencial.