



**UTN.FRH**  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL HAEDO

Página 1

Departamento de Ingeniería

Mecánica

**Cátedra: Ingeniería Mecánica I**

**2023**

## **ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO**

1. Máquinas
2. Mecanismos
3. Elementos mecánicos transmisores de movimiento
4. Acoplamientos entre árboles
5. Transmisión por ruedas de fricción
  - a. Ruedas de fricción exteriores
  - b. Ruedas de fricción interiores
  - c. Ruedas de fricción troncocónicas
  - d. Transmisión mediante poleas y correas
6. Transmisión por engranajes
  - a. Transmisión entre árboles o ejes paralelos
  - b. Transmisión entre ejes perpendiculares que se cortan
  - c. Transmisión entre ejes perpendiculares que se cruzan
7. Cadenas cinemáticas
  - a. Representación gráfica
  - b. Cálculos
  - c. Caja de velocidades
8. Relación entre potencia y par
9. Transmisores por cadena y por correa dentada
10. Ejercicios

## 1. MÁQUINAS

Una máquina o sistema técnico es una combinación de mecanismos o dispositivos, agrupados adecuadamente, que aprovechan la energía, la transforman y producen un efecto final

Las máquinas están compuestas por dos partes fundamentales denominadas: elementos motrices y elementos de máquinas.

El ser humano siempre ha utilizado aquello que tenía a su alrededor para realizar un trabajo con el menor esfuerzo posible. Así, ha inventado artilugios o dispositivos que le sirvieran para reducir la fuerza y la energía empleadas, así como el tiempo de ejecución.

Una máquina es un dispositivo creado por el ser humano para facilitar el trabajo y reducir el esfuerzo. Se caracteriza por que necesita energía para funcionar, transmite o transforma dicha energía y es capaz de producir distintos efectos (movimiento, sonido, luz, calor, etc.).

## 2. MECANISMOS

Cada máquina, sea simple o compuesta, está formada por una serie de elementos.

Los mecanismos son los elementos de una máquina capaces de transmitir y transformar movimientos y fuerzas desde un elemento motriz o conductor hasta un elemento conducido. Los movimientos que realizan los mecanismos pueden ser: lineal, alternativo y de rotación.

Los mecanismos se pueden utilizar para transformar movimientos (el motor de un coche), modificar la fuerza (una prensa), modificar la velocidad (los cambios de una bicicleta), cambiar la dirección del movimiento (una polea simple) y acumular energía (un muelle).

La clasificación general de los mecanismos se realiza en función de la relación entre los movimientos conductor y conducido, que pueden ser de transmisión o de transformación del movimiento.

## 3. ELEMENTOS MECÁNICOS TRANSMISORES DE MOVIMIENTO

Entre el elemento motriz y el punto o eje de salida es necesario transmitir el movimiento, en algunos casos aumentando la velocidad y en otros casos reduciéndola, según interese. Los elementos que más se emplean son los que se muestran en la siguiente tabla:

<b>Elementos mecánicos de transmisión de movimiento</b>	<b>Directos</b>	Acoplamientos entre árboles	Rígidos		Bridas	
			Móviles		Junta elástica	
					Junta cardan	
					Junta homocinética	
					Junta Oldham	
		Deslizantes		Eje estriado		
		Ruedas	De fricción		Exteriores	
					Interiores	
					Troncocónicas	
			Dentadas (engranajes)	Montadas en ejes paralelos		Dientes rectos
						Dientes helicoidales
						Dientes en V
						Epícicloidales
				Montadas en ejes perpendiculares	Que se cortan	Engranajes cónicos rectos
						Engranajes cónicos helicoidales
			Que se cruzan		Tornillo sin fin	
				Engranajes cónicos helicoidales		
	Hipoide					
	Articulaciones	Movimiento de igual sentido				
		Movimiento de sentido contrario				
		Otra dirección				
	Por cuerda o cable	Mediante polea simple				
		Mediante polea compuesta				
Indirectos	Por cadena		Entre engranajes (piñones)			
	Por correa	Entre poleas	Correa plana			
			Correa trapezoidal			
			Correa redonda			
	Entre engranajes	Correa dentada				

#### 4. ACOPLAMIENTOS ENTRE ÁRBOLES

Desde el punto de vista mecánico es conveniente diferenciar entre árboles y ejes.

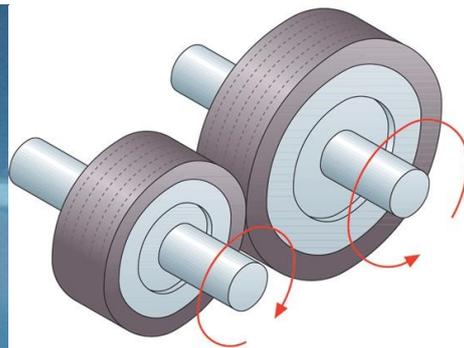
Se define como árbol de transmisión a un elemento de revolución que permite transmitir potencia o energía

Se define como eje a un elemento generalmente cilíndrico, que soporta diferentes piezas que giran, pero que no transmite potencia, por lo tanto no se encuentra sometido a torsión.

Dependiendo de las condiciones de transmisión, se emplean dos tipos de acoplamiento: rígido y móvil. En ambos casos son desmontables, para poder cambiarlos en caso de rotura o fallo.



ÁRBOL DE ENGRANAJES



EJES

#### 5. TRANSMISIÓN POR RUEDAS DE FRICCIÓN

Consiste en transmitir el movimiento entre dos ruedas gracias a la fuerza de rozamiento. Para ello las zonas de contacto deben estar fabricadas en un material con alto coeficiente de rozamiento, con objeto de evitar que deslicen o patinen. Además ambas ruedas deben estar presionadas fuertemente una contra la otra.

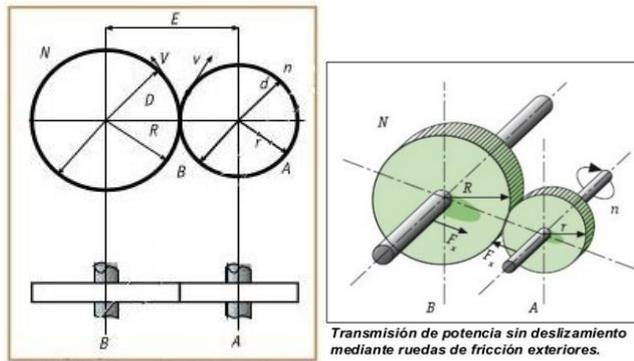
Se puede realizar de dos maneras, dependiendo de la separación entre los árboles o ejes. Si la separación es pequeña se emplean ruedas de fricción exteriores, interiores y cónicas. Para separaciones grandes se emplean poleas y correas trapezoidales, planas y redondas.

##### a) Ruedas de fricción exteriores

Están formadas por dos discos que se encuentran en contacto por sus periferias. El contacto se realiza por presión, de forma que la rueda conductora hace girar a la conducida.

La rueda que transmite el movimiento (generalmente más pequeña), recibe el nombre de piñón y la conducida recibe el nombre de rueda.

Por convenio todos los parámetros referidos al piñón se escriben con minúscula y los referidos a la rueda con mayúscula.

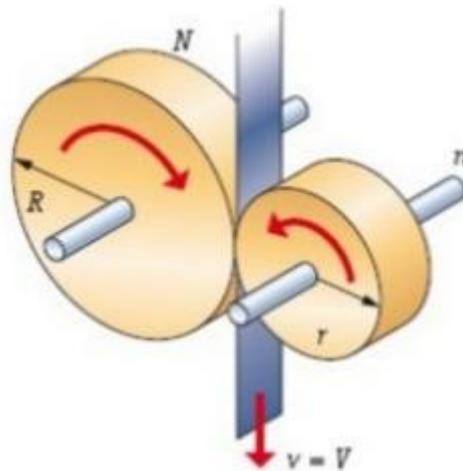


- **Distancia entre ejes (E):** Viene determinada por la siguiente expresión:

$$E = r + R$$

$$E = d / 2 + D / 2 = (d + D) / 2$$

- **Relación de transmisión:** Partiendo del principio de que no existe deslizamiento ( $v = V$ ), podemos asegurar que la velocidad tangencial del piñón y la rueda, en el punto de contacto es la misma



La velocidad lineal (**mm/minuto**) vendrá expresada por la siguiente fórmula:

$$V = 2\pi RN \quad \text{ó} \quad v = 2\pi rn$$

$V=v$ = velocidad lineal en el punto de contacto viene (mm/minuto)

$r$  = radio menor (mm)

$R$  = radio mayor (mm)

$n$ = número de vueltas por minuto del piñón (**RPM**...revoluciones por minuto)

$N$ = número de vueltas por minuto de la rueda (**RPM**...revoluciones por minuto)

Si la velocidad lineal la queremos expresar en **m/minuto** nos quedará:

$$V = 2\pi RN/1000 \quad \text{ó} \quad v = 2\pi rn/1000$$

Si la velocidad lineal la queremos expresar en **m/segundo** nos quedará:

$$V = 2\pi RN/60000 \quad \text{ó} \quad v = 2\pi rn/60000$$

Igualando las dos fórmulas de las velocidades lineales nos queda:

$$\begin{aligned} V &= v \\ 2\pi RN &= 2\pi rn \\ RN &= rn \\ r/R &= N/n \end{aligned}$$

A esta relación se le llama **relación de transmisión (i)**

$$i = r/R = N/n$$

Por otra parte como tenemos que:

$$R = D/2 \quad \text{y} \quad r = d/2$$

Tendremos que:

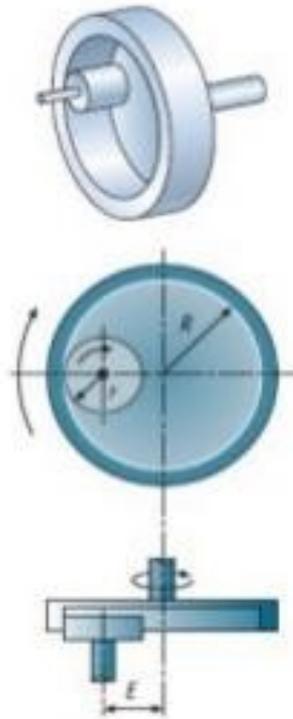
$$i = (d/2) / (D/2) = d/D$$

Por lo tanto tendremos tres expresiones finales para definir la relación de transmisión:

$$i = r/R = N/n = d/D$$

b) Ruedas de fricción interiores

Aquí las ruedas de fricción interior y exterior giran en el mismo sentido



*Ruedas de fricción interiores.*

La distancia entre ejes (E) en este caso valdrá:

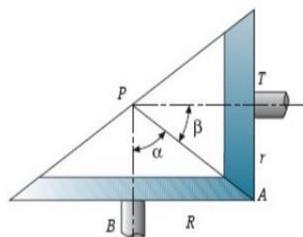
$$E = R - r = \frac{(D - d)}{2}$$

La relación de transmisión conserva la misma fórmula

c) Ruedas de fricción troncocónicas

Sirven para transmitir el movimiento entre ejes cuyas prolongaciones se cortan. La fórmula de la relación de transmisión es la misma que en los casos anteriores, cumpliéndose además que:

*Ruedas de fricción troncocónicas formando un ángulo recto.*



$$\frac{r}{R} = \operatorname{tg} \beta$$

Por lo tanto tendremos que la relación de transmisión tiene una fórmula más:

$$i = r/R = N/n = d/D = \operatorname{tg} \beta$$

#### d) Transmisión mediante poleas y correas

Se denomina polea a la rueda que se utiliza en las transmisiones por medio de correa, y correa a la cinta o cuerda flexible unida a sus extremos, que sirve para transmitir el movimiento de giro entre una rueda y otra.

Se emplea más que las ruedas de fricción, ya que tiene una mayor superficie de fricción y puede transmitir mayores esfuerzos. Para que el rendimiento sea óptimo, las correas deben estar tensadas adecuadamente.

La fórmula de la relación de transmisión no cambia respecto a las ruedas de fricción interiores y exteriores.

Los tres tipos más usados son: trapezoidal, plana/rectangular y redonda

- **Trapezoidal**: Es la más empleada para usos industriales



- **Plana/rectangular**: Muy empleadas para transmitir pequeñas potencias o movimientos entre ejes no paralelos



- **Redonda**: Suele emplearse en máquinas que giran a muy pocas revoluciones o cuando es necesario transmitir el movimiento entre ejes que no son paralelos



## 6. TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES

Se emplean cuando hay que transmitir grandes esfuerzos o se desea que la relación de transmisión se mantenga constante. Consta de dos ruedas a las que se les ha tallado una serie de dientes. Al igual que en las ruedas de fricción, al engranaje conductor se le conoce como **piñón** y al conducido **rueda o corona**.

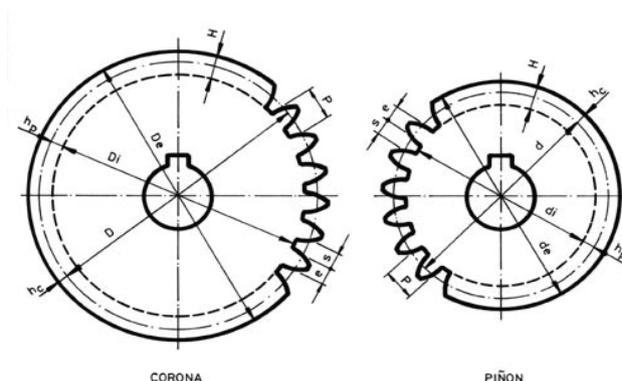
A efectos teóricos y de cálculo, se pueden considerar como dos ruedas de fricción exteriores cuyos diámetros coinciden con los **diámetros primitivos** de los engranajes.

Se pueden usar para transmitir movimiento entre árboles: paralelos, perpendiculares y árboles que se cruzan.

### a) Transmisión por árboles o ejes paralelos

Los dientes de las ruedas pueden ser *dientes rectos*, *dientes helicoidales* y *dientes en V*.

- **Engranajes rectos:** Son fáciles de fabricar, pero tienen el inconveniente de ser muy ruidosos y producir vibraciones. Se emplean cuando la potencia y el número de revoluciones con las que giran no es muy grande.



Las ruedas dentadas de dientes rectos quedan determinadas por las siguientes características:

- Circunferencia primitiva: De radio  $R_p$  para la rueda y  $r_p$  para el piñón, coincide con la circunferencia de las ruedas de fricción
- Circunferencia interior: Limita los dientes por la parte inferior.  $R_i$  para la rueda y  $r_i$  para el piñón.
- Circunferencia exterior: Limita los dientes por la parte externa.  $R_e$  para la rueda y  $r_e$  para el piñón.
- Número de dientes( $Z$ ): Será  $Z_p$  para el piñón y  $Z_r$  para la rueda
- Paso ( $p$ ): Es el arco de circunferencia, sobre la circunferencia primitiva, entre dos puntos iguales de dientes consecutivos.

Por tanto tendremos que para el piñón:

Longitud circunferencia primitiva del piñón =  $\pi d_p$  y

Longitud circunferencia primitiva del piñón =  $Z_p p$

Igualando ambas magnitudes tenemos que:

$$\pi d_p = Z_p p$$

$$d_p / Z_p = p / \pi = m$$

Lo mismo se haría para la rueda:

Longitud circunferencia primitiva de la rueda =  $\pi D_p$  y

Longitud circunferencia primitiva de la rueda =  $Z_r p$

Igualando ambas magnitudes tenemos que:

$$\pi D_p = Z_r p$$

$$D_p / Z_r = p / \pi = m$$

- **Módulo (m)**: Es un valor característico de las ruedas dentadas que se expresa en milímetros. Es la relación que existe entre el diámetro y el número de dientes de un engranaje, que es el mismo que entre el paso y  $\pi$ . Para que dos engranajes puedan engranar tienen que tener el mismo módulo.

No todos los valores de módulo son normalizados, sólo unos pocos de ellos. En la práctica, son muy útiles los engranajes de **módulo 1**, ya que:

$$D_p / Z_r = 1$$

$$D = Z_r$$

Es decir, nos bastará con medir el diámetro primitivo para saber el número de dientes que tiene

- Relación de transmisión: Para los engranajes es la misma que para las ruedas de fricción refiriéndose siempre a los radios y diámetros primitivos, por tanto tendremos que:

$$i = r_p/R_p = N/n = d_p/D_p$$

También tenemos que:

Longitud circunferencia primitiva del piñón =  $\pi d_p = Z_p p$

Longitud circunferencia primitiva de la rueda =  $\pi D_p = Z_r p$

Dividiendo miembro a miembro nos quedará:

$$\pi d_p / \pi D_p = Z_p p / Z_r p$$

$$d_p / D_p = i = Z_p / Z_r$$

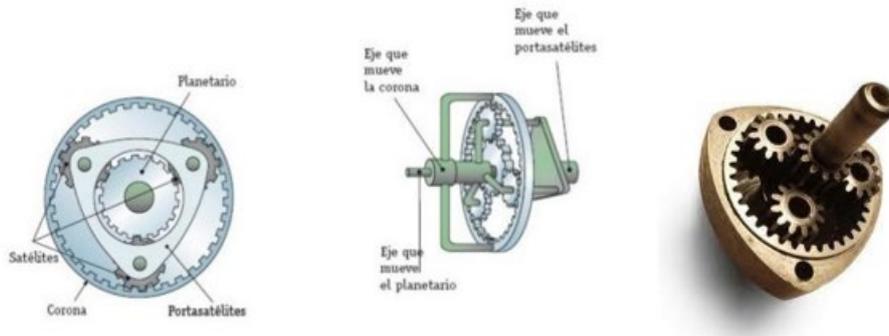
Por lo tanto tenemos otra expresión para la relación de transmisión:

$$i = r_p/R_p = N/n = d_p/D_p = Z_p/Z_r$$

- **Engranajes de dientes helicoidales:** Se caracterizan por tener sus dientes inclinados respecto de su eje. Tienen la particularidad de estar engranando varios dientes a la vez, por lo que el esfuerzo se reparte entre más de un diente, esto hace que puedan transmitir más potencia y que haya menos posibilidades de rotura y menos vibraciones. Pueden funcionar a un número alto de revoluciones. Resultan más caros porque son más difíciles de fabricar, también provocan más esfuerzos sobre el eje, por lo que se pierde más potencia que en los rectos en la transmisión.



- **Engranajes epicicloidales:** Se compone de una **corona** dentada interiormente, un piñón central (denominado **planetario**), y otros tres piñones más pequeños, los cuales engranan con el planetario y la corona, que se denominan **satélites**. Estos satélites giran libres sobre sus ejes, que están unidos al **portasatélites**. Si le damos movimiento a uno de los tres elementos, y mantenemos fijo otro, en el tercero obtendremos el movimiento de salida.

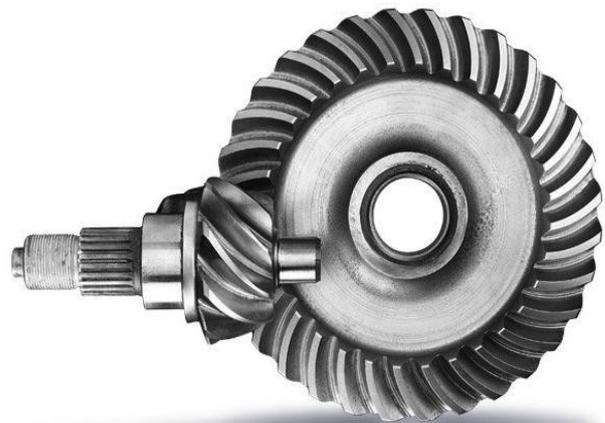


b) Transmisión entre ejes perpendiculares que se cortan

Se emplean dos tipos de engranajes: *engranajes cónicos de dientes rectos* y *engranajes cónicos de dientes helicoidales*. Estos últimos son muy complicados de fabricar pero muy silenciosos.



CÓNICO RECTO



CÓNICO HELICOIDAL

c) Transmisión entre ejes perpendiculares que se cruzan

Se emplean tres soluciones: *tornillo sin fin – corona*, *hipoide* y *engranajes helicoidales*.

- **Sin fin – corona:** El movimiento sólo se transmite del sin fin a la corona y no al revés. Esto lo hace adecuado para ascensores, montacargas, etc., ya que dan la seguridad que ante un fallo de alimentación no se cae al suelo la carga. Multiplica mucho la fuerza y disminuye mucho la velocidad.



- **Hipoide:** Son dos engranajes cónicos helicoidales, uno de los cuales está desplazado para que no se corten sus ejes.



- **Engranaje helicoidal:** El ángulo que forman los engranajes es opuesto



## 7. CADENAS CINEMÁTICAS

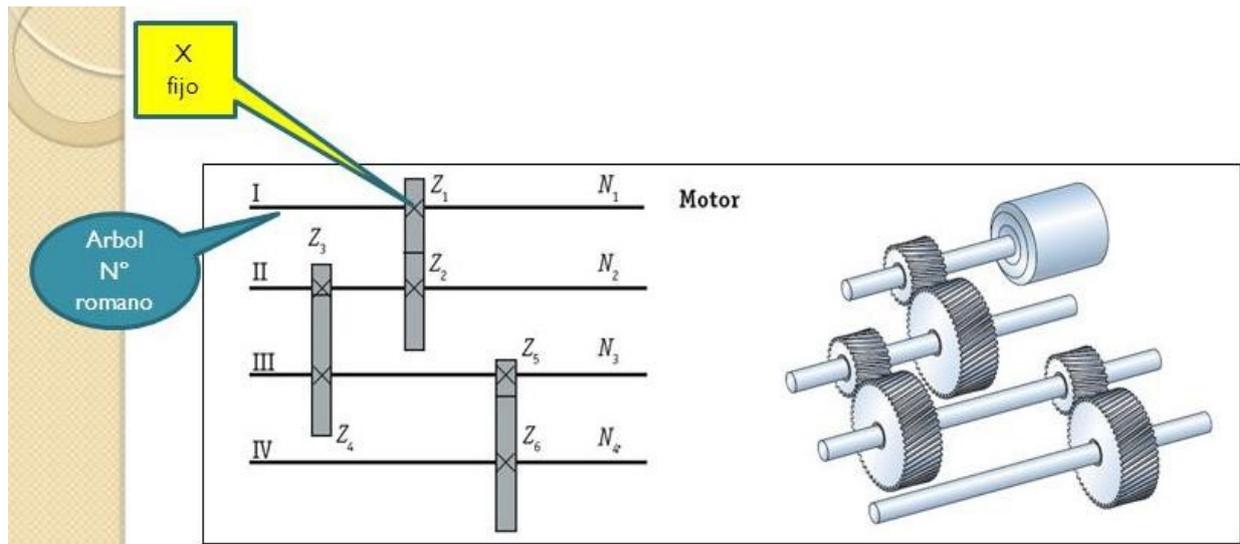
Una cadena cinemática es un conjunto de dos o más pares de engranajes, que engranan entre sí, y que tienen por finalidad variar el número de revoluciones del último eje.

A cada uno de los pares de engranajes correlativos se le denomina tren de engranajes.

### a) Representación gráfica

Hay que resaltar que los engranajes se dibujan mediante un rectángulo o círculo en cuyo interior se coloca una X, para indicar que está fijo al árbol, o una línea inclinada, para señalar que puede desplazarse longitudinalmente por el árbol.

Las cadenas cinemáticas suelen estar formadas por varios árboles. Cada árbol se indica mediante un número romano. Los engranajes se representan mediante la letra Z seguida de un subíndice que para los engranajes conductores (piñones) será impar, y para los conducidos (ruedas) será par.



### b) Cálculos

- Relación de transmisión entre los

ejes I y II:  $i_{I-II} = Z_1/Z_2 = N_2/N_1$

$$N_2 = (Z_1/Z_2)N_1$$

- Relación de transmisión entre los

ejes II y III:  $i_{II-III} = Z_3/Z_4 = N_3/N_2$

$$N_3 = (Z_3/Z_4)N_2$$

- Relación de transmisión entre los

ejes I y III:

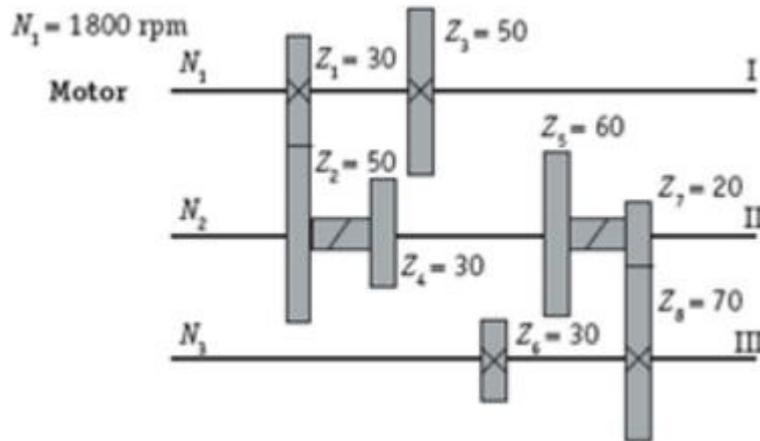
$$i_{I-III} = N_3/N_1 = ((Z_3/Z_4)N_2)/N_1 = ((Z_3/Z_4)(Z_1/Z_2)N_1)/N_1 =$$

$$(Z_1Z_3)/(Z_2Z_4) = i_{I-III}$$

Es decir, la relación de transmisión entre dos o más árboles o ejes es igual al producto de los dientes de los piñones (ruedas conductoras) dividido por el producto de los dientes de las ruedas (conducidas)

c) Caja de velocidades

Las cajas de velocidades, además de llevar engranajes fijos, también llevan engranajes que se pueden deslizar. Estos engranajes están pareados y unidos entre sí.



## 8. TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES

Además del movimiento de giro del motor, también se transmite potencia, energía y par (también llamado momento) hasta el último árbol.

Se denomina **par** o **momento (M)** al producto de una fuerza por una distancia.

La fórmula que relaciona el **par (M)** con la **potencia (P)** es la siguiente:

$$P = W/t \quad (W = F e) \quad P = \text{Potencia (vatios)} \quad W = \text{Trabajo (julios)}$$

$$P = W/t = F e/t \quad (e/t = v) \quad e = \text{espacio (metros)} \quad t = \text{tiempo (segundos)} \quad F = \text{Fuerza (newtons)}$$

$$P = W/t = F e/t = F v \quad (v = 2\pi R N) \quad v = \text{velocidad lineal (metros/segundo)}$$

$$P = W/t = F e/t = F v = F 2\pi R N \quad (FR = M) \quad R = \text{radio (metros)} \quad N = \text{revoluciones por minuto (RPM)}$$

$$P = W/t = F e/t = F v = F 2\pi R N = (2\pi N)M \quad M = \text{momento o par (newton por metro)}$$

Las revoluciones por minuto hay que pasarlas a revoluciones por segundo:

$$P = (2\pi N)M/60$$

Por tanto:

$$M = 60 P / 2\pi N$$

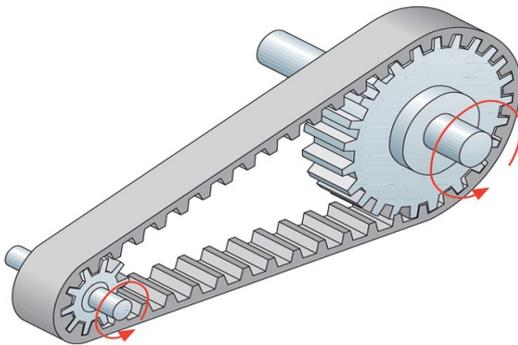
## 9. TRANSMISIONES POR CADENA Y POR CORREA DENTADA

Estos elementos son ideales para transmitir el movimiento entre ejes muy distantes en los que se requiere una relación de transmisión constante. La relación de transmisión es exactamente igual que para las poleas e independiente de la separación a la que se encuentren los ejes o árboles.

- **Por cadena:** Idónea para lugares en los que se exige una gran durabilidad de la transmisión. Tiene el inconveniente de ser ruidosa. Ha de estar lubricada.



- **Correa dentada:** Es muy silenciosa y no necesita lubricación. Tiene el inconveniente de que se deteriora y hay que cambiarla periódicamente como es el caso de la correa de distribución de los automóviles.



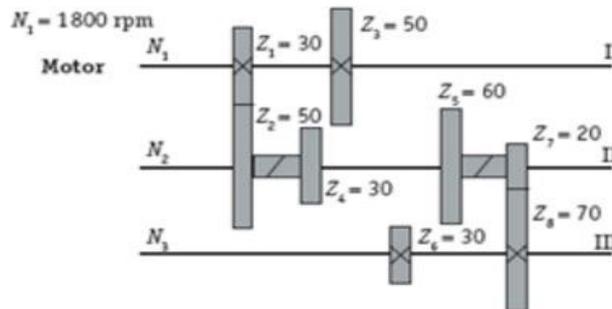
## 10. EJERCICIOS DE RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

1. Dos ruedas de fricción giran entre sí sin deslizamiento, sabiendo que la relación de transmisión vale  $i=0'25$ , y que la distancia entre sus ejes es de 400 mm, determina el diámetro de ambas ruedas.

2. Dos ruedas de fricción interiores tienen una relación de transmisión  $i=0'2$ . La distancia entre sus centros es de 800 mm. Calcula los diámetros de sus ruedas.
3. Una máquina dispone de dos ruedas de fricción troncocónicas para transmitir el movimiento desde el motor (que gira a 1200 rpm y se acopla directamente al piñón) hasta el árbol final, cuyo número de revoluciones debe ser 1000 rpm. Calcula el diámetro de la rueda conducida si el piñón es de 50 mm.
4. Se desea efectuar una relación de transmisión troncocónica mediante ruedas de fricción, cuya relación de transmisión es  $i=0'2$ . Sabiendo que el piñón de la rueda conductora gira a 900 rpm, calcula: a) el ángulo que forman los ejes con las prolongaciones de la superficie de rodadura; b) el número de revoluciones de la rueda conducida.
5. Para el accionamiento de una máquina se han dispuesto dos ruedas de fricción exteriores cuyos ejes se encuentran separados 600 mm. Sabiendo que la relación de transmisión es  $i=1/2$  y que es accionado directamente por un motor que gira a 1200 rpm, calcula: a) el diámetro de las dos ruedas; b) el número de rpm con que girará la rueda conducida.
6. El piñón de un par de ruedas de fricción interiores tienen un diámetro de 50 mm y arrastra a una rueda cuyo diámetro es de 500 mm. Si dicho piñón gira a 1400 rpm, calcula: a) la relación de transmisión; b) el número de rpm con que girará la rueda conducida; c) la distancia entre sus ejes.
7. Define qué es la velocidad tangencial. Si tenemos dos ruedas de fricción exteriores de diámetros  $d=5$  cm y  $D=10$  cm, que están en contacto, ¿qué velocidad tangencial tiene cada una si  $n=1000$  rpm?
8. Se quiere transmitir un movimiento desde un engranaje (piñón) de  $Z_1=60$  a una rueda  $Z_2=80$  de módulo  $m=3$ . Suponiendo que no se tiene en cuenta las pérdidas de potencia, determinar: a) momento o par que tendrá el árbol que contiene la rueda si la potencia del motor es de  $0'3$  CV y gira a 1200 rpm; b) número de revoluciones con que girará la rueda.
9. La relación de transmisión entre dos ruedas de fricción interiores es de  $i=1/3$ . El diámetro del piñón es  $d=50$  mm y gira a 900 rpm. Calcula: a) el diámetro de la rueda conducida; b) el número de rpm con que gira la rueda; c) la distancia entre ejes.
10. Un piñón cuyo módulo es 2mm y su diámetro primitivo de 90 mm engrana con una rueda de 60 dientes. Calcula: a) número de dientes del piñón ( $Z_1$ ); b) diámetro primitivo de la rueda ( $D_p$ ); c) número de revoluciones de la rueda ( $N$ ) si  $n=1000$  rpm
11. Un árbol gira a 1000 rpm y el conducido a 2500 rpm. Si ambos están unidos por un par de engranajes de dientes rectos y separados 70 mm, calcula el diámetro primitivo de ambos y el número de dientes si el módulo es de 2 mm

PROBLEMAS DE CADENAS CINEMÁTICAS Y CAJA DE VELOCIDADES

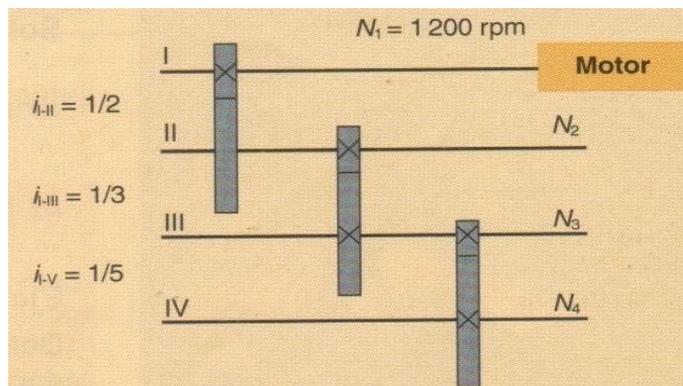
12. El número de dientes de cada uno de los engranajes es el que se muestra en el dibujo, y el número de revoluciones del motor es de 1800, determina el número de revoluciones para el árbol III, dependiendo de la combinación de engranajes.



13. Una caja de velocidades dispone de cuatro árboles de transmisión y tres pares de engranajes fijos. Sabiendo que las relaciones de transmisión entre los tre ejes son:

$$i_{I-II} = 1/2, \quad i_{II-III} = 1/3, \quad i_{III-IV} = 1/5,$$

Calcular el número de revoluciones con que gira el árbol IV ( $N_4$ ) sabiendo que el motor gira a 1200 rpm.



14. Suponiendo que el árbol I de la figura adjunta se conecte un motor que gira a 2200 rpm y tenga una potencia de 3CV, calcula el número de revoluciones con que girará el tercer árbol dependiendo de las distintas combinaciones de engranajes de dientes rectos. Los datos son:

$D_{p4} = 120 \text{ mm}$ , módulo  $m = 6$ ;  $i_{II-III} = 1/4$  (cuando  $Z_7$  engrana con  $Z_8$ ) y  $D_{p6} = 300 \text{ mm}$

