

Elementos de máquinas.

Estudia los componentes que intervienen en un conjunto mecánico.

Para ello se emplean principalmente los siguientes componentes:

Ejes, árboles, bulones, juntas cardan.

Chavetas, acanalados.

Cojinetes, rodamientos.

Levas, cuadriláteros, cicloides.

Embragues.

De ellos se va a realizar una descripción y se van a mostrar sus principales aplicaciones.

Desarrollar:

Embragues.

Ejes, árboles, bulones, juntas cardan.

Árbol: Es un órgano giratorio de una máquina o de un mecanismo cuya función es la de transmitir un par. Se encuentra siempre sometido a esfuerzos de **torsión**. (Figura 1).

Eje: Es la pieza que soporta a otros elementos que giran alrededor de él. Los esfuerzos a los que se encuentra sometido son de **flexión** y **cortantes**. (Figura 1).

Bulón: Es un eje pequeño. (Figura 1).

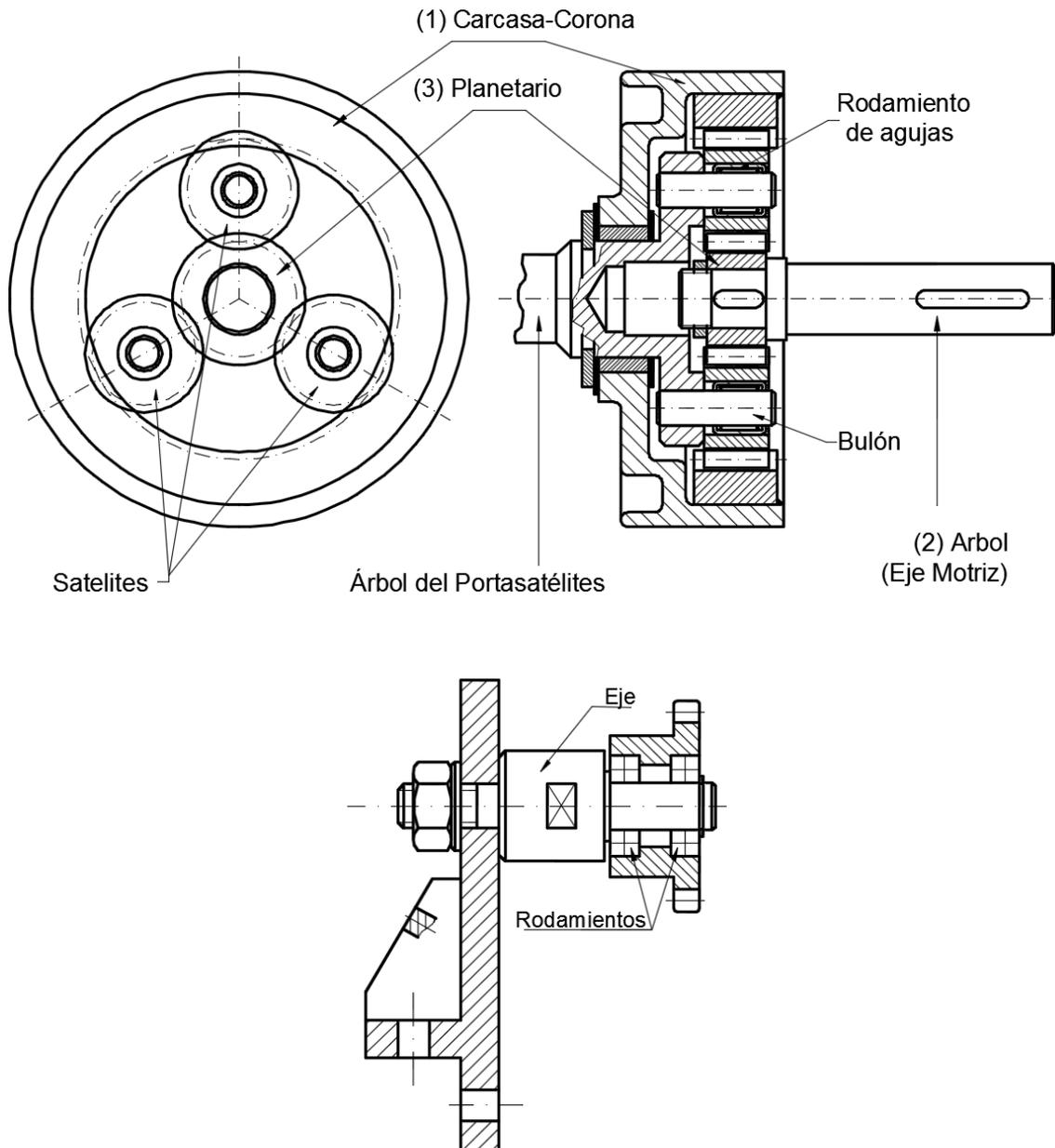


Figura 1: Árboles, ejes y bulones.

Junta Cardan: Es un elemento de transmisión de movimiento entre dos árboles no alineados. (Figura 2).

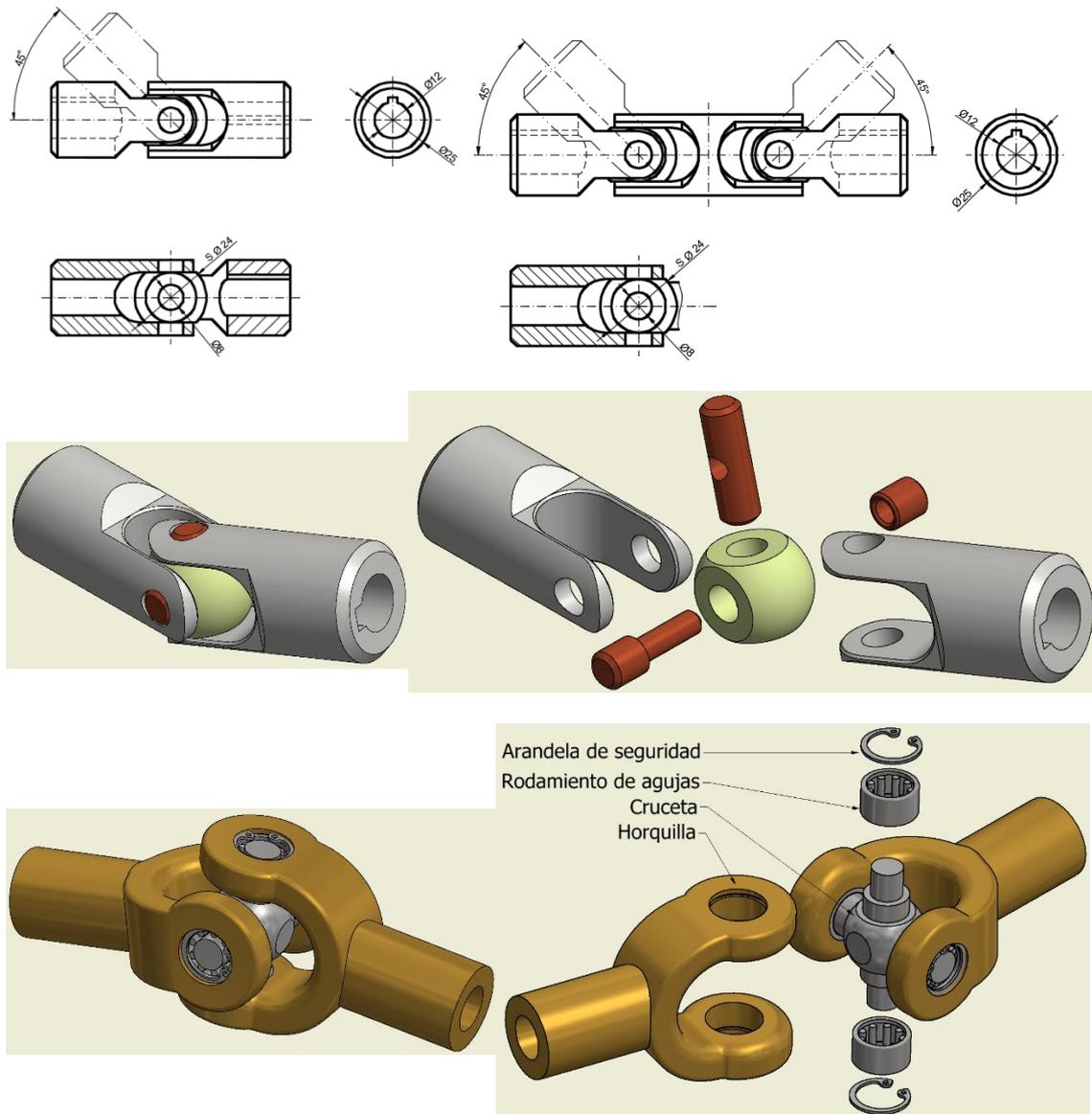


Figura 2. Junta Cardan.

Rueda libre (Piñón libre): Es una rueda motriz, que dispone de un eje en el que si la rueda tiende a girar más rápido que el eje, giran de forma solidaria, pero si el eje se embala o gira más rápido que la rueda, ésta se desbloquea, de modo que gira libremente (Figura 3). Se aplica por ejemplo, en la rueda de la bicicleta con el piñón de la cadena, en motor de arranque, mientras está arrancando, transmite tracción al motor pero una vez arrancado, gira libre para evitar que se quemee.

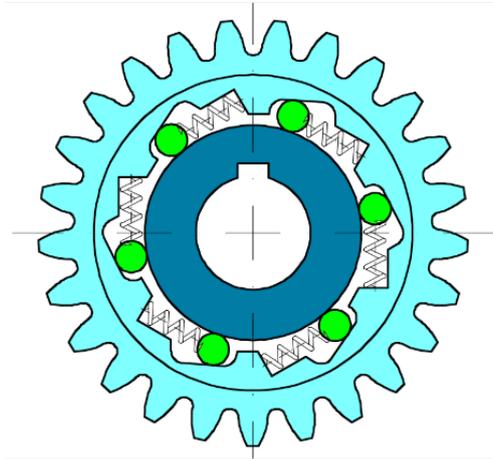


Figura 3. Rueda libre.

CHAVETAS Y UNIONES RANURADAS

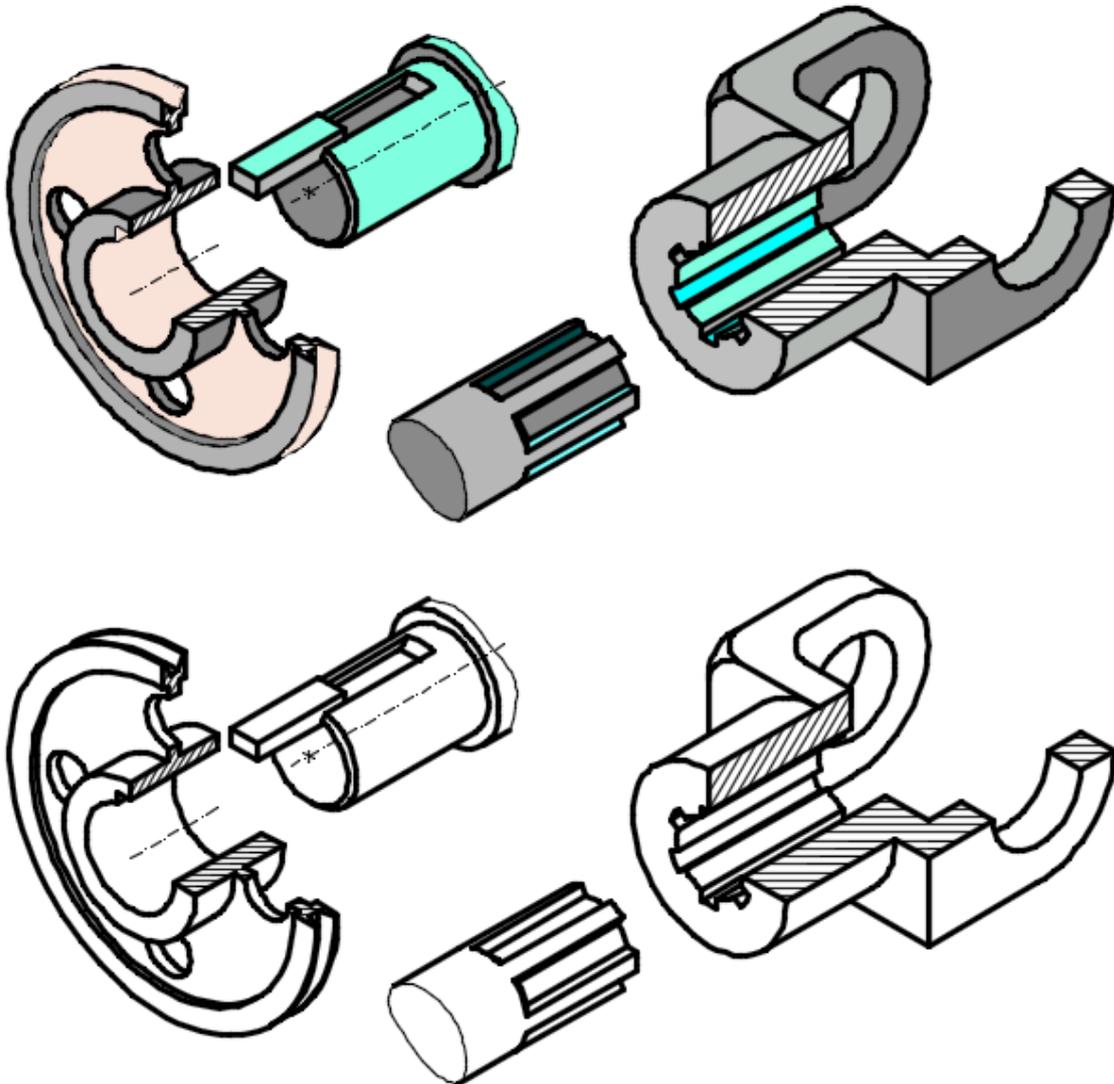


Figura 4. Unión mediante chaveta y unión ranurada.

Para poder transmitir el par de giro de un árbol o eje a otro elemento, se emplean principalmente las chavetas y las uniones estriadas o ranuradas.

Las chavetas (figuras 4, 5) consisten en unas piezas que se intercalan en un espacio mecanizado en el eje y en el cubo o rueda y fuerza a que giren de forma solidaria. Se siguen las normas DIN 6885/1 - 6886 y 6887.

En la tabla 1 se pueden localizar las medidas más características que definen la chaveta y los chaveteros del eje y cubo, así como sus tolerancias y ajustes.

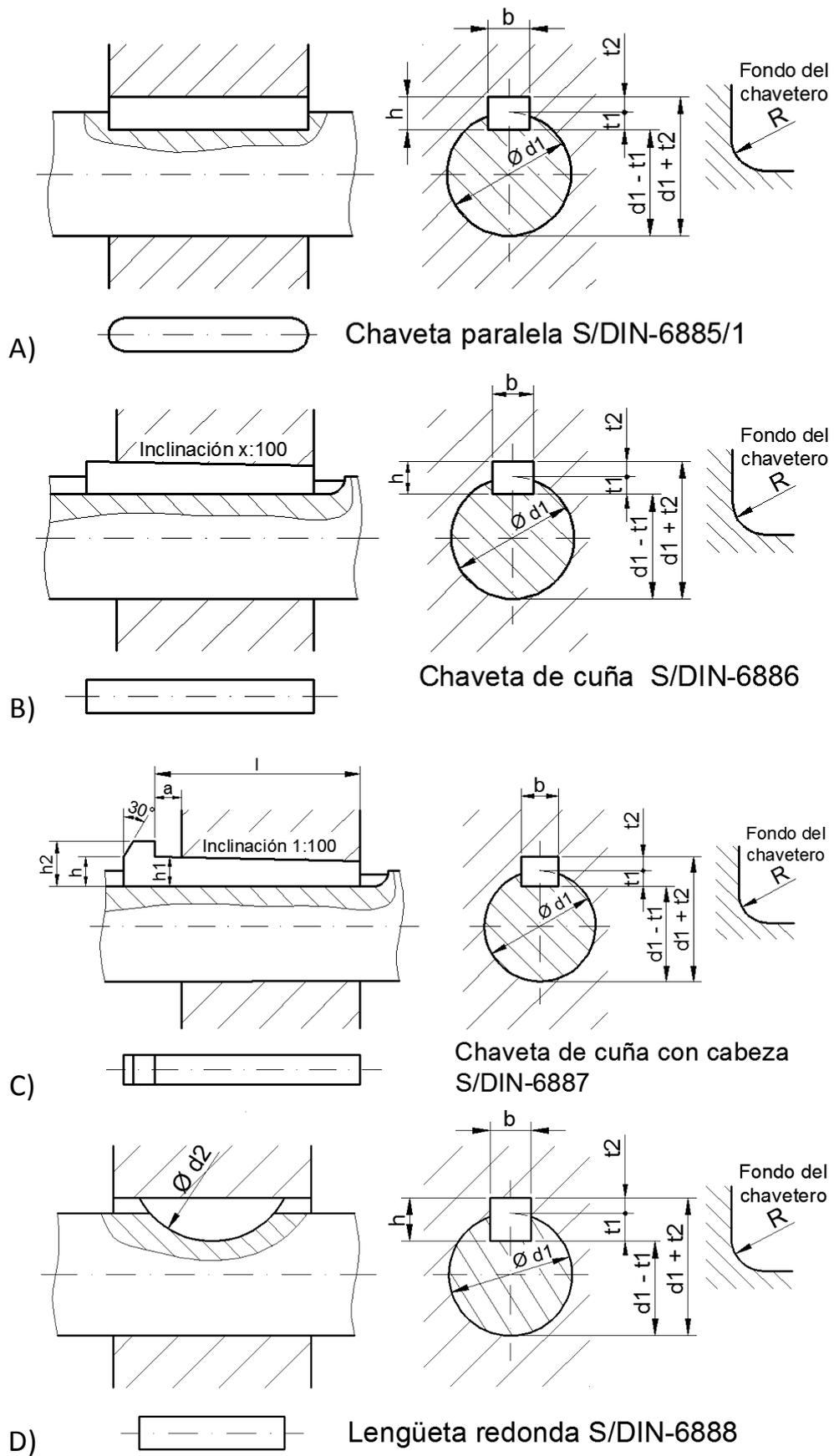
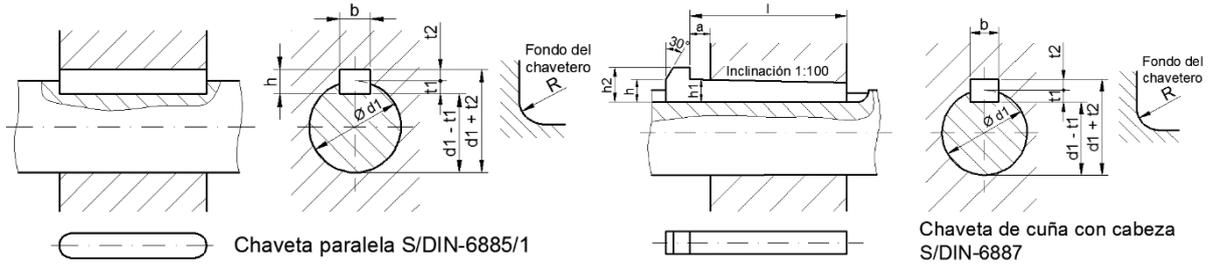


Figura 5. Medidas de chavetas y chaveteros más característicos.

Tabla 1. Dimensiones principales de chaveta y chavetero del cubo y eje

DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS DIN 6885/1 - 6886 y 6887



Ø eje d mm desde- hasta	Medida chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas chavetero del eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886, 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol.H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
6-8	2x2	d+0,9	+0,1	-	-	1,1	+0,1	6-10	+0,015 0
8-10	3x3	d+1,3		-	-	1,7			
10-12	4x4	d+1,6		d+1,4	-0,1	2,4		10-18	+0,018 0
12-17	5x5	d+2,1		d+1,9		2,9			
17-22	6x6	d+2,6		d+2,1		3,5			
22-30	8x7	d+3,0	d+2,4	4,1	+0,2	18-30	+0,021 0		
30-38	10x8	d+3,4	d+2,8	4,7					
38-44	12x8	d+3,2	d+2,8	4,9		30-50	+0,025 0		
44-50	14x9	d+3,6	d+2,9	5,5					
50-58	16x10	d+3,9	d+3,2	6,2		50-80	+0,030 0		
58-65	18x11	d+4,3	d+3,5	6,8	80-120			+0,035 0	
65-75	20x12	d+4,7	d+3,9	7,4		120-180	+0,040 0		
75-85	22x14	d+5,6	d+4,8	8,5	180-250			+0,046 0	
85-95	25x14	d+5,4	d+4,6	-0,2		8,7	250-315		+0,052 0
95-110	28x16	d+6,2	d+5,4	9,9	315-400	+0,057 0			
110-130	32x18	d+7,1	d+6,1	11,1			400-500	+0,063 0	
130-150	36x20	d+7,9	d+6,9	12,3	+0,3				
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7	13,5					
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9	15,3					
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1	17					
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8	19,3					
260-290	63x32	d+12,6	+0,3	d+11,5	-0,3	19,6			

Zonas de tolerancia en el ancho de los chaveteros	Tipo de ajuste		Chavetero eje	Chavetero rueda
	A presión (forzado) <i>forced</i>		P9	P9
	Ligero		N9	J9
	Deslizante		H8	D10

La chaveta deberá dimensionarse de manera que pueda transmitir el mismo momento o par de torsión que el eje correspondiente. Por ello, la longitud de dicha chaveta deberá ser, como mínimo, igual a 1,5 veces el diámetro del eje.

Los chaveteros de eje y rueda deberán tener bordes redondeados (en todos los sentidos) para evitar la formación de grietas y posteriores roturas.

En la figura 5A) están detalladas las magnitudes que definen la chaveta DIN 6885 y en la figura 6, se muestran los tipos de chavetas que se corresponden con la norma DIN 6885, todas las medidas que se requieren de las chavetas, chaveteros del eje y cubo están en la tabla 2, en la que se muestran en azul las magnitudes que se emplean para designarlas.

La forma de designar una chaveta de forma A, anchura $b = 12$ mm, altura $h = 8$ mm y longitud $l_1 = 50$ mm es:

Chaveta A 12 x 8 x 50 DIN 6885

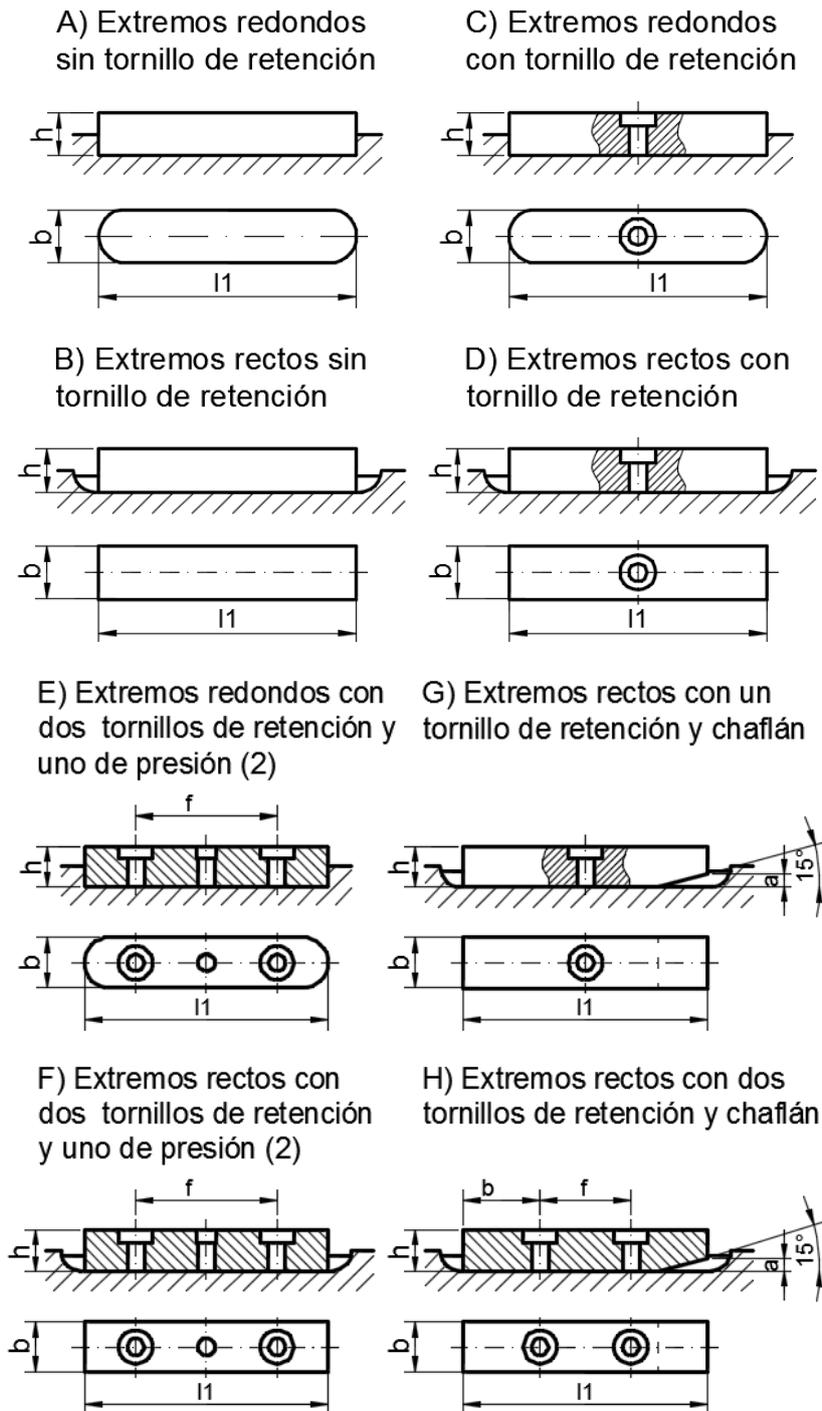


Figura 6. Chavetas paralelas DIN 6885. Sus especificaciones se muestran en la tabla 2.

En la figura 5C) están detalladas las magnitudes que definen la chaveta DIN 6887, todas las medidas que se requieren de las chavetas, chaveteros del eje y cubo están en la tabla 3, en la que se muestran en azul las magnitudes que se emplean para designarlas.

La forma de designar una chaveta con cabeza, anchura $b = 14$ mm, altura $h = 9$ mm y longitud $l = 110$ mm es:

Chaveta con cabeza 14 x 9 x 110 DIN 6887

En la figura 5D) están detalladas las magnitudes que definen la chaveta DIN 6888, todas las medidas que se requieren de las chavetas, chaveteros del eje y cubo están en la tabla 4, en la que se muestran en azul las magnitudes que se emplean para designarlas.

La forma de designar una chaveta redonda, anchura $b = 8$ mm, altura $h = 13$ mm realizada con material "M" es:

Chaveta redonda 8 x 13 DIN 6887 "M"

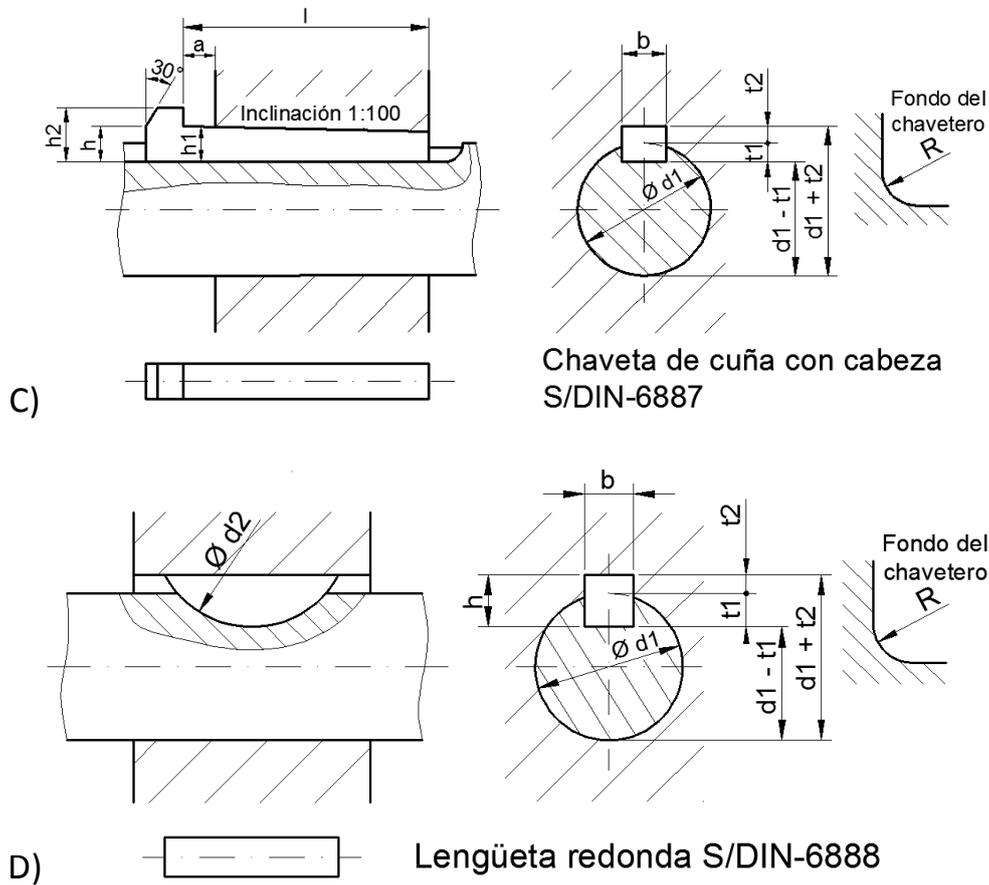
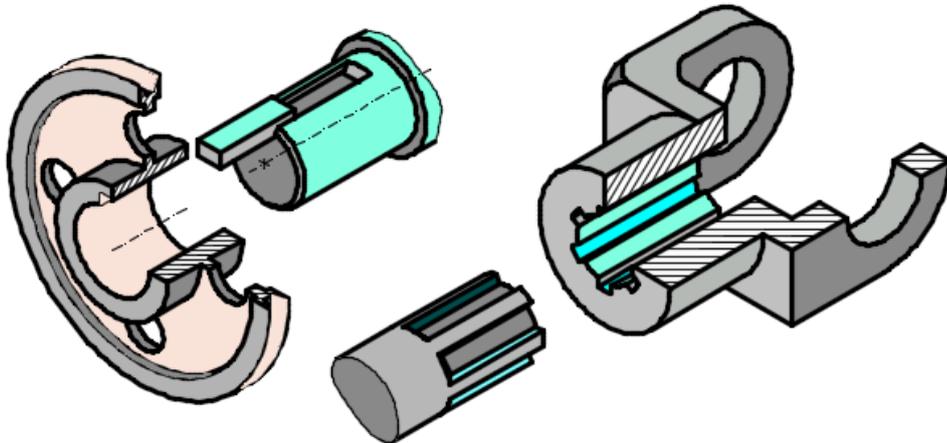


Figura 5 (repetida). Medidas de chavetas y chaveteros más característicos.

UNIONES RANURADAS



La norma UNE-EN ISO 6413:1995, Dibujos técnicos: Representación de acanalados y entallados, tiene por objeto especificar las reglas y símbolos gráficos para representar en los dibujos técnicos los elementos de transmisión de giro mediante ranurados y dentados.

La norma define **unión ranurada** como: Conexión coaxial de elementos que transmiten un par a través del acoplamiento simultáneo de los dientes equidistantes entre sí, situados alrededor de la periferia de una pieza cilíndrica exterior con acoplamiento en los espacios análogos situados alrededor de la superficie interna correspondiente de la pieza con agujero cilíndrico (véase la Norma ISO 4156:1981).

El **perfil de las caras** de la ranura puede ser de evolvente (figura 7A), de caras paralelas (figura 7B) o dentada (figura 7C), en que el ángulo de presión de las caras suele formar 60° . La representación de uniones ranuradas se puede realizar de forma realista (figura 7) o simplificada (figura 8). Se ha de procurar evitar la representación realista.

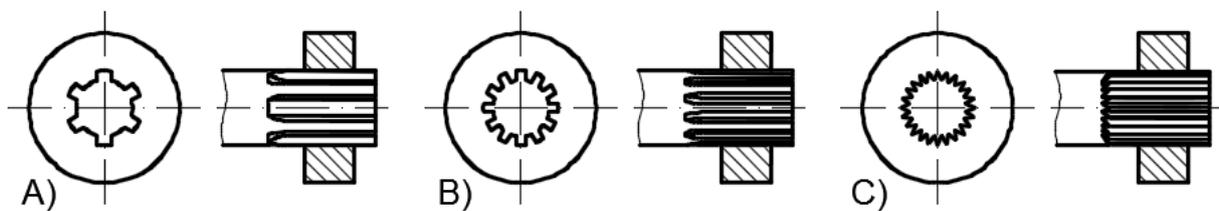


Figura 7. Representación realista de uniones ranuradas.

La **representación esquemática** que se muestra en la figura 8 es la que la norma recomienda utilizar ya que simplifica el dibujo y muestra toda la información necesaria. La primera línea de la figura 8 representa el eje, el cubo y el conjunto de una unión ranurada de caras planas y la segunda se corresponde con las de perfil evolvente y dentado.

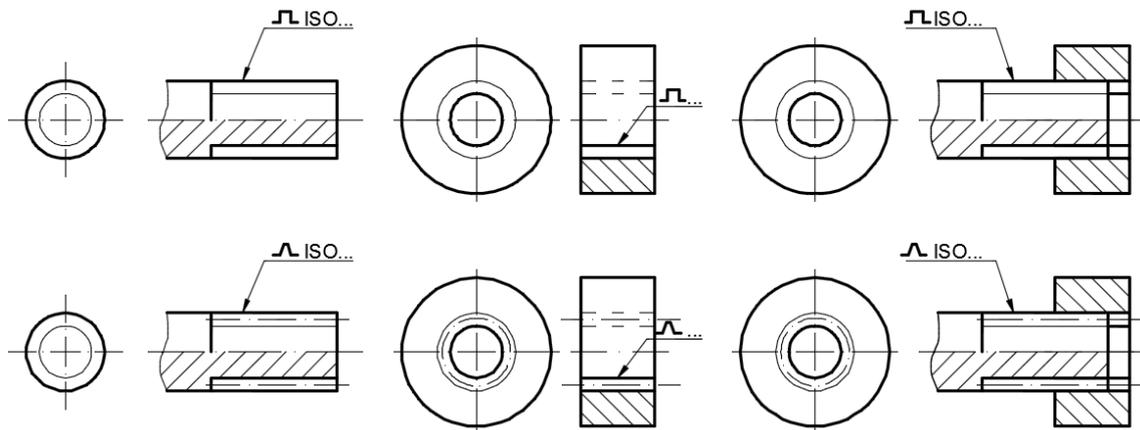


Figura 8. Representación esquemática del eje, cubo y conjunto de unión ranurada de caras planas (arriba) y de perfil evolvente y dentado (abajo).

Para diseñar los perfiles se aplica la norma ISO14:1982 – UNE 18072:1984, que fija las medidas nominales, en milímetros, de las acanaladuras cilíndricas de flancos paralelos para las series media y ligera, válido para árbol y agujero (Tabla 5), en la que $N=n^{\circ}$ de acanaladuras, d =diámetro interior, D =diámetro exterior y B =distancia entre caras paralelas de la acanaladura (figura 9).

Tabla 5. Medidas nominales de las acanaladuras cilíndricas de flancos paralelos según ISO 14.

d	Serie ligera				Serie Media			
	Designación	N	D	B	Designación	N	D	B
mm		mm	mm	mm		mm	mm	mm
11					6 x 11 x 14	6	14	3
13					6 x 13 x 16	6	16	3,5
16					6 x 16 x 20	6	20	4
18					6 x 18 x 22	6	22	5
21					6 x 21 x 25	6	25	5
23	6 x 23 x 26	6	26	6	6 x 23 x 28	6	28	6
26	6 x 26 x 30	6	30	6	6 x 26 x 32	6	32	6
28	6 x 28 x 32	6	32	7	6 x 28 x 34	6	34	7
32	8 x 32 x 36	8	36	6	8 x 32 x 38	8	38	6
36	8 x 36 x 40	8	40	7	8 x 36 x 42	8	42	7
42	8 x 42 x 46	8	46	8	8 x 42 x 48	8	48	8
46	8 x 46 x 50	8	50	9	8 x 46 x 54	8	54	9
52	8 x 52 x 58	8	58	10	8 x 52 x 60	8	60	10
56	8 x 56 x 62	8	62	10	8 x 56 x 66	8	65	10
62	8 x 62 x 68	8	68	12	8 x 62 x 72	8	72	12
72	10 x 72 x 78	10	78	12	10 x 72 x 82	10	82	12
82	10 x 82 x 88	10	88	12	10 x 82 x 92	10	92	12
92	10 x 92 x 98	10	98	14	10 x 92 x 102	10	102	14
102	10 x 102 x 108	10	108	16	10 x 102 x 112	10	112	16
112	10 x 112 x 120	10	120	18	10 x 112 x 125	10	125	18

Una acanaladura se designa: árbol (o agujero) 6 x 28 x 32

Para acotarla en el dibujo (figura 9B), se antepone a la designación de la acanaladura, el símbolo que se indica en la figura 9C si el perfil es de evolvente o de caras paralelas o el de la figura 9D, si es dentado.

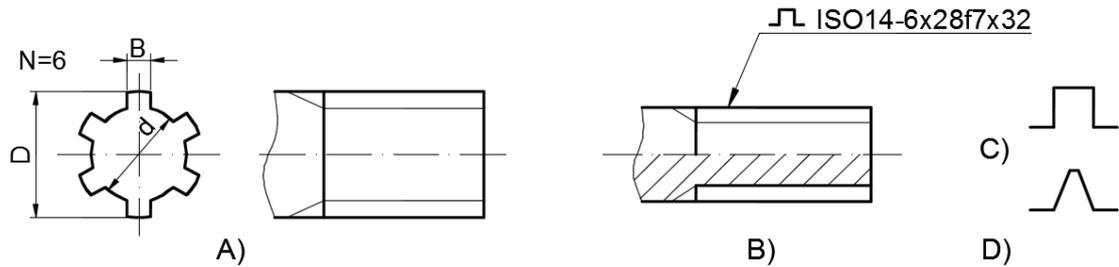


Figura 9. A) Medidas nominales ISO 14. B) Designación en el dibujo de la acanaladura. C) D) Símbolos.

Tolerancias de acanalados de caras planas.

La figura 10 muestra las tolerancias dimensionales y geométricas a designar en un conjunto (árbol-cubo) estriado. La tabla 6 indica los valores de la tolerancia.

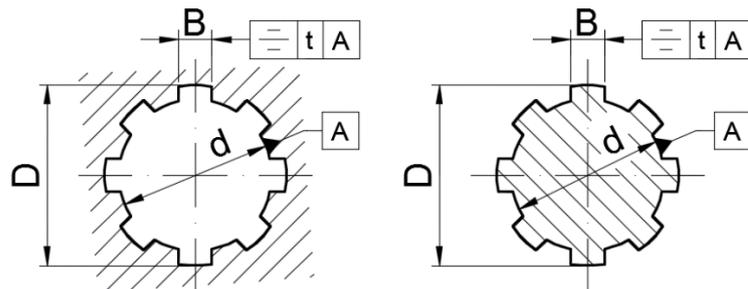


Figura 10: Tolerancias dimensionales y geométricas a designar en un conjunto (árbol-cubo) estriado.

Tabla 6: Valores de la tolerancia.

Tolerancias en el agujero						Tolerancias en el árbol			Tipo de ajuste
Sin tratamiento tras el mecanizado (fresado)			Tratado tras el mecanizado			B	D	d	
B	D	d	B	D	d				
H9	H10	H7	H11	H10	H7	d10	a11	f7	Juego
						f9	a11	g7	Indeterminado
						h10	a11	h7	Apriete

Tolerancias simétricas				
Ancho del acanalado B	3	3,5 4 5 6	7 8 9 10	12 14 16 18
Tolerancia de simetría (t)	0,010 (IT7)	0,012 (IT7)	0,015 (IT7)	0,018 (IT7)

La **Calidad Superficial** de las superficies de contacto lateral (excluyendo las de cabeza y fondo), se indican sobre la línea de referencia utilizada para designar el perfil ranurado (figura 11A).

En dibujos de conjunto las especificaciones de ambas piezas, eje y cubo se combinan según se indica en la figura 11B y C.

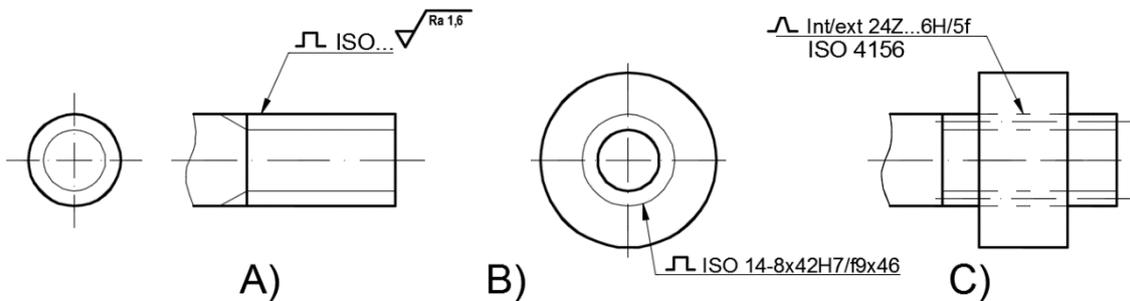


Figura 11. A) Forma de designar la calidad superficial sobre el ranurado B) y C) Forma de designar las especificaciones en un conjunto.

Normas para consulta:

UNE-EN ISO 6413:1995, Dibujos técnicos: Representación de acanalados y entallados

ISO 14:1982 – **UNE 18072:1984** - Ranurados cilíndricos de caras paralelas con centrado interior. Dimensiones, tolerancias y verificación.

ISO 4156:1981 – **UNE 18 076-1:1990 y UNE 18 076-2:1990** - Ranurados cilíndricos rectos con perfil en evolvente. Módulo métrico, ajuste lateral. Generalidades, dimensiones y verificación.

COJINETES Y RODAMIENTOS

COJINETES Y RODAMIENTOS.

Cuando dos superficies deslizan o ruedan entre sí, debido al rozamiento se genera calor y desgaste de las superficies en contacto, reduciendo la vida de las piezas y la eficiencia del conjunto. El rozamiento se reduce mediante la lubricación que hace que las superficies no estén en contacto directo. Por otra parte, los lubricantes disipan el calor y mantienen limpias dichas superficies. Los materiales con los que se realizan los rodamientos, alojamiento y eje se deben seleccionar cuidadosamente para que tengan las propiedades mecánicas y físicas adecuadas, de modo que los efectos del rozamiento sean mínimos. Se han de fabricar con mecanizado de precisión y con un buen acabado superficial y debe realizarse un mantenimiento de todos los componentes asociados a los rodamientos.

Se denomina cojinete a una pieza cilíndrica que se instala entre el eje y el cubo o soporte, de modo que al ser más blando y autolubricante no se produce el desgaste en los elementos principales del mecanismo (figura 13). Un rodamiento dispone de bolas o rodillos entre dos anillos, de modo que se mueve uno con respecto al otro por rodadura. En un cojinete el movimiento relativo es el deslizamiento mientras que en un rodamiento el movimiento de las bolas y rodillos es de rotación. La fuerza de rozamiento entre el movimiento de arrastre y el de rodadura es del orden de diez veces mayor (figura 12).

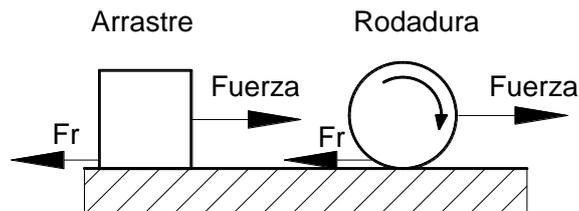


Figura 12. Movimiento de arrastre y rodadura.



Figura 13: Cojinetes de fricción y rodamientos.

Los **casquillos** o **cojinetes** son de materiales autolubricantes como el bronce o la fundición, cuyos nódulos de grafito contribuyen a lubricar el eje y el soporte. Suelen disponer de ranuras y orificios que facilitan la canalización y depósito de aceites y grasas y la evacuación del calor generado por el rozamiento. Su forma básica es cilíndrica pero hay una gran variedad de modelos según las ranuras, la forma en que se dividen o en que se fijan. Se aplican básicamente cuando el esfuerzo es radial y no admite prácticamente esfuerzos axiales.

Los casquillos de fricción se montan a prensa en su alojamiento, es decir con apriete. De esta forma, quedan fijados radial y axialmente, no siendo necesarias medidas de fijación adicionales.

Los **rodamientos** son más complejos (figura 14), están compuestos básicamente de dos anillos en los que se intercalan bolas o rodillos cilíndricos o cónicos y de una jaula, que limita su movimiento. Las formas de cada elemento son muy diversas dependiendo de la dirección del esfuerzo, de la velocidad, del ruido o de otras características que se verán a continuación. Los rodamientos según la forma de aplicar el esfuerzo pueden ser (figura 15):

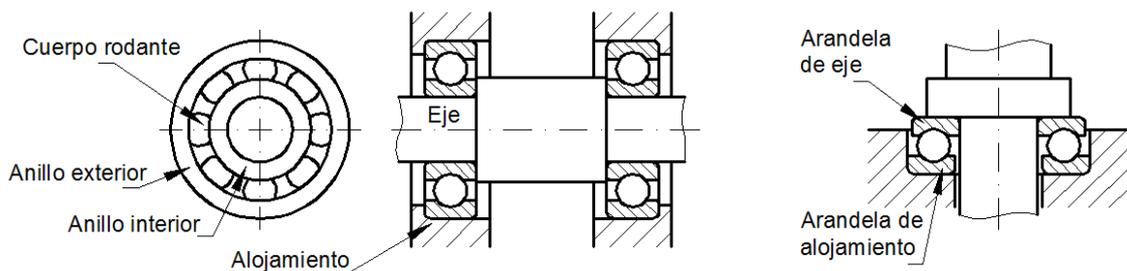


Figura 14: Vocabulario básico.

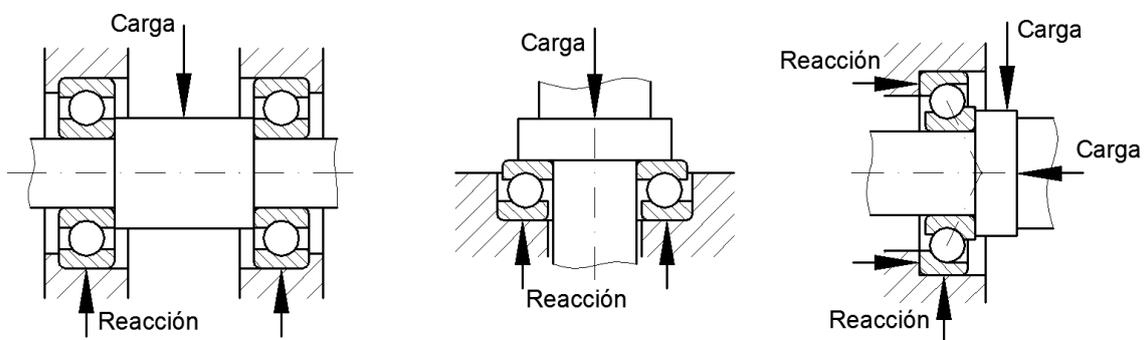


Figura 15. Radial, axial o mixto.

Radial: que soporta sollicitaciones o esfuerzos en sentido radial.

Axial: que soportan sólo esfuerzos en el sentido axial.

Mixto: que soportan esfuerzos tanto axiales como radiales.

Rodamientos radiales (figura 16) se caracterizan por que el ángulo de contacto nominal $\alpha \leq 45^\circ$, es decir, se aplican con cargas principalmente radiales. A) rodamiento rígido de bolas, B) rodamiento de bolas de contacto angular, C) rodamiento de rodillos cilíndricos NU, D) rodamiento de rodillos cónicos, E) rodamiento oscilante de rodillos

Rodamientos axiales (figura 17) con un ángulo de contacto nominal de $\alpha > 45^\circ$ principalmente para cargas axiales F) rodamiento axial de bolas, G) rodamiento axial

de rodillos cilíndricos, H) rodamiento axial de bolas de contacto angular, I) rodamiento axial oscilante de rodillos cilíndricos “tonel”.

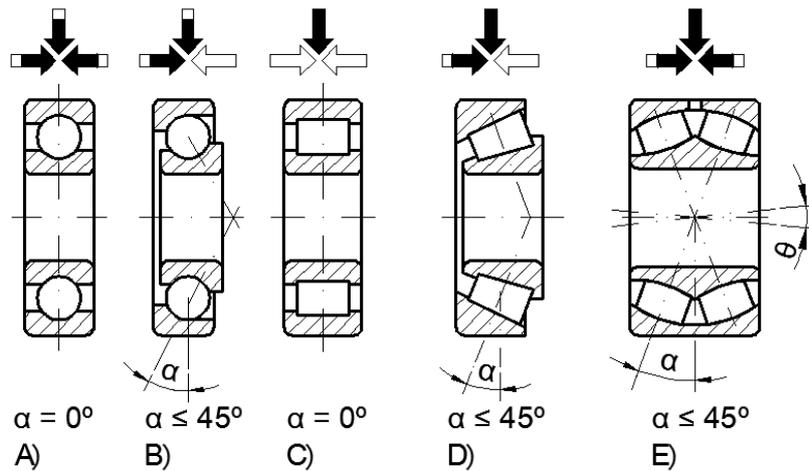


Figura 16: Rodamientos radiales.

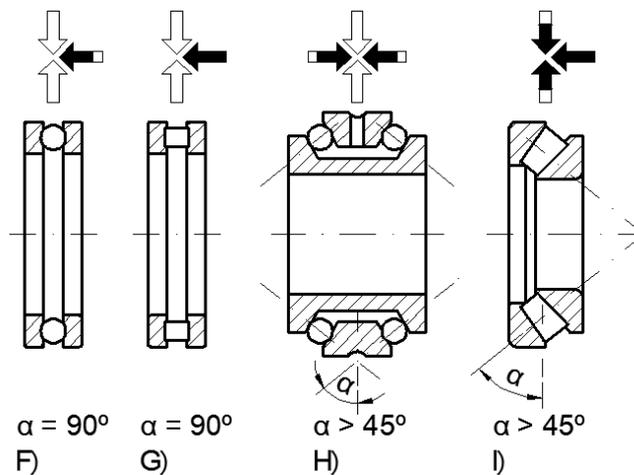


Figura 17: Rodamientos axiales.

Otras cualidades por los que pueden definirse los rodamientos son:

- Los que permiten compensar tolerancias longitudinales y dilataciones térmicas. Para ello los ejes se apoyan sobre un soporte fijo y otro libre. El soporte libre se puede obtener con rodamientos de rodillos cilíndricos tipo N y UN en los que uno de los aros tiene cierto margen de movimiento (figura 18) o mediante rodamientos rígidos en los que uno de los ajustes del eje o asiento tiene juego.

- Rodamientos autoalineables, oscilantes o a rótula, que permiten compensar pequeños desvíos del eje, (figura 16E) en el que los rodillos “tonel” al rodar sobre la superficie esférica de los aros, admite cierto desvío, del orden de hasta 4° según los modelos. Los rodamientos E y H, se observa que llevan unos orificios en el aro exterior que facilitan la lubricación de bolas o cilindros por la hilera interior.

- Rodamientos despiezables o fijos. Los despiezables (figuras 16 y 17 D, F, G, I) se montan al colocarlos, cuando ambos aros van con apriete facilitan el montaje. Los otros, como A, C, E o H son rígidos o no despiezables.

- Rodamientos silenciosos, en ciertas aplicaciones el ruido es importante evitarlo, los rodamientos de bolas al rodar sobre una línea meten menos ruido que los cilíndricos, cónicos o de varillas en los que la superficie de rodadura es mayor.

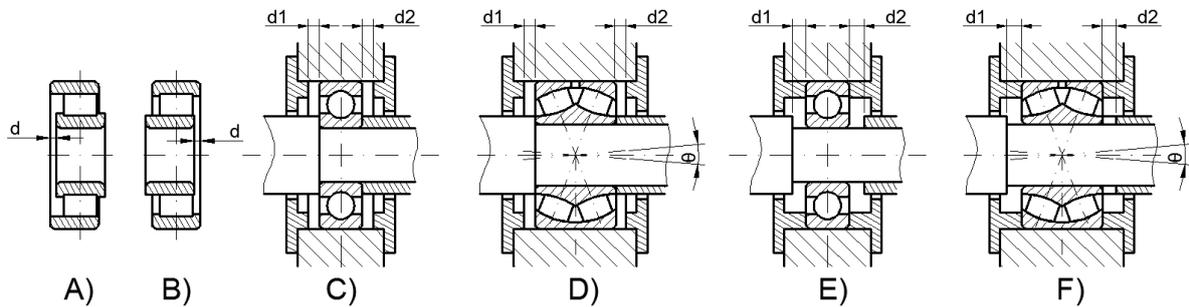


Figura 18: Soporte libre mediante desplazamiento d en el rodamiento del aro exterior A) o interior B); mediante ajuste deslizante en el alojamiento del soporte permite el desplazamiento d_1 , d_2 del rodamiento rígido de bolas C) o del rodamiento oscilante de rodillos E); mediante ajuste deslizante en el eje se dispone del desplazamiento d_1 , d_2 del rodamiento rígido de bolas E) o del rodamiento oscilante de rodillos F). El rodamiento oscilante D) o F) permite además cierto giro del eje.

La **designación de los rodamientos**, se define en las normas ISO 15 que describe los rodamientos radiales (salvo los rodamientos de rodillos cónicos y los rodamientos radiales de agujas), e ISO 104 sobre rodamientos axiales. Véanse los cinco primeros ejemplos de la figura 19.

ISO 15 e ISO 104

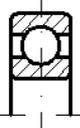
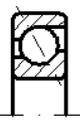
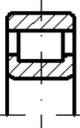
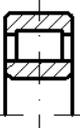
 <p>6206</p> <p>Rodamiento rígido de bolas Serie de anchuras 0 Serie de diámetros 2 Agujero 06 x 5 = \varnothing 30 mm</p>	 <p>7314B</p> <p>Rodamiento de bolas de contacto angular de una hilera Serie de anchuras 0 Serie de diámetros 3 Agujero 14 x 5 = \varnothing 70 mm</p>
 <p>N224E</p> <p>Rodamiento de rodillos cilíndricos con reborde en el aro interior Serie de anchuras 0 Serie de diámetros 2 Agujero 24 x 5 = \varnothing 120 mm</p>	 <p>NU2216E</p> <p>Rodamiento de rodillos cilíndricos Reborde en el aro exterior Serie de anchuras 2 Serie de diámetros 2 Agujero 16 x 5 = \varnothing 80 mm</p>
 <p>32307A</p> <p>Rodamiento de rodillos cónicos Serie de anchuras 2 Serie de diámetros 3 Agujero 07 x 5 = \varnothing 35 mm</p>	 <p>T 3 D B 045</p> <p>Letra para rodamiento de rodillos cónicos Serie de ángulos de contacto (2...7) Razón entre \varnothing ext y \varnothing int. Serie de diámetros (B...G) Serie de anchuras (B...E) \varnothing Interior = \varnothing 45 mm</p>

Figura 19: Designación de rodamientos.

ISO 355 desarrolla una simbolización específica para los rodamientos de rodillos cónicos con dimensiones métricas (6º ejemplo de la figura 19). Los rodamientos específicos utilizan una simbolización particular, según el fabricante.

MONTAJE

La figura 20 representa una amplia gama de modos de montaje de los rodamientos que comprende el anillo, la tuerca de fijación, la arandela de cierre o el manguito cónico. Todos estos elementos son comerciales y se deben seleccionar de catálogos para el correcto diseño del conjunto y su designación en la lista de piezas.

En el montaje de los rodamientos se ha de tener en cuenta el ajuste de los aros o arandelas con el eje y el alojamiento, respectivamente, como se verá posteriormente, y por otra parte se han de fijar para que no haya desplazamiento axial. Además se ha de considerar la correcta lubricación, limpieza y estanqueidad para asegurar el correcto funcionamiento del conjunto.

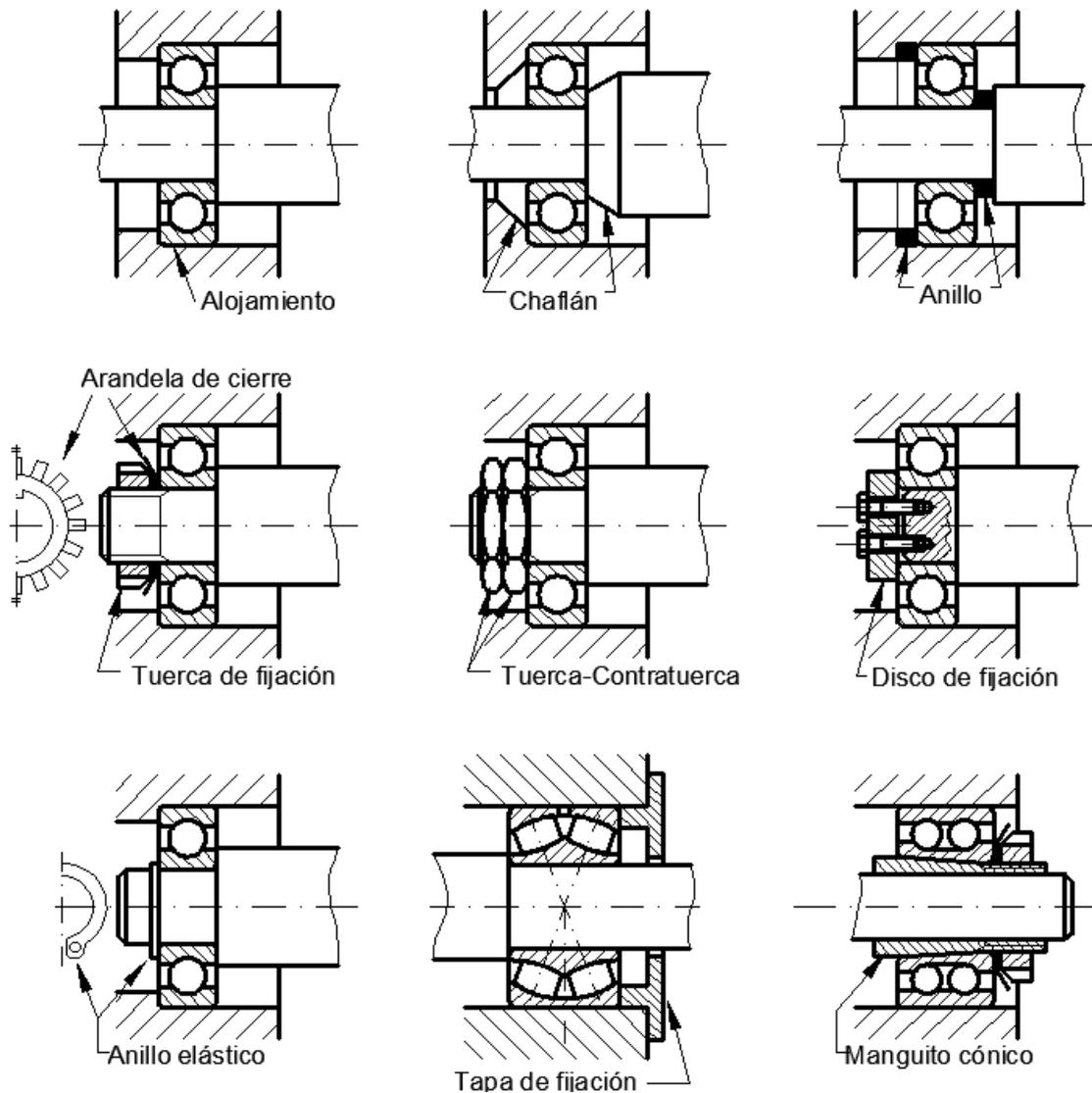
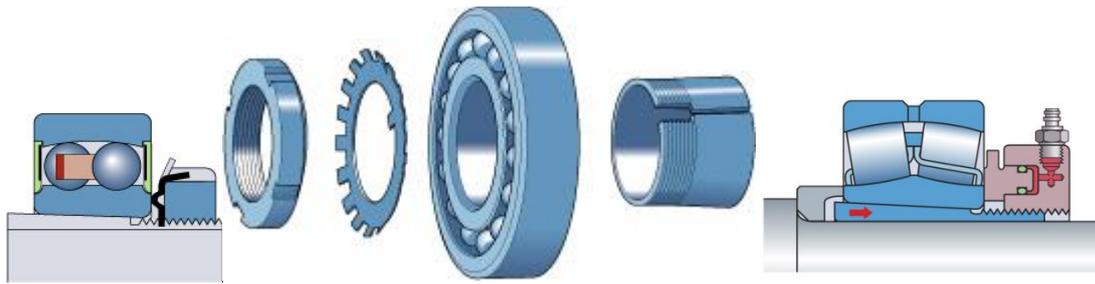


Figura 20: Fijación lateral de los aros de los rodamientos.



<http://www.skf.com/group/products/maintenance-products/hydraulic-tools-for-mounting-and-dismounting/hydraulic-nuts/index.html>

Lubricación. La función principal de la lubricación es formar una película lubricante entre las partes que transmiten la carga, con lo que se evita el contacto metal – metal, el desgaste y la fatiga prematura. Además mejora el nivel de ruido y el rozamiento.

En el cálculo del espesor de la película lubricante intervienen las condiciones de trabajo, como son la velocidad, los materiales, la carga o la temperatura, eligiéndose el sistema de lubricación adecuado. La **tribología** es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación entre superficies sólidas en movimiento.

La **obtención** de los rodamientos se realiza mediante **juntas** o **retenes**, que tienen dos funciones principales: por una parte evitar que el aceite o grasa fundida se derrame a través de la salida de los ejes y por otra, aislar los rodamientos y demás elementos de las máquinas de los agentes externos, como la suciedad, polvo, partículas, etc., que pueden deteriorarlos. Los retenes se colocan entre el eje y la tapa para actuar como elemento obturador. Pueden ser obturaciones no rozantes y rozantes, según haya contacto con una de las partes, alojamiento o eje, o con ambas.

En las **obtenciones no rozantes**, (figura 21) prácticamente no hay rozamiento, ya que se produce es el del lubricante en el intersticio de lubricación. Las obtenciones no se desgastan y no originan calor, por lo que son idóneas para velocidades muy altas.

Un intersticio de lubricación estrecho entre eje y alojamiento A), es suficiente en muchos casos. En B) se han realizado unas ranuras que facilitan que se deposite el lubricante. En C) la ranura es helicoidal para que el lubricante sea impulsado hacia el interior, pero tiene el problema de que sólo admite un único sentido de giro, ya que si no la expulsaría. Los laberintos D), E), cuyos intersticios se llenan con grasa, tienen un efecto obturador mucho mayor. En un ambiente sucio, se les introduce grasa con mayor frecuencia. En F) se coloca una arandela o disco de retención, que puede estar al lado del eje, del alojamiento o en ambos. En G) se emplean arandelas o anillos específicos para retener el lubricante.

Las **obtenciones rozantes** (figura 22) se apoyan en el alojamiento y el eje, ejerciendo cierta presión, generalmente radial, A), B), C). Esta presión debe ser lo más reducida posible para que las pérdidas por rozamiento sean pequeñas, la temperatura no suba mucho, y el retén no se desgaste. Otros factores que influyen son la lubricación, la rugosidad y la velocidad de deslizamiento en la superficie de rodadura del retén.

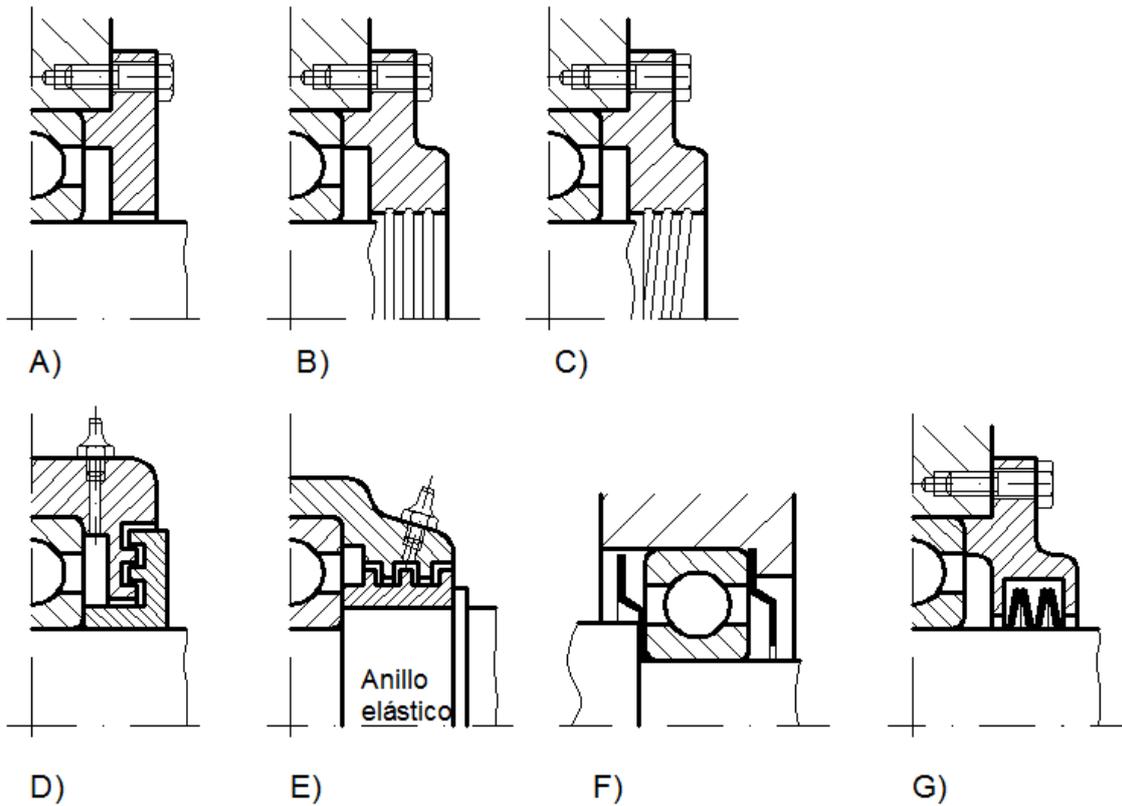


Figura 21: Obturaciones no rozantes.

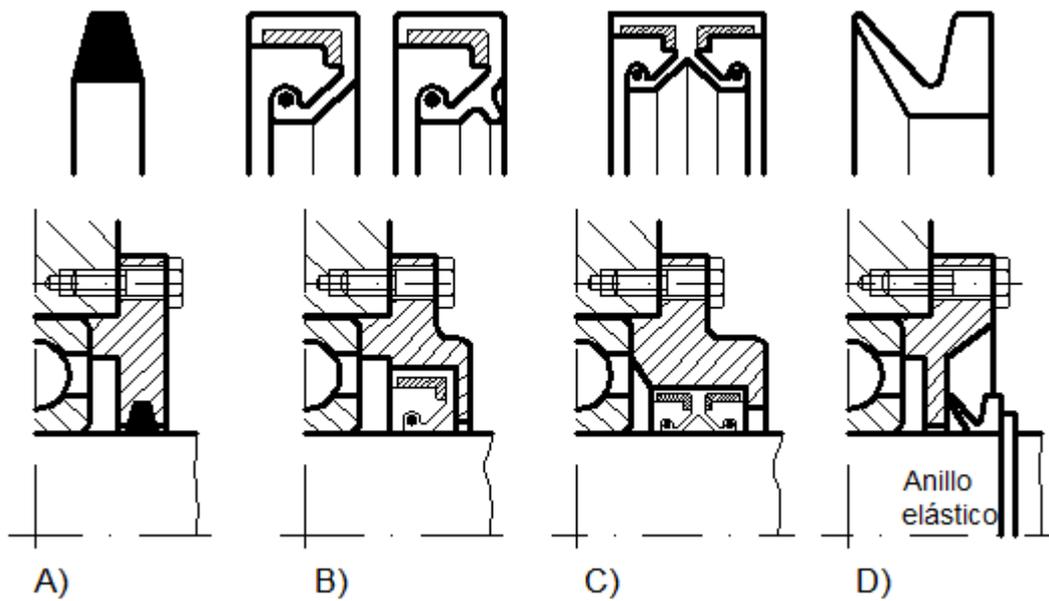


Figura 22: Obturaciones rozantes. Retenes.

Los anillos de fieltro o estopa A) son elementos de obturación simples que dan buenos resultados sobre todo en el caso de lubricación con grasa, pudiéndose colocar más de uno en condiciones desfavorables.

Los retenes radiales de eje, figuras 22 B) y 27 se utilizan, preferentemente cuando el lubricante es aceite. El retén obturador de un labio, lleva un muelle en anillo para mantener el contacto con el eje. Para impedir principalmente la fuga del lubricante, el labio se dispone en el interior del apoyo, como en la figura 22 B), y en

sentido opuesto cuando se quiere evitar la entrada de polvo o suciedad. En el detalle se muestra un retén con un labio protector adicional que mejora la estanqueidad contra la suciedad. En C) el retén obturador es de doble labio. En D) el anillo en V de goma se monta a presión sobre el eje hasta que el labio se apoye axialmente en la pared del alojamiento. El labio obturador al mismo tiempo actúa de disco deflector.

En los casos en que no sea posible colocar un sistema de obturación, se dispone de rodamientos en los que se incluye una obturación entre ambos aros, que pueden ser rozantes o no rozantes, según los modelos, con el lubricante incluido en su interior.

REPRESENTACIÓN.

La **representación de los rodamientos** se realiza según las normas UNE-EN ISO 8826-1 y 2.

La **representación simplificada general** se muestra en la figura 23, la cruz no llega a sus extremos, el rodamiento se representa según su contorno rectangular o cuadrado y si es conveniente con el contorno real. El rayado de los aros es del mismo tipo, o no se rayan y el elemento rodante en ningún caso.

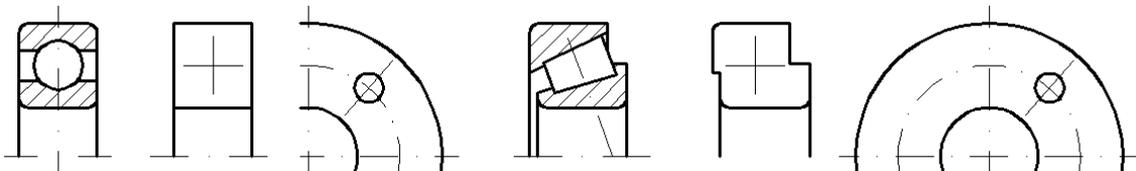


Figura 23. Representación simplificada general de rodamientos.

La **representación simplificada particularizada** consiste en representar cada tipo de rodamiento con su símbolo correspondiente (tabla 7). Es decir, a partir de esta representación se reconoce el tipo de rodamiento que es.

En las representaciones perpendiculares al eje del rodamiento, el elemento rodante puede representarse con un círculo, independientemente de cuál sea su forma real (bola, rodillo, aguja, etc.) y dimensión (figura 23).

Tabla 7. Elementos para la representación simplificada particularizada de las características de los rodamientos.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN - APLICACIÓN
	Trazo recto continuo largo, que representa el eje del elemento rodante, sin posibilidad de alineación. (No alineable)
	Arco de círculo continuo largo, que representa el eje del elemento rodante, con posibilidad de alineación. (Alineable)
	Trazo recto continuo corto, que corta perpendicularmente a uno de los anteriores, coincidiendo con el eje radial de cada elemento rodante, e indica el número de filas y posición de los elementos rodantes. Otra alternativa es trazar un círculo, rectángulo corto o largo en representación de bola, rodillo, o aguja.

La figura 24 muestra la representación simplificada particularizada de los rodamientos más comunes y los rodamientos a los que se aplica de acuerdo con los elementos definidos en la tabla 7.

Rodamientos de una hilera		Rodamientos de dos hileras	
Representación simplificada particularizada	Rodamientos a los que se aplica	Representación simplificada particularizada	Rodamientos a los que se aplica
	 Rodamientos de bolas o rodillos		 Rodamientos de bolas o rodillos
	 A rótula de rodillos		 A rótula de bolas o rodillos
	 Rodamientos de contacto angular		 Rodamientos de contacto angular
	 Rodamientos axiales		 Rodamientos axiales
	 Rodamientos de agujas		 Rodamientos de agujas
	 Rodamientos de rótula sobre agujas		 Rodillos cónicos Contacto angular Anillo interior en dos piezas

Figura 24. Representación simplificada particularizada de rodamientos.

Para la **representación normalizada de los elementos de obturación** o juntas de estanqueidad se aplican las normas UNE-EN ISO 9222-1 y 2.

Para aplicaciones generales la junta de estanqueidad debe representarse por un cuadrado y una cruz, en diagonal, situada en el centro y sin llegar a tocar los contornos (figura 25). En el caso en que sea necesario indicar la dirección de estanqueidad, la cruz en diagonal puede completarse con una flecha. Si es necesario, se puede representar el contorno real de la junta de estanqueidad, con la cruz en diagonal, en una posición central. En los casos en los que la junta de estanqueidad permita más de una dirección de montaje, ésta debe indicarse.

En las representaciones simplificadas conviene evitar los rayados. Si fuese necesario, todas las armaduras y elementos similares de las juntas de estanqueidad deben de tener el mismo rayado o estar ennegrecidas (figura 25 D, E).

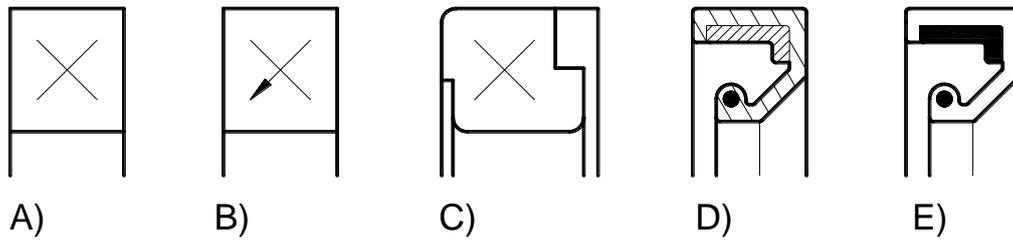


Figura 25. Representación simplificada general de juntas de estanqueidad.

La representación simplificada particularizada de obturadores o juntas se representa en la figura 26. Se muestran los ejemplos más generales, además de cada tipo hay una gran cantidad de modelos y variaciones que pueden variar según las marcas comerciales.

Representación simplificada particularizada	Obturadores a los que se aplica	Descripción
		Anillos de estanqueidad de labio para árboles de rotación sin labio anti-polvo
		Anillos de estanqueidad de labio para árboles de rotación sin labio anti-polvo
		Anillos de estanqueidad de labio para árboles de rotación con labio anti-polvo
		Anillos de estanqueidad de labio para árboles de rotación, de doble efecto
		Junta de anillo en V Anillo de fieltro o estopa
		Junta de laberinto (sea cual sea el número de laberintos)

Figura 26. Representación simplificada particularizada de juntas de estanqueidad (obturadores).

La figura 27 muestra en detalle un anillo de estanqueidad o retén o junta.

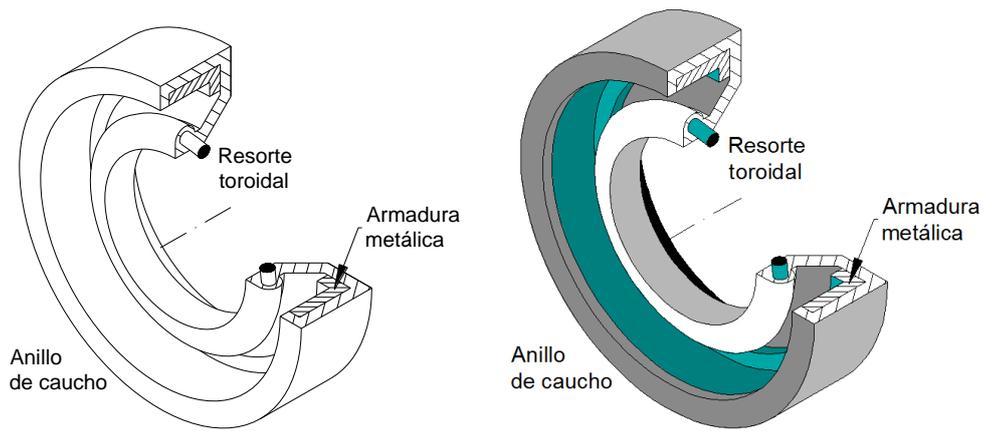


Figura 27. Junta de estanqueidad.

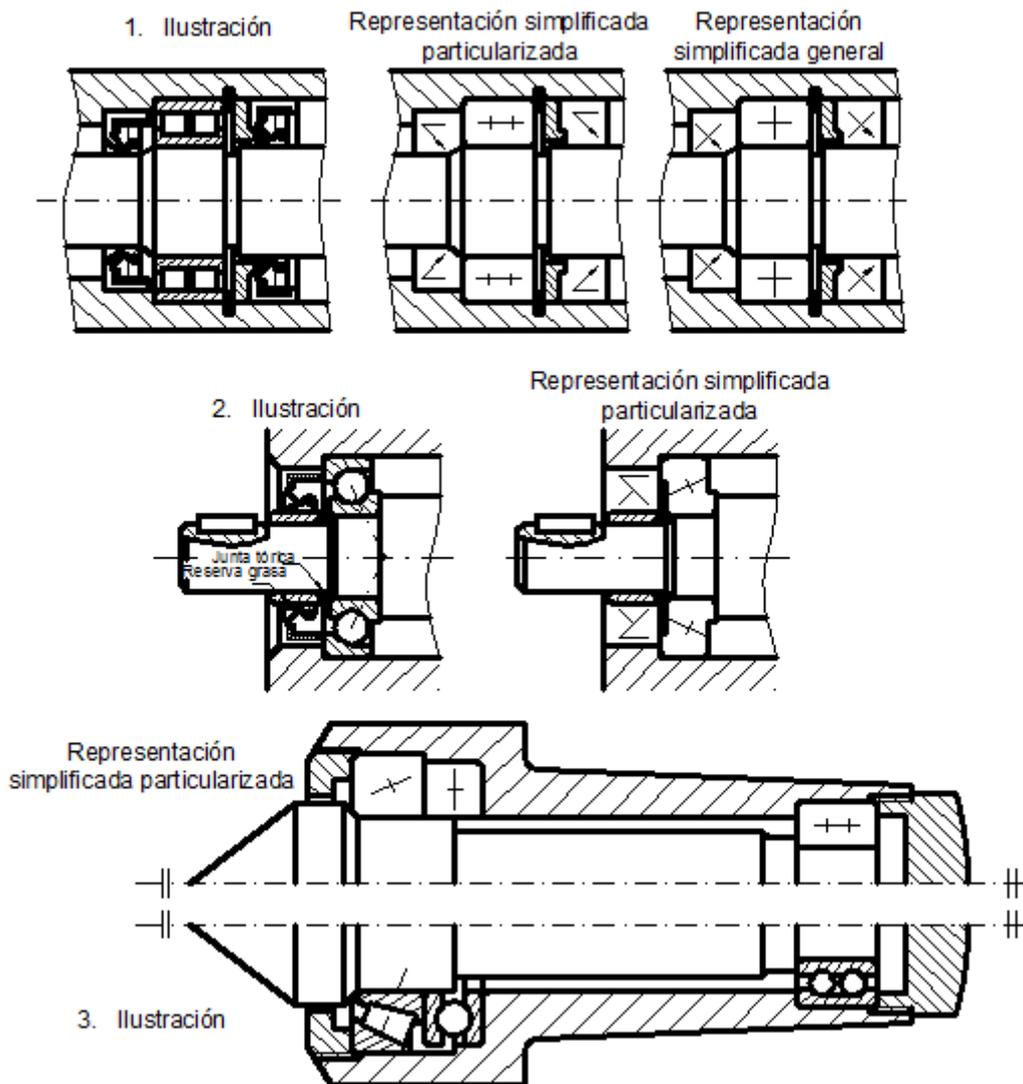


Figura 28. 1) Anillo de estanqueidad de labio para árboles de rotación (las juntas de estanqueidad se oponen a los fluidos). 2) Anillo de estanqueidad de labio para árboles de rotación con labio anti-polvo. 3) Punto torno.

AJUSTES DE RODAMIENTOS CON EJE Y ALOJAMIENTO.

El anillo contrario al que está solidario con la carga se monta con ajuste apretado sobre su asiento (Figura 29).

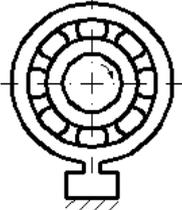
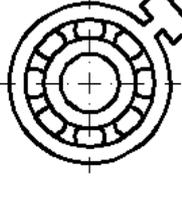
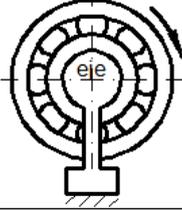
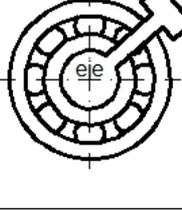
Tipo de carga Ejemplos	Condiciones de rotación (Porcentaje de casos en los que se aplica)		AJUSTES
Carga fija en relación al anillo exterior Ej 1. Eje cargado con un peso. Ej 2. Rodadura de cubo con gran desequilibrio.	Alojamiento y carga fijas (95%) Anillo interior giratorio 	Alojamiento y carga giratorios (0,5%) Anillo interior fijo 	APRIETE entre el Anillo interior - Eje Puede ser libre o indeterminado entre el: Anillo exterior - Alojamiento
Carga fija en relación al anillo interior Ej 3. Rueda delantera de vehículo (rodadura de cubo de rueda). Ej 4. Criba vibratoria. Centrífuga.	Eje y carga fijos (3%) Anillo exterior giratorio 	Eje y carga giratorios (1,5%) Anillo exterior fijo 	APRIETE entre el Anillo exterior - Alojamiento Puede ser libre o indeterminado entre el: Anillo interior - Eje

Figura 29. Tipo de ajuste entre el rodamiento y el eje y alojamiento.

Tolerancias de los rodamientos. La norma **ISO 492** especifica las tolerancias aplicables a las dimensiones de tamaño y a la precisión de rotación de los rodamientos radiales de serie métrica. La **clase Normal**, es la de los rodamientos estándar, generalmente no se indica en la designación del rodamiento y es suficiente para la mayoría de aplicaciones. Cuando hay mayores exigencias, por ejemplo en husillos de máquinas-herramienta, se aplican las clases de **Alta precisión** que son, por orden creciente de precisión: ISO 6, ISO 5, ISO 4, ISO 2. La equivalencia de estas calidades en la norma DIN 620 es PN para la clase normal y P6, P5, P4 y P2, respectivamente para las de alta precisión.

La norma ISO 199 fija las tolerancias de dimensiones de los rodamientos axiales.

La tabla 8 muestra las tolerancias normalizadas de los diámetros interior $\varnothing D$ y exterior $\varnothing d$, de rodamientos radiales. (No son válidas para rodamientos de rodillos cónicos).

La tabla 9 presenta las tolerancias recomendadas para los asientos del rodamiento: eje y alojamiento. Se han seguido las recomendaciones de SNR.

Con ambas tablas se puede determinar el ajuste correspondiente según la aplicación o el tipo de rodamiento. En estas tablas se presentan las tolerancias de la clase normal, principalmente para rodamientos radiales a bolas y rodillos cilíndricos. Las tablas completas abarcan detalles de muchos más aspectos de los rodamientos (algunos de ellos se muestran en la tabla 10) y para las calidades de alta precisión.

Tabla 8A. Tolerancias normalizadas de los diámetros interior $\varnothing D$ y exterior $\varnothing d$, de rodamientos radiales.

Clase de tolerancia Normal (PN) Anillo interior: $\varnothing D$ Tolerancias en μm				Clase de tolerancia Normal (PN) Anillo exterior: $\varnothing d$ Tolerancias en μm			
D		Tolerancia Δ_{dmp}		d		Tolerancia Δ_{Dmp}	
mm		μm		mm		μm	
más de	hasta	inferior	superior	más de	hasta	inferior	superior
0,6	2,5	-8	0	2,5	6	-8	0
2,5	10	-8	0	6	18	-8	0
10	18	-8	0	18	30	-9	0
18	30	-10	0	30	50	-11	0
30	50	-12	0	50	80	-13	0
50	80	-15	0	80	120	-15	0
80	120	-20	0	120	150	-18	0
120	180	-25	0	150	180	-25	0
180	250	-30	0	180	250	-30	0
250	315	-35	0	250	315	-35	0
315	400	-40	0	315	400	-40	0
400	500	-45	0	400	500	-45	0
500	630	-50	0	500	630	-50	0
630	800	-75	0	630	800	-75	0
800	1000	-100	0	800	1000	-100	0
1000	1250	-125	0	1000	1250	-125	0
1250	1600	-160	0	1250	1600	-160	0
1600	2000	-200	0	1600	2000	-200	0
				2000	2500	-250	0

Tabla 8B. Tolerancias normalizadas de los diámetros interior $\varnothing D$ y exterior $\varnothing d$, de rodamientos de rodillos cónicos.

Clase de tolerancia Normal (PN) Anillo interior $\varnothing D$ Tolerancias en μm				Clase de tolerancia Normal (PN) Anillo exterior $\varnothing d$ Tolerancias en μm			
D		Tolerancia Δ_{dmp}		d		Tolerancia Δ_{Dmp}	
mm		μm		mm		μm	
más de	hasta	inferior	superior	más de	hasta	inferior	superior
10	18	-12	0	18	30	-12	0
18	30	-12	0	30	50	-14	0
30	50	-12	0	50	80	-16	0
50	80	-15	0	80	120	-18	0
80	120	-20	0	120	150	-18	0
120	180	-25	0	150	180	-25	0
180	250	-30	0	180	250	-30	0
250	315	-35	0	250	315	-35	0
315	400	-40	0	315	400	-40	0
				400	500	-45	0
				500	630	-50	0

Tabla 9: Ajustes recomendados para el eje y el alojamiento de rodamientos.

AJUSTES RECOMENDADOS: EJE			ALOJAMIENTO	
Tipo de carga AJUSTE	Tolerancia recomendada	Ejemplos	Tolerancia recomendada	Ejemplos
Carga fija en relación al anillo exterior  APRIETE entre el Anillo interior - Eje	Carga normal $P < C/5$ j6 / k6	Motores eléctricos Cabezal de Maq-Hta Bombas Ventiladores Reductores	Caso general H7 / J7	Motores eléctricos Cabezal de Maq-Hta Poleas Transmisiones
	Carga elevada $P > C/5$ m6 / p6	Motores de tracción Grandes reductores Compresores	Anillo libre G7 / H7	Desplazamiento axial exigido (dilatación o reglaje)
Carga fija en relación al anillo interior  APRIETE entre el Anillo exterior - Alojamiento	Caso general g6 / h6	Poleas locas Rodillos Tensores Ruedas	Carga normal $P < C/5$ M7 / N7	Poleas locas Rodillos Tensores Ruedas
	Anillo libre f6 / g6	Desplazamiento axial exigido (dilatación o reglaje)	Carga muy elevada o con grandes choques $P > C/5$ N7 / P7	Material ferroviario Rodamientos de rodillos grandes
Otros casos	Carga axial pura h6 / j6	Rodamientos axiales	Cargas puramente axiales G7 / H7	Rodamientos axiales
	Manguito apriete h9	Transmisiones Material agrícola		

Tabla 10. Otros aspectos normalizados de los rodamientos.

Designaciones y símbolos de tolerancias	Característica de tolerancias según DIN 1 132 y DIN 620
d	Diámetro nominal del agujero
Δ_{dmp}	Discrepancia del diámetro medio del agujero en un plano
Δ_{d1mp}	Discrepancia del diámetro mayor medio para agujeros cónicos
V_{dsp}	Oscilación de un diámetro único de un agujero en un plano individual
V_{dmp}	Oscilación del diámetro medio del agujero
D	Diámetro exterior nominal
Δ_{Dmp}	Discrepancia del diámetro exterior medio en un plano individual
V_{Dsp}	Oscilación de un diámetro exterior único en un plano individual
V_{Dmp}	Oscilación del diámetro exterior medio
B	Anchura nominal del anillo interior
Δ_{Bs}	Discrepancia de la anchura única de un anillo interior
V_{Bs}	Oscilación de la anchura del anillo interior
C	Anchura nominal del anillo exterior
...	...

Tolerancias de forma y de posición de las superficies de apoyo de los rodamientos

Para obtener los ajustes deseados, el asiento del rodamiento y las superficies de ajuste en el eje y en el alojamiento deben cumplir ciertas tolerancias (figura 30) cuyos valores se dan en la tabla 11, en la que: t_1 = redondez, t_2 = paralelismo y t_3 = salto axial de los resaltes de apoyo.

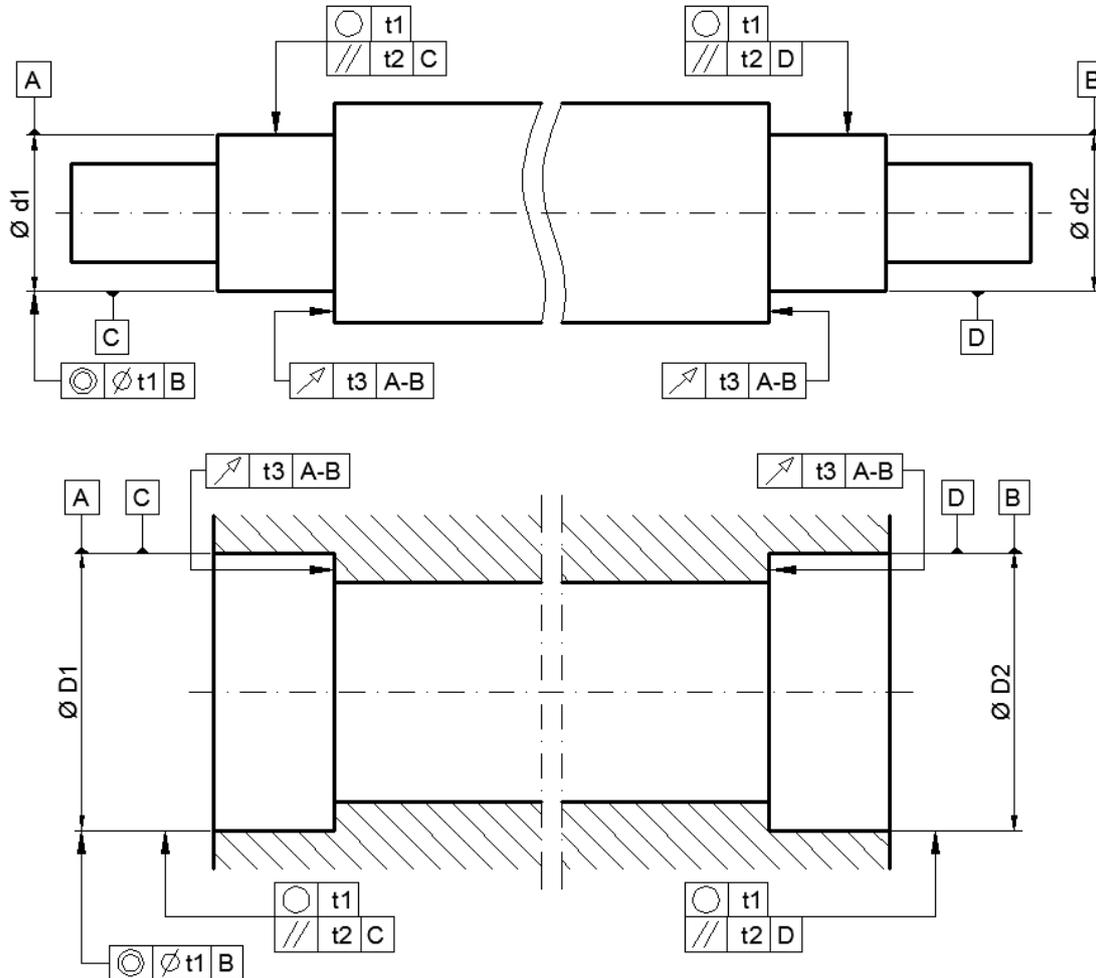


Figura 30. Tolerancias de forma y de posición

Tabla 11. Tolerancias de la clase normal asignadas al alojamiento y eje en el que se ubica un rodamiento, de acuerdo con la figura 30.

Clase de tolerancia	Superficie de asiento	Tolerancia del diámetro	Tolerancia de redondez		Tolerancia de paralelismo	Tolerancia de salto axial del resalte de apoyo
				t_1	t_2	t_3
PN, P6X	Eje	IT6 (IT5)	Carga fija, eje gira	IT4/2	IT4	IT4
			Carga y eje fijo	IT5/2	IT5	
	Alojamiento	IT7 (IT6)	Carga gira, alojamiento fijo	IT5/2	IT5	IT5
			Carga y alojamiento giran	IT6/2	IT6	

Segundo asiento de rodamiento

Las tolerancias de posición para un segundo asiento de rodamiento en el eje (d_2) o bien en el alojamiento (D_2) (expresado por la coaxialidad según ISO 1101), deben determinarse en función de la adaptabilidad angular de cada rodamiento. Por ello, deben tenerse en cuenta los errores de alineación debidos a deformaciones elásticas del eje y del alojamiento.

Alojamiento

En alojamientos partidos, las superficies de separación no deben tener rebabas. La precisión de los asientos de los rodamientos se determina en función de la precisión del rodamiento seleccionado.

Ajustes para los aros de rodamientos axiales

Los rodamientos axiales que solamente absorben cargas axiales, no deben guiarse en dirección radial.

Al aro que gira se le asigna un asiento fijo. Si los rodamientos axiales han de absorber cargas radiales además de las cargas axiales, por ejemplo los rodamientos axiales oscilantes de rodillos, se elegirán los mismos ajustes que para los rodamientos radiales.

Las superficies de contacto de las partes adyacentes han de estar en posición vertical respecto al eje en rotación (tolerancia de ortogonalidad según IT5 o mejor), para que la carga se reparta uniformemente sobre todos los elementos rodantes.

Rugosidad de los asientos de los rodamientos

La rugosidad superficial de los asientos de los rodamientos se debe ajustar a la clase de tolerancia de los mismos. La rugosidad media R_a no debe ser demasiado grande para que la pérdida de interferencia quede en niveles aceptables. Los ejes se rectifican y los alojamientos se mecanizan con precisión. Valores orientativos se dan en la tabla 12. Los valores orientativos para la rugosidad corresponden a DIN 5 425-1.

Tabla 12. Valores orientativos para la rugosidad de las superficies de asiento de los rodamientos.

Diámetro del asiento del rodamiento		Rugosidad media R_a recomendada y clases de rugosidad para asientos rectificadas. Tolerancia del diámetro en concordancia.			
d (D) en mm		μm			
más de	hasta	IT7	IT6	IT5	IT4
-	80	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)	0,2 (N4)
80	500	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)
500	1250	3,2 (N8)	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)

Para el montaje mediante procedimientos hidráulicos no debe superarse la rugosidad $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Los valores entre paréntesis son clases de rugosidad según DIN ISO 1302 (no vigentes).

Bibliografía:

1. Catálogo FAG. <http://www.schaeffler.es/>
2. Catálogo SNR. <http://www.snr-bearings.com/>
3. Catálogo SKF, <http://www.skf.com/>
4. Ingeniería gráfica y diseño, Jesus Felez; M^a Luisa Martinez, Sintesis, 2008, ISBN 9788497564991.
5. Normas UNE-EN ISO 8826-1 y 2, AENOR.

Levas, cuadriláteros articulados, cicloides.

Levas

Son elementos mecánicos que se utilizan para transmitir movimientos periódicos o cíclicos que siguen una pauta determinada. En la figura 31, se relaciona la forma de la leva con el movimiento que transmite a un seguidor, obtenido girando la leva de 30° en 30° observando la posición que tiene en cada posición. Se puede realizar la forma de la leva, partiendo de la secuencia de movimiento que se requiere.

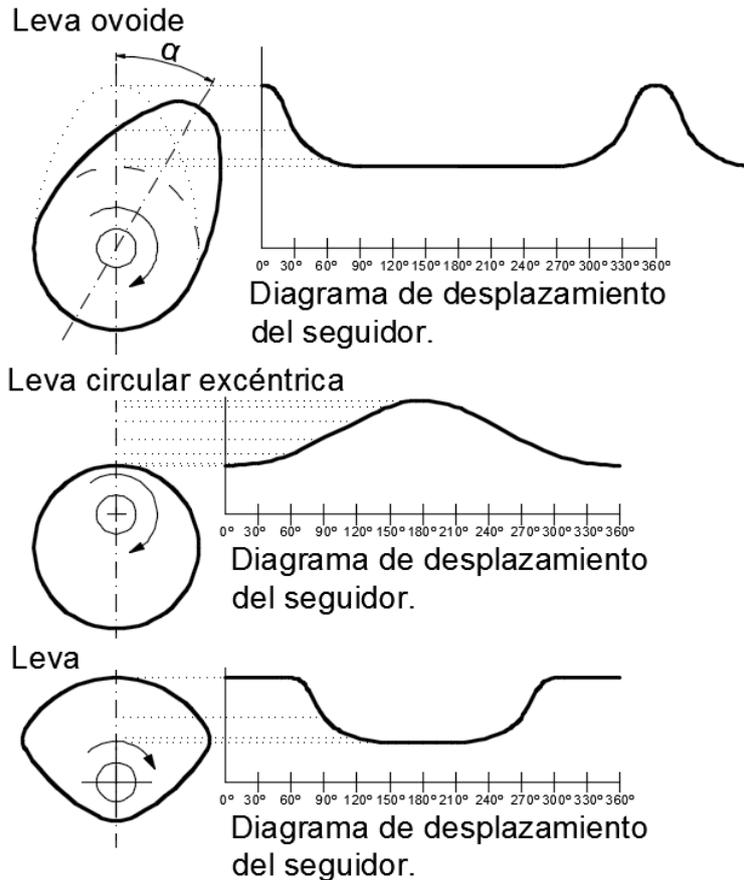


Figura 31: Representación del desplazamiento del seguidor con el giro de la leva.

El seguidor puede adquirir diferentes formas según se indican en la figura 32, siendo un aspecto muy importante la lubricación para que perduren. Su aplicación es muy variada y como ejemplo se exponen de forma simplificada dos sistemas de distribución de un motor, en el que el eje de balancines es fijo (figura 33). También se utiliza en volantes de dirección que se colocan de forma excéntrica.

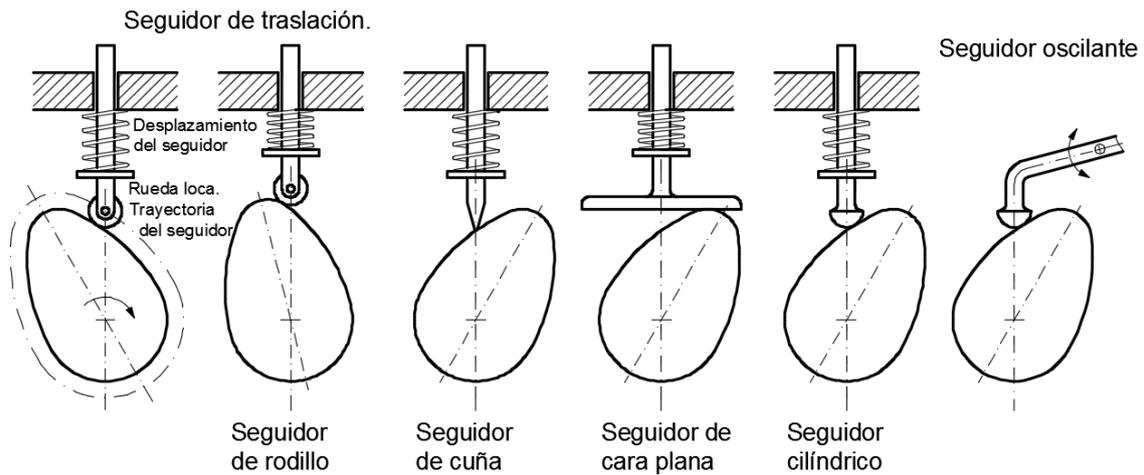


Figura 32: Tipos de seguidor.

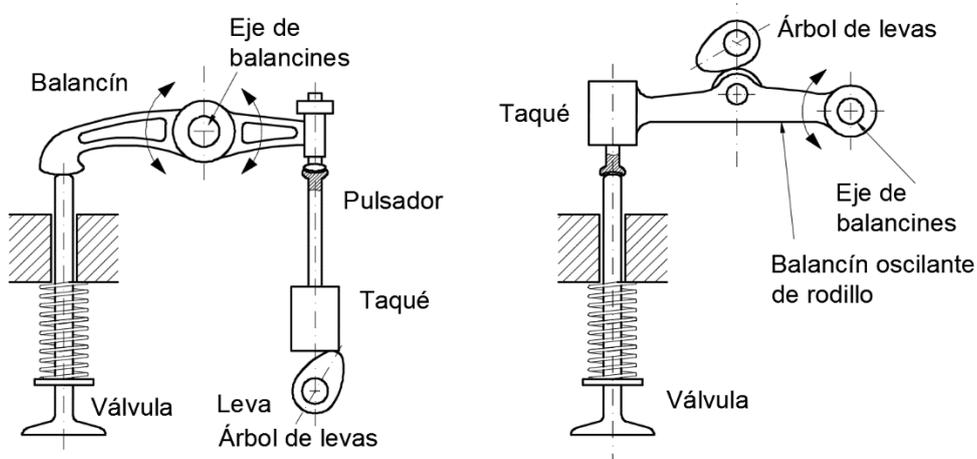


Figura 33: Aplicación a los sistemas de distribución de un motor.

Cuadriláteros articulados

Los cuadriláteros articulados son mecanismos formados por tres barras móviles unidas entre sí mediante articulaciones, estando dos de sus extremos fijos (es la cuarta barra).

El análisis de sus movimientos y velocidades (cinemática) es complejo, pero sus aplicaciones son muy diversas. Se utilizan en la suspensión de vehículos, en el movimiento de los limpiaparabrisas, en los brazos de las excavadoras, en bisagras de puertas o capots, en las vagonetas de ferrocarril accionadas a mano (figura 34) y otras muchas aplicaciones.

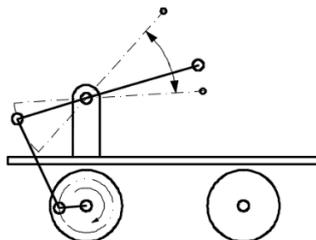


Figura 34. Vagoneta de ferrocarril accionada a mano.

La ley de Grashof permite analizar el tipo de movimiento que realizará el cuadrilátero, en la que si la suma de los lados más corto y más largo es menor que el de las otras dos (intermedias), el movimiento de al menos uno de los eslabones es un círculo completo y da lugar a que el movimiento sea continuo. En el caso que sea mayor, ninguna articulación realizaría un giro completo y el movimiento sería alternativo (figura 35).

$$m + n \leq r + s \quad \text{En la que } \underline{m} \text{ es la barra más corta y } \underline{n} \text{ la más larga.}$$

La figura 35 A) representa un cuadrilátero en el que $m+n < r+s$, por lo que el movimiento es continuo y las dos articulaciones móviles realizan giro completo. En la B) $m+n < r+s$ y además $m+r < s$ (o bien $r-m > s$) por lo que el movimiento es continuo, pero una de las articulaciones realiza un movimiento alternativo abarcando el ángulo entre las que las barras \underline{mn} están alineadas. En la C) $m+n > r+s$, por lo que el movimiento de ambas articulaciones está limitado a cierto ángulo. En la D) $m+n = r+s$, y además $m=r$ y $n=s$, lo que forma un paralelogramo, en el que el movimiento de las barras es continuo y paralelo en todo momento. Si dos de ellas no fuesen iguales, trapecio isósceles, el movimiento sería alternativo y el paralelismo no se conserva. Las figuras E) y F) muestran dos cuadriláteros en los que las barras son iguales pero se han cambiado de orden las barras m y n . Ya que $m+n > r+s$ el movimiento es alternativo y cambia sustancialmente. En E) mientras la barra m gira de 1 a 3 la s gira de 1 a 2 y vuelve a 3.

En la figura 36 se muestran diferentes posiciones de las barras del cuadrilátero en su desplazamiento.

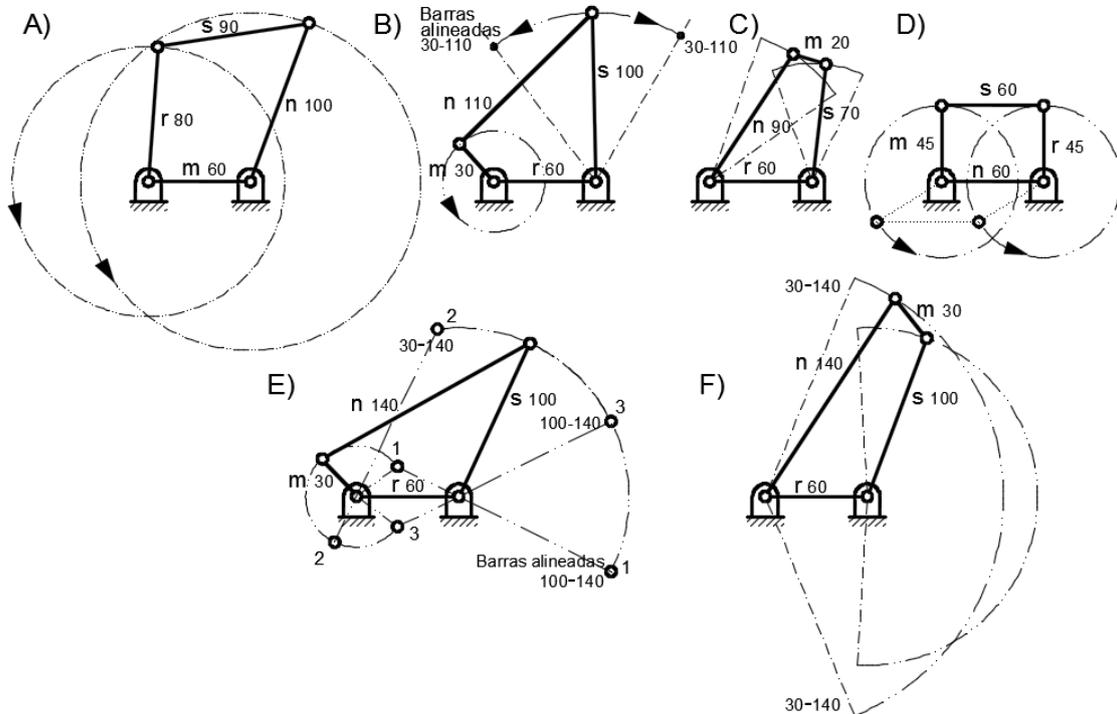


Figura 35. Análisis del movimiento de cuadriláteros.

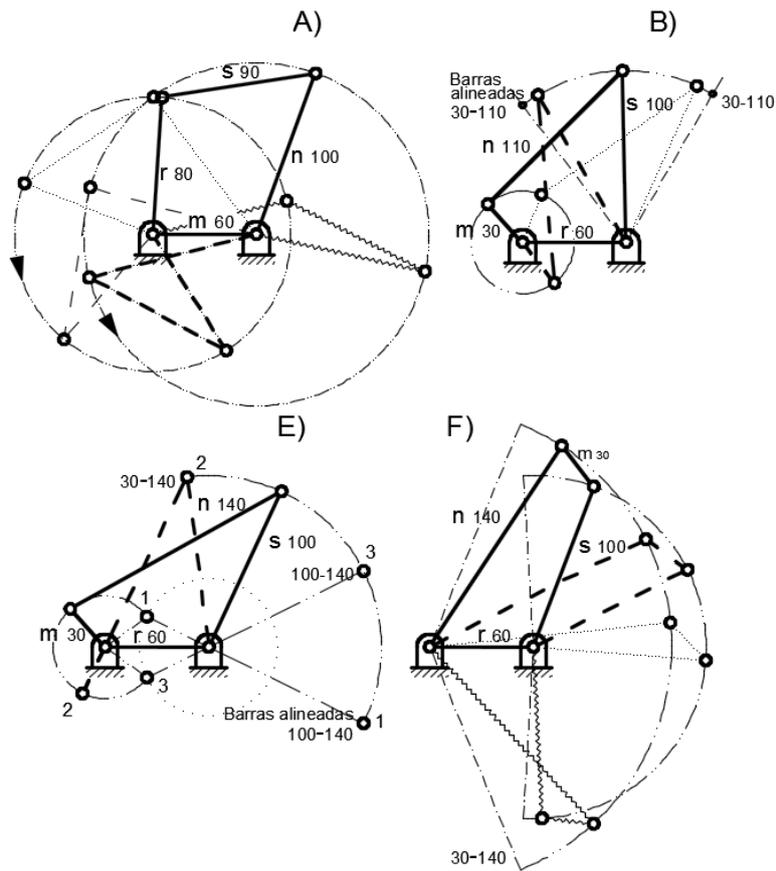


Figura 36. Diversas posiciones del cuadrilátero en su movimiento.

Cicloides

Se utilizan para perfiles de dientes de engranajes, levas, etc. Se generan mediante un punto de un círculo que gira sobre una línea plana o circular. Si el punto que se toma es un punto del radio, resulta la cicloide acortada y si está en la prolongación es la alargada (figura 37). Dos cicloides características son la cardioide, en la que la base y la ruleta que la genera tienen el mismo radio, y la que se muestra en la figura 37 D) en la que la ruleta tiene de radio la mitad de la base.

Se presenta una aplicación en la figura 37 E), consistente en una rueda 1, que actúa como base y la rueda 2 como ruleta, en la que pivota el eje 3 que se mueve siguiendo la trayectoria de la cicloide acortada, mientras en el centro de la base el movimiento es circular con cierto desplazamiento y en el otro extremo se mueve según se indica en la curva 4. El resultado es que a partir de un movimiento giratorio, el de la base 1, se obtiene un movimiento cicloidal, como el de la trayectoria 4.

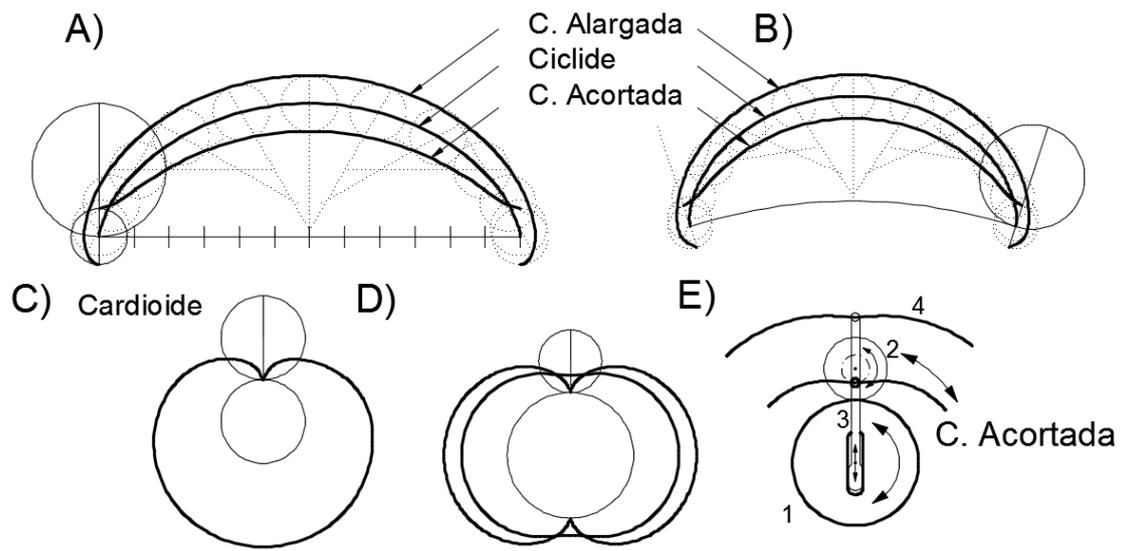


Figura 37: Cicloides. Aplicación.

Embragues.