

3.5. Conceptos Asociados a los Mecanismos. Teoría Clásica.

Los *mecanismos* son ensamblajes de cuerpos sólidos conectados mediante uniones o articulaciones. Los mecanismos transfieren el movimiento y el trabajo mecánico desde uno o más actuadores (“inputs” o *impulsores*) hasta uno o más cuerpos seguidores (“outputs” o *seguidores*).

Desde el punto de vista del diseño cinemático, consideraremos un mecanismo como un conjunto de cuerpos interconectados en el que todos sus componentes se suponen perfectamente rígidos y que están conectados mediante uniones o articulaciones cinemáticas, y por lo tanto ideales.

Una *unión o conexión cinemática* está formada por el contacto directo entre ciertas superficies de los dos cuerpos que conecta.

Una de las primeras codificaciones o *estudio sistemático de la cinemática* de los mecanismos fue realizada por el ingeniero alemán REULEAUX (1876), que fue quien ideó y dio nombre a la terminología básica que aún hoy en día se utiliza. Él fue quien asignó el nombre de “*par cinemático*” a una unión o conexión cinemática. Además dividió las uniones en “*pares inferiores*” y “*pares superiores*”.

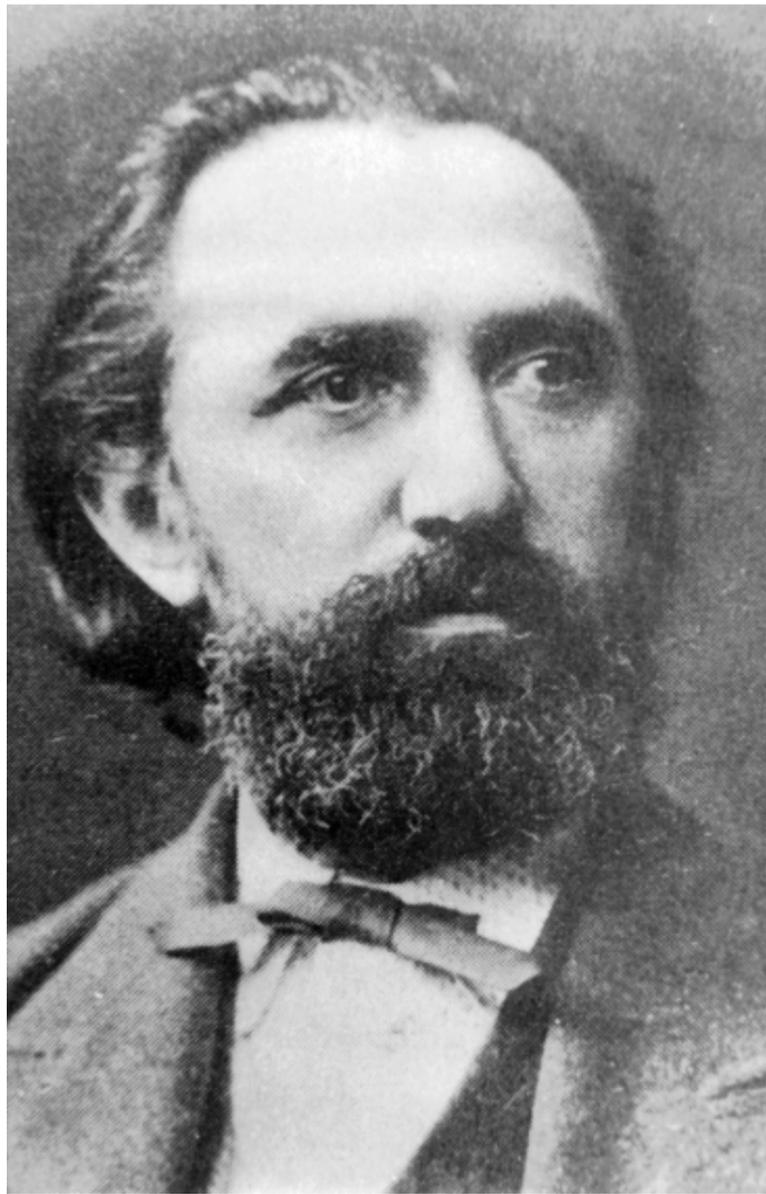


Imagen 2.40. REULEAUX (1829-1905).

Un *par inferior* es aquel en el que el contacto entre los dos cuerpos rígidos que conecta tiene lugar en todos los puntos de uno o más segmentos de superficie. Un *par superior* es aquel en el que el contacto tiene lugar únicamente en puntos aislados o a lo largo de segmentos lineales.

Las uniones o *conexiones* son el aspecto más importante de un mecanismo a examinar durante un análisis. Ellas permiten el *movimiento relativo* en determinadas direcciones mientras que restringe o impide el movimiento en otras. Los tipos de movimiento permitidos están relacionados con el número de grados de libertad (*gdl*) de la conexión. El *número de grados de libertad de una conexión* es igual al número de coordenadas independientes que son

necesarias para poder especificar de forma única la posición de uno de los cuerpos que conecta con relación al otro cuerpo restringido por la misma.

Los *pares inferiores* están necesariamente restringidos a un relativamente *pequeño número de tipos geométricos*, ya que el requerimiento que el contacto tenga lugar en una superficie limita la geometría que deben tener las superficies que contactan. Sin embargo, existen una *infinidad* de posibles tipos geométricos para definir los *pares superiores*.

Los tipos posibles de pares inferiores aparecen en la Imagen 41, mientras que algunos ejemplos de uniones o pares superiores se pueden observar en la Imagen 42.

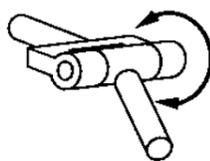
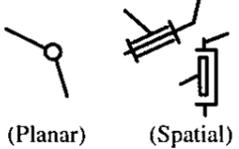
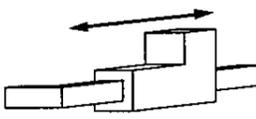
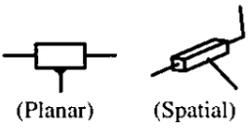
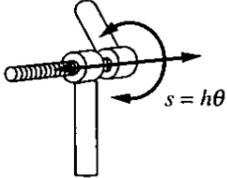
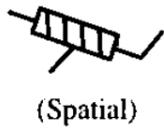
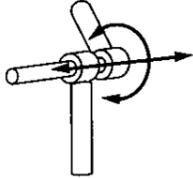
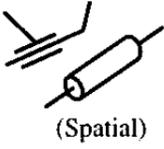
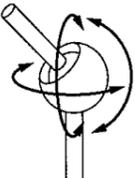
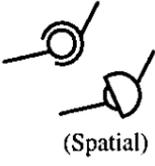
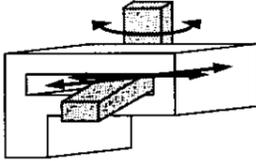
Conectividad (Nº de gdl)	Denominaciones	Símbolo literal	Forma típica	Representación esquemática (Diagrama cinemático)
1	Par Giratorio Articulación de pasador	R		 (Planar) (Spatial)
1	Par prismático Deslizadera Par de deslizamiento	P		 (Planar) (Spatial)
1	Par helicoidal Par de tornillo	H		 (Spatial)
2	Par cilíndrico	C		 (Spatial)
3	Par esférico	S		 (Spatial)
3	Par plano	P		 (Spatial)

Imagen 2.41. Uniones o pares inferiores.

Los *pares inferiores* son los *más utilizados* en la práctica del diseño mecánico. Proporcionan un buen servicio ya que el desgaste se distribuye de forma uniforme sobre las superficies en contacto, y por el hecho que al estar una de las superficies totalmente rodeada por la otra el pequeño huelgo existente entre ambas proporciona buenas condiciones para la lubricación y un movimiento relativo perfectamente ajustado. El cambio de las propiedades geométricas de la unión debido al desgaste es pequeño para un par inferior.

Los *pares superiores* relacionados con el *contacto por rodadura simple*, o que se aproximan a esa condición, también se utilizan *con frecuencia* en el diseño mecánico. En el contacto por rodadura simple, los puntos de una de las dos superficies que forman el par, están en cualquier instante en un reposo relativo respecto a la otra superficie. Por lo tanto no hay deslizamiento relativo entre ambas superficies, con lo que el rozamiento y el desgaste

reales en el par son mínimos. Desde un punto de vista físico, la limitación de este tipo de unión o par la impone la intensidad de las tensiones que el material del que están hechos los cuerpos en contacto puede soportar. Las tensiones que aparecen son altas debido a que el área de contacto real es muy pequeña. Si los cuerpos fueran perfectamente rígidos, el contacto ocurriría solo en puntos concretos o a lo largo de una línea, el área de contacto debería ser nula, y las tensiones deberían tener un valor local infinito.

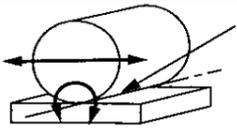
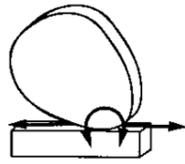
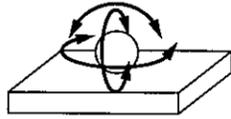
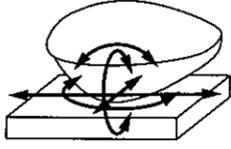
Conectividad (Nº de gdl)	Denominación	Forma típica	Comentarios
1	Rodadura sin deslizamiento Rodadura simple		El rodillo gira alrededor de la línea señalada con la flecha en el instante considerado. El rodillo no desliza sobre la superficie sobre la que gira.
2	Par leva Rodadura con deslizamiento		La leva gira y desliza sobre el seguidor.
3	Bola con rodadura sin deslizamiento		La bola gira pero no desliza.
4	Bola dentro de cilindro		La bola puede girar alrededor de cualquier eje que pase por su centro geométrico, y desliza a lo largo del eje del hueco cilíndrico.
5	Contacto puntual espacial		El cuerpo puede girar alrededor de cualquier eje que para por el punto de contacto, y deslizar en cualquier dirección en el plano tangente.

Imagen 2.42. Algunas uniones o pares superiores.

Los *pares inferiores* como pueden ser el *giratorio* y el *cilíndrico* se obtienen a menudo en mecanismos mediante *cojinetes de bolas (rodamientos) o de agujas*, en los que en realidad hay muchos elementos (cuerpos, bolas) actuando en paralelo. El contacto real en los cojinetes de bolas (rodamientos) es del tipo de *rodadura sin deslizamiento*, y por lo tanto se trata de pares superiores. De esta forma, se aprovecha la ventaja en cuanto a bajo rozamiento inherente al contacto de rodadura sin deslizamiento, con el fin de obtener una par que tiene un menor rozamiento, una mayor posibilidad de transmisión de cargas y de velocidades relativas que las que serían posibles obtener con un par giratorio en el que el contacto tuviera lugar entre las habituales dos superficies en contacto. Consiguiéndose al mismo tiempo el comportamiento en cuanto a movimiento relativo típico de un par giratorio, es decir un giro relativo entre los dos cuerpos que comparten el par. Este es un *ejemplo* de un *par compuesto* en el que el par es en realidad un mecanismo complejo (hay muchas bolas en contacto con la superficie de rodadura), pero que se considera cinemáticamente equivalente a un simple par giratorio. En la Fig. 35 se pueden observar algunos ejemplos de este tipo de pares compuestos.

De forma análoga, a veces los *pares superiores* son *reemplazados* por un conjunto equivalente de *pares inferiores*. Por ejemplo, un par del tipo "*pasador en ranura*", PR, como el que aparece en la Imagen 44, se puede considerar como una combinación de un par giratorio (R) y un par prismático (P). Sin embargo, téngase en cuenta que esto lleva consigo la adición de cuerpos extra al mecanismo. Tanto en el caso en que un par inferior era reemplazado por un cojinete en el que existe un contacto por rodadura sin deslizamiento, o par compuesto, como en este caso, se dice que los dos *mecanismos* son *equivalentes cinemáticamente*. Lo cual significa que los movimientos relativos permitidos

entre los cuerpos en ambos casos son los mismos, a pesar que el par es físicamente bastante diferente.

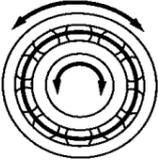
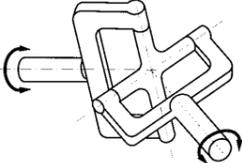
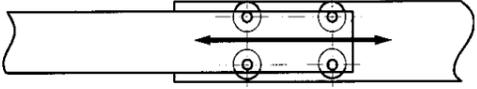
Conectividad (Nº de gdl)	Denominación	Forma típica
1	Cojinete de bolas Cojinete antifricción Cojinete de contacto por rodadura	
2	Junta Universal Junta Hooke Junta Cardan	
1	Deslizadera de rodillos	

Imagen 2.43. Algunos ejemplos de pares compuestos.

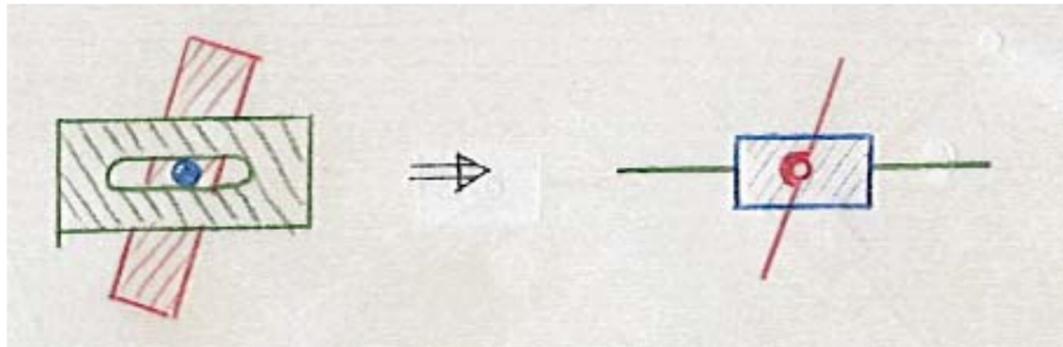


Imagen 2.44. Par superior con combinación cinemáticamente equivalente de pares inferiores.

El número de grados de libertad de un par es el mínimo número de parámetros independientes que son necesarios para definir las posiciones de todos los puntos de uno de los cuerpos de los que conecta el par, con respecto a un sistema de referencia fijo con el otro cuerpo. Se utiliza el término *conectividad* para referirse a esta libertad del cuerpo, a pesar que el par puede ser en realidad a veces muy elaborado tal y como sucede en el cojinete que aparece dibujado en la Imagen 43 y los que aparecen tal y como son en la realidad en la Imagen 45.

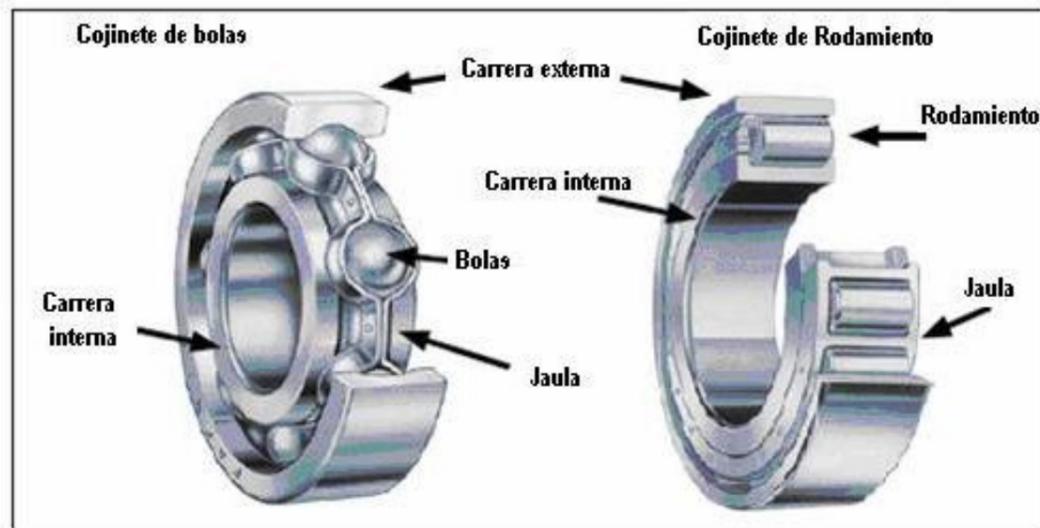


Imagen 2.45. Aspecto que tienen los rodamientos que se utilizan en las máquinas reales.

Si el movimiento está restringido a llevarse a cabo en un plano, el máximo número de grados de libertad es de tres. En el movimiento general que tiene lugar en el espacio, el máximo número es seis. En las figuras 1, 2 y 3, aparecen en su primera columna el número de grados de libertad que posee cada uno de los pares en ellas relacionados.

3.6. Mecanismos Planos con Pares Inferiores.

Un mecanismo plano con pares inferiores es aquel en que las velocidades de todos los puntos de todos los cuerpos que lo forman son paralelas a un plano, denominado plano del movimiento. Los únicos pares inferiores que son compatibles adecuadamente con el movimiento plano son los pares giratorios y los prismáticos. Los ejes de giro de todos los pares giratorios deben ser normales al plano de movimiento ya que de otra forma sería imposible que los puntos de los cuerpos se movieran en planos paralelos. Las direcciones de deslizamiento de todos los pares prismáticos deben ser paralelas al plano del movimiento, ya que todos los puntos de un cuerpo conectado a otro mediante un par prismático han de moverse sobre líneas paralelas a la dirección de deslizamiento relativamente respecto al segundo cuerpo. Ocasionalmente puede suceder que otros tipos de pares inferiores aparezcan en un mecanismo que no hay duda es un mecanismo plano. Sin embargo, en estas ocasiones estos pares actuarán a todos los efectos como si fuesen pares giratorios o prismáticos. Por ejemplo, puede aparecer un par esférico en lugar de un par giratorio, pero en este caso si el mecanismo funciona como mecanismo plano, el par esférico actuará como giratorio teniendo lugar el giro alrededor únicamente del eje normal al plano del movimiento. Esta situación se planteará con más detalle cuando se trate sobre los grados de libertad y la denominada movilidad.

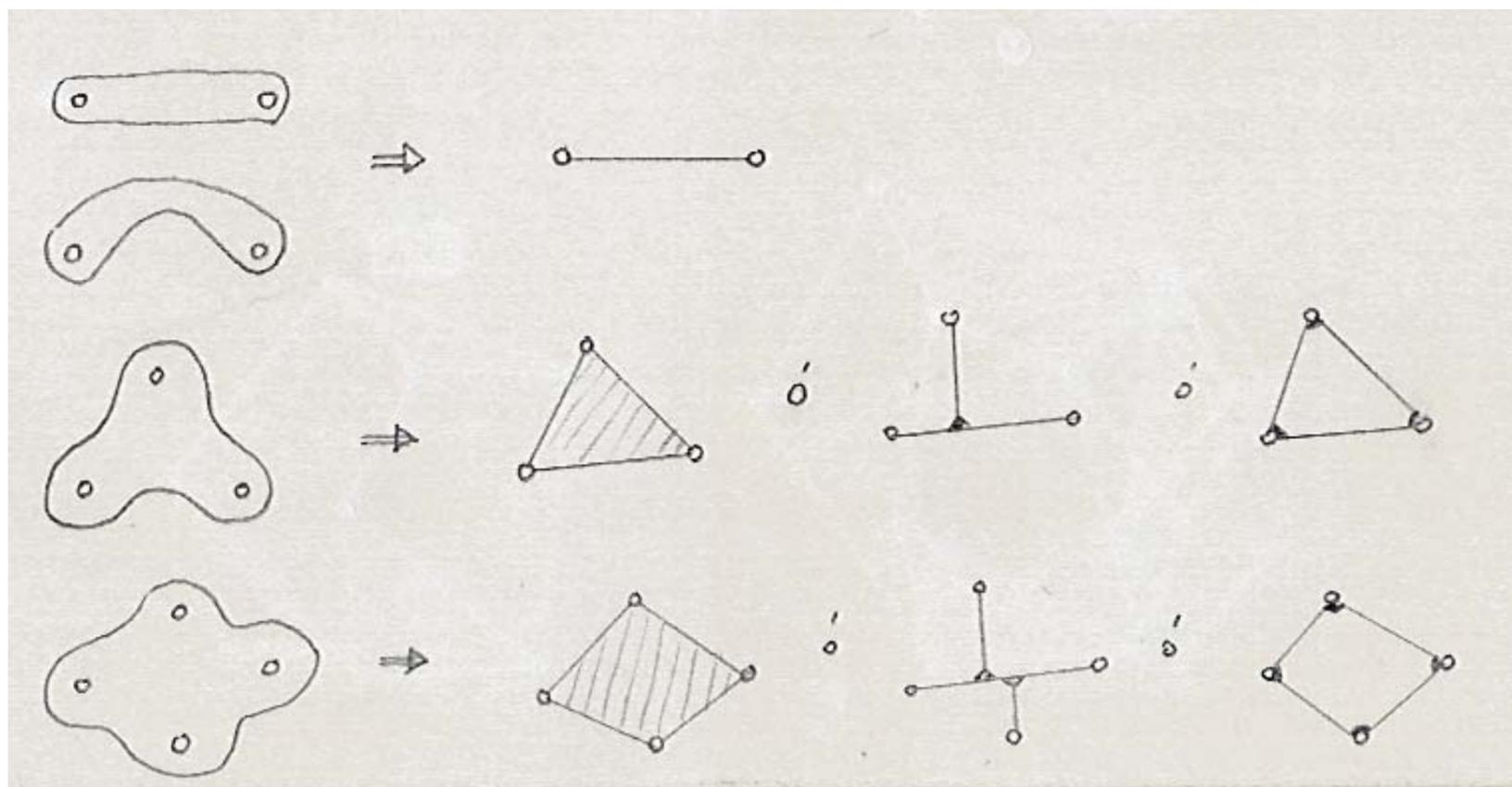


Imagen 2.46. Representación cuerpos de un mecanismo.

Es habitual utilizar un método esquemático para representar en el papel los mecanismos planos. En él los pares giratorios se representan mediante pequeños círculos, tal y como aparece en la Imagen 41 de la sección anterior. Los cuerpos binarios, que son los que tienen dos uniones o pares activos con otros cuerpos, se representan mediante líneas que unen los dos pares existentes. Los cuerpos ternarios, que son aquellos que poseen activas tres uniones o pares con otros cuerpos, se representan mediante triángulos estando situados los pares en sus vértices, y así sucesivamente. En las Imágenes 46, 47 y 48 de esta sección se pueden observar las representaciones esquemáticas resultantes, que se suelen denominar *diagramas cinemáticos* de los mecanismos. De esta forma es posible reproducir fácilmente la geometría de un cuerpo, obteniéndose una visualización exacta del mecanismo en una determinada posición. De forma alternativa, es posible utilizar esta representación esquemática de forma conceptual, sin proporcionar dato alguno sobre la geometría exacta del mecanismo, con el fin de indicar la topología del mismo. La topología de un mecanismo es una representación geométrica del mismo en la que se indican exclusivamente las conexiones existentes entre los cuerpos que lo forman sin importar la

forma que cada uno tiene. Habitualmente los cuerpos con tres o más pares activos se suelen representar o bien sombreados o bien rayados en su interior. Si no se hiciese de esta forma no sería posible distinguir el diagrama cinemático correspondiente a un mecanismo formado por cuatro cuerpos conectados mediante pares giratorios formando un lazo (el denominado cuadrilátero articulado) de la representación esquemática simplificada correspondiente a un cuerpo cuaternario, es decir aquel que posee cuatro pares activos con otros cuerpos.

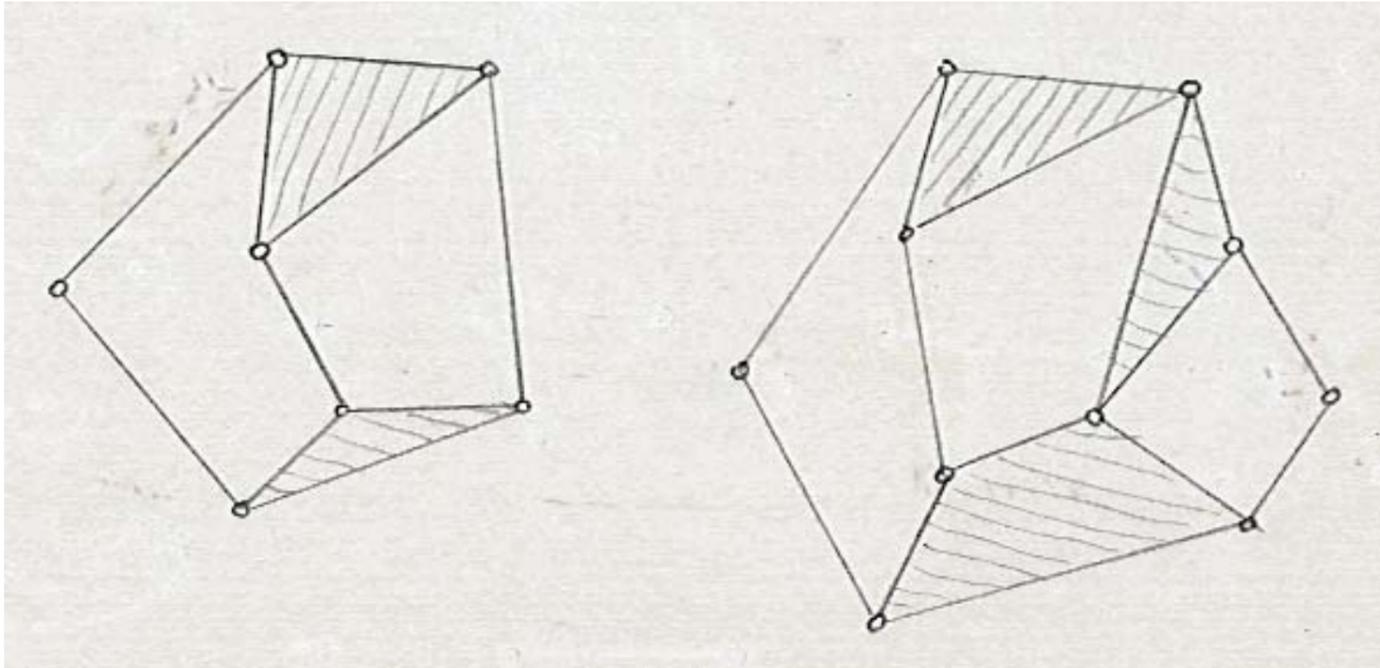


Imagen 2.47. Pares giratorios representados mediante círculos. Cuerpos binarios mediante segmentos lineales. Los cuerpos ternarios mediante triángulos (rayados).

Se denomina cadena cinemática a cualquier ensamblaje de cuerpos rígidos conectados mediante pares cinemáticos. Una cadena cinemática cerrada es aquella en la que los cuerpos y los pares forman uno o más circuitos cerrados. Cada uno de esos circuitos cerrados forma un lazo en el que cada cuerpo está conectado mediante uniones o pares cinemáticos a al menos otros dos cuerpos.

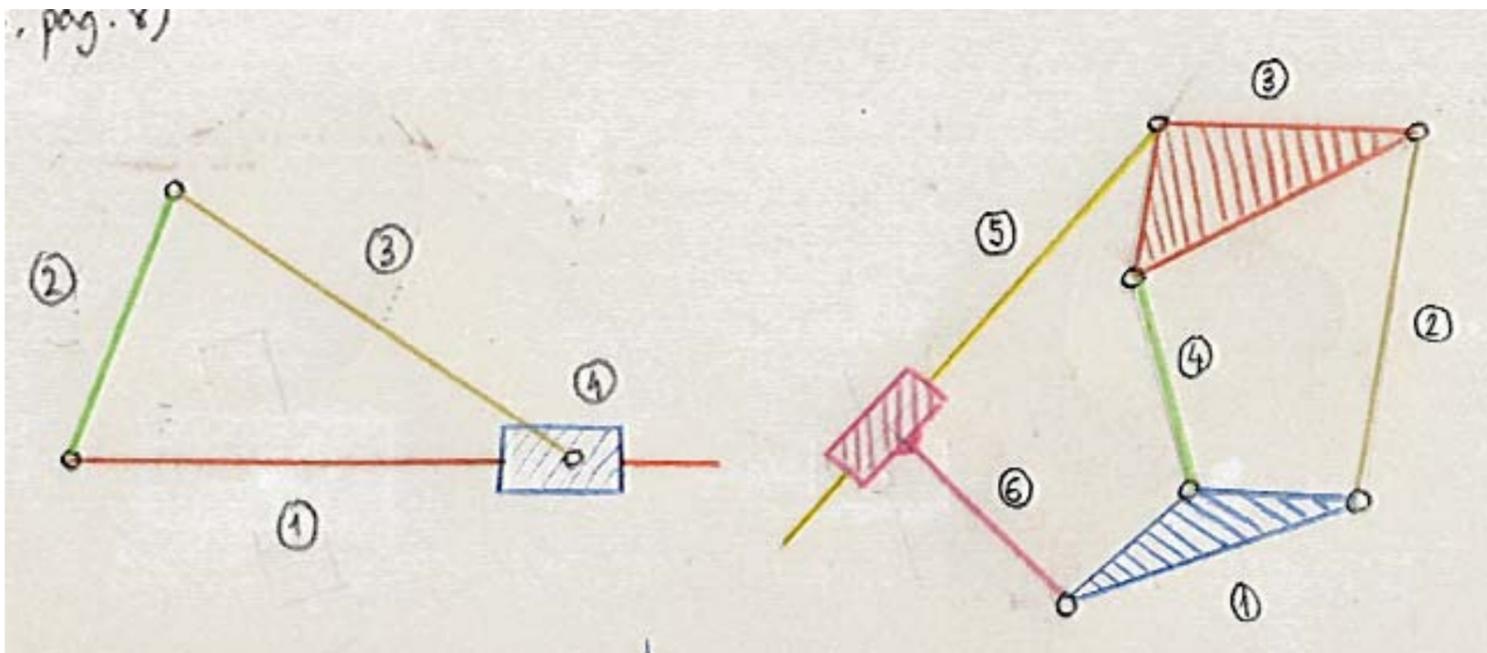


Imagen 2.48. Diagramas cinemáticos típicos de Cadenas Cinemáticas.

En la Imagen 48 aparecen diagramas cinemáticos correspondientes a mecanismos que poseen pares prismáticos: (a) Mecanismo denominado triángulo de lado variable o manivela - biela - deslizadera. Obsérvese que el cuerpo que está representado mediante un rectángulo, la deslizadera, es un cuerpo binario, ya que posee un par giratorio y uno prismático. Además, en (b) obsérvese que las pequeñas "soldaduras" que aparecen entre el bloque y el segmento lineal que definen el cuerpo número 6, representan una conexión rígida. Por tanto, en este caso, esta combinación hace que el cuerpo 6 sea binario, no tomándose la conexión rígida como un par adicional por el hecho de no permitir ningún movimiento relativo entre los cuerpos que conecta.

Los pares prismáticos se representan mediante una línea en la dirección de deslizamiento, utilizando un rectángulo situado sobre ella, para representar la denominada deslizadera, que es aquel cuerpo que se mueve sobre la línea de deslizamiento definida por el otro cuerpo. Aunque en la realidad la elección de qué papel hace cada uno de los dos cuerpos es arbitraria. Esto da lugar a representaciones de mecanismos planos tal y como las que se muestran en la imagen previa.

Se denomina cuerpo base a aquel cuerpo que está fijo. Es decir, que tiene cero grados de libertad con relación al sistema de coordenadas fijo. Un mecanismo plano se puede definir como una cadena cinemática con uno de sus cuerpos elegido como cuerpo base o fijo.

Para distinguir el cuerpo base de un mecanismo, es costumbre y resulta convencional no mostrarlo en la forma habitual, indicando exclusivamente la localización de los pares, utilizando para ello un pequeño rayado oblicuo, tal y como aparece en las imágenes 49 y 50.

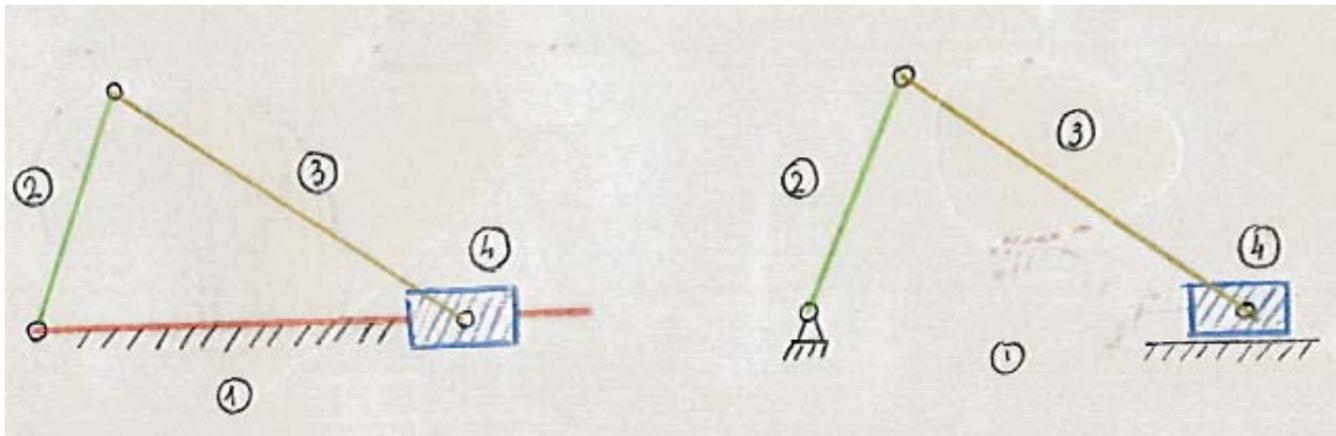


Imagen 2.49. Representación del mecanismo triángulo de lado variable.

La selección de uno de los cuerpos como cuerpo base convierte la cadena cinemática que aparece en la Imagen 48 en un mecanismo plano. A este mecanismo se le denomina habitualmente como “triángulo de lado variable” o “manivela - biela - deslizadera”. Obsérvense las dos posibles formas de representar el cuerpo base o fijo que aparecen en la Imagen 49.

Como se ha indicado los mecanismos se representan de forma habitual dibujando esquemáticamente los cuerpos y pares que los forman, es decir, mediante los que hemos denominado “diagramas cinemáticos”. Aunque en la literatura relacionada con estos asuntos no hay uniformidad en cuanto a la numeración de los cuerpos, nosotros siempre los numeraremos comenzando por el cuerpo fijo, al que le asignaremos el número 1. Además, estos números de cuerpo los situaremos dentro de un pequeño círculo, mientras que toda la información relacionada con los pares, incluyendo su número de orden, la situaremos dentro de un pequeño cuadro dotado de varias estancias, en las que indicaremos los números de cuerpos que conecta, los grados de libertad que tiene el par, y una letra que simboliza el tipo de par, que coincide con las que se utilizaron en la sección anterior cuando se presentaron los distintos tipos de pares, tanto inferiores como superiores.

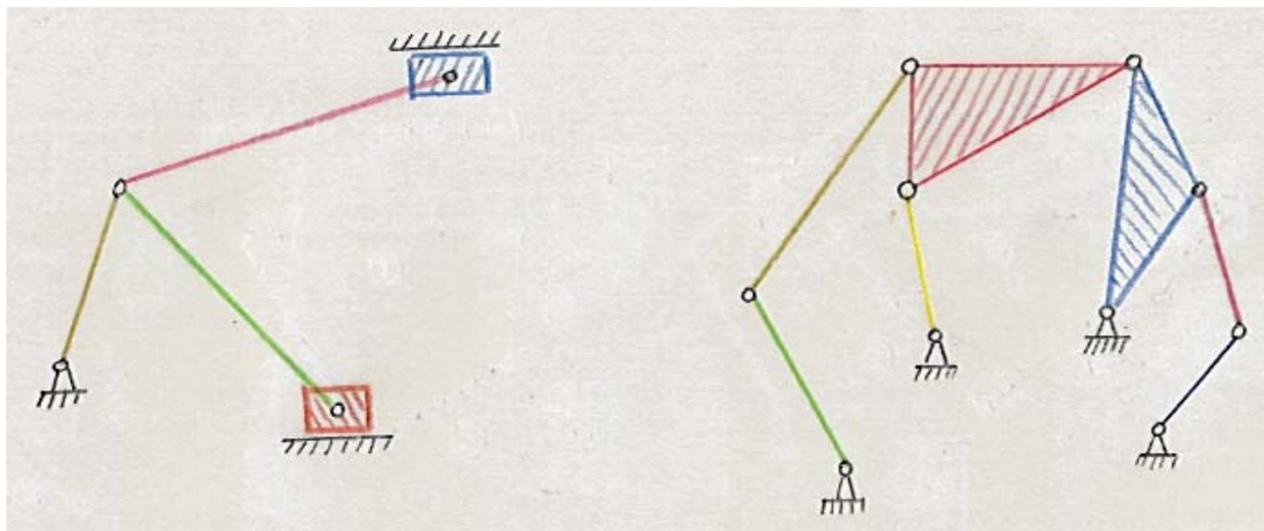


Imagen 2.50. La representación del cuerpo base se minimiza.

En la Imagen 50 se muestra la representación de mecanismos planos en los que el cuerpo base o fijo no se representa tal y como se hace con el resto de cuerpos que forman el mecanismo. Se puede pensar en que es la hoja de papel en la que está dibujado el mecanismo la que representa el cuerpo fijo. Los pares existentes en el cuerpo fijo se indican mediante un pequeño rayado oblicuo.

A los mecanismos simples, formados por un solo lazo, se le suele asignar una designación simbólica formada por una secuencia de letras representando los tipos de pares que los forman, escritos en sentido de las agujas del reloj, comenzando y finalizando con los pares existentes en el cuerpo fijo, tal y como se puede observar en la Imagen 51.

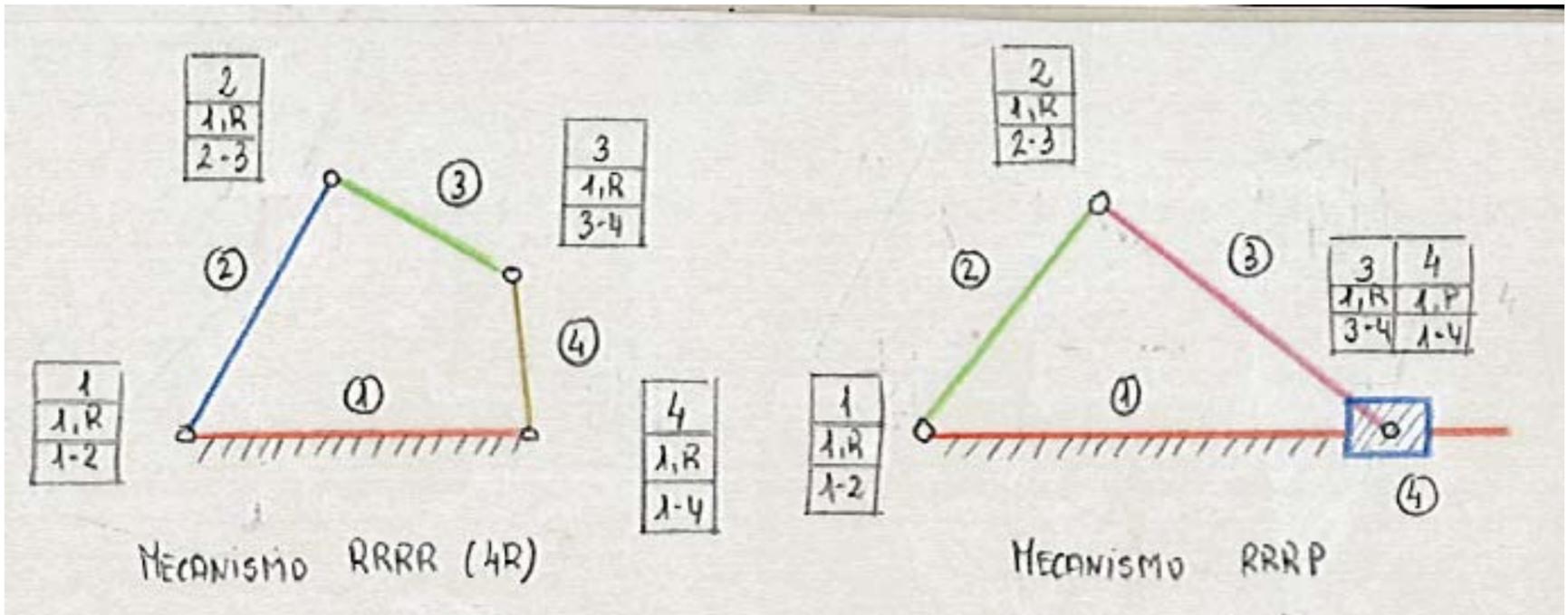


Imagen 2.51. Secuencia de letras para representar mecanismos de un solo lazo.

Los perfiles de las superficies de contacto de los pares superiores, tal y como las levas y los seguidores correspondientes, se dibujan en mecanismos planos tal y como aparece en la Imagen 52. Esas superficies deben ser en general cilíndricas (no necesariamente circulares) obtenidas a partir del movimiento de una línea recta que es siempre normal al plano del movimiento. El perfil dibujado es, por lo tanto, la curva generada del cilindro mostrado en la Imagen 53. El cilindro se obtiene trasladando esa curva a lo largo de la línea recta en la dirección normal al plano en el que está dibujada la curva.

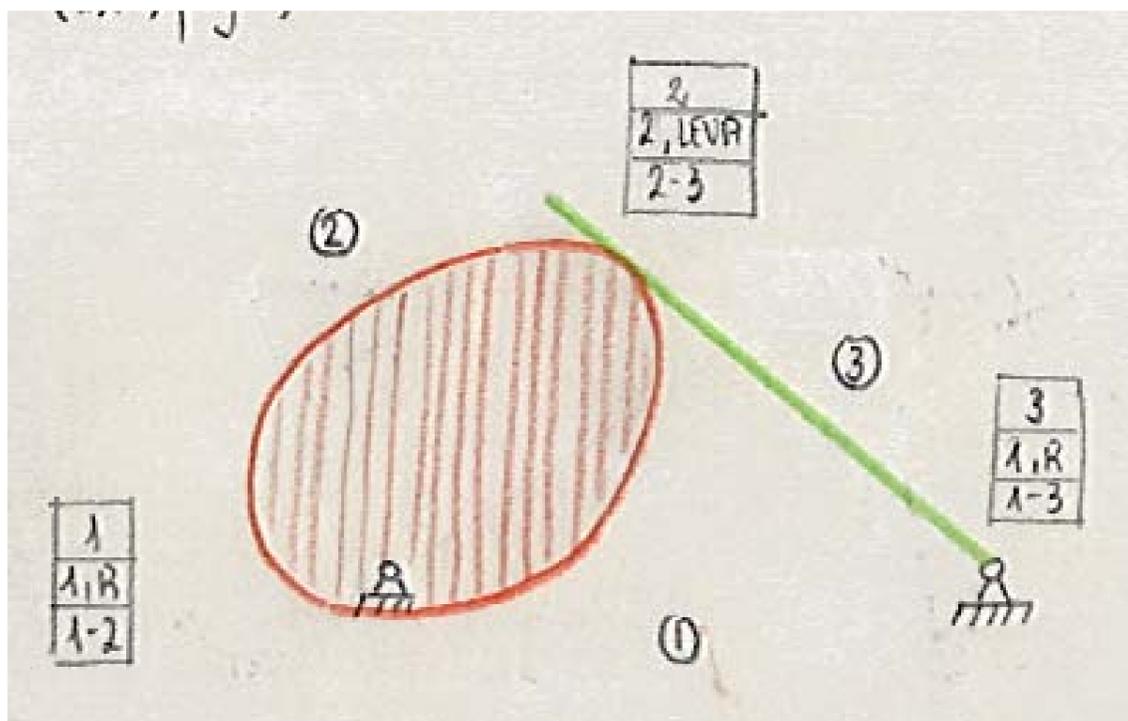


Imagen 2.52. Representación de una leva y su seguidor.

En la Imagen 52 aparece la representación de una leva de placa con un seguidor oscilante de cara plana. Al ser la cara del seguidor plana, en el plano se representa por medio de una línea recta. La leva se representa dibujando su perfil.

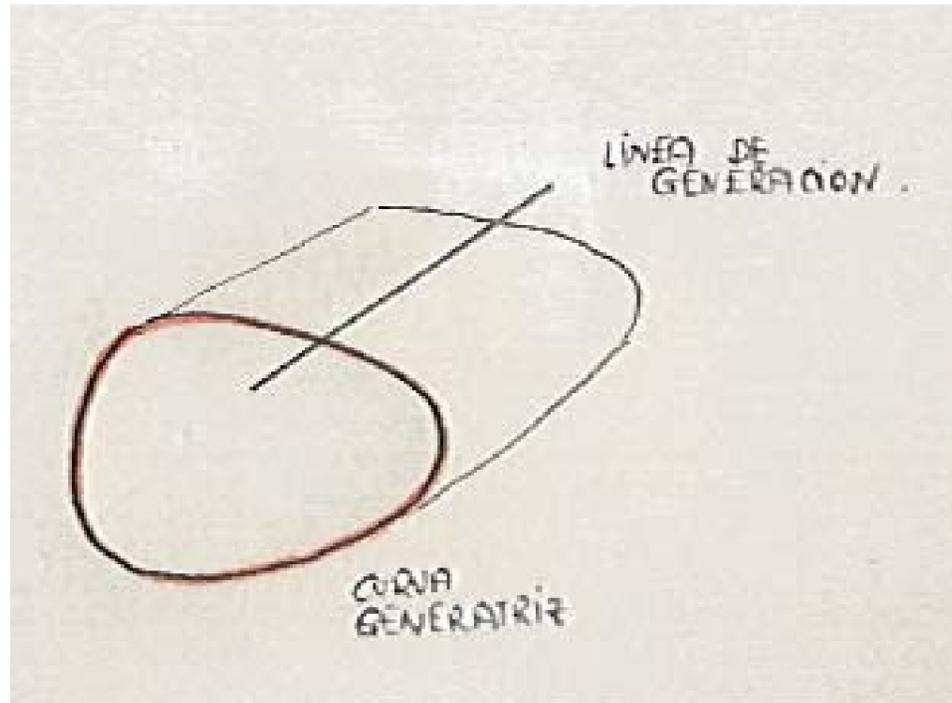


Imagen 2.53. Volumen cilíndrico general.

La Imagen 53 muestra el volumen cilíndrico general de una leva. La curva generatriz es una curva plana. Su plano es normal a la línea de generación. Se supone que la superficie cilíndrica se genera mediante el movimiento de la curva generatriz de tal forma que un punto de ella se mueva a lo largo de la línea de generación. De forma alternativa, podría generarse moviendo la línea de generación de tal forma que un punto de ella siguiese la curva generatriz.