

1. DESCRIPCIÓN DE LOS MECANISMOS

1.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS

1.1.1 DEFINICIONES FUNDAMENTALES

Mecanismo: Se llama mecanismo a un sistema de cuerpos creado artificialmente y destinado a transformar el movimiento de uno o varios cuerpos en el movimiento exigido de otros cuerpos.

Todo mecanismo se compone de varios cuerpos separados (piezas). En los mecanismos de tipo estacionario algunas piezas son inmóviles y otras se mueven con relación a aquellas. En los mecanismos de tipo móvil, como por ejemplo el motor del automóvil, se toma condicionalmente como inmóviles aquellas piezas que están unidas solidariamente al marco del automóvil.

Cada pieza móvil o grupo de piezas, que conforman un sistema rígido de cuerpos se denomina *eslabón móvil del mecanismo*. De esta manera, por ejemplo, la biela de un motor de combustión interna es un eslabón móvil, aunque se componga de varios elementos o piezas: cuerpo de la biela, tapa, casquillos, espárragos, etc.

Todas las piezas inmóviles conforman un solo sistema rígido e inmóvil de cuerpos, llamado *eslabón inmóvil o bastidor*. Refiriéndonos al ejemplo anterior: el bloque, los apoyos del cigüeñal, etc. conforman el bastidor del motor.

De esta manera, en cualquier mecanismo tenemos un eslabón inmóvil y varios eslabones móviles.

La unión de dos cuerpos que se tocan y que permite el mutuo movimiento relativo de ellos se llama *par cinemático o junta cinemática*.

Un sistema de eslabones unidos entre sí por medio de pares cinemáticos, se denomina *cadena cinemática*. Las cadenas cinemáticas son la base de todos los mecanismos. Se puede llamar mecanismo a aquella cadena cinemática, en la cual los eslabones realizan movimientos útiles que cumplen con las necesidades del problema de ingeniería para el que fue creada.

1.1.2 PARES CINEMÁTICOS Y SU CLASIFICACIÓN

Las posibles uniones de eslabones en pares cinemáticos son numerosas. Por ejemplo, en la fig. 1.1 se muestra el llamado par giratorio, en el cual la unión de los eslabones 1 y 2 se logra mediante dos cilindros que se encuentran en permanente contacto. Las salientes laterales impiden el movimiento relativo de los dos cilindros en la dirección del eje x , pero no impiden el giro.

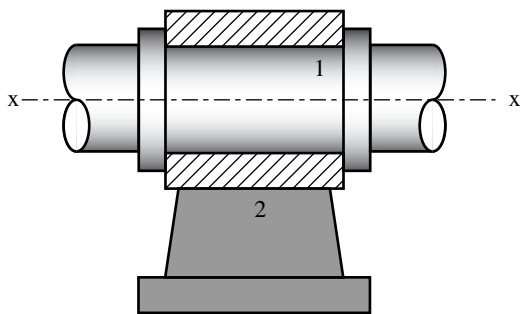


Fig. 1.1

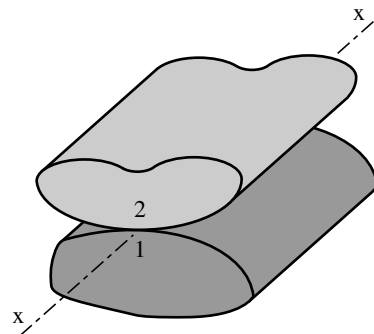


Fig. 1.2

En la fig. 1.2 se muestra otra manera de unir dos eslabones 1 y 2. Este par cinemático permite la rodadura, el deslizamiento y el giro relativo de los dos eslabones.

De esta manera podemos decir que al movimiento relativo de cada eslabón del par cinemático se le imponen limitaciones. Estas limitaciones dependen del método de unión de los eslabones. A estas limitaciones las llamaremos *condiciones de enlace* en los pares cinemáticos.

Como es sabido, en el caso general cualquier cuerpo que se mueve libremente en el espacio *posee seis grados de libertad*. La posición de un cuerpo absolutamente rígido (fig. 1.3) se fija en el espacio con las coordenadas de tres de sus puntos A, B y C. Es decir, con sus nueve coordenadas (x_A, y_A, z_A) , (x_B, y_B, z_B) , (x_C, y_C, z_C) , entre sí estas coordenadas están unidas por tres condiciones de distancia constante: AB, BC, CA. De manera que el número de parámetros independientes que determinan la posición del cuerpo rígido en el espacio es seis. El movimiento libre de un cuerpo en el espacio puede ser visto como el giro alrededor de los ejes x, y, z y tres movimientos de traslación a lo largo de estos mismos ejes.

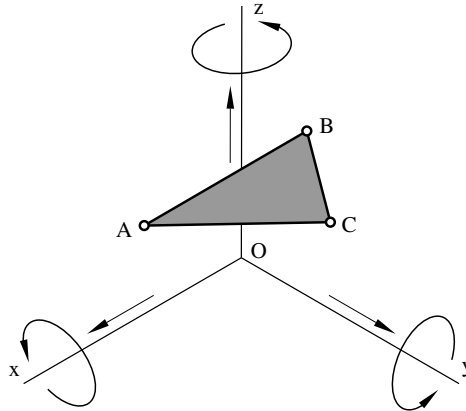


Fig. 1.3

Como se dijo antes, la participación de un eslabón en un par cinemático con otro eslabón impone al movimiento relativo de ellos dos condiciones de enlace. Es evidente que el número de estos enlaces debe ser entero y menor que seis, ya que en el caso de que el número de enlaces sea seis, los eslabones pierden su movilidad relativa y el par cinemático se convierte en una unión rígida de los dos eslabones. Así mismo el número de enlaces no puede ser menor que uno, ya que en el caso de que el número de enlaces sea igual a cero, los eslabones no se tocan y desaparece el par cinemático.

Es decir, $1 \leq S \leq 5$, donde S es el número de condiciones de enlace. Entonces el número de grados de libertad H de un eslabón de un par cinemático puede expresarse por:

$$H = 6 - S \quad (1.1)$$

Todos los pares cinemáticos se dividen en *clases* de acuerdo al número de condiciones de enlace, impuestas por ellas, al movimiento relativo de sus eslabones. Ya que el número de condiciones de enlace puede ser de 1 a 5, entonces correspondientemente tenemos pares cinemáticos de I, II, III, IV y V clases. La clase de un par puede ser determinada por la relación:

$$S = 6 - H \quad (1.2)$$

Si se cuentan el número de movimientos simples que posee un eslabón de un par cinemático en su movimiento relativo y se resta este número de seis encontramos el número de condiciones de enlace y en correspondencia determinamos la clase del par. Miremos algunos ejemplos.

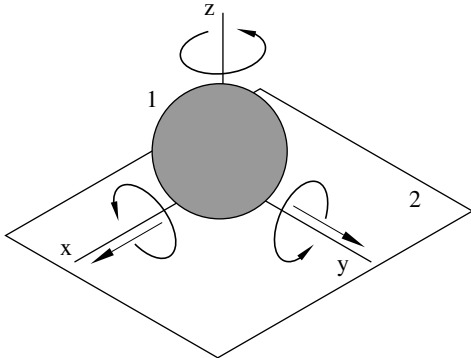


Fig. 1.4

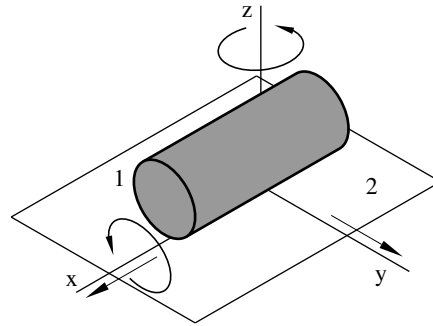


Fig. 1.5

En la figura 1.4 se muestra el par cinemático que consiste de la esfera 1 que rueda con deslizamiento por la superficie 2. El movimiento de la esfera puede ser descompuesto en tres rotaciones alrededor de los ejes x , y , z ; y el movimiento por la superficie 2. Este movimiento, a su propio tiempo, puede ser descompuesto en los movimientos a lo largo de los ejes x y y . El movimiento por el eje z es imposible, ya que está limitado por la superficie 2 y al moverse hacia el otro lado se rompería la unión de los eslabones y el par dejaría de existir. El número de posibles movimientos simples es igual a cinco y el número de condiciones de enlace:

$$S = 6 - H = 6 - 5 = 1.$$

Es decir, el par es de primera clase (clase I).

En la figura 1.5 se muestra un par que consiste de un cilindro 1 sobre una superficie B . El movimiento del cilindro con respecto a la superficie, o al contrario, se resume al giro alrededor de los ejes x y z , y al deslizamiento a lo largo de x y y . El número de posibles movimientos simples es igual a cuatro. Entonces el número de condiciones de enlace S es igual:

$$S = 6 - H = 6 - 4 = 2.$$

Es decir, el par es de segunda clase (clase II).

En la figura 1.6 se muestra un ejemplo de par de III clase. El eslabón 1 está terminado en forma de esfera, la cual está comprendida dentro de la cavidad esférica del eslabón 2. El movimiento del eslabón 1 con respecto a 2, o al contrario, se limita al giro alrededor de los ejes x , y y z . En consecuencia, el número de grados de libertad H del eslabón del par cinemático es igual a tres. El número de condiciones de enlace S es:

$$S = 6 - H = 6 - 3 = 3.$$

Este par debe ser clasificado como de III clase. También se denomina *par esférico* o *rótula*.

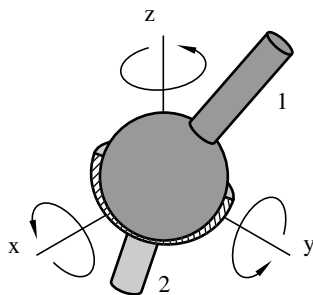


Fig. 1.6

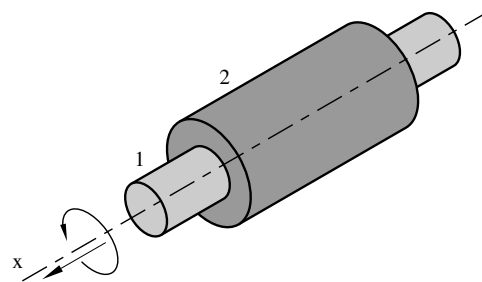


Fig. 1.7

El par de la figura 1.7 es de IV clase. El cilindro 1 está comprendido dentro del cilindro hueco 2. El cilindro 1 puede girar y deslizarse alrededor y a lo largo del eje x . Número de grados de libertad $H = 2$; número de condiciones de enlace:

$$S = 6 - H = 6 - 2 = 4.$$

Este par también se denomina *par* o *junta cilíndrica*.

En la fig. 1.1 se mostró un par de V clase, cada uno de los eslabones de esta junta posee solo un movimiento simple: giro alrededor del eje $x - x$. Por esto el número de grados de libertad H de este par es igual a uno y el número de condiciones de enlace:

$$S = 6 - H = 6 - 1 = 5.$$

Este par recibe el nombre de *par o junta giratoria*.

En la fig. 1.8 se muestra otro par cinemático de V clase, cada uno de los eslabones de este par posee solo un movimiento simple posible: desplazamiento a lo largo del eje x . Por esto el número de grados de libertad es $H = 1$ y el número de condiciones de enlace es igual a:

$$S = 6 - H = 6 - 1 = 5.$$

De esta manera este par debe clasificarse como de V clase. Esta junta ha recibido el nombre de *corredera o deslizador*.

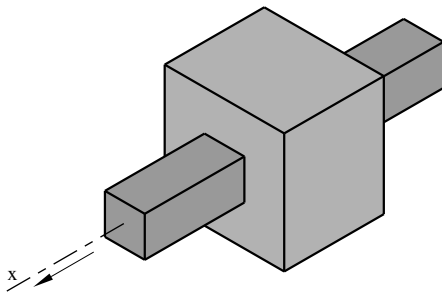


Fig. 1.8

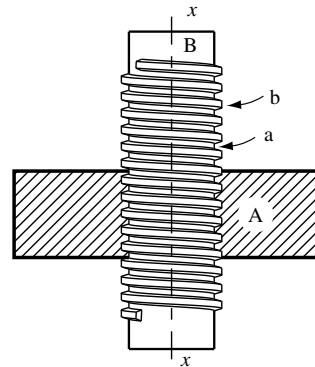


Fig. 1.9

Los pares vistos arriba tienen la particularidad de que los posibles movimientos *instantáneos* de sus eslabones no dependen unos de otros. Sin embargo en la técnica se encuentran con frecuencia juntas en las cuales los movimientos relativos de sus eslabones están unidos con alguna relación geométrica complementaria. En el par helicoidal Fig. 1.9 el cilindro B posee rosca externa b y en correspondencia en el eslabón A está tallada la rosca interna a . En este caso los movimientos relativos están enlazados por la condición de que para un ángulo dado φ de rotación de uno de los eslabones con respecto al otro alrededor del eje $x - x$, corresponde un desplazamiento h a lo largo del mismo eje. En este caso aunque los eslabones poseen movimiento de rotación y traslación estos movimientos están enlazados por la condición

$$h = f(\varphi)$$

Es decir, se ha impuesto un enlace complementario al movimiento relativo de los eslabones del par. En este caso el par debe ser clasificado no como de IV clase sino como de V clase.

Los pares cinemáticos también se dividen en inferiores y superiores. La junta que se realiza por contacto de los elementos de sus eslabones por una superficie se llama *inferior*. La junta que se realiza por contacto de los elementos por medio de líneas o puntos se denomina *superior*.

Un ejemplo de par inferior se muestra en la fig. 1.1. En este par los eslabones se contactan por superficies cilíndricas. En el par superior de la fig. 1.2 los eslabones se contactan en una línea. Para que los elementos de los pares cinemáticos se encuentren permanentemente en contacto se pueden usar cierres de forma o geométricos o cierres de fuerza.

El cierre geométrico se realiza gracias a la forma de los elementos de los eslabones (fig. 1.1 y 1.6 - 1.9). Al contrario, para conservar la unión de los eslabones de los pares de las figuras 1.4 y 1.5, es necesario presionar la esfera y el cilindro contra la superficie aplicando una fuerza. Esta fuerza puede ser la gravedad, un resorte, etc.

1.1.3 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PARES CINEMÁTICOS

Cuando se representa esquemáticamente los mecanismos en los dibujos técnicos resulta muy cómodo usar en vez de la representación constructiva de los pares cinemáticos y de los eslabones la representación esquemática. Miremos algunos ejemplos:

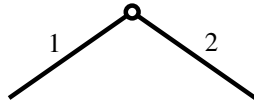


Fig. 1.10 Representación esquemática de la junta giratoria (clase V)

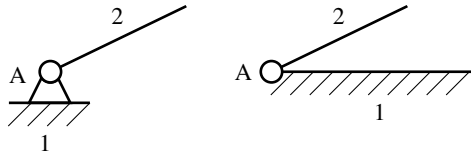


Fig. 1.11 Representación esquemática del mismo par cuando uno de los eslabones es el bastidor. Este par también se denomina *apoyo giratorio*.

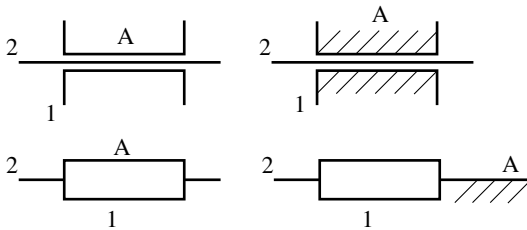


Fig. 1.12 Representación esquemática de un par de deslizamiento de V clase (corredera o deslizador). Cuando ambos eslabones son móviles o uno de los dos es el bastidor.

Si es necesario estudiar el movimiento de sólo dos puntos de un eslabón entonces se puede representar éste como se muestra en la fig. 1.13. En este caso el eslabón "entra" en las dos juntas giratorias A y B.



Fig. 1.13

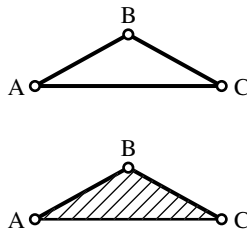


Fig. 1.14

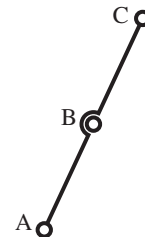
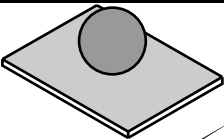
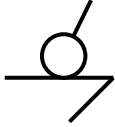
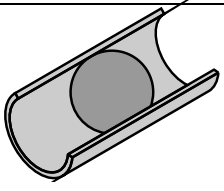
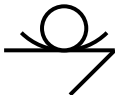


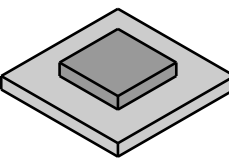

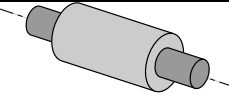



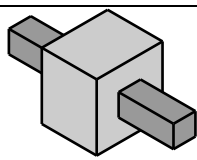
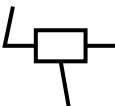
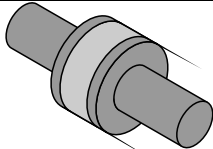
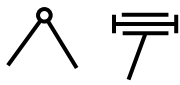
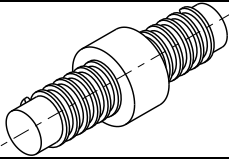
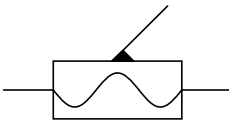


Fig. 1.15

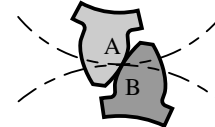
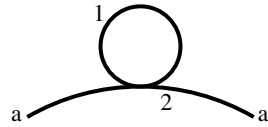
En el dibujo 1.15 se muestra un eslabón que "entra" en tres pares giratorios A, B y C con ejes de rotación paralelos y sobre un mismo plano.

En la tabla 1 se muestran las representaciones esquemáticas de los pares cinemáticos más usados en la práctica de ingeniería.

TABLA 1. Representación esquemática de los pares (ISO 3952-1 Kinematic diagrams -- Graphical symbols)

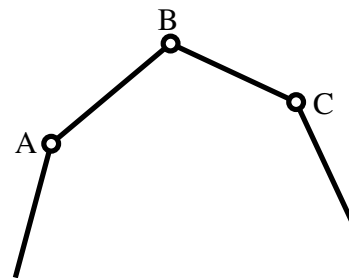
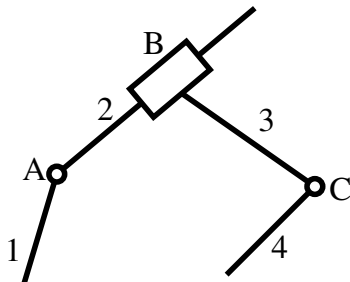
Clase del par	Condiciones de enlace	Grados de libertad	Nombre	Dibujo	Representación esquemática
I	1	5	Esfera - plano		
II	2	4	Esfera - cilindro		
III	3	3	Esférica o rótula		
III	3	3	Plana		
IV	4	2	Cilíndrica		
IV	4	2	Rótula con pasador		
V	5	1	Deslizador		
V	5	1	Giratoria		
V	5	1	Helicoidal		

En algunos casos es necesario dar más información sobre los elementos con los cuales entran en contacto los eslabones del par. En estos casos en el esquema se representan completamente los elementos de contacto del par. Ejemplos de la representación de tales pares se muestran en la figura 1.16. En la figura 1.16 a el rodillo 1 está en contacto con la curva a-a del eslabón 2; en la figura 1.16 b el diente A de una de las ruedas dentadas toca el diente B de la otra.

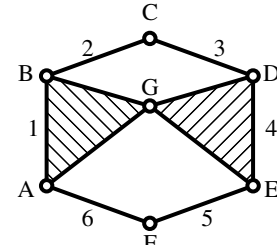
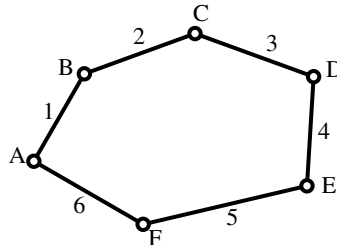
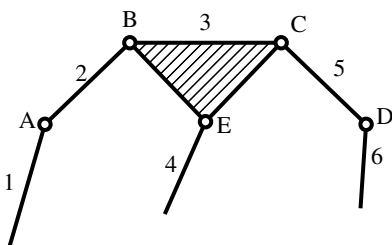


1.1.4 CADENAS CINEMÁTICAS

Se llama *cadena cinemática* al sistema de eslabones unidos entre sí por pares cinemáticos (ver tabla 1). En la figura 1.17 se muestra una cadena cinemática que consta de cuatro eslabones, los cuales forman tres pares cinemáticos. Los eslabones 1 y 2 conforman la junta giratoria A (de clase V), los eslabones 2 y 3 entran en el par de deslizamiento B (de clase V) y los eslabones 3 y 4 entran el par giratorio C (V clase).



Las cadenas cinemáticas pueden ser simples o complejas. *Cadena cinemática simple* es aquella en la cual ninguno de sus eslabones entra en más de dos juntas (Fig. 1.18 y Fig.1.20)



Cadena cinemática compleja es aquella que posee por lo menos un eslabón que toma parte en dos pares cinemáticos (Fig. 1.19 y Fig. 1.21)

Cadena cinemática cerrada es aquella en la que los eslabones forman uno o varios contornos cerrados (Fig. 1.20 y Fig. 1.21). En las *cadena cinemáticas abiertas* los eslabones no forman contornos cerrados (Fig. 1.18 y Fig. 1.19).

1.1.5 EL MECANISMO Y SU ESQUEMA CINEMÁTICO

Podemos ahora definir mecanismo como un caso particular de cadena cinemática.

Se entiende por *mecanismo* toda cadena cinemática en la que, al comunicar un movimiento dado a uno o varios eslabones independientes, los restantes realizan movimientos completamente determinados.

El eslabón (o eslabones) al cual se le comunica el movimiento se llama *eslabón de entrada* (“*entrada*”).

El eslabón (o eslabones) que realiza el movimiento requerido para el cual está diseñado el mecanismo se denomina *eslabón de salida* (“*salida*”).

El eslabón para el cual la suma de los trabajos elementales de las fuerzas externas es positiva, se denomina *conductor*. Correspondientemente, el eslabón para el cual la suma de los trabajos elementales de las fuerzas externas es negativa o igual a cero, se denomina *conducido*.

En la mayoría de los casos el eslabón de entrada es al mismo tiempo el conductor, pero desde luego pueden ocurrir casos de inversión donde esto no se cumple.

Para el estudio de la estructura y la cinemática del mecanismo no es obligatorio escoger en calidad de eslabón de entrada el eslabón al cual se le comunica la fuerza externa que lo acciona.

Para poder estudiar el movimiento del mecanismo es necesario, además de conocer su estructura (cantidad de eslabones, cantidad y clase de los pares cinemáticos); conocer las medidas de algunos de los eslabones que influyen en el movimiento y su mutua disposición. Con este fin y haciendo uso de las convenciones antes vistas (Tabla 1) se dibuja el esquema cinemático.

El esquema cinemático se construye respetando las proporciones y las formas de las cuales depende el movimiento de los eslabones, es decir, con el cambio de las cuales, cambian la posición, la velocidad y las aceleraciones de los puntos del mecanismo. Todo lo que no sea característico para el movimiento debe ser evitado para simplificar al máximo el esquema.

En el caso de que los eslabones posean movimientos espaciales el esquema cinemático se dibuja con ayuda de proyecciones perspectivas (isométricas o dimétricas) o, si es el caso, con vistas planas ortogonales.

Ejemplo: Dibujar el esquema cinemático del mecanismo mostrado. Reconocer y clasificar cada uno de los pares que lo forman.

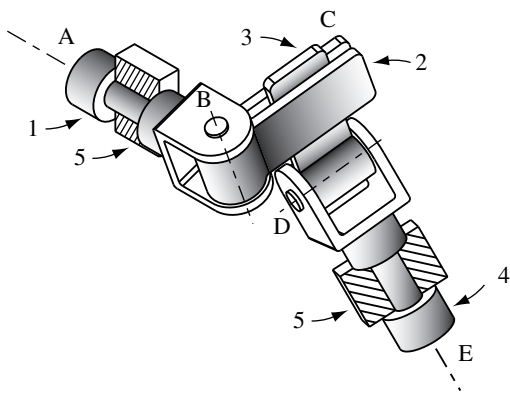


Fig. 1.22a

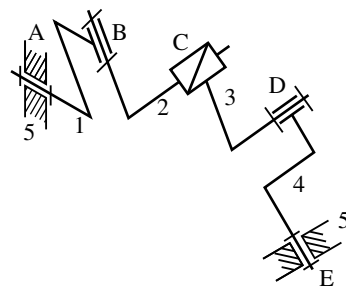


Fig. 1.22b

El mecanismo posee 5 eslabones ($k = 5$) 1...5, de los cuales 4 son móviles ($n = 4$) y el número 5 es el bastidor. Posee 5 pares así: A, B, D y E son juntas giratorias de V clase ($pV = 4$); el par C es una junta plana de III clase ($pIII = 1$). El esquema cinemático se muestra en la figura 1.22b.

Las figuras 1.23 y 1.24 presentan dos ejemplos adicionales de representación esquemática, en ambos casos se tienen actuadores hidráulicos.

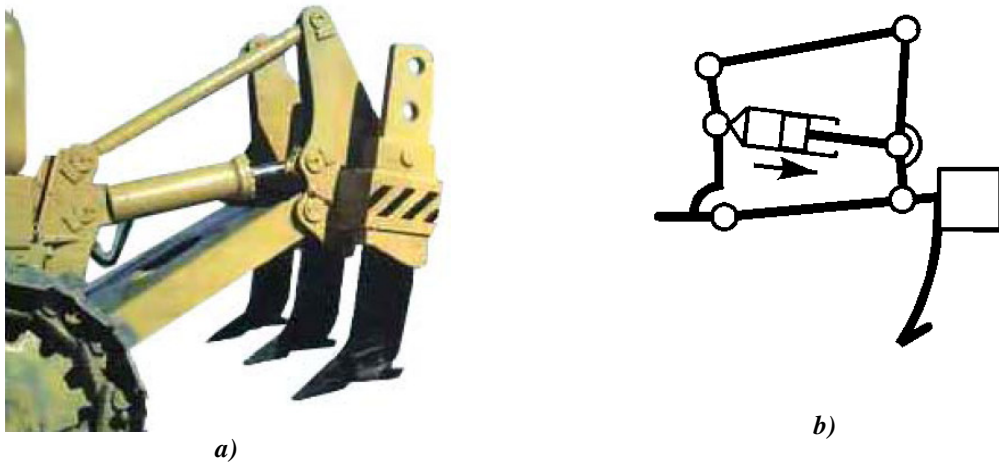


Fig. 1.23 Escarificador (a) y esquema cinemático del mecanismo del escarificador (b)

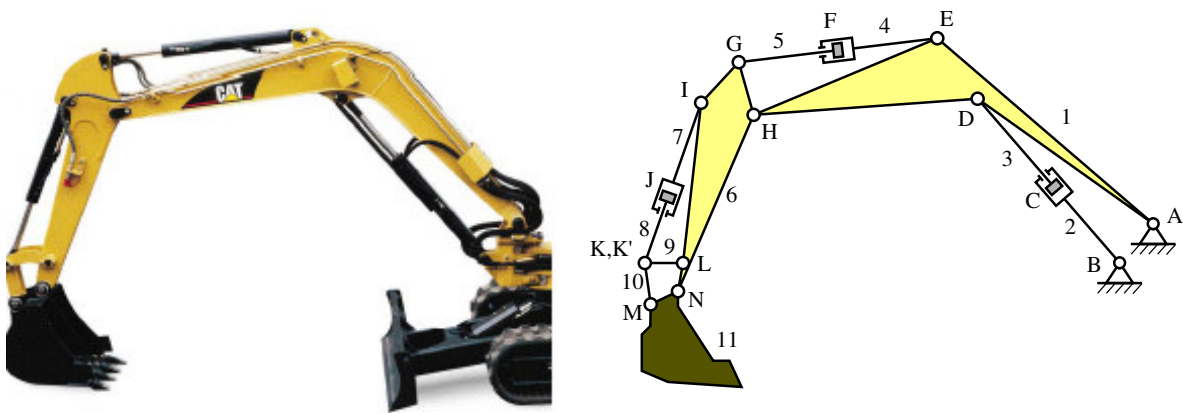
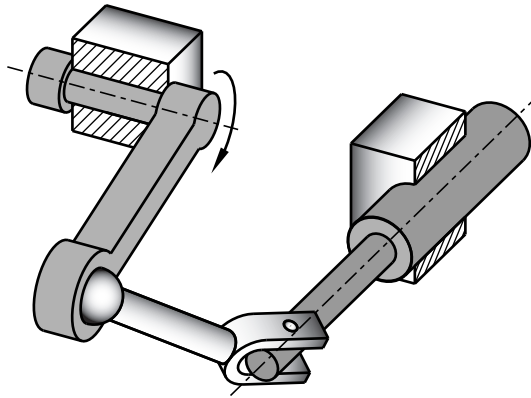


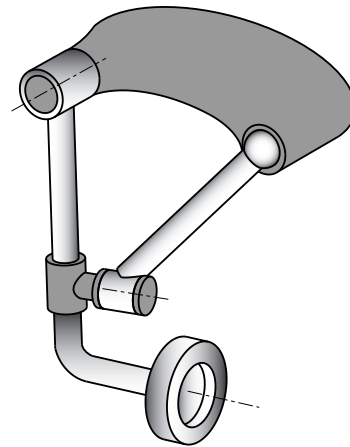
Fig. 1.24 Brazo de una retroexcavadora y su esquema cinemático

1.1.6 EJERCICIOS

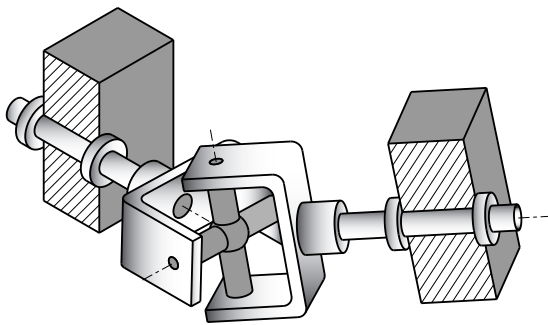
Dibujar el esquema cinemático de los mecanismos mostrados. Reconocer y clasificar cada uno de los pares que los forman.



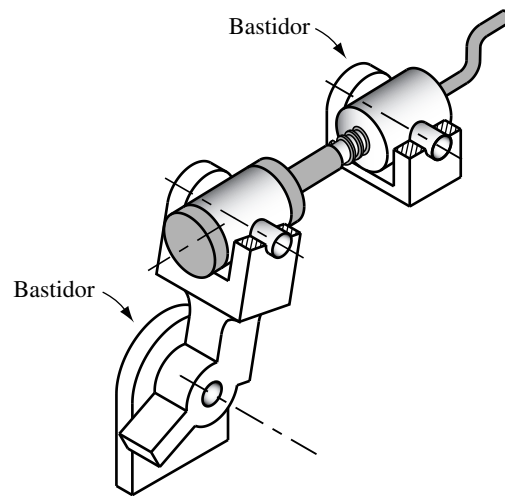
Ejercicio 1



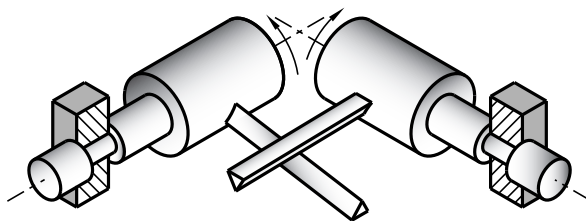
Ejercicio 2



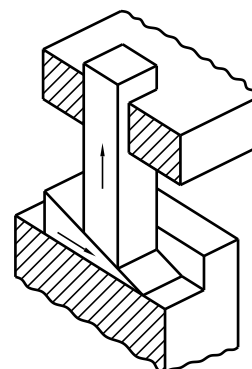
Ejercicio 3



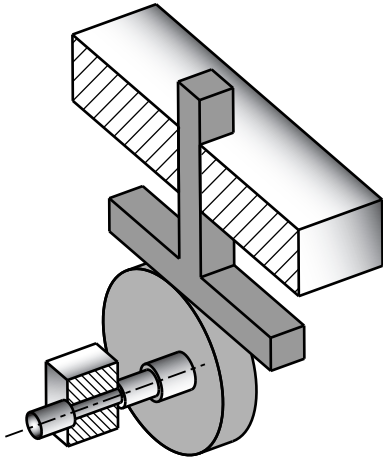
Ejercicio 4



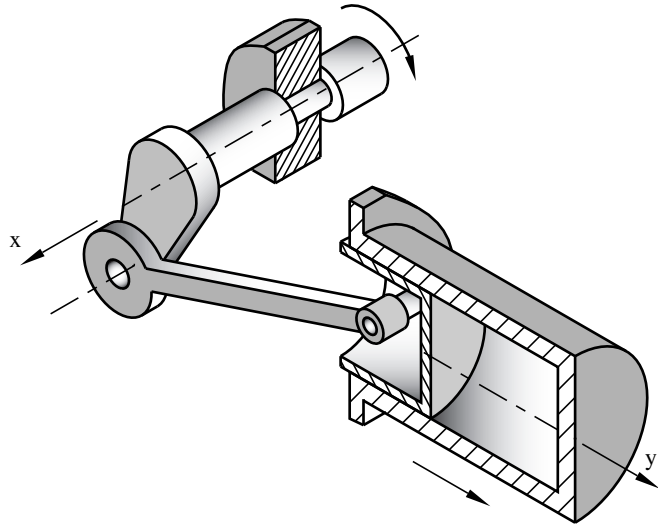
Ejercicio 5



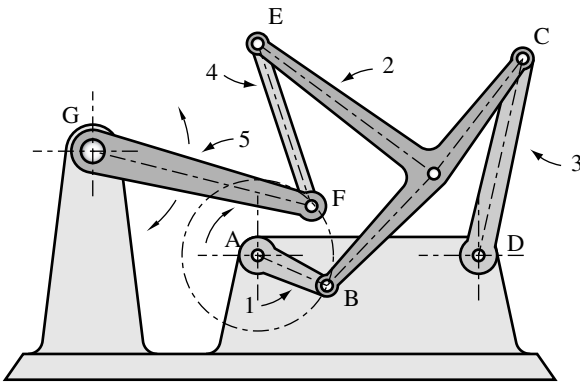
Ejercicio 6



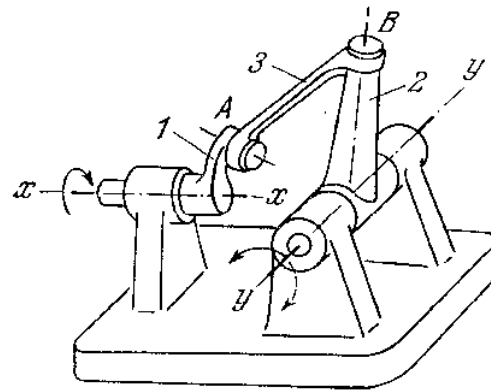
Ejercicio 7



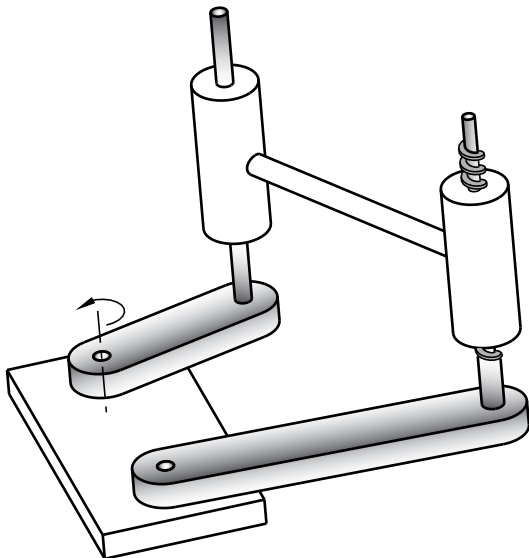
Ejercicio 8



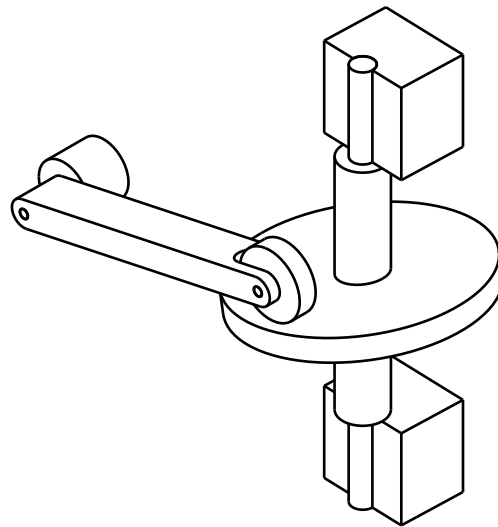
Ejercicio 9



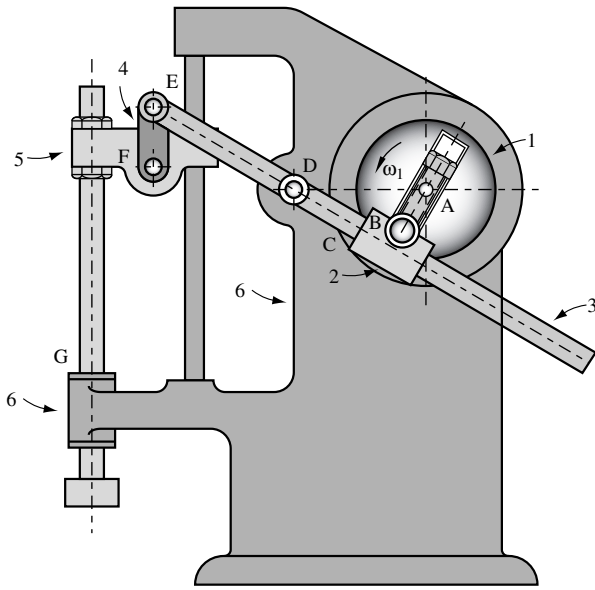
Ejercicio 10



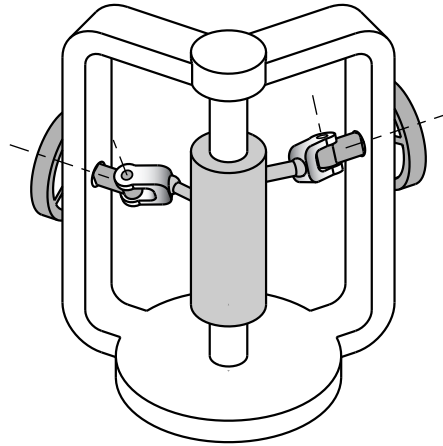
Ejercicio 11



Ejercicio 12

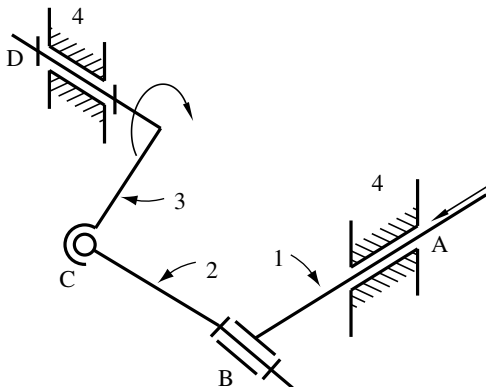


Ejercicio 13

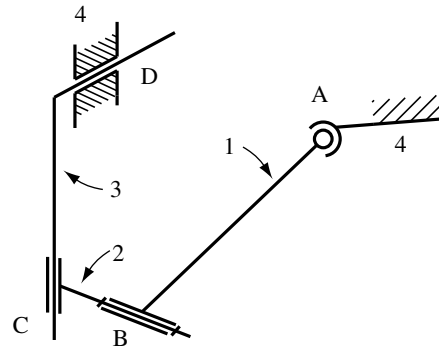


Ejercicio 14

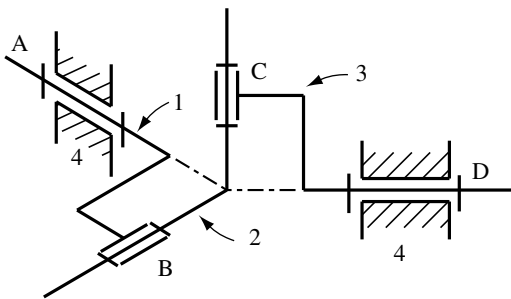
RESPUESTAS



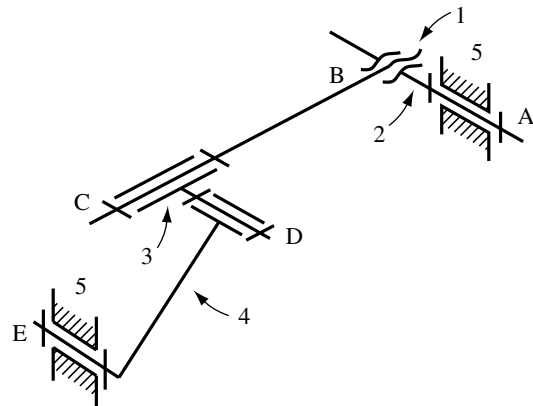
1) $k = 4, n = 3, p_V = 2, p_{IV} = 1, p_{III} = 1$



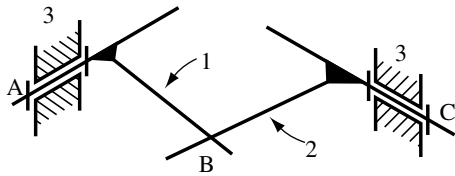
2) $k = 4, n = 3, p_V = 2, p_{IV} = 1, p_{III} = 1$



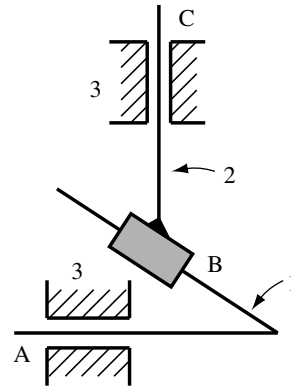
3) $k = 4, n = 3, p_V = 4$



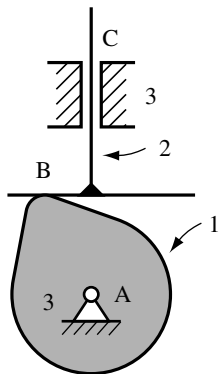
4) $k = 5, n = 4, p_V = 5$



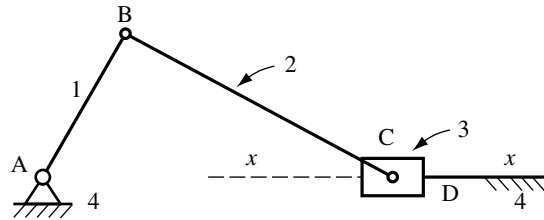
5) $k = 3, n = 2, p_V = 2, p_I = 1$



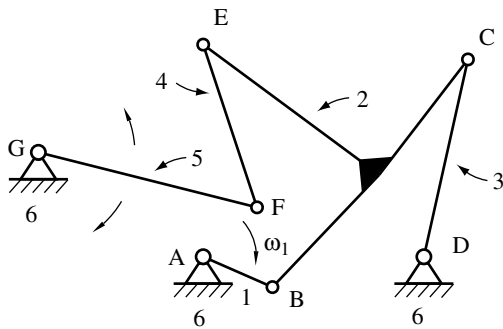
6) $k = 3, n = 2, p_V = 3$



7) $k = 3, n = 2, p_V = 2, p_{IV} = 1$



8) $k = 4, n = 3, p_V = 4$



9) $k = 6, n = 5, p_V = 7,$

BIBLIOGRAFÍA

- Artobolevski I.I.** Teoría de Mecanismos y Máquinas. Moscú. Nauka 1988
Kozhevnikov S.N. Mecanismos. Barcelona. Gustavo Gili S.A. 1975
Norton R.L. Diseño de Maquinaria. México D.F. McGraw-Hill 1995