

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

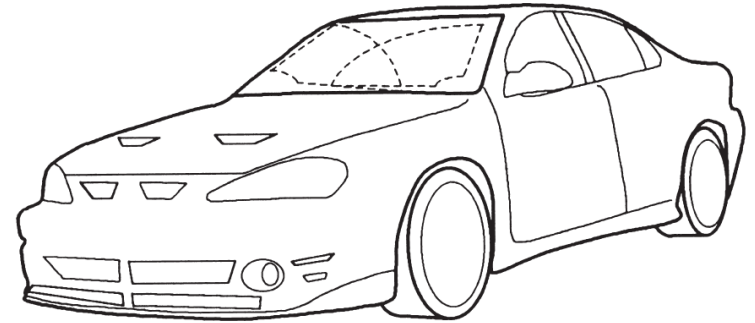
Objetivos:

1. Explicar la necesidad del análisis cinemático de mecanismos.
2. Definir los componentes que constituyen un mecanismo.
3. Dibujar el diagrama cinemático a partir del isométrico de una máquina compleja.
4. Determinar el número de grados de libertad de un mecanismo.
5. Identificar un mecanismo de cuatro barras y clasificarlo de acuerdo a su posible movimiento.
6. Identificar un mecanismo de deslizamiento-manivela.

1. Introducción.

Imagine se encuentra en un equipo responsable del diseño del sistema de parabrisas de un automóvil. El propósito del parabrisas es el de remover agua y partículas del vidrio para dar una clara visión al conductor.

Una de las primeras tareas de diseño es determinar el movimiento apropiado del parabrisas. Este debe ser tal que se logre limpiar las porciones críticas del vidrio y para esto último se requiere cierto movimiento típico de este mecanismo.



Una vez el movimiento deseado ha sido establecido, se hace un ensamblaje de los componentes de manera tal que se logre dicho movimiento. Y para comprobar que efectivamente se ha logrado el movimiento se realiza un análisis que incluye el tiempo de recorrido y el patrón de limpieza del parabrisas.

Para el sistema anterior, como para la mayoría de las máquinas, entender y analizar el movimiento es necesario para un correcto funcionamiento. El estudio de movimiento es uno de los principales objetivos de esta asignatura.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

2. Máquinas y mecanismos.

Las *máquinas* son dispositivos empleados para alterar, transmitir, y dirigir fuerzas con el propósito de lograr objetivos específicos.

En tanto, un *mecanismo* es una porción mecánica de una máquina que tiene la función de transferir movimiento y fuerzas de una fuente de poder a una salida. Un mecanismo puede ser considerado como partes rígidas que producen el movimiento deseado de la máquina.



La figura anterior muestra una plataforma de altura ajustable que es accionada por cilindros hidráulicos. Aquí el dispositivo completo constituye una máquina, pero las partes que toman energía de los cilindros, y elevan y bajan la plataforma, constituyen un mecanismo.

3. Cinemática.

La cinemática estudia la geometría del movimiento y su análisis involucra la determinación de posición, desplazamiento, rotación, velocidad, y aceleración de un mecanismo.

Ha de comentarse que la mayoría de los mecanismos exhiben un movimiento de manera tal que las partes se mueven en planos paralelos. Estos mecanismos cuyo movimiento está limitado a un espacio bidimensional se conocen como mecanismos planares.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

4. Terminología de mecanismos.

Eslabonamiento o enlace. Es un mecanismo donde partes rígidas están conectadas para formar una cadena. Hay eslabonamientos simples y eslabonamientos complejos.

Marco. Es la parte del eslabonamiento que sirve como marco de referencia para el movimiento de todas las otras partes y que típicamente no exhibe movimiento (esta en reposo).

Eslabones. Son las partes individuales del mecanismo. Son considerados cuerpos rígidos y están conectados entre sí para transmitir movimiento y fuerzas. Teóricamente, un cuerpo rígido no cambia de forma durante el movimiento, y a pesar de que en nuestra realidad física los cuerpos rígidos no existen, en vista de que los eslabones están diseñados para deformación mínima; se puede considerar que son rígidos.

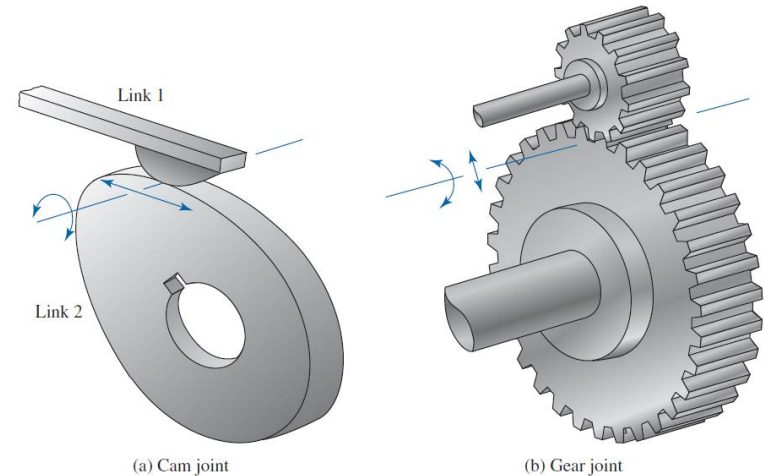
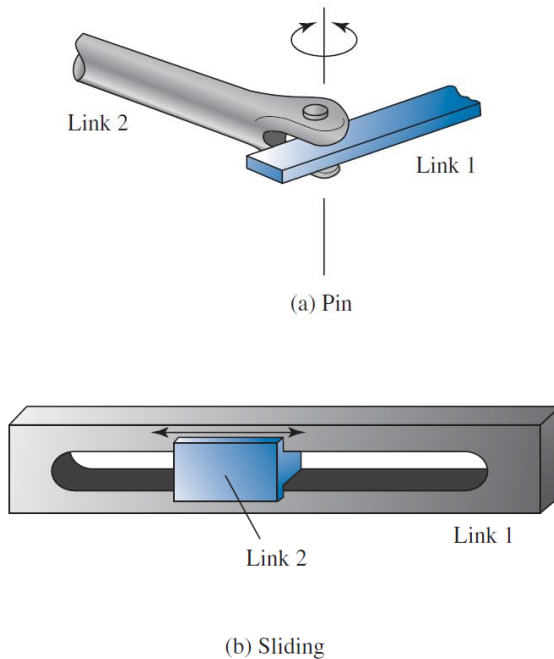
Las partes elásticas, resortes por ejemplo, no son rígidos y consecuentemente no son considerados eslabones. Estos dispositivos no tienen efecto sobre la cinemática de un mecanismo y usualmente son ignorados durante el análisis cinemático más no durante el análisis dinámico.

Junta. Es una conexión entre los eslabones que permite movimiento relativo entre ellos. Hay dos juntas primarias o completas, estas son las juntas de revolución y las de deslizamiento.

Junta de revolución o de bisagra. Permite rotación pura entre los eslabones que conecta. *Junta de deslizamiento o prismática.* Sólo permite deslizamiento lineal entre los eslabones que conecta.

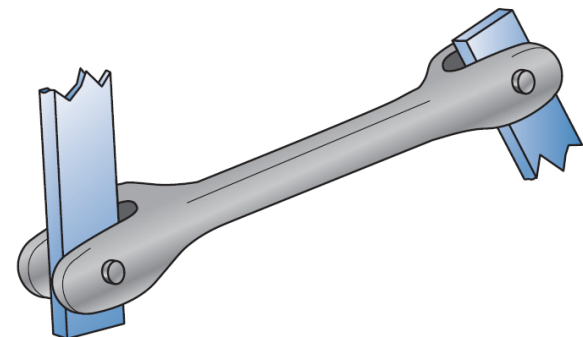
I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

4. Terminología de mecanismos.



Eslabón simple. Es un cuerpo rígido que solo tiene dos juntas, las cuáles le permite conectarse a otros eslabones.

Juntas de orden superior o medias juntas. Estas son juntas de movimiento complejo que generalmente involucran tanto rotación como deslizamiento. Ejemplo de ellas son las juntas curvilíneas o de levas y las conexiones de engranes.



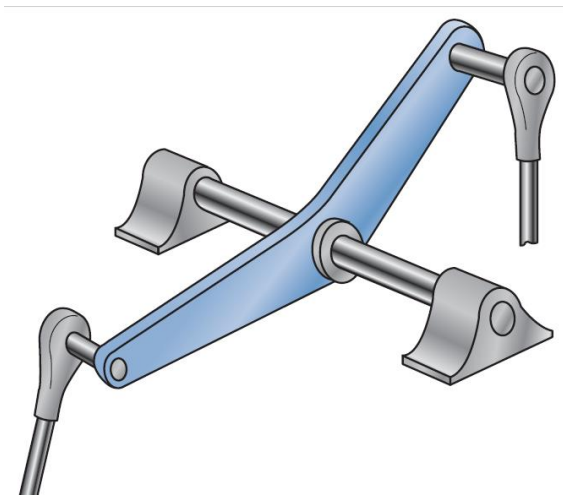
I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

4. Terminología de mecanismos.

Manivela. Es un eslabón simple que es capaz de completar una rotación completa sobre un centro fijo.

Balancín. Es un eslabón simple que oscila hasta un determinado ángulo de amplitud, revirtiendo su dirección a ciertos intervalos.

Eslabón complejo. Es un cuerpo rígido que contiene más de dos juntas. Un brazo de balancín es un eslabón complejo (contiene tres juntas y esta pivotado cerca de su centro).



Punto de interés. Es un punto en un eslabón donde el movimiento es de interés especial. Una vez el análisis cinemático es efectuado, el desplazamiento, velocidad, y aceleración de ese punto son determinados.

Actuador. Es el componente que opera o que da energía al mecanismo. Actuadores comunes incluyen: motores eléctricos, motores hidráulicos, máquinas reciprocantes, cilindros hidráulicos y neumáticos, solenoides, y movimiento humano.

Cadenas cerradas. Eslabonamientos en donde cada eslabón está conectado a dos o más eslabones.



I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

4. Terminología de mecanismos.

Cadenas abiertas. Eslabonamientos en donde al menos un eslabón solo está conectado a otro eslabón y queda una potencial junta libre. Un ejemplo de esto son los brazos robóticos.





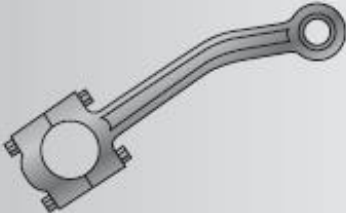

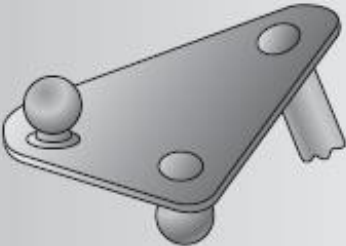

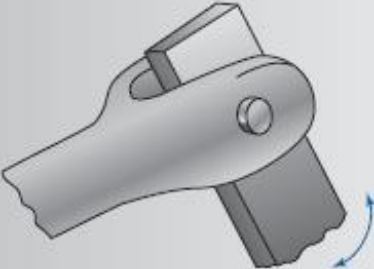

5. Diagramas cinemáticos.

Al analizar el movimiento de una máquina, generalmente es difícil visualizar el movimiento de componentes individuales y de mecanismos al observar el esquemático del ensamblaje completo.

En este sentido es más fácil representar las partes en forma simplificada de manera tal que solo las dimensiones que influyen en el movimiento del mecanismo sean mostradas. A estos diagramas se les conoce como diagramas cinemáticos. El propósito de estos es similar al de los esquemas de circuitos eléctricos o a los diagramas de tuberías, en el sentido de que representan variables que afectan la función primaria del mecanismo.

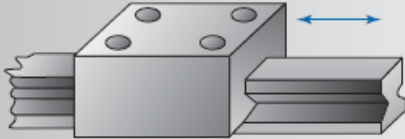

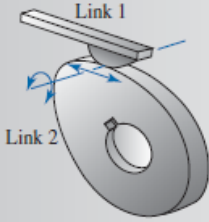
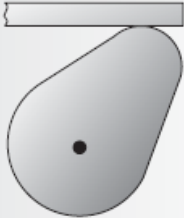
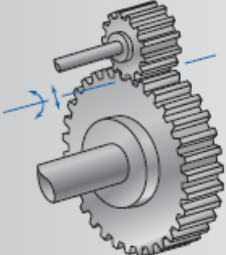
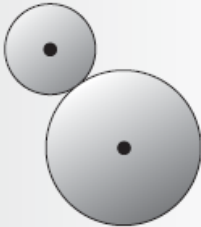
Un diagrama cinemático debe ser dibujado a una escala proporcional al mecanismo real. Por conveniencia, los eslabones son enumerados comenzando con el marco como 1. A las juntas en tanto, para evitar confusión, se les asigna una letra. A continuación se muestra la simbología típicamente empleada en estos diagramas.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

Component	Typical Form	Kinematic Representation
Simple Link		
Simple Link (with point of interest)		
Complex Link		
Pin joint		

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

TABLE 1.1 (Continued)

Component	Typical Form	Kinematic Representation
Slider Joint		
Cam Joint		
Gear Joint		

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

6. Inversión cinemática.

Un movimiento absoluto es una medida con respecto a un marco estacionario. En tanto que, un movimiento relativo es una medida para un punto o eslabón con respecto a otro eslabón. En la medida que diferentes eslabones son seleccionados como marco, el movimiento relativo de dichos eslabones no se ve afectado, pero el movimiento absoluto puede ser drásticamente diferente. La utilización de diferentes eslabones como marco se conoce como inversión cinemática.

7. Movilidad.

Una propiedad importante en el análisis de mecanismos es el número de grados de libertad del eslabonamiento. El número de grados de libertad es el número de entradas independiente requeridas para determinar con precisión la posición de todos los eslabones del mecanismo con respecto al marco de referencia. También puede ser definido como el número de actuadores requeridos para operar el mecanismo.

El número de grados de libertad de un mecanismo también es llamado movilidad y se denota con el símbolo M . Cuando la configuración de un mecanismo es completamente definida por la posición de un eslabón, el sistema se dice tiene un grado de libertad. La mayoría de los mecanismos producidos comercialmente tiene un solo grado de libertad.

Ecuación de Gruebler

Los grados de libertad de mecanismos planares unidos por juntas comunes pueden ser calculados a partir de la ecuación de Gruebler.

$$M = 3(n - 1) - 2j_p - j_h$$

Donde n es el número total de eslabones en el mecanismo, j_p es el número total de juntas primarias, y j_h es el número total de juntas de orden superior.

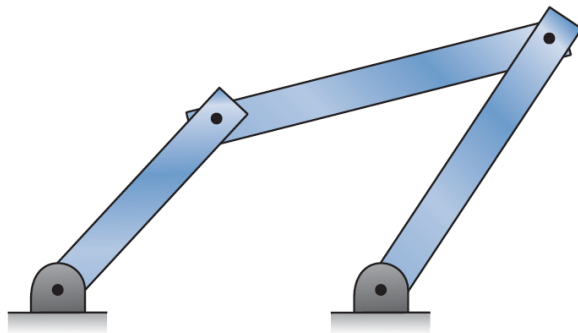
I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

7. Movilidad.

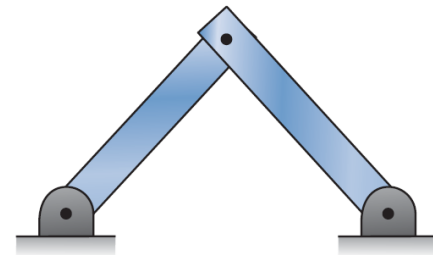
Ecuación de Gruebler

Los mecanismos con grado de libertad igual a cero o grado de libertad negativo se conocen como mecanismos bloqueados. El mecanismo con grado de libertad igual a cero se conoce como braguero.

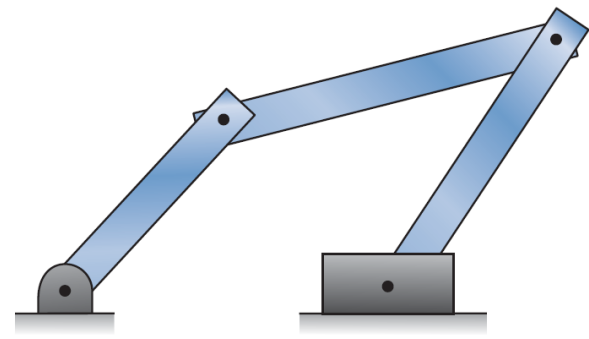
Como ya se comentó, eslabonamientos con múltiples grados de libertad requieren de más de un actuador para ser operados con precisión.



(a) Single degree-of-freedom ($M = 1$)



(b) Locked mechanism ($M = 0$)



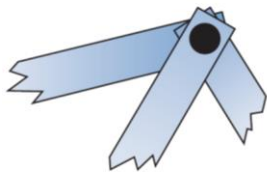
(c) Multi-degree-of-freedom ($M = 2$)

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

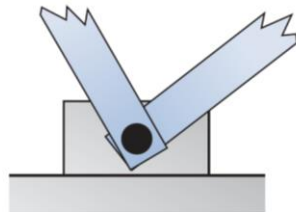
8. Casos especiales de la ecuación de movilidad.

Juntas coincidentes.

Algunos mecanismos tienen tres eslabones que están todos conectados a una misma junta de revolución. Físicamente una junta puede conectar a los tres eslabones, sin embargo por definición, una junta de revolución conecta dos eslabones. Para el análisis cinemático, esta configuración debe ser modelada matemáticamente como dos juntas separadas. Una junta conecta el primer eslabón con el segundo y la otra, entonces, conectará el segundo con el tercero. Consecuentemente cuando tres eslabones están conectados físicamente por una sola junta, matemáticamente esta debe ser modelada como dos juntas separadas.



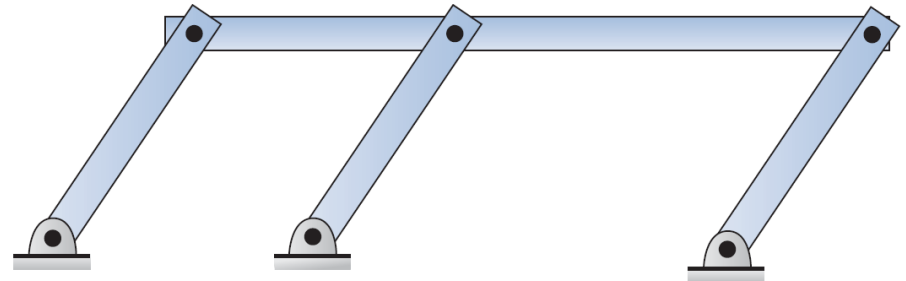
(a) Three rotating links



(b) Two rotating and one sliding link

Excepciones a la ecuación de Gruebler.

Otro caso especial de movilidad puede ser mencionado. Debido a que la ecuación de Gruebler no toma en cuenta la geometría de los eslabones, en algunas ocasiones puede llevar a resultados erróneos.



En la figura anterior, se tienen cinco eslabones y seis juntas. De acuerdo a la ecuación de Gruebler este eslabonamiento tiene cero grados de libertad y está bloqueado. Sin embargo, si todos los eslabones fueran del mismo tamaño, y la distancia entre cada junta en el marco y cada junta de revoluta, en el eslabón más largo, fuera la misma; este mecanismo sería capaz de movimiento y tendría un solo grado de libertad.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

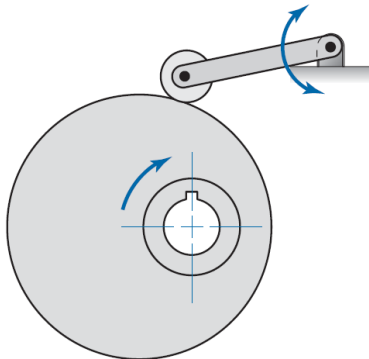
8. Casos especiales de la ecuación de movilidad.

Excepciones a la ecuación de Gruebler.

Aquí la inconsistencia con respecto a la ecuación de Gruebler se debe a que el eslabón del centro es redundante y no altera el movimiento del eslabonamiento en vista de que tiene las mismas dimensiones que los otros dos eslabones.

Grado de libertad inactivo

En algunos mecanismos, los eslabonamientos exhiben un movimiento que no influye en la relación de entrada y de salida del mecanismo. Estos grados de libertad inactivos representan otra situación en donde la ecuación de Gruebler lleva a resultados incorrectos.



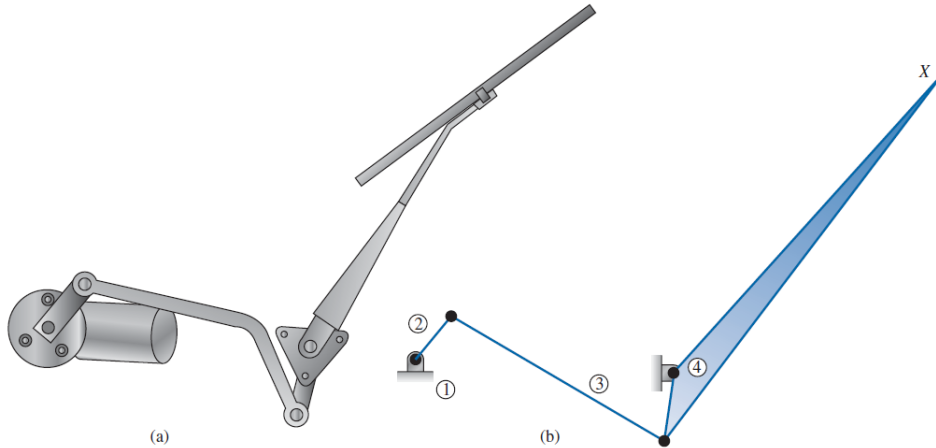
Para el caso anterior, la ecuación de Gruebler especificaría dos grados de libertad (4 eslabones, 3 juntas primarias, y 1 junta de orden superior). Aquí la leva es accionada, el eslabón pivotado (balancín) al marco se balancea, y el rodillo rota con respecto a su centro. Se puede ver entonces que solo el movimiento del balancín corresponde a la salida del mecanismo y que la rotación del rodillo es un grado de libertad inactivo que no afecta el movimiento de salida del mecanismo.

9. Mecanismo de cuatro barras.

El eslabonamiento más simple y común es el de cuatro barras. Esta es una combinación de cuatro eslabones, uno designado como el marco, y que están conectados por cuatro juntas de rotación.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

9. Mecanismo de cuatro barras.



Aquí típicamente el eslabón que no puede moverse constituye el marco, el que está conectado al marco y al cuál inicialmente da energía el actuador se llama eslabón de entrada, el eslabón que entrega la fuerza o el movimiento deseado se designa como el seguidor o el eslabón de salida, y el que conecta el de entrada con el de salida se conoce como brazo conector o acoplador.

Criterio de Grashof

La siguiente nomenclatura es usada para describir la longitud de los cuatro eslabones: s longitud del eslabón más corto, l longitud del eslabón más largo, p longitud de uno de los eslabones de longitud intermedia, y q longitud del otro eslabón de longitud intermedia.

El teorema de Grashof establece que un mecanismo de cuatro barras tiene al menos un eslabón giratorio si:

De acuerdo a la ecuación de Grubler, la movilidad de este mecanismo de cuatro barras, estaría dada por:

$$n = 4, j_p = 4, j_h = 0 \rightarrow M = 3(4 - 1) - 2(4) - 0 = 1$$

Y producto de que el mecanismo de cuatro barras solo tiene un grado de libertad, este puede ser completamente operando con un solo actuador (un motor eléctrico DC).

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

9. Mecanismo de cuatro barras.

Criterio de Grashof

$$s + l \leq p + q$$

Consecuentemente, los tres eslabones no fijos solo se balancearan si:

$$s + l > p + q$$

Todos los mecanismos de cuatro barras caen en alguna de las cinco categorías listadas en la siguiente tabla.

TABLE 1.2 Categories of Four-Bar Mechanisms

Case	Criteria	Shortest Link	Category
1	$s + l < p + q$	Frame	Double crank
2	$s + l < p + q$	Side	Crank-rocker
3	$s + l < p + q$	Coupler	Double rocker
4	$s + l = p + q$	Any	Change point
5	$s + l > p + q$	Any	Triple rocker

Doble manivela

Una doble manivela o manivela-manivela tiene la característica de que su eslabón más corto lo constituye el marco. En este mecanismo si uno de los eslabones rota continuamente, el otro eslabón también rotará de forma continua. Este mecanismo también es llamado mecanismo de eslabón de arrastre.

Manivela-balancín

Este mecanismo tiene la particularidad de que el eslabón más corto se encuentra adyacente al marco. Si el eslabón más corto es continuamente rotado, el eslabón de salida oscilará entre determinados límites. Consecuentemente el eslabón más corto es llamado manivela y el de salida es llamado balancín. El mecanismo de limpia parabrisas es de este tipo.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

9. Mecanismo de cuatro barras.

Doble balancín

El caso de doble balancín o balancín-balancín tiene el eslabón opuesto al más corto del mecanismo de cuatro barras como el marco. En esta configuración, ninguno de los eslabones conectado al marco serán capaces de completar una oscilación completa y oscilarán entre límites o se balancearán.

Mecanismo de cambio de punto

Este mecanismo tiene la peculiaridad de que la suma de dos de los lados (el corto y uno de los intermedios o el largo y uno de los intermedios) es igual a la suma de los otros dos lados. Aquí el mecanismo será de doble manivela o manivela-balancín con punto de cambio, dos veces por revolución de la manivela de entrada cuando todos los eslabones se vuelvan colineales. En estos puntos el comportamiento de salida es indeterminado (ya que puede tomar cualquiera de las dos configuraciones) por lo que se debe limitar el movimiento para evitar estos puntos.

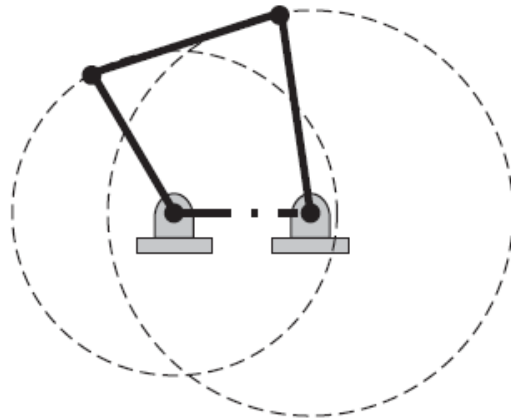
TABLE 1.2 Categories of Four-Bar Mechanisms

Case	Criteria	Shortest Link	Category
1	$s + l < p + q$	Frame	Double crank
2	$s + l < p + q$	Side	Crank-rocker
3	$s + l < p + q$	Coupler	Double rocker
4	$s + l = p + q$	Any	Change point
5	$s + l > p + q$	Any	Triple rocker

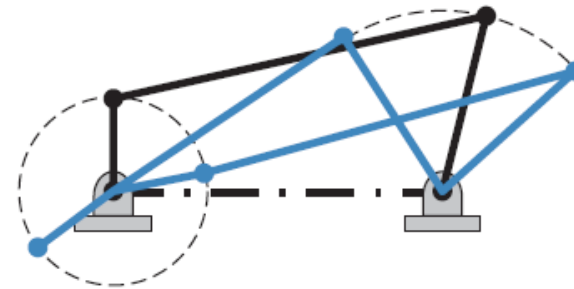
Triple balancín

Este es el último caso de la tabla mostrada previamente. Aquí ninguno de los eslabones es capaz de completar una rotación completa y todos se balancean.

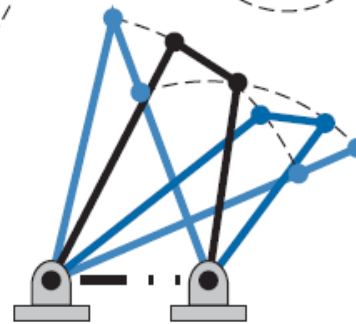
I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática



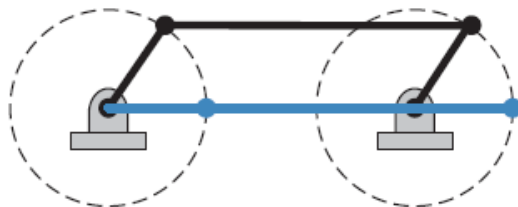
(a) Double crank



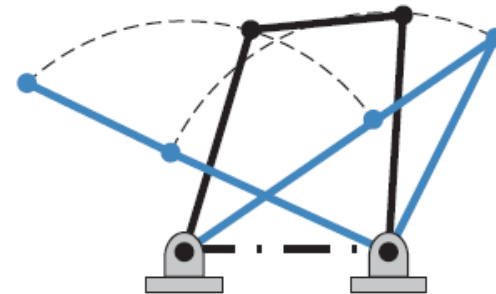
(b) Crank-rocker



(c) Double rocker



(d) Change point



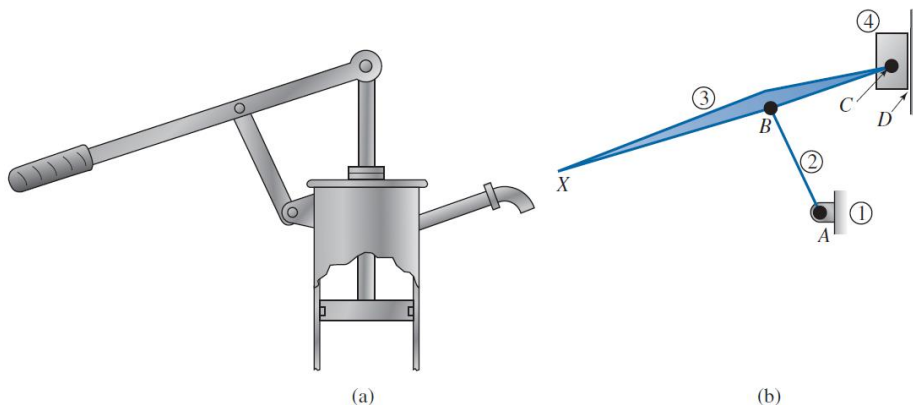
(e) Triple rocker

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

10. Mecanismo de deslizamiento-manivela.

Otro mecanismo que es comúnmente encontrado es el mecanismo de deslizamiento-manivela. Este mecanismo también consiste de una combinación de cuatro eslabones, con uno designado como el marco. Este mecanismo, sin embargo, es conectado por tres juntas de revolución y una junta de deslizamiento.

Un ejemplo es el siguiente mecanismo, que es empleado para bombear agua de forma manual.



Este mecanismo también es de un grado de libertad y consecuentemente solo requiere de un actuador para ser operado.

En general, el eslabón conectado al marco es llamado la manivela, a pesar de que no siempre es capaz de completar una revolución completa. El eslabón que se traslada linealmente es llamado deslizador.

11. Técnicas de análisis de mecanismos.

Técnicas de dibujo tradicional

La mayoría de los análisis de mecanismos involucran geometría y con frecuencia métodos gráficos son empleados de manera tal que el movimiento del mecanismo pueda ser visualizado con facilidad. Soluciones gráficas involucran dibujar líneas escaladas a ángulos específicos y este enfoque tiene el mérito de facilitar la visualización de la solución. Sin embargo, también presenta la desventaja de que puede haber serios errores de precisión al comparar estos métodos con las técnicas analíticas.

El equipo de dibujo usado para dibujar las líneas escaladas a ángulos específicos incluye: triángulos, reglas, compases, y escalas ingenieriles.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

11. Técnicas de análisis de mecanismos.

Sistemas CAD (dibujo asistido por computadora)

El análisis gráfico de los mecanismos puede ser efectuado por medio de sistemas CAD, en donde con independencia del sistema, se pueden dibujar, con alta precisión, líneas a determinados ángulos sin que exista la necesidad de escalar dichas líneas.

Técnicas analíticas

Estas técnicas involucran principalmente a las teorías de geometría y trigonometría. Y realmente constituyen el complemento a las técnicas gráficas. Este enfoque tiene la desventaja de que requiere se realicen cálculos laboriosos para mecanismos complejos.

Métodos analíticos asistidos por herramientas computacionales

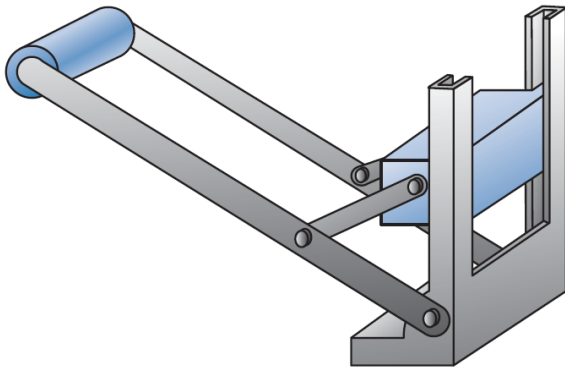
En la medida que soluciones analíticas precisas sean deseadas para varias posiciones de un mecanismo, el número de cálculos que deben efectuarse aumenta.

Algunas herramientas computacionales incluyen: hojas de cálculos, programas de análisis dinámico (Working Model, ADAMS, Dynamic Designer), y códigos propios escritos en lenguajes como Matlab, Scilab, Mathematica, VisualBasic, o C++.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

12. Ejemplo.

1. La siguiente imagen muestra un dispositivo empleado para aplastar latas. Dibuje el diagrama cinemático y considere que el final del agarradero será un punto X de interés. También determine el número de grados de libertad del mecanismo.



Suposiciones: Todos los elementos del dispositivo son rígidos, el agarradero constituye un solo elemento, la base del aplastador se encuentra fija y no se mueve.

Ecuación básica:

$$M = 3(n - 1) - 2j_p - j_h$$

Desarrollo:

a) Para dibujar el diagrama cinemático, en primer lugar se deben identificar los eslabones, las juntas, y los puntos de interés.

Eslabones:

Eslabón 1 o marco de referencia: Base del aplastador.

Eslabón 2: Agarradero del aplastador.

Eslabón 3: Bloque que sirve para aplastar las latas.

Eslabón 4: Barra que conecta al eslabón 2 y al 3.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

12. Ejemplo.

1. La siguiente imagen muestra un dispositivo empleado para aplastar latas. Dibuje el diagrama cinemático y considere que el final del agarradero será un punto X de interés. También determine el número de grados de libertad del mecanismo.

Desarrollo:

Juntas

Junta A: Junta de revolución entre los eslabones 1 y 2.

Junta B: Junta de revolución entre los eslabones 2 y 4.

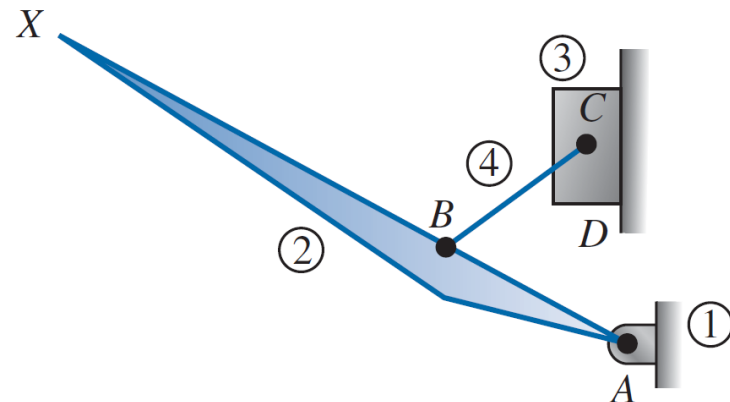
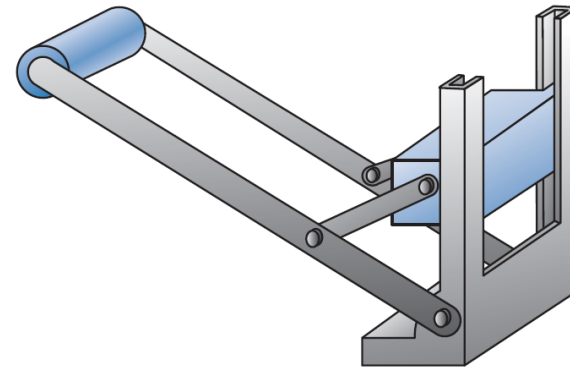
Junta C: Junta de revolución entre los eslabones 3 y 4.

Junta D: Junta de deslizamiento entre los eslabones 1 y 3.

Puntos de interés

El punto de interés X se emplea designar el movimiento en el extremo del agarradero.

Diagrama cinemático



I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

12. Ejemplo.

1. La siguiente imagen muestra un dispositivo empleado para aplastar latas. Dibuje el diagrama cinemático y considere que el final del agarradero será un punto X de interés. También determine el número de grados de libertad del mecanismo.

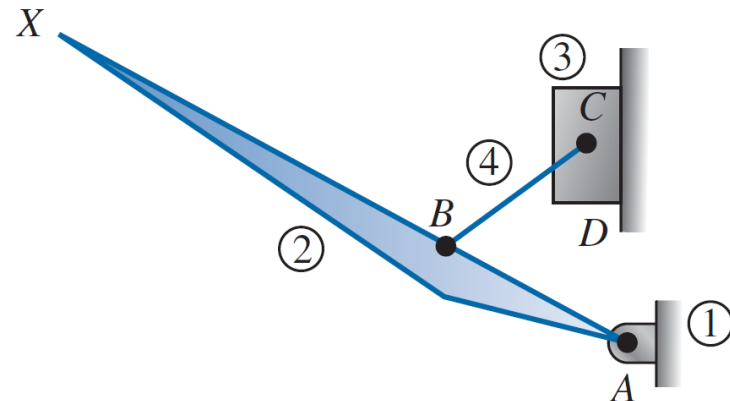
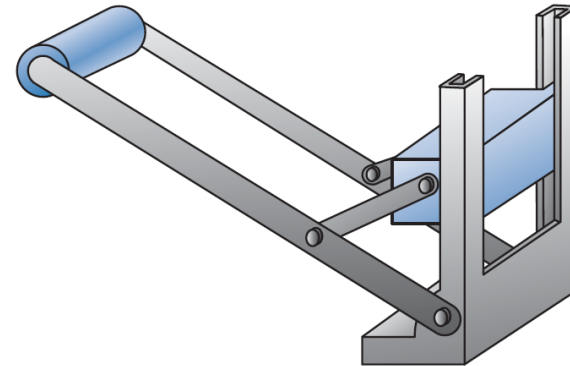
Desarrollo:

b) Para determinar el número de grados de libertad se empleará la ecuación de Gruebler.

$$M = 3(n - 1) - 2j_p - j_h$$

$$n = 4, j_p = 4, j_h = 0$$

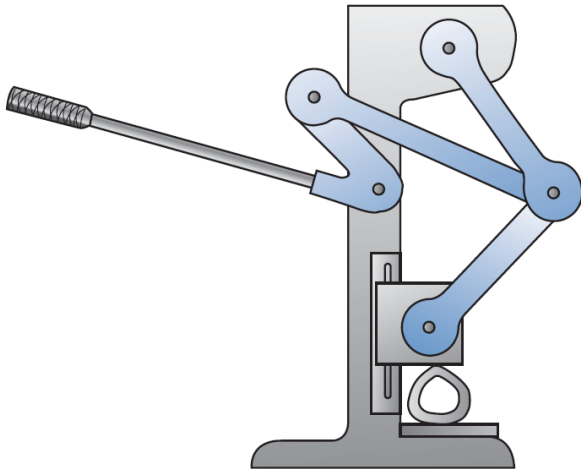
$$M = 1$$



I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

12. Ejemplo.

2. La siguiente figura muestra una presa mecánica. Dibuje el diagrama cinemático y considere que el final del agarradero será un punto X de interés. También determine el número de grados de libertad del mecanismo.



Suposiciones: Todos los elementos del dispositivo son rígidos, la base de la presa se encuentra fija y no se mueve.

Ecuación básica:

$$M = 3(n - 1) - 2j_p - j_h$$

Desarrollo:

a) Para dibujar el diagrama cinemático, en primer lugar se deben identificar los eslabones, las juntas, y los puntos de interés.

Eslabones:

Eslabón 1 o marco de referencia: Base de la presa.

Eslabón 2: Agarradero de la presa.

Eslabón 3: Brazo que conecta al agarradero a las otras barras.

Eslabón 4: Barra que conecta la base a las otras barras.

Eslabón 5: Bloque o cabeza de la presa.

Eslabón 6: Barra que conecta el bloque a las otras barras.

I. Introducción a los mecanismos y a la cinemática

12. Ejemplo.

2. La siguiente figura muestra una presa mecánica. Dibuje el diagrama cinemático y considere que el final del agarradero será un punto X de interés. También determine el número de grados de libertad del mecanismo.

Desarrollo:

Juntas

Junta A: Junta de revolución entre los eslabones 1 y 2.

Junta B: Junta de revolución entre los eslabones 2 y 3.

Junta C: Junta de revolución entre los eslabones 1 y 4.

Junta D: Junta de revolución entre los eslabones 5 y 6.

Junta E: Junta de revolución entre los eslabones 3 y 4.

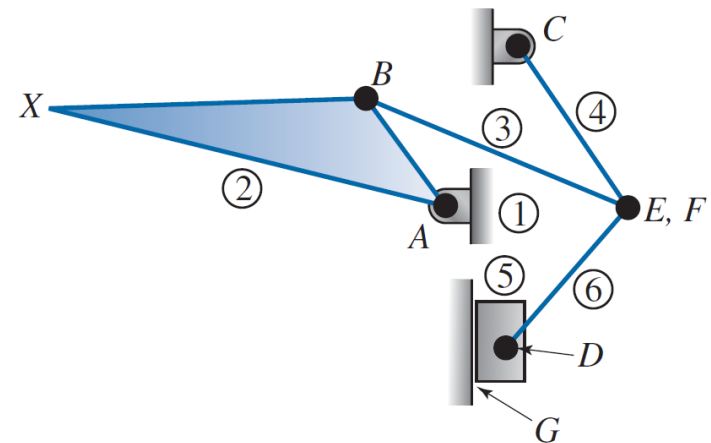
Junta F: Junta de revolución entre los eslabones 4 y 6.

Junta G: Junta de deslizamiento entre los eslabones 1 y 5.

Puntos de interés

El punto de interés X se emplea designar el movimiento en el extremo del agarradero.

Diagrama cinemático



b) Para determinar el número de grados de libertad se empleará la ecuación de Gruebler.

$$M = 3(n - 1) - 2j_p - j_h$$

$$n = 6, j_p = 7, j_h = 0$$

$$M = 1$$