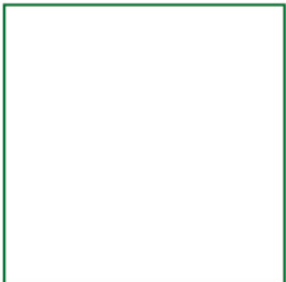
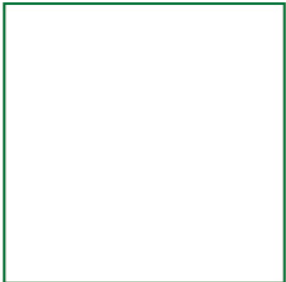
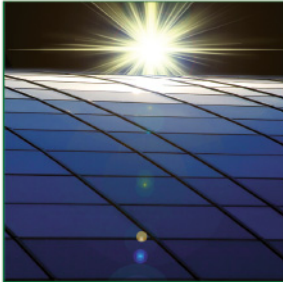


A2

Teoría de Taller



Anexo II Tecnología mecánica



estudios abiertos

SEAS

GRUPO SANVALERO

● Índice

● OBJETIVOS	3
● INTRODUCCIÓN	4
A.1. Tolerancias y acabados superficiales	5
A.1.1. Tolerancias dimensionales: el concepto de ajuste	5
A.1.1.1. Juego y apriete	8
A.1.1.2. Clases de ajustes	10
A.1.1.3. Ejemplos resueltos	10
A.1.2. Sistema “ISO” de tolerancias y ajustes	13
A.1.2.1. Calidades.....	14
A.1.2.2. Posiciones	16
A.1.2.3. Sistema de eje único y sistema de agujero único.....	19
A.1.2.4. Ajustes ISO recomendados	21
A.1.3. Tolerancias geométricas	28
A.1.3.1. Tolerancias geométricas de forma	28
A.1.3.2. Tolerancias geométricas de posición	33
A.1.4. Estados superficiales	40
A.1.5. Acabado superficial: símbolos e indicaciones escritas	42
A.1.5.1. Indicaciones en el símbolo	43
A.1.5.2. Indicaciones en el plano	46
A.1.5.3. Indicaciones especiales de mecanizado y tratamientos.....	47
A.2. Elementos mecánicos	52
A.2.1. Elementos de fijación	52
A.2.1.1. Generalidades sobre la representación de elementos roscados.....	52
A.2.1.2. Roscas normalizadas más usuales	53
A.2.1.3. Representación gráfica.....	57
A.2.1.4. Tornillos, tuercas y arandelas.....	61
A.2.1.5. Chavetas y lengüetas	66
A.2.1.6. Pasadores	70
A.2.2. Elementos de transmisión	71
A.2.2.1. Engranajes	71
A.2.2.2. Poleas.....	78
A.2.2.3. Cadenas	81
A.2.3. Cojinetes y rodamientos.....	82
A.2.4. Muelles y resortes	89
A.2.5. Formas de mecanizado normalizadas	90
A.2.5.1. Entalladuras.....	91
A.2.6. Moleteado	92

A.2.6.1. Puntos de centrado	93
A.3. Metrología básica.....	95
A.3.1. Medir, comparar, verificar	96
A.3.2. Aparatos de medición	98
A.3.2.1. El calibre o pie de rey	98
A.3.2.2. El micrómetro	105
A.3.2.3. El reloj comparador	108
A.3.2.4. Calibres fijos	109
• RESUMEN	111

● Objetivos

- Conocer o ampliar los conocimientos sobre los fundamentos y aplicaciones más importantes de los diferentes elementos mecánicos explicados.
- Conocer o ampliar conocimientos sobre los ajustes, tolerancias y acabados superficiales que exigen dichos elementos para su correcta utilización como órganos de máquinas.
- Conocer o ampliar conocimientos sobre los métodos de representación gráfica a emplear con cada uno de los elementos analizados.
- Profundizar en el conocimiento de la terminología utilizada con mayor frecuencia en este campo.

● Introducción

En esta última unidad van a tratarse una serie de aspectos muy importantes en el área mecánica.

En primer lugar, se ha optado por incluir una serie de importantes apartados sobre conceptos como tolerancias, juegos y determinación de estados superficiales primordialmente, puesto que se hallan directamente relacionados con la calidad y la función de los componentes de la maquinaria, además de resultar fundamentales para establecer unos criterios productivos correctos en función de lo exigido.

En segundo lugar, hemos de darnos cuenta de que en las unidades precedentes hemos estado tratando fundamentalmente acerca de procesos de generación de un producto a través de un determinado trabajo, bien fuese mediante arranque de viruta, electroerosión, soldadura, etc., sin entrar *a priori* en consideraciones sobre si su destino era el mantenimiento interno o un proceso de producción cara al exterior.

Pues bien, es en esta unidad donde por primera vez no analizaremos los métodos de fabricación, sino una serie de elementos de máquina que todos deberemos conocer al final del curso. Su conocimiento es primordial por muchos aspectos: puede tratarse de necesidades de mantenimiento correctivo, de un estudio de posibles mejoras de maquinaria, del diseño de utillajes, razonar los criterios para compras de material, preveer necesidades y un larguísimo etcétera.

Finalmente, un tercer y último tema nos introducirá en el área de la metrología, algo vital tanto para la comprobación y verificación de los ajustes de maquinaria como para las dimensiones de las piezas o conjuntos a fabricar.

A.1. Tolerancias y acabados superficiales

Para una mejor comprensión de dichos temas, hemos optado por realizar una división simple pero efectiva de los temas a tratar, estructurados básicamente en tolerancias dimensionales y concepto de ajuste, tolerancias de forma y estados superficiales.

A.1.1. Tolerancias dimensionales: el concepto de ajuste

Años atrás, cuando la producción se basaba en métodos de índole artesanal, los acoplamientos entre un eje y un agujero se realizaban uno a uno: dicho con otras palabras, una vez realizado el agujero se iba mecanizando el eje hasta lograr el ajuste deseado, o viceversa. Eso acarreaba que un operario jamás podía obtener una serie de piezas idénticas, debido a una serie de factores evidentes:

- Variación de la efectividad del operario, en cuanto a cansancio, tacto, ángulo visual, etc.
- Variaciones en la apreciación visual o mediante instrumentos de las dimensiones de la pieza.
- Dificultad para compensar el desgaste de los elementos de fabricación y control.
- Variaciones en la naturaleza del material, incrustaciones, deformaciones térmicas y mecánicas, etc.
- Variaciones en la temperatura, humedad y luminosidad del entorno de trabajo.

Las tolerancias de fabricación nacen, por tanto, de la necesidad de asegurar una intercambiabilidad total de ciertas piezas, para disponer siempre de la posibilidad de sustituir elementos de máquinas y asegurar el funcionamiento de éstas en condiciones similares a las iniciales. El constante aumento de los requisitos de calidad y aseguramiento de la intercambiabilidad de piezas en industrias como la automoción, aeronáutica, electrodomésticos, etc... han hecho que se cuiden extremadamente los aspectos de producción, control y verificación del producto final.

La utilización de modernas y precisas máquinas de mecanizado por C.N.C. (Control Numérico), la automatización y robotización de los procesos productivos y una serie de aparatos de metrología altamente eficaces contribuyen a todos estos aspectos, llegándose incluso al trabajo en ambientes a temperaturas controladas, tanto para fabricación como para verificación y control. A cambio se obtienen una serie de beneficios importantes para la industria y el comercio modernos, que pueden resumirse en los tres puntos siguientes:

- El fabricante produce mayor número de piezas y más económicas, al basarse en procesos productivos estandarizados, automatización del proceso y utillajes, etc., lo cual se traduce en una mejora en los plazos de entrega y en la calidad del producto ofertado.
- El consumidor obtiene repuestos más baratos y plazos de entrega más cortos, además de poder beneficiarse de la intercambiabilidad y dicha reducción de tiempos para reducir su stockaje de recambios sensiblemente.
- El comerciante puede reducir su stockaje sensiblemente, ofertando productos estandarizados, baratos y ofreciendo, en definitiva, un mejor y más agil servicio al cliente.

En cualquier caso, antes de retomar el tema que nos ocupa hemos de aclarar que siempre que se esté hablando de “máquinas” se está haciendo referencia a un conjunto mecánico, posea o no partes móviles. Con el fin de simplificar, trabajaremos habitualmente con dos conceptos (“eje” y “agujero”), que conviene definir previamente:

- **Eje:** se entiende como “eje” cualquier tipo de pieza que se acople dentro de otro elemento. Aunque por instinto se asocie un eje a un cuerpo cilíndrico, es indiferente que la forma de dicho eje sea cilíndrica o prismática.
- **Agujero:** se entiende como “agujero” cualquier alojamiento, bien sea cilíndrico o prismático, preparado para alojar a un eje.

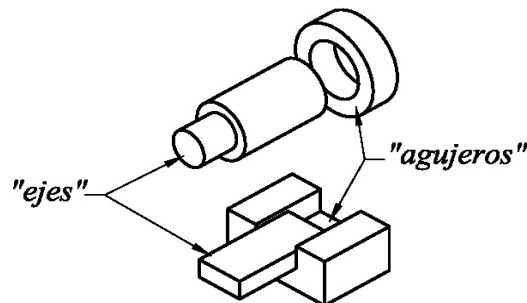


Figura A.1. Representación gráfica de los conceptos de eje y agujero.

En un conjunto mecánico es frecuente encontrar piezas que son eje y agujero de forma simultánea (es decir, que alojan una o más piezas en su interior, y ésta a su vez se aloja en el agujero correspondiente). Para evitar confusiones, una pieza se considera eje o agujero según el resultado de la comparación con una única segunda pieza.

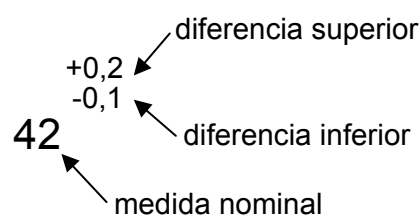
Una vez visto los conceptos para que una determinada pieza sea considerada eje o agujero, hemos de definir una serie de conceptos nuevos referentes a las medidas de la pieza en cuestión. Para una mejor comprensión, tras las definiciones se incluye un ejemplo práctico:

- **Medida nominal:** es la medida que se indica en el plano, sin entrar a considerar las tolerancias admitidas. La “línea de referencia” o “línea cero” es la que corresponde a la medida nominal, sirviendo de referencia para el resto de las indicadas.
- **Medida efectiva:** se entiende por “medida efectiva” la medida que posee la pieza en la realidad. A efectos prácticos, resulta ser la medida que nos proporciona el aparato de medición, por ejemplo un calibre, pero no ha de olvidarse que no existe nada perfecto y que también los aparatos de medida presentan, en mayor o menor grado, ciertas diferencias entre la medida real y la señalada por el aparato (lo que habitualmente denominaremos ‘resolución de medida’).
- No obstante, si se emplea el aparato adecuado, estas diferencias pueden resultar irrelevantes, aunque este criterio dependerá del uso final de la pieza.
- **Medida máxima:** es el máximo valor de medida alcanzable para que la pieza se considere válida.
- **Medida mínima:** se entiende por “medida mínima” el mínimo valor de medida alcanzable para que la pieza se considere válida.
- **Diferencia superior:** es la diferencia numérica que existe entre la medida máxima y la medida nominal de la pieza.
- **Diferencia inferior:** es la diferencia numérica que existe entre la medida mínima y la medida nominal de la pieza.
- **Tolerancia:** es la inexactitud que puede llegar a admitirse en una pieza; el valor numérico se calcula restando la medida máxima y la medida mínima, o también sumando las diferencias superior e inferior.

Modo de identificación

Para la representación sobre el plano deben indicarse las diferencias superior e inferior por medio de dos cifras colocadas a la derecha de la medida nominal, con unos caracteres menores de lo habitual.

En la anotación de la figura adjunta puede observarse una medida nominal de 42 mm, aunque aplicando los criterios establecidos se considerarían como válidas piezas cuya medida oscilase entre 42,2 y 41,9 mm, ambas inclusive.



Como puede apreciarse en la figura siguiente, otras indicaciones habituales son las que reflejan una simetría en las diferencias admitidas (figura de la izquierda), o que alguna de las diferencias tenga un valor igual a cero (figura de la derecha).

$$42^{\pm 0,1} \qquad 42^{\begin{matrix} +0,15 \\ +0 \end{matrix}}$$

A.1.1.1. Juego y apriete

Ya se adelantó en el capítulo anterior que el concepto de eje y agujero adquiere sentido al considerarse cada pieza como integrante de un conjunto más complejo, con una función determinada. No tendría sentido fabricar un cojinete o un rodamiento con una precisión extrema, si nunca fuese a alojar un eje en su interior o no se conociesen las dimensiones de éste.

Desde la fase inicial del proyecto de elaboración de una pieza, ha de definirse con claridad la forma y dimensiones de la pieza, así como su cometido y el resto de piezas con las que interaccionará, a fin de delimitar los procesos de fabricación y los requerimientos necesarios. El aspecto que ahora nos interesa es la consideración de las dimensiones y tolerancias de la pieza, ya que en función de éstas “encajará” de un modo u otro en la otra pieza con la que formará un conjunto.

Y es aquí cuando aparece el concepto de “ajuste”, de excepcional importancia en mecánica (siempre que esté presente algún tipo de movimiento entre dos piezas o más de un conjunto, ha de considerarse el ajuste necesario).

- **Ajuste:** unión entre un eje (pieza interior o macho) y un agujero (pieza exterior o hembra).

Lógicamente, dependiendo de las dimensiones que adquieran el eje y el agujero, la unión entre ambos elementos se producirá de forma suave o incluso sin esfuerzo, o, por el contrario, habrá que realizar un determinado esfuerzo para forzar el acoplamiento. Estas dos posibilidades se resumen en los siguientes conceptos:

- **Ajuste con juego:** se produce “juego” entre dos elementos cuando el eje resulta más pequeño que el agujero.
- **Ajuste con apriete:** se produce “apriete” entre dos elementos cuando el eje resulta más grande que el agujero.



Figura A.2. Ejemplo gráfico de “juego” (a la izquierda) y “apriete” (a la derecha).

A pesar de los modernos métodos de fabricación que puedan emplearse, durante la fabricación de un eje o un agujero se producirán inevitablemente desviaciones respecto de la medida solicitada inicialmente (medida nominal), que podrán hallarse o no dentro de los límites marcados. La consecuencia directa de todo ello en el tema que nos ocupa es la existencia de diversos “grados” de apriete o juego, incluso trabajando con la misma diferencias.



Ejemplo

Supongamos un eje considerado como válido cuando oscila entre valores de 49,8 y 49,9 mm, y que ha de introducirse en un agujero de 50 mm. En ambos casos se produciría juego entre los dos elementos, pero resulta evidente que éste será menor cuanto mayor sea el tamaño del eje.

El juego máximo sería de 0,2 mm ($50 - 49,8 = 0,2$ mm) y el juego mínimo de 0,1 mm ($50 - 49,9 = 0,1$ mm).

Resumamos estas ideas con las definiciones siguientes:

- **Juego mínimo:** es la diferencia entre la medida mínima del agujero y la medida máxima del eje.
- **Juego máximo:** es la diferencia entre la medida máxima del agujero y la medida mínima del eje.
- **Apriete mínimo:** es la diferencia entre la medida mínima del eje y la medida máxima del agujero.
- **Apriete máximo:** es la diferencia entre la medida máxima del eje y la medida mínima del agujero.
- **Tolerancia de ajuste:** suma de las tolerancias de eje y agujero. Como hemos visto en el capítulo anterior, los ejes y los agujeros presentan individualmente una tolerancia determinada, pero como es lógico, una vez se procede al montaje de estos dos elementos, debe considerarse dicha “tolerancia de ajuste”.

A.1.1.2. Clases de ajustes

Cuando se introduce un eje en el agujero correspondiente, encontraremos (en función de las dimensiones de ambos elementos) dos posibilidades: que se deba realizar o no un determinado esfuerzo para proceder a dicha introducción. Sin embargo, también sabemos que las dimensiones del eje y el agujero pueden variar ligeramente, en función de las desviaciones que se admitan.

Esto da lugar a la existencia de tres posibilidades a la hora de clasificar los ajustes: un ajuste puede clasificarse como “móvil”, “fijo” o “indeterminado”.

- **Ajuste móvil:** se entiende por “ajuste móvil” aquel ajuste donde hay juego.
- **Ajuste fijo:** se entiende por “ajuste fijo” aquel ajuste donde hay apriete.
- **Ajuste indeterminado:** se entiende por “ajuste indeterminado” aquel ajuste donde puede haber juego o apriete, dependiendo de la tolerancia que presenten eje y agujero. En este caso, la tolerancia del ajuste es igual a la suma del apriete máximo y del juego máximo.

A.1.1.3. Ejemplos resueltos

En las siguientes figuras se han representado gráficamente las diferentes medidas entre las que pueden oscilar tanto eje como agujero. Las líneas finas representan las medidas máximas y mínimas para cada caso, mientras que la línea discontinua representa siempre la medida nominal.

Observando con detenimiento las líneas finas puede intuirse de manera gráfica si el eje se alojará con o sin esfuerzo dentro del agujero, pero lógicamente lo correcto es analizarlo con valores numéricos concretos donde poder ver las tres posibilidades citadas con anterioridad: ajuste fijo, ajuste móvil y ajuste indeterminado.

Ejemplo de ajuste fijo

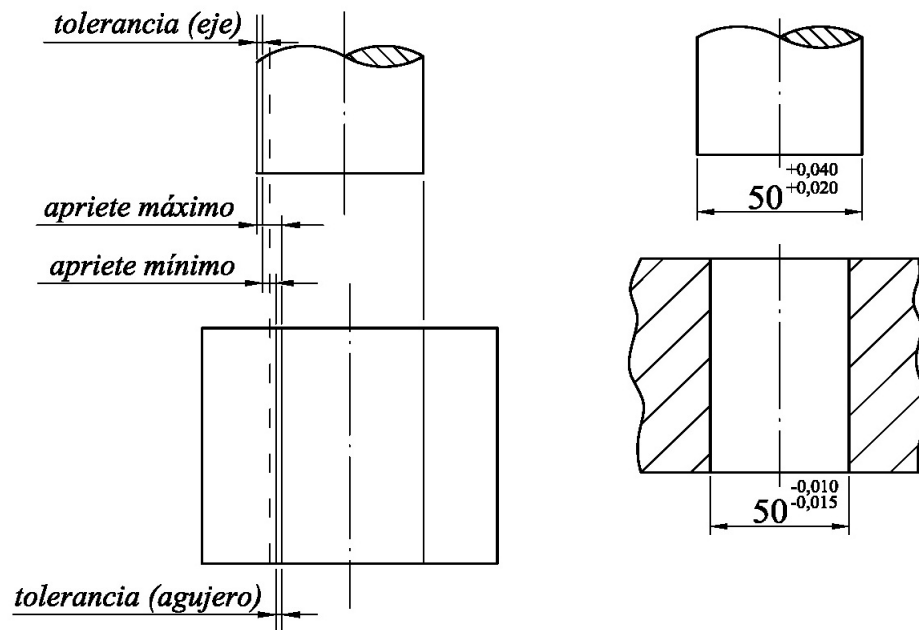


Figura A.3. Nomenclatura y ejemplo numérico para ajustes fijos (la línea discontinua representa el diámetro nominal del conjunto).

Se pretende alojar un eje que puede oscilar entre 50,040 y 50,020 mm. en un agujero que puede oscilar entre 49,990 y 49,985 mm.

Puede observarse que el eje, en cualquier caso, siempre resulta de mayor medida que el agujero, por lo que invariablemente existirá apriete y la necesidad de forzar la inserción.

- Apriete máximo (medida eje máxima – medida agujero mínima) = $50,040 - 49,985 = 0,065$ mm.
- Apriete mínimo (medida eje mínima – medida agujero máxima) = $50,020 - 49,990 = 0,030$ mm.

Ejemplo de ajuste móvil

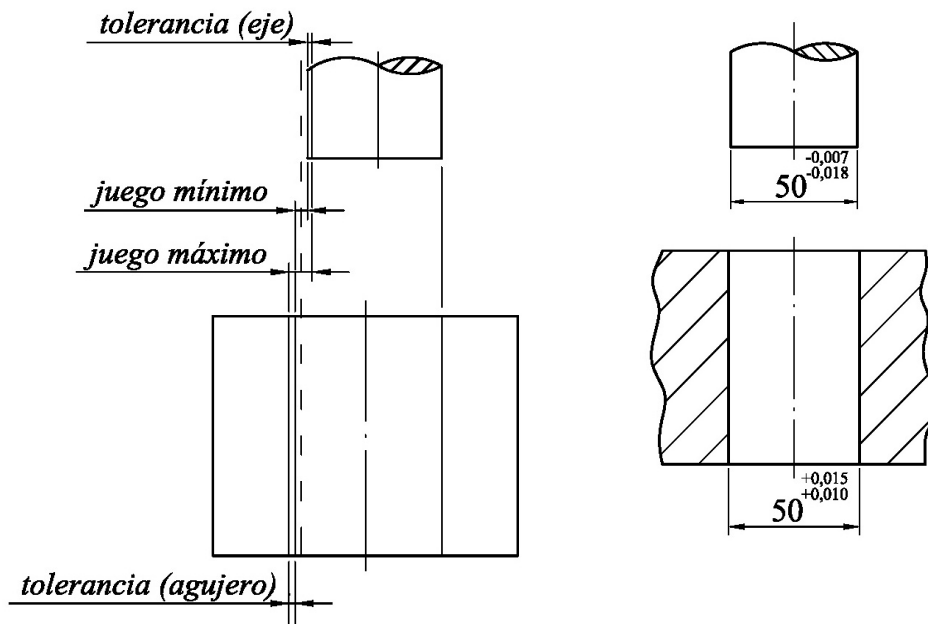


Figura A.4. Nomenclatura y ejemplo numérico para ajustes móvil (la línea discontinua representa el diámetro nominal del conjunto)

Se pretende alojar un eje que puede oscilar entre 49,993 y 49,982 mm. en un agujero que puede oscilar entre 50,015 y 50,010 mm. Puede observarse que el agujero, en cualquier caso, siempre resulta de mayor medida que el eje, por lo que invariablemente existirá juego entre ambos y no habrá necesidad de forzar la inserción.

- Juego máximo (medida agujero máxima – medida eje mínima) = $50,015 - 49,982 = 0,033$ mm.
- Juego mínimo (medida agujero mínima – medida eje máxima) = $50,010 - 49,993 = 0,017$ mm.

Ejemplo de ajuste indeterminado

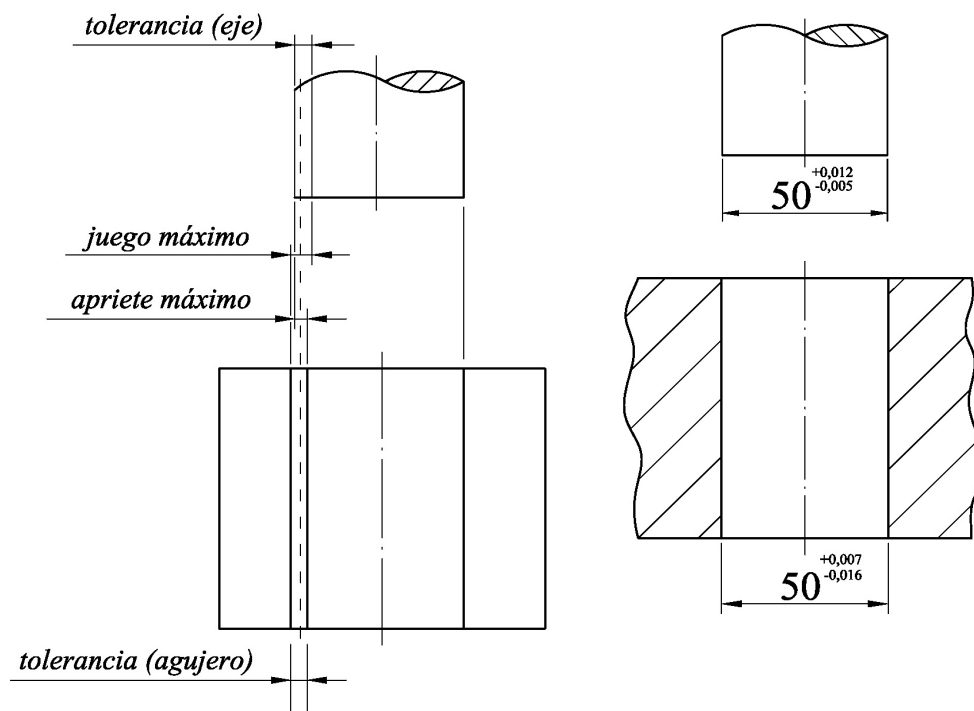


Figura A.5. Nomenclatura y ejemplo numérico para ajustes indeterminado (la línea discontinua representa el diámetro nominal del conjunto).

Se pretende alojar un eje que puede oscilar entre 50,012 y 49,995 mm. en un agujero que puede oscilar entre 50,007 y 49,984 mm. En este caso se observa que el agujero puede resultar de mayor o de menor medida que el eje, por lo que habrá que determinar si existirá juego o apriete tras conocer las tolerancias admitidas.

- Juego máximo (medida agujero máxima – medida eje mínima) = $50,007 - 49,995 = 0,012$ mm.
- Ajuste máximo (medida eje máxima – medida agujero mínima) = $50,012 - 49,984 = 0,028$ mm.
- Tolerancia = $J_{\text{máx.}} + A_{\text{máx.}} = 0,012 + 0,028 = 0,040$ mm.

A.1.2. Sistema “ISO” de tolerancias y ajustes

Como puede deducirse de los ejemplos del apartado anterior, existe un tremendo abanico de posibilidades para establecer un ajuste. Para ello, la norma internacional ISO ha establecido una serie sistemática de ajustes combinando determinadas zonas de tolerancia para ejes y agujeros, siempre con vistas a facilitar al máximo los intercambios de piezas y unificar criterios dispares según países.

Las ventajas que presenta dicha unificación son de especial importancia, y pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Homologación de criterios a seguir para el diseño y fabricación de la pieza, lo que reduce costes y riesgo de errores.
- Simplificación en la fabricación y montaje de piezas de recambio, lo cual repercute de forma directa en los costes.
- Necesidad de un menor número de aparatos de verificación y control.
- Mayor facilidad para el operario en la verificación de piezas.

Para que las mediciones se consideren válidas, deben respetarse unas reglas básicas, a saber:

- **Intervalos dimensionales:** el sistema internacional ISO trata los diámetros (medidas) comprendidos entre 1 y 500 mm, y los va agrupando progresivamente a fin de poder ofrecer una serie de resultados que sean válidos para un determinado número de diámetros. En la tabla correspondiente podrá comprobar la agrupación de diámetros realizada, junto con el resto de datos de interés.
- **Unidades de medida:** para determinar las dimensiones de la pieza se utiliza como unidad de longitud el milímetro, y para las tolerancias se utiliza la milésima de milímetro o “micra”. Esto no significa que una pieza deba mecanizarse necesariamente con una precisión extrema, apurando hasta la milésima; simplemente estamos señalando la unidad de medida empleada.
- **Temperatura:** en caso de que las desviaciones a apreciar sean muy pequeñas (milésimas de milímetro o micras), debe efectuarse la medición a una temperatura de 20° C, ya que una temperatura superior producirá desviaciones en la medida por efecto de la dilatación térmica; de este modo, se unifica la temperatura a la que se toma la medida y dejará de ser un factor a tener en cuenta.

A.1.2.1. Calidades

Una vez considerados estos parámetros, el sistema ISO establece 20 “calidades” de tolerancia distintas. Se designan numéricamente, pero siempre precedidas de los caracteres IT (denominación simbólica de “ISO Tolerancia”).

Las calidades más “altas” corresponden a los números más bajos, y las calidades más “bajas” a los números más altos (por ejemplo, la expresión IT5 simboliza una calidad más alta que la expresión IT6). En la tabla siguiente pueden observarse los valores en micras para cada una de las veinte calidades IT en función de la dimensión considerada (en milímetros).

medida nominal (en mm)	calidades IT																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Más de 1 hasta 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600		
Más de 3 hasta 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750		
Más de 6 hasta 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	
Más de 10 hasta 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
Más de 18 hasta 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
Más de 30 hasta 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
Más de 50 hasta 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
Más de 80 hasta 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
Más de 120 hasta 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	240	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Más de 180 hasta 240	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
Más de 240 hasta 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
Más de 315 hasta 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
Más de 400 hasta 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

Figura A.6. Calidades IT según norma ISO.



Aplicación

En realidad, esta herramienta pretende que el lector intuya de forma rápida y gráfica el grado de calidad existente, sin tener que realizar una “comprobación” del valor de la desviación de medida expresado en micras, que a priori podría resultar poco intuitivo (podrá comprobarlo en el gráfico adjunto).

A continuación, vamos a hacer una clasificación somera de las aplicaciones de cada una de las calidades, para poder hacernos una idea rápida de las calidades que podríamos encontrarnos según el tipo de pieza representado en el plano que maneje habitualmente. De todos modos, más adelante se incluyen ejemplos resueltos con indicaciones al respecto.

	Tolerancias pequeñas	Tolerancias medias	Tolerancias grandes
Calidades ISO	01 0 1 2 3 4	5 6 7 8 9 10 11	12 13 14 15 16 17 18
Área de aplicación	Calibres finos	Piezas de mecanización	Para medidas sin tolerancias
	Calibres de trabajo	Construcción de máquinas	Piezas estiradas, laminadas, forjadas o fundidas

Figura A.7. Aplicaciones para las diferentes calidades ISO.

A.1.2.2. Posiciones

En este apartado nos adentraremos en la denominada “posición” de la tolerancia, que también es preciso interpretar correctamente.

Podemos preguntarnos el porqué de la introducción de un nuevo concepto referente a las tolerancias, si la “calidad” era capaz por sí sola de determinar la desviación admitida en función del diámetro que se considere: la respuesta está en que la calidad no refleja la dimensión de la pieza de manera exacta, puesto que la tolerancia que admite podría quedar demasiado por encima o por debajo de la medida nominal (de la “línea de referencia” comentada anteriormente). De hecho, la calidad únicamente refleja la amplitud de la tolerancia, mientras que la posición indica su posición respecto de la línea de referencia establecida (según el diámetro nominal, como veremos en su momento).

El sistema internacional ha fijado un total de 27 posiciones para las tolerancias, que quedan definidas por letras del alfabeto o combinaciones de éstas. Se colocan entre el valor de la medida nominal y el de la calidad. Cuando se trata de agujeros (medidas interiores), las letras son mayúsculas; si se trata de ejes (medidas exteriores), las letras son minúsculas; de este modo, la identificación resulta muy rápida e intuitiva.

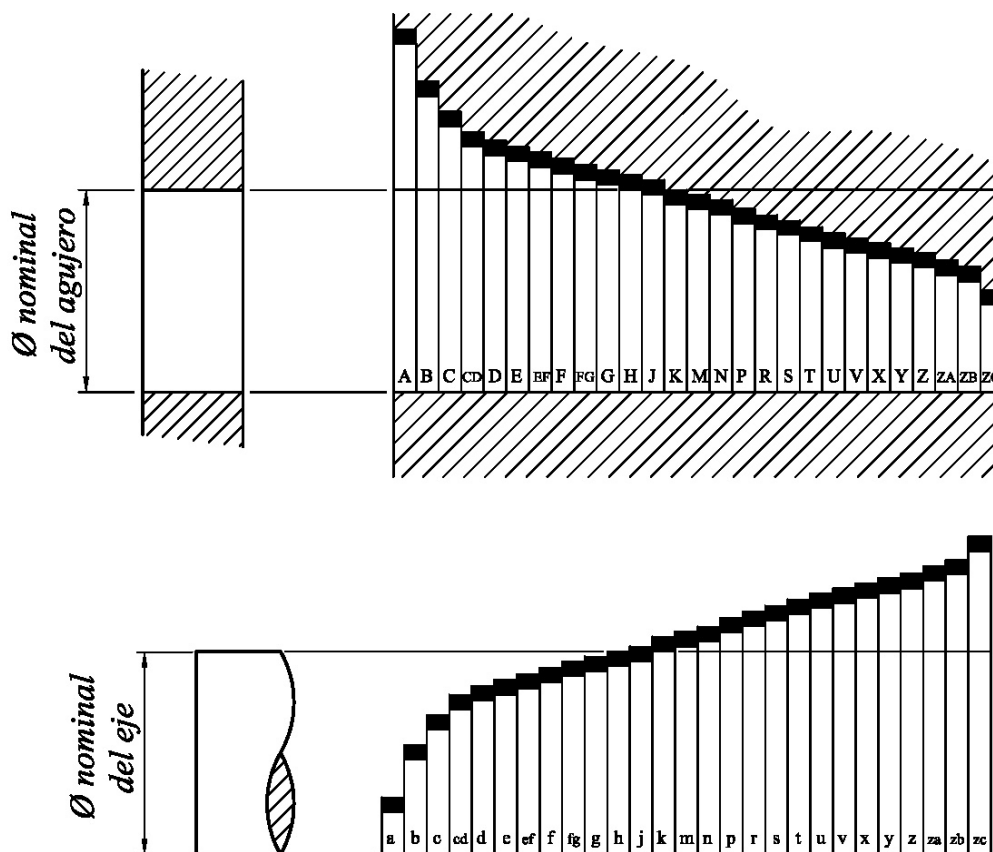


Figura A.8. Posiciones según norma ISO.

A continuación, analizaremos de forma rápida el significado de los términos que aparecen con este sencillo ejemplo:

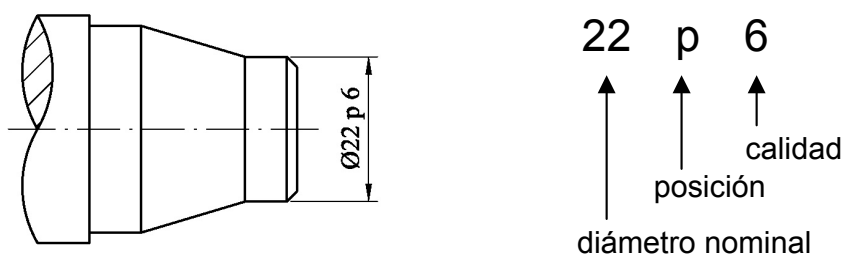


Figura A.9. Ejemplo de indicaciones de posición y calidad.



La acotación 20p6 indicará un eje de 20 mm. de diámetro, posición “p” y calidad IT6. Además, observando la tabla anterior, podrá comprobar que la indicación “p” sugiere un eje con una medida “real” superior ligeramente a los 20 mm. nominales.

Analizando la tabla anteriormente reseñada, obtendremos una serie de conclusiones que pasamos a enumerar a continuación.

Para ejes o medidas exteriores

Las conclusiones que pueden extraerse para ejes o medidas exteriores se sintetizan en los siguientes puntos:

- Cuando se designe cualquier letra entre la “a” y la “g”, la medida real siempre será menor que la medida nominal (la medida indicada en el plano).
- Cuando se designe cualquier letra entre la “m” y la “zc”, la medida real siempre será mayor que la medida nominal.
- La letra “h” es de especial importancia, como veremos más adelante; de la zona de tolerancia que abarca, el valor superior siempre es cero, por lo que en tal caso coincidirá con la medida nominal. Además, el valor inferior coincidirá numéricamente con el valor de la correspondiente calidad IT elegida.
- La letra “k” es de interpretación variable: entre las calidades IT4 a IT7, la zona de tolerancia se sitúa siempre por encima de la línea de referencia, pero con calidades superiores inferiores o superiores, el valor inferior es cero.
- La letra “j” indica que los límites de la zona de tolerancia quedan fijados entre la línea de referencia; la letra “js” indica que dicha línea atraviesa la zona de tolerancia por la mitad.

Para agujeros o medidas interiores

Las conclusiones que pueden extraerse para agujeros o medidas interiores se sintetizan en los siguientes puntos:

- Cuando se designe cualquier letra entre la “A” y la “G”, la medida real siempre será mayor que la medida nominal –la indicada en el plano-.
- Cuando se designe cualquier letra entre la “P” y la “ZC”, la medida real siempre será menor que la medida nominal.
- La letra “H” también resulta de especial importancia; de la zona de tolerancia que abarca, el valor inferior siempre es cero, por lo que en tal caso coincidirá con la medida nominal.
- Las letras “K”, “M” y “N” son de interpretación variable, según la calidad con la que se trabaje.
- Las letras “J” y “JS” indican que los límites de la zona de tolerancia quedan fijados entre la línea de referencia.

A.1.2.3. Sistema de eje único y sistema de agujero único

Como puede deducirse fácilmente, las posibilidades a la hora de escoger un ajuste son enormes. Pero también es evidente que una situación tan anárquica conllevaría un encarecimiento general, debido a problemas como mayores costes de fabricación, dificultades de entendimiento, necesidad de mayor número de calibres y patrones de medida, etc.

Para evitar estos inconvenientes, el sistema internacional ISO reduce en gran medida el número de los ajustes recomendados, con el establecimiento de dos sistemas de ajuste: el sistema de “eje único” o “eje base”, y el sistema de “agujero único o agujero base”.

Sistema de “eje único” o “eje base”

En este sistema, siempre se toma el eje como referencia para establecer el ajuste y la letra “h” para su tolerancia, por lo que la medida máxima del eje coincide con la medida nominal (la diferencia superior es cero). Por consiguiente, el establecimiento de un juego o de un apriete, se determinará según la posición que se escoja para el agujero.

Como puede comprobarse en el gráfico, para obtener un ajuste con juego (un ajuste móvil), debe combinarse el eje “h” con un agujero entre “A” y “H”.

Resulta evidente que el eje entrará con mayor facilidad en un agujero “A” (cualesquiera que sean sus dimensiones máxima y mínima admitidas), que en un agujero “E”, por ejemplo. O dicho de otra forma, el ajuste “eje h / agujero A” del ejemplo tiene mayor juego que el ajuste “eje h / agujero E”.

Ajuste móvil	eje h + agujero A, B, C, CD, E, EF, F, FG, G o H.
Ajuste fijo	eje h + agujero P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB o ZC.
Ajuste indeterminado	eje h + agujero J, K, M o N.

La denominación de los ajustes con el sistema de eje único se realiza del modo siguiente:

- Indicación de la medida nominal del eje y agujero.
- Indicación de la tolerancia del agujero y su calidad.
- Indicación de la tolerancia del eje (siempre con la letra h) y su calidad.+

Ejemplo: ajuste **50 F7 h8** (en el sistema de eje único).

Donde:

50	medida nominal de 50 milímetros.
F7	posición "F" y calidad 7 para el agujero.
h8	posición "h" y calidad 8 para el eje.

Sistema de "agujero único" o "agujero base":

Para este otro sistema, siempre se toma el agujero como referencia para establecer el ajuste y la letra "H" para su tolerancia, por lo que la medida mínima del agujero coincide con la medida nominal (la diferencia inferior es cero). El establecimiento de un juego o de un apriete, se determinará según la posición que se escoja para el eje.

En el gráfico puede comprobarse que para obtener un ajuste con juego (un ajuste móvil), debe combinarse el agujero "H" con un eje entre "a" y "h".

Por consiguiente, también en este sistema un eje "a" entrará con mayor facilidad en un agujero "H" (cualesquiera que sean sus dimensiones máxima y mínima admitidas), que en un eje "e", por ejemplo, que es lo mismo que decir que el ajuste "agujero H / eje a" presenta mayor juego que el ajuste "agujero H / eje e".

Ajuste móvil	agujero H + eje a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g o h.
Ajuste fijo	agujero H + eje p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb o zc.
Ajuste indeterminado	agujero H + eje j, k, m o n.

La denominación de los ajustes con el sistema de eje único se realiza con el mismo criterio que en el sistema de eje único:

- Indicación de la medida nominal del eje y agujero.
- Indicación de la tolerancia del agujero (con la letra H) y su calidad.
- Indicación de la tolerancia del eje y su calidad.

Ejemplo: ajuste **50 H7 p6** (en el sistema de agujero único).

Donde:

50	Medida nominal de 50 milímetros.
H7	Posición "H" y calidad 7 para el agujero.
p6	Posición "p" y calidad 6 para el eje.

A.1.2.4. Ajustes ISO recomendados

En líneas generales, el sistema de agujero único resulta más económico al tener que mecanizarse formas exteriores y es muy utilizado en construcción aeronáutica, ferroviaria, naval y automoción, así como de máquina-herramienta. El sistema de eje único es utilizado en mecánica de precisión en general, así como en motores eléctricos y órganos de transmisión de movimiento.

También es evidente que en numerosos casos, el propio número de elementos integrantes de un determinado conjunto, puede resultar determinante para la elección de uno u otro sistema. Por ejemplo, las tolerancias para un eje de una máquina sobre el que vayan a acoplarse una serie de elementos (como pueden ser cojinetes de apoyo, engranajes postizos, chavetas, anillos, etc., que harán la función de “agujero”) deben plantearse desde el sistema de eje único, e ir adaptando las tolerancias dimensiones de cada uno de los diámetros del eje a las funciones del elemento con el que interaccionarán.

Ajustes ISO recomendados				
Tipo de ajuste	Agujero único		Eje único	
	Agujero con eje		Eje con agujero	
Móvil	H6	g5 h5	h6	G6 H6
Fijo		p5 r5 s5 t5 u5		P6 R6 S6 T6 U6
Indeterminado		j6 j5 k6 k5 m5 n5		J6 K6 M6 N6
Móvil	H7	f7 f6 g6 h6	h6	F8 F7 G7 H7
Fijo		p6 r6 s6 t6 u6 x6 z6 za6		P7 R7 S7 T7 U7 X7 Z7 ZA7
Indeterminado		j6 k6 m6 n6		J7 K7 M7 N7

Ajustes ISO recomendados				
Tipo de ajuste	Agujero único		Eje único	
	Agujero con eje		Eje con agujero	
Móvil	H8	d9 e8 f7 h8 h9	h9	C11 D10 E9 F8 H11 H8
Móvil	H11	a11 b12 b11 c11 d11 d9 h11 h9	h11	A11 B12 B11 C11 D11 D10 D9 H11 H9
Fijo		x11 z11 za11 zb11 zc11		X11 Z11 ZA11 ZB11 ZC11

Figura A.10. Ajustes ISO recomendados.

No cabe duda de que los sistemas de eje único y agujero único simplifican y abaratan sensiblemente los procesos tanto productivos como de verificación, pero aun así ha de observarse que las diferentes posibilidades de combinación resultarían demasiado numerosas.

Es precisamente por este motivo por el que el sistema internacional ISO recomienda unos ajustes que cubren casi todas las necesidades generales, y que son los que se describen en la tabla adjunta.

Por lo tanto, siempre que resulte posible se procurará acudir por defecto a esta serie de combinaciones.

No obstante, en la tabla siguiente incluimos una tabla en la que pueden observarse una serie de ajustes recomendados en función de la aplicación industrial para la que se destine:

Asiento	Ajuste	Forma de montaje	Uso
Forzado con prensa	H7 - U8	Con prensa y con temperaturas diferentes	Para elementos fijos con apriete muy fuerte. Desmontaje posible sólo eliminando uno de los elementos del conjunto.
Forzado con prensa	H7 - r6	Con prensa o martillo, y con temperaturas diferentes	Para ajustes no desmontables y transmisión de esfuerzos sin uso de chavetas.
Forzado con prensa	H7 - n6	Con prensa	Para elementos fijos montados a gran presión, sin rotación o movimientos axiales.
De deslizamiento	H7 - n6	Deslizamiento a mano	Como H6 - h5 pero para cargas menor precisión y mayor base.
De deslizamiento	H8 - h9	Deslizamiento a mano	Para deslizamiento axial, lubricado, base grande y poca precisión.
Libre	H7 - f7	A mano o libre	Para ajuste giratorio con bajas cargas a soportar y centrado mínimo.
Libre	H8 - h6	A mano	Para ajuste con cierta movilidad entre elementos pero sin juego apreciable.
Libre	H8 - f7	A mano	Idem anterior pero para menores precisiones.
Libre	F8 - h9	A mano	Elementos móviles con juego medio.
Libre	E9 - h9	A mano	Elementos móviles con juego medio.
Libre y amplio	D10 - h9	A mano	Elementos móviles con juego elevado.
Libre y muy amplio	C11 - h9	A mano	Elementos móviles con juego muy elevado y elementos libres

Figura A.11. Ajustes recomendados, según aplicación.

A modo de ejemplo, incluimos también a continuación unas tablas con los ajustes recomendados según la norma DIN, tanto para el sistema de eje único (DIN 7155) como para agujero único (DIN 7154).

Medidas nominales en mm	Ajustes ISO para agujero único Zonas de tolerancias en micras																				DIN 7154 hoja 1
	H8	h8	H7	h7	H6	h6	H5	h5	H4	h4	H3	h3	H2	h2	H1	h1	FT	FB	FA	FD	
Zona de tolerancia representada para medida nominal de 60 mm.																					
Medidas interiores (agujero)																					
Zona no visible para (agujero)																					
Medidas Exteriores																					
Medidas de 60 mm.																					
+400	+400	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+300	+300	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+200	+200	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
+100	+100	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
-200	-200	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
-300	-300	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
-400	-400	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
Zona de tolerancia	H8	h8	H7	h7	H6	h6	H5	h5	H4	h4	H3	h3	H2	h2	H1	h1	FT	FB	FA	FD	
hasta 3	+0	+18	+12	+10	+12	+12	+10	+12	+10	+12	+10	+12	+10	+12	+10	+12	+10	+12	+10	+12	
hasta 6	+8	+28	+20	+17	+19	+20	+17	+19	+20	+17	+19	+20	+17	+19	+20	+17	+19	+20	+17	+19	
hasta 10	+18	+38	+28	+24	+26	+28	+24	+26	+28	+24	+26	+28	+24	+26	+28	+24	+26	+28	+24	+26	
hasta 15	+28	+48	+38	+33	+35	+38	+33	+35	+38	+33	+35	+38	+33	+35	+38	+33	+35	+38	+33	+35	
hasta 20	+38	+58	+48	+42	+44	+48	+42	+44	+48	+42	+44	+48	+42	+44	+48	+42	+44	+48	+42	+44	
hasta 30	+48	+68	+58	+51	+53	+58	+51	+53	+58	+51	+53	+58	+51	+53	+58	+51	+53	+58	+51	+53	
hasta 40	+58	+78	+68	+60	+62	+68	+60	+62	+68	+60	+62	+68	+60	+62	+68	+60	+62	+68	+60	+62	
hasta 50	+68	+88	+78	+69	+71	+78	+69	+71	+78	+69	+71	+78	+69	+71	+78	+69	+71	+78	+69	+71	
hasta 60	+78	+98	+88	+79	+81	+88	+79	+81	+88	+79	+81	+88	+79	+81	+88	+79	+81	+88	+79	+81	
hasta 70	+88	+108	+98	+89	+91	+98	+89	+91	+98	+89	+91	+98	+89	+91	+98	+89	+91	+98	+89	+91	
hasta 80	+98	+118	+108	+99	+101	+108	+99	+101	+108	+99	+101	+108	+99	+101	+108	+99	+101	+108	+99	+101	
hasta 90	+108	+128	+118	+109	+111	+118	+109	+111	+118	+109	+111	+118	+109	+111	+118	+109	+111	+118	+109	+111	
hasta 100	+118	+138	+128	+119	+121	+128	+119	+121	+128	+119	+121	+128	+119	+121	+128	+119	+121	+128	+119	+121	
hasta 120	+138	+158	+148	+139	+141	+148	+139	+141	+148	+139	+141	+148	+139	+141	+148	+139	+141	+148	+139	+141	
hasta 140	+158	+178	+168	+159	+161	+168	+159	+161	+168	+159	+161	+168	+159	+161	+168	+159	+161	+168	+159	+161	
hasta 160	+178	+198	+188	+179	+181	+188	+179	+181	+188	+179	+181	+188	+179	+181	+188	+179	+181	+188	+179	+181	
hasta 180	+198	+218	+208	+199	+201	+208	+199	+201	+208	+199	+201	+208	+199	+201	+208	+199	+201	+208	+199	+201	
hasta 200	+218	+238	+228	+219	+221	+228	+219	+221	+228	+219	+221	+228	+219	+221	+228	+219	+221	+228	+219	+221	
hasta 250	+268	+288	+278	+269	+271	+278	+269	+271	+278	+269	+271	+278	+269	+271	+278	+269	+271	+278	+269	+271	
hasta 280	+318	+338	+328	+319	+321	+328	+319	+321	+328	+319	+321	+328	+319	+321	+328	+319	+321	+328	+319	+321	
hasta 315	+368	+388	+378	+369	+371	+378	+369	+371	+378	+369	+371	+378	+369	+371	+378	+369	+371	+378	+369	+371	
hasta 355	+418	+438	+428	+419	+421	+428	+419	+421	+428	+419	+421	+428	+419	+421	+428	+419	+421	+428	+419	+421	
hasta 400	+468	+488	+478	+469	+471	+478	+469	+471	+478	+469	+471	+478	+469	+471	+478	+469	+471	+478	+469	+471	
hasta 450	+518	+538	+528	+519	+521	+528	+519	+521	+528	+519	+521	+528	+519	+521	+528	+519	+521	+528	+519	+521	
hasta 500	+568	+588	+578	+569	+571	+578	+569	+571	+578	+569	+571	+578	+569	+571	+578	+569	+571	+578	+569	+571	

Table with columns for 'Medidas nominales en mm' (H8, h8, etc.) and 'Zona de tolerancias' (+0.008 to -0.008). It includes a legend for 'Zona de tolerancias recomendadas para medida nominal de 60 mm' and 'Zona de tolerancias recomendadas para medida nominal de 60 mm'.

Zonas de tolerancias representadas para una medida nominal de 60 mm.

Zona no sujeta para medida de 60 mm.

Medidas Exteriores (φ)

Medidas Interiores (h)

Zona de tolerancia

Ajustes ISO para eje único

Zonas de tolerancias en micras

DIN 7155
hoja 1

Medidas nominales en mm	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	h19	h20	h21	h22	h23	h24	h25	h26	h27	h28	h29	h30	h31	h32	h33	h34	h35	h36	h37	h38	h39	h40	h41	h42	h43	h44	h45	h46	h47	h48	h49	h50	h51	h52	h53	h54	h55	h56	h57	h58	h59	h60	h61	h62	h63	h64	h65	h66	h67	h68	h69	h70	h71	h72	h73	h74	h75	h76	h77	h78	h79	h80	h81	h82	h83	h84	h85	h86	h87	h88	h89	h90	h91	h92	h93	h94	h95	h96	h97	h98	h99	h100	h101	h102	h103	h104	h105	h106	h107	h108	h109	h110	h111	h112	h113	h114	h115	h116	h117	h118	h119	h120	h121	h122	h123	h124	h125	h126	h127	h128	h129	h130	h131	h132	h133	h134	h135	h136	h137	h138	h139	h140	h141	h142	h143	h144	h145	h146	h147	h148	h149	h150	h151	h152	h153	h154	h155	h156	h157	h158	h159	h160	h161	h162	h163	h164	h165	h166	h167	h168	h169	h170	h171	h172	h173	h174	h175	h176	h177	h178	h179	h180	h181	h182	h183	h184	h185	h186	h187	h188	h189	h190	h191	h192	h193	h194	h195	h196	h197	h198	h199	h200	h201	h202	h203	h204	h205	h206	h207	h208	h209	h210	h211	h212	h213	h214	h215	h216	h217	h218	h219	h220	h221	h222	h223	h224	h225	h226	h227	h228	h229	h230	h231	h232	h233	h234	h235	h236	h237	h238	h239	h240	h241	h242	h243	h244	h245	h246	h247	h248	h249	h250	h251	h252	h253	h254	h255	h256	h257	h258	h259	h260	h261	h262	h263	h264	h265	h266	h267	h268	h269	h270	h271	h272	h273	h274	h275	h276	h277	h278	h279	h280	h281	h282	h283	h284	h285	h286	h287	h288	h289	h290	h291	h292	h293	h294	h295	h296	h297	h298	h299	h300	h301	h302	h303	h304	h305	h306	h307	h308	h309	h310	h311	h312	h313	h314	h315	h316	h317	h318	h319	h320	h321	h322	h323	h324	h325	h326	h327	h328	h329	h330	h331	h332	h333	h334	h335	h336	h337	h338	h339	h340	h341	h342	h343	h344	h345	h346	h347	h348	h349	h350	h351	h352	h353	h354	h355	h356	h357	h358	h359	h360	h361	h362	h363	h364	h365	h366	h367	h368	h369	h370	h371	h372	h373	h374	h375	h376	h377	h378	h379	h380	h381	h382	h383	h384	h385	h386	h387	h388	h389	h390	h391	h392	h393	h394	h395	h396	h397	h398	h399	h400	h401	h402	h403	h404	h405	h406	h407	h408	h409	h410	h411	h412	h413	h414	h415	h416	h417	h418	h419	h420	h421	h422	h423	h424	h425	h426	h427	h428	h429	h430	h431	h432	h433	h434	h435	h436	h437	h438	h439	h440	h441	h442	h443	h444	h445	h446	h447	h448	h449	h450	h451	h452	h453	h454	h455	h456	h457	h458	h459	h460	h461	h462	h463	h464	h465	h466	h467	h468	h469	h470	h471	h472	h473	h474	h475	h476	h477	h478	h479	h480	h481	h482	h483	h484	h485	h486	h487	h488	h489	h490	h491	h492	h493	h494	h495	h496	h497	h498	h499	h500	h501	h502	h503	h504	h505	h506	h507	h508	h509	h510	h511	h512	h513	h514	h515	h516	h517	h518	h519	h520	h521	h522	h523	h524	h525	h526	h527	h528	h529	h530	h531	h532	h533	h534	h535	h536	h537	h538	h539	h540	h541	h542	h543	h544	h545	h546	h547	h548	h549	h550	h551	h552	h553	h554	h555	h556	h557	h558	h559	h560	h561	h562	h563	h564	h565	h566	h567	h568	h569	h570	h571	h572	h573	h574	h575	h576	h577	h578	h579	h580	h581	h582	h583	h584	h585	h586	h587	h588	h589	h590	h591	h592	h593	h594	h595	h596	h597	h598	h599	h600	h601	h602	h603	h604	h605	h606	h607	h608	h609	h610	h611	h612	h613	h614	h615	h616	h617	h618	h619	h620	h621	h622	h623	h624	h625	h626	h627	h628	h629	h630	h631	h632	h633	h634	h635	h636	h637	h638	h639	h640	h641	h642	h643	h644	h645	h646	h647	h648	h649	h650	h651	h652	h653	h654	h655	h656	h657	h658	h659	h660	h661	h662	h663	h664	h665	h666	h667	h668	h669	h670	h671	h672	h673	h674	h675	h676	h677	h678	h679	h680	h681	h682	h683	h684	h685	h686	h687	h688	h689	h690	h691	h692	h693	h694	h695	h696	h697	h698	h699	h700	h701	h702	h703	h704	h705	h706	h707	h708	h709	h710	h711	h712	h713	h714	h715	h716	h717	h718	h719	h720	h721	h722	h723	h724	h725	h726	h727	h728	h729	h730	h731	h732	h733	h734	h735	h736	h737	h738	h739	h740	h741	h742	h743	h744	h745	h746	h747	h748	h749	h750	h751	h752	h753	h754	h755	h756	h757	h758	h759	h760	h761	h762	h763	h764	h765	h766	h767	h768	h769	h770	h771	h772	h773	h774	h775	h776	h777	h778	h779	h780	h781	h782	h783	h784	h785	h786	h787	h788	h789	h790	h791	h792	h793	h794	h795	h796	h797	h798	h799	h800	h801	h802	h803	h804	h805	h806	h807	h808	h809	h810	h811	h812	h813	h814	h815	h816	h817	h818	h819	h820	h821	h822	h823	h824	h825	h826	h827	h828	h829	h830	h831	h832	h833	h834	h835	h836	h837	h838	h839	h840	h841	h842	h843	h844	h845	h846	h847	h848	h849	h850	h851	h852	h853	h854	h855	h856	h857	h858	h859	h860	h861	h862	h863	h864	h865	h866	h867	h868	h869	h870	h871	h872	h873	h874	h875	h876	h877	h878	h879	h880	h881	h882	h883	h884	h885	h886	h887	h888	h889	h890	h891	h892	h893	h894	h895	h896	h897	h898	h899	h900	h901	h902	h903	h904	h905	h906	h907	h908	h909	h910	h911	h912	h913	h914	h915	h916	h917	h918	h919	h920	h921	h922	h923	h924	h925	h926	h927	h928	h929	h930	h931	h932	h933	h934	h935	h936	h937	h938	h939	h940	h941	h942	h943	h944	h945	h946	h947	h948	h949	h950	h951	h952	h953	h954	h955	h956	h957	h958	h959	h960	h961	h962	h963	h964	h965	h966	h967	h968	h969	h970	h971	h972	h973	h974	h975	h976	h977	h978	h979	h980	h981	h982	h983	h984	h985	h986	h987	h988	h989	h990	h991	h992	h993	h994	h995	h996	h997	h998	h999	h1000
-------------------------	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

A.1.3. Tolerancias geométricas

En los apartados anteriores nos centrábamos en una indicación correcta de los límites establecidos para la medida de la pieza. También adelantábamos que conseguir una pieza “perfecta” en cuanto a forma y medida era literalmente imposible, por las limitaciones inherentes a los propios procesos de fabricación.

En este nuevo apartado veremos como se establecen unos límites no sólo para las medidas de la pieza, sino también para su geometría. Por ejemplo, dos laterales de una pieza enfrentados a 90° pueden haber sido mecanizadas con las medidas correctas, pero puede que no posean la perpendicularidad requerida.

Al igual que con las tolerancias dimensionales, el objetivo perseguido es conseguir la intercambiabilidad de cualquier pieza, sin detrimento de sus funciones. Además, se presta una especial atención a la verificación y control de aquellas partes de la pieza que sean relevantes en el funcionamiento de la pieza o el conjunto en la que esté integrada.

Por el momento, señalaremos que las tolerancias geométricas se dividen en “tolerancias geométricas” y “tolerancias de forma”, y que describiremos por separado.

A.1.3.1. Tolerancias geométricas de forma

Las tolerancias de forma trabajan con una zona de tolerancia en la que debe quedar “atrapada” la línea o la superficie considerada.

En estos casos, puede observarse que se analizan dichos elementos por separado, mientras que en las tolerancias de posición veremos como surge la necesidad de tomar otro elemento como referencia.

Por este motivo, las indicaciones se limitan a un determinado símbolo, junto con el valor numérico que especifica los valores entre los que se permite oscilar (en milímetros).

Vamos a ver la tolerancia geométrica de forma sobre:

- Rectitud.
- Planitud.
- Circularidad.
- Cilindricidad.
- Exactitud de perfil.
- Exactitud de superficie.

Rectitud

La “rectitud” determina la calidad de una línea recta, en cuanto establece una desviación máxima respecto a lo que sería una recta perfecta.

Debe prestarse especial atención al hecho de que la zona de tolerancia se representa mediante un hipotético cilindro; el valor del diámetro coincide con el valor de la zona de tolerancia, y el eje del cilindro con la recta ideal.

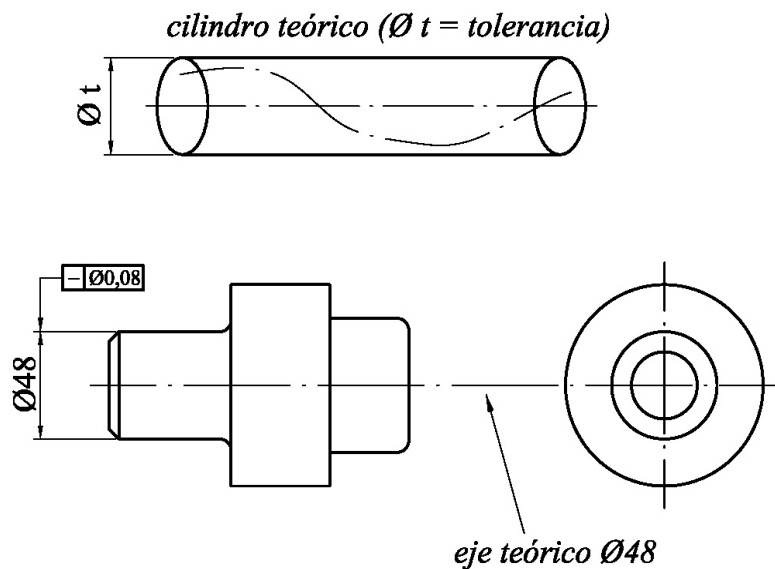


Figura A.12. Rectitud.

Planitud

El concepto de “planitud” es similar al de rectitud, pero en esta ocasión afecta a una superficie y no a una línea recta únicamente. La zona de la tolerancia admitida es la abarcada entre dos planos ficticios, paralelos entre sí; la distancia especificada en la anotación es la de separación entre dichos planos.

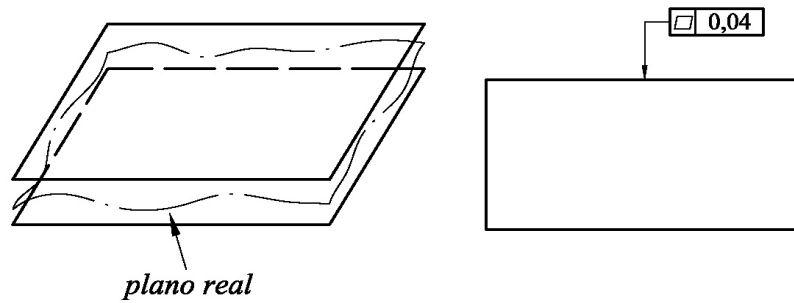


Figura A.13. Planitud.

Circularidad

La “circularidad” define la calidad de una circunferencia, estableciendo una desviación máxima respecto a lo que sería una circunferencia perfecta. Este concepto determina la forma que adquiere la circunferencia, no si queda o no descentrada.

La zona de tolerancia se determina por medio de dos circunferencias concéntricas perfectas, separadas por una distancia que equivale a la diferencia entre los radios de ambas (valor máximo de desviación admitido).

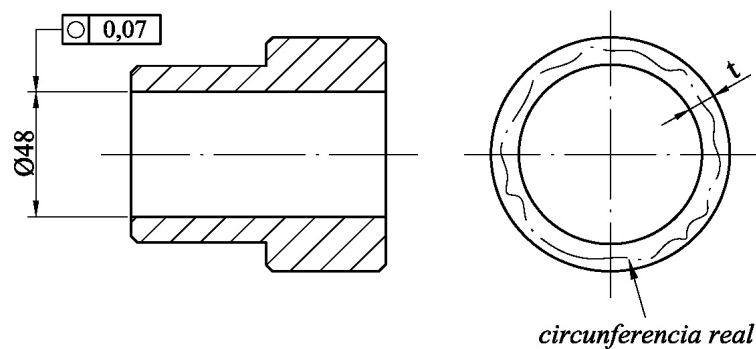


Figura A.14. Circularidad.

Cilindricidad

En esta ocasión la “cilindricidad” determina la calidad de la superficie cilíndrica real respecto de una superficie cilíndrica perfecta.

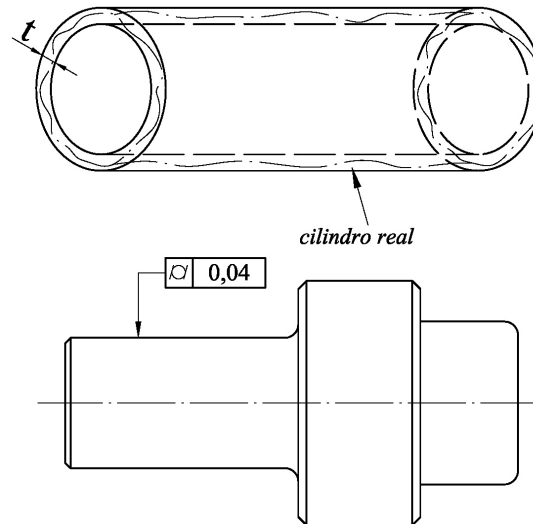


Figura A.15. Cilindricidad.

La zona de tolerancia se define por dos cilindros hipotéticos separados por la distancia señalada. Lógicamente, el cilindro real sólo se considerará válido si queda “atrapado” entre aquellos.

Exactitud de perfil

La “exactitud de perfil” sirve para determinar si un perfil cualquiera de una pieza se aproxima lo suficiente al perfil teórico que se deseaba fabricar.

El perfil deseado sirve como eje de lo que es el cilindro teórico que imaginamos para poder alojar en su interior el perfil real de la pieza y considerarlo válido. El diámetro de dicho cilindro queda determinado por el valor numérico señalado en el plano.

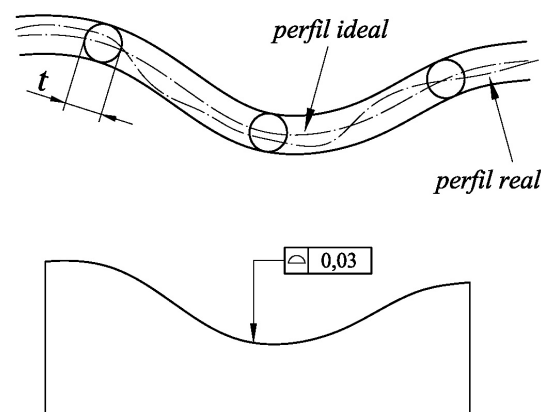


Figura A.16. Exactitud de perfil.

Exactitud de superficie

La “exactitud de superficie” determina la calidad de la superficie real obtenida, que debe quedar “atrapada” entre dos hipotéticos planos paralelos, separados por la distancia especificada en el plano.

Como es lógico, todos y cada uno de los puntos de la superficie analizada deben quedar entre ambos planos para que pueda darse por válida.

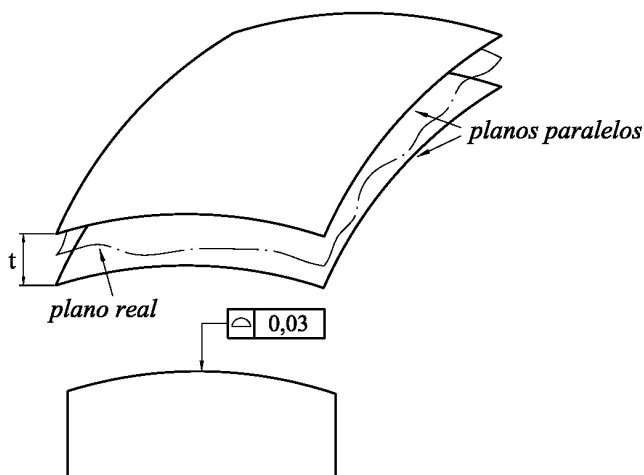


Figura A.17. Exactitud de superficie.

Resumen simbología para tolerancias de forma

A continuación vamos a resumir la simbología utilizada, acompañándose en cada caso de un ejemplo concreto, a fin de que pueda servir como guía de consulta rápida para el alumno.

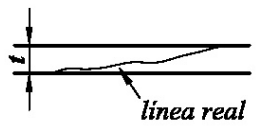
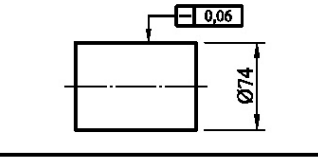
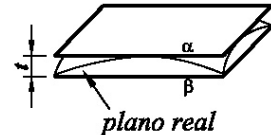
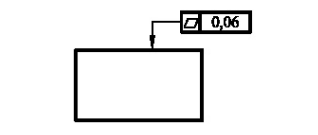

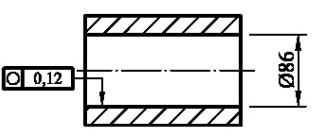

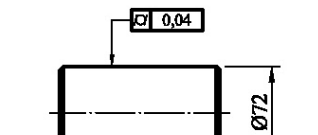
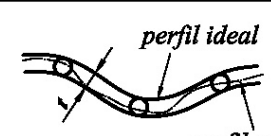
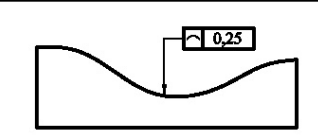

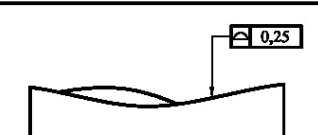
	Representación de zona de tolerancia	Representación sobre el plano (ejemplo)
<p>Rectitud de una línea: Zona de tolerancia limitada por dos rectas paralelas separadas una distancia t (tolerancia)</p>		
<p>Planitud de un plano: Zona de tolerancia t limitada por los planos ficticios α y β, paralelos a una distancia t.</p>		
<p>Redondez de una línea: Zona de tolerancia t, limitada por los círculos ficticios concéntricos, separados una distancia t.</p>		
<p>Cilindricidad de un cilindro: La superficie del cilindro debe quedar entre dos cilindros ficticios separados una distancia t (tolerancia)</p>		
<p>Perfil cualquier línea: Zona de tolerancia t limitada por un cilindro ficticio, cuyo eje coincide con la línea ideal.</p>		
<p>Superficie cualquiera: La superficie debe quedar entre dos superficies ficticias separadas por esferas ficticias de diámetro t (tolerancia), cuyos centros se sitúan en la superficie teórica</p>		

Figura A.18. Resumen simbología para tolerancias de forma.

A.1.3.2. Tolerancias geométricas de posición

Como comentamos en el anterior capítulo, las tolerancias de posición precisan de una referencia externa ideal para poder determinar su ubicación con precisión.

Por consiguiente, esto se traduce en la aparición de una simbología específica sobre el elemento analizado y también sobre el que se toma como referencia; debe prestarse una especial atención a la ubicación sobre el plano de dichos elementos, ya que no tendrán ningún significado si se consideran aisladamente.

Normalmente se utilizan máquinas de alta precisión para la verificación de tales parámetros, tomando como referencia una serie de líneas, superficies o piezas elaboradas con suma precisión para tal fin.

A continuación se muestran las tolerancias geométricas de posición de forma detallada:

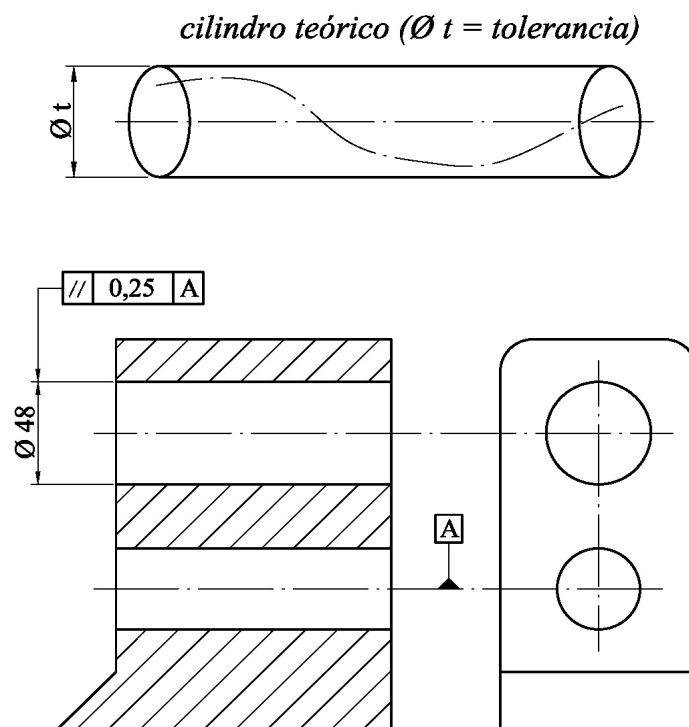
- Paralelismo
- Perpendicularidad
- Inclinación
- Posición
- Concentricidad
- Coaxialidad
- Simetría

Paralelismo

En primer lugar ha de recordarse que debe distinguirse entre el “paralelismo respecto de una recta” y el “paralelismo respecto de un plano”.

El “paralelismo respecto de una recta” determina la calidad del paralelismo alcanzado entre una línea recta, y la línea recta que se toma como referencia.

Para determinarlo, se genera un hipotético cilindro cuyo eje debe resultar paralelo a la línea que se toma como referencia; la línea recta analizada debe quedar comprendida en dicho cilindro, cuyo diámetro se corresponde con la tolerancia admitida.



Por otra parte, el “paralelismo respecto de un plano” servirá para determinar la calidad del paralelismo alcanzado entre un plano y aquél que se toma como referencia. Para determinarlo, se generan dos hipotético planos, paralelos al plano que se toma como referencia; el plano real analizado debe quedar comprendido entre ambos, separados por la distancia que se especifique en el plano.

Perpendicularidad

La “perpendicularidad de una recta respecto de una recta o de un plano” o la “perpendicularidad de un plano respecto de un plano” determinan la calidad de la perpendicularidad alcanzada entre una recta o un plano y aquél que se toma como referencia.

Para determinarlo, se siguen los mismos procedimientos descritos en el apartado referente al paralelismo.

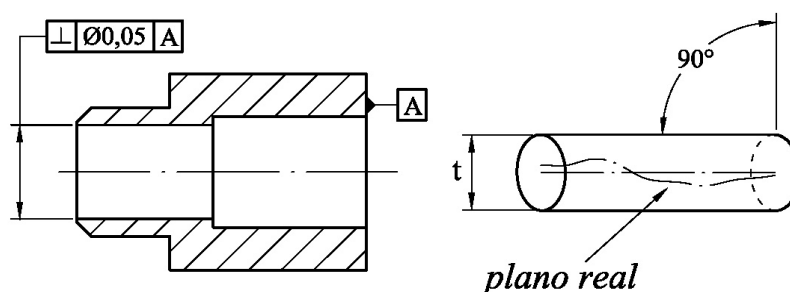


Figura A.19. Perpendicularidad de una recta respecto de un plano

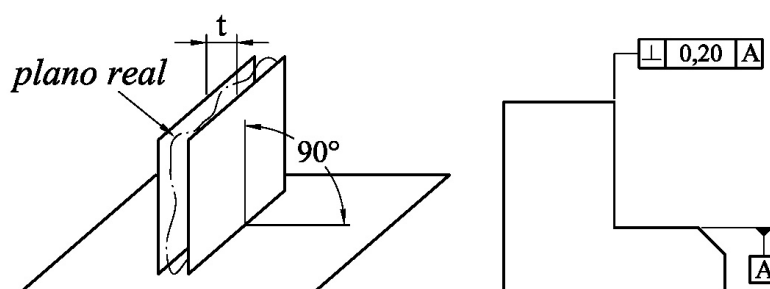


Figura A.20. Perpendicularidad de un plano respecto a otro plano.

Inclinación

La “inclinación de una recta respecto a una recta o de un plano” o la “inclinación de un plano respecto a un plano” determinan la calidad de la inclinación alcanzada entre una recta o un plano y aquél que se toma como referencia.

Para determinarlo, se siguen igualmente los mismos procedimientos descritos en el apartado referente al paralelismo.

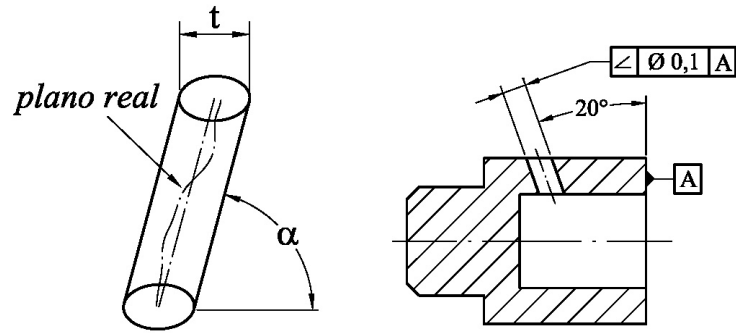


Figura A.21. Inclínación de una recta respecto de un plano.

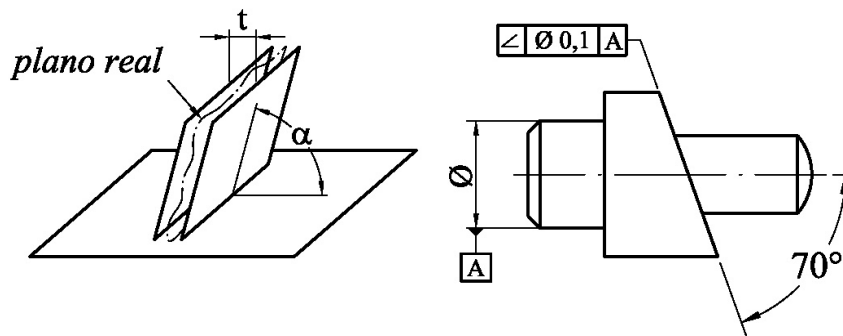


Figura A.22. Inclínación de un plano respecto a otro plano.

Posición

La “posición” determina la exactitud en el posicionamiento de un punto en el plano o en el espacio.

Para ello se genera un círculo ficticio, cuyo centro coincide con el punto teórico que se está analizando, y coincidiendo el diámetro con la zona de tolerancia admitida. Si el punto real se halla alojado en el interior de dicho círculo, la posición alcanzada puede considerarse válida.

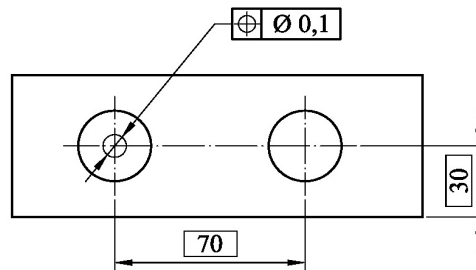


Figura A.23. Posición.

Concentricidad

Similar al concepto anterior, la “concentricidad” hace referencia a la calidad del posicionamiento del centro de una circunferencia respecto de la posición ideal.

Se genera un círculo ficticio cuyo centro coincide con el centro de la circunferencia ideal, equivaliendo el diámetro al valor de la zona de tolerancia admitida. Si el centro de la circunferencia real se halla alojado en el interior de dicho círculo, puede considerarse válido.

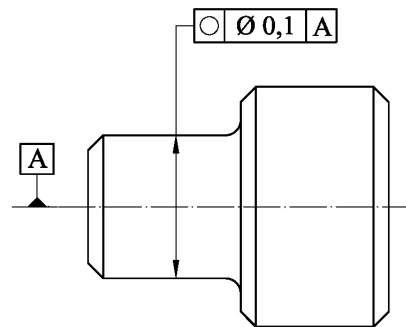


Figura A.24. Concentricidad.

Coaxialidad

La “coaxialidad” determina la aproximación entre los ejes de dos cilindros rectos, debiéndose tomar uno de ellos como referencia.

En teoría, los dos ejes deberían coincidir en uno sólo, pero en la realidad cada uno de los bloques cilíndricos analizados presentará su propio eje, desfasado en mayor o menor medida respecto de su homónimo. Para ello se genera un cilindro imaginario (con el diámetro que se indique en el plano), cuyo eje coincide con el eje del cilindro real que se toma como referencia.

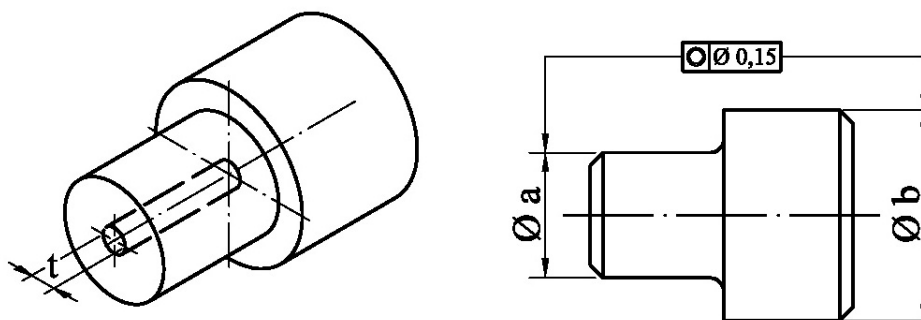
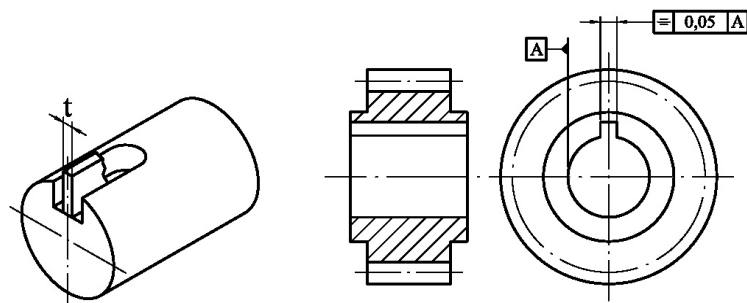


Figura A.25. Coaxialidad.

Simetría

La “simetría” es un concepto muy intuitivo, y determina la equidistancia respecto a un eje o a un plano.

Para establecer la zona de tolerancia se generan dos planos ficticios paralelos al plano ideal de simetría, y separados entre sí por la distancia marcada sobre plano. Habrá simetría si el plano de simetría real queda “atrapado” por los dos planos paralelos, es decir, si se halla dentro de la zona de tolerancia.



Nota: el dibujo escogido para el ejemplo simboliza un engranaje con una ranura interior ("chavetero"), que se explicará convenientemente en un capítulo posterior.

Figura A.26. Simetría.

Resumen simbología para tolerancias de posición

A continuación vamos a resumir la simbología utilizada, acompañándose en cada caso de un ejemplo concreto, a fin de que pueda servir como guía de consulta rápida para el alumno.

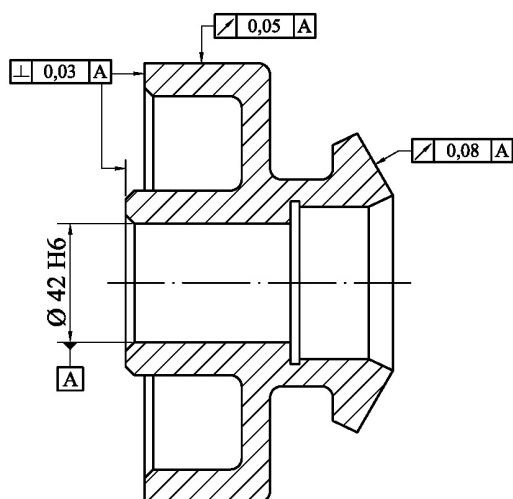
	Símbolos	Significado
Tolerancias de orientación	//	Paralelismo
	⊥	Perpendicularidad
	/	Inclinación
Tolerancias de posicionamiento	⊕	Posición
	⊙	Concentricidad
	≡	Simetría

Figura A.27. Tolerancias de orientación y posicionamiento.

Ejemplos

En los dibujos siguientes podremos observar algunas aplicaciones prácticas de los conceptos expuestos anteriormente, a modo de ejemplo.

La acotación no se ha ejecutado en su totalidad, a fin de poder centrar el dibujo explicativo en el tema que nos ocupa; no obstante, realizaremos algunos comentarios sobre la acotación realizada, para aclarar posibles dudas que pudiesen surgir al respecto.

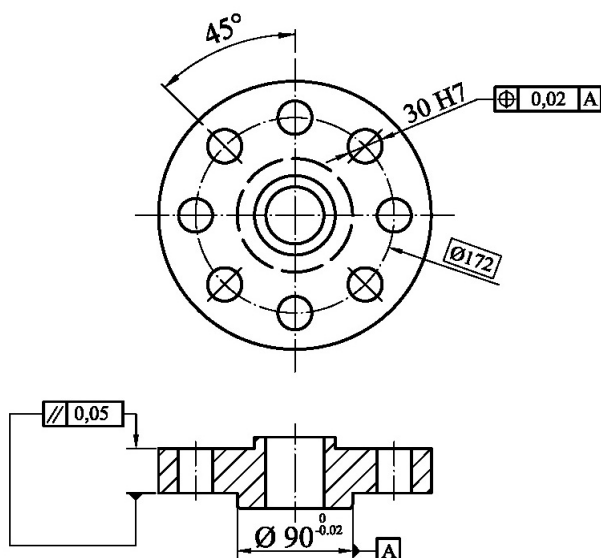


En la pieza adjunta observamos que el eje de revolución de la pieza es el elemento tomado como referencia (con la denominación "A").

Dicha indicación se coloca junto a la acotación del diámetro del agujero y la tolerancia dimensional de éste.

Puede observarse que se especifican los valores máximos admitidos para la perpendicularidad de una de las caras frontales y la inclinación de otra de las caras de la pieza.

Figura A.28. Ejemplo de aplicación con tolerancias geométricas.



Nota: el diámetro $\varnothing 172$ se recuadra para recalcar que se trata del diámetro de referencia para la posición de los agujeros de $\varnothing 30$ mm.

En la pieza siguiente observamos de nuevo que el eje de la pieza es el elemento tomado como referencia (con la denominación "A") y se acota de igual modo.

En este caso se indican los valores máximos admitidos para el paralelismo entre las dos caras (superior e inferior), así como para la posición del centro de cada uno de los taladros de menor diámetro.

Figura A.29. Ejemplo de aplicación con tolerancias geométricas.

A.1.4. Estados superficiales

Evidentemente, el estado de una superficie variará según el procedimiento por el que se haya obtenido la pieza y/o los procedimientos de mecanizado empleados.

Las diferentes superficies de una pieza pueden generarse con o sin arranque de viruta, hecho que también debe reflejarse con las indicaciones pertinentes. La función de cada una de las superficies determinará su estado superficial más conveniente, ya que, como es lógico, un mejor acabado implica un mayor esfuerzo económico y una serie de procesos de fabricación más complicados.

En líneas generales, y siempre según las pautas anteriores, puede realizarse una primera clasificación de las superficies en tres grandes grupos:

- **Superficies funcionales:** este tipo de superficies suele desplazarse o moverse con relación a otras superficies, de tal modo que pueden considerarse parte vital del conjunto-máquina. Se exige un grado de acabado alto (acabado o superacabado).

Ejemplo: superficie de rodadura de un rodamiento.

- **Superficies de apoyo:** este tipo de superficies se emplea para soportar otras partes del conjunto, por lo que suele admitirse un grado medio de acabado (desbaste medio en general).

Ejemplo: bancada de una fresadora o máquina-herramienta similar.

- **Superficies libres:** el resto de las superficies, que no tienen una función equiparable a las anteriores, no suelen someterse a procesos de mecanizado. Para que cumplan su labor, bastará con que resulten ser regulares, sin protuberancias indeseadas; los únicos procesos habituales son los procesos anticorrosivos o de conservación en general (pintado, cromado, pavonado, etc) o limpieza (granallado, soplado, etc).

Ejemplo: soportes de fundición, piezas forjadas...

Antes de pasar a estudiar la simbología empleada para especificar los diferentes tipos de acabados, vamos a hacer unos breves comentarios sobre los tipos de irregularidades de superficies, que son fundamentales para su buen entendimiento.

Del mismo que resulta imposible obtener una pieza con sus dimensiones y forma “exacta”, también lo es la obtención de una superficie perfecta (igual a la deseada). En la fabricación de la pieza se producen irregularidades no deseadas que, evidentemente, deben analizarse y controlarse para determinar si la pieza puede considerarse válida. Dichas irregularidades se clasifican en:

- **Rugosidad:** se denomina “rugosidad” al conjunto de marcas, estrías o huellas que dejan en la superficie de la pieza los procesos de mecanizado o de conformación. Se generan bien por el avance de las herramientas de corte (en mecanizado con arranque de viruta), bien por el uso de materiales abrasivos (en muelas de rectificado, chorro de arena, etc.).

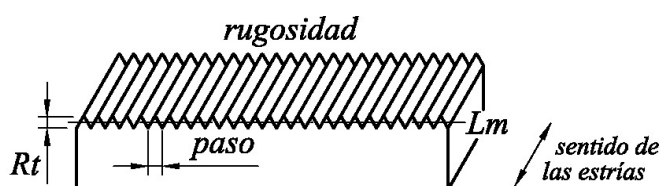


Figura A.30. Rugosidad.

Donde:

Paso	Distancia entre estrías consecutivas.
Lm	Línea imaginaria equivalente al perfil medio.
Rt	Profundidad de la estría (se denomina Ra a la media aritmética de las desviaciones respecto de Lm).

- **Ondulaciones:** se denomina “ondulaciones” al conjunto de huellas que se producen por esfuerzos no deseados durante el proceso de mecanizado, tales como flexiones en la pieza o en la máquina, vibraciones, etc. Estas huellas se generan a intervalos de longitud uniforme, y dependerá de la gravedad de la desviación de posicionamiento causante del defecto.

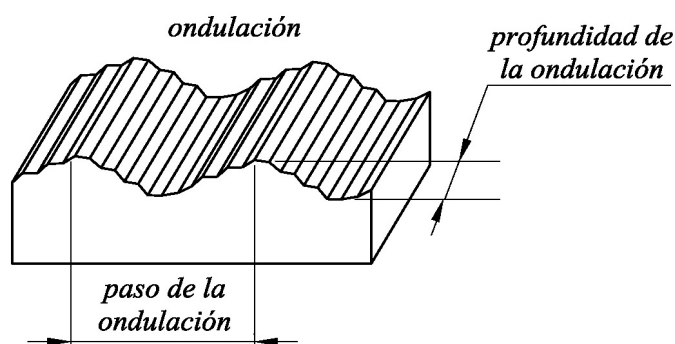


Figura A.31. Ondulación.

- **Defectos:** se denomina “defectos” a aquellas irregularidades que se producen aleatoriamente sobre la superficie de la pieza, y que no pueden localizarse a intervalos regulares. Entre este tipo de fallos encontraríamos las típicas grietas, rayaduras, poros, etc.

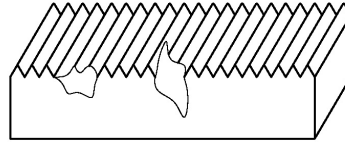


Figura A.32. Defectos.

Por último, indicar que en una superficie pueden encontrarse los tres tipos de irregularidades de forma simultánea, siendo medible la rugosidad de la superficie mediante unos aparatos denominados “rugosímetros”.

A.1.5. Acabado superficial: símbolos e indicaciones escritas

Los símbolos e indicaciones que han de aplicarse sobre el plano, han sido fijados por la norma UNE 1-037-75, equivalente a la norma ISO 1032.

El “símbolo base” se construye con dos líneas rectas (la derecha con una mayor longitud), separadas unos 60° respecto a la superficie considerada. En general, este símbolo suele ir acompañado de otros símbolos o indicaciones, excepto en dos ocasiones que se detallarán más adelante.

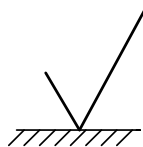


Figura A.33. Símbolo base.

Cuando no se realiza arranque de viruta se incluye un círculo al símbolo básico, y cuando se mecaniza con arranque de viruta, el símbolo se cierra por la parte superior de las dos líneas con una tercera línea horizontal. Si se precisa añadir alguna indicación escrita, debe trazarse una línea horizontal por la parte derecha, de longitud suficiente, donde se escribirá la indicación correspondiente.

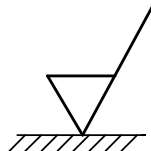


Figura A.34. Con arranque de viruta.

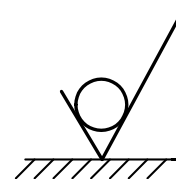


Figura A.35. Sin arranque de viruta.

Es importante observar con detenimiento los tipos de indicaciones que pueden colocarse directamente sobre el símbolo, así como su ubicación y orientación sobre las superficies de la pieza (indicación sobre el dibujo).

A.1.5.1. Indicaciones en el símbolo

Como detallaremos a continuación, las indicaciones pueden clasificarse en dos grupos: las indicaciones sobre la rugosidad superficial y las indicaciones sobre la dirección de las estrías o marcas del mecanizado.

Indicaciones sobre la rugosidad superficial.

Como ya conocemos, la rugosidad correspondiente se obtiene en función del proceso de fabricación, a saber:

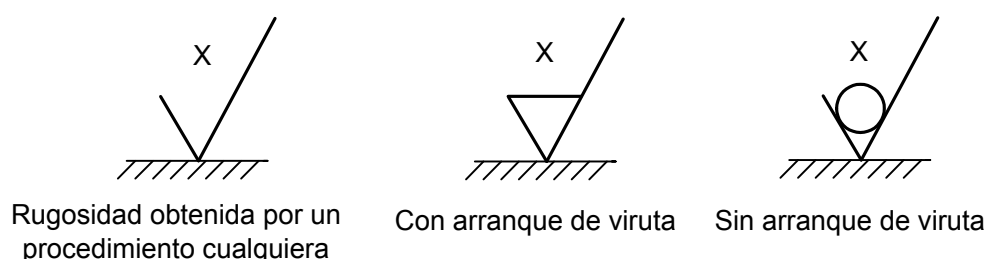


Figura A.36. Indicación gráfica del proceso de fabricación.

Para determinar el valor de dicha rugosidad, debe incluirse un valor numérico que señalará la máxima rugosidad permisible, o dos valores superpuestos que establecerán los valores máximos y mínimos. Recordemos que la rugosidad viene expresada en micras de milímetro (μm) o micras de pulgada (μin).

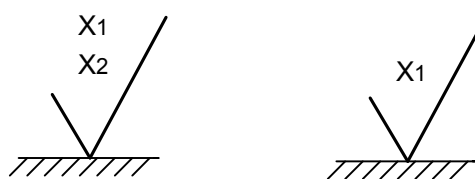


Figura A.37. Indicación numérica del valor de la rugosidad.

Otro concepto muy importante a considerar es la clase de rugosidad. Junto al carácter "N" ha de indicarse un número (del 1 al 12) que delata una mayor o menor rugosidad, con lo que se logra dar una idea clara e intuitiva de la rugosidad y evitar la confusión que puede llegar a causar la indicación numérica de los valores de rugosidad a un no experto. La indicación N1 es sinónima de rugosidad mínima y acabado excepcional, mientras que la indicación N12 lo es de superficie basta y gran rugosidad.

Además no hemos de olvidar que la norma antigua para la designación de la rugosidad ya no es aplicada, pero sigue siendo bastante conocida y puede aparecer en planos de taller relativamente antiguos, por lo que debemos conocerla. Dicha norma se basa en la utilización de una serie de triángulos que, según su número, delataban un mejor o peor acabado. Para ello, hemos incluido en una misma tabla la equivalencia para todos los criterios expuestos anteriormente:






Valores de rugosidad			Simbología antigua	Estado de la superficie	Operaciones asociadas de mecanizado
micrómetros	micropulgadas	"clase de rugosidad"			
50 25	2000 1000	N12 N11		Superficies bastas, para fabricación sin arranque de viruta	Fundido Forjado Limado Laminado Amolado
12,5 6,3	500 250	N10 N9		Superficies con marcas perceptibles al tacto y vista; desbaste con arranque de viruta	Torneado Fresado Taladrado Cepillado Limado fino Amolado fino
3,2 1,6	125 63	N8 N7		Superficies con marcas todavía perceptibles; desbaste con arranque de viruta y afinado	
0,8 0,4	32 16	N6 N5		Superficies con marcas no perceptibles; acabado aún más afinado	
0,2 0,1 0,05 0,025	8 4 2 1	N4 N3 N2 N1		Superficies con marcas no perceptibles; acabado de precisión extrema	

Figura A.38. Equivalencias simbología sobre rugosidad superficial.

Indicaciones sobre la dirección de las estrías o marcas del mecanizado:

Cuando resulta necesario, se procede a la indicación de la dirección que toman las estrías que resultan una vez efectuados el proceso de mecanizado.

Si la dirección no queda definida mediante ninguno de los símbolos reflejados a continuación, se indicará en el dibujo mediante la correspondiente nota.


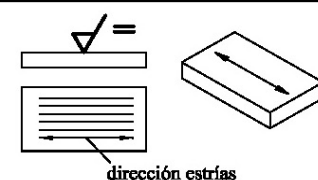

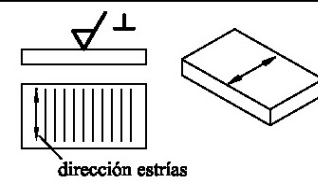
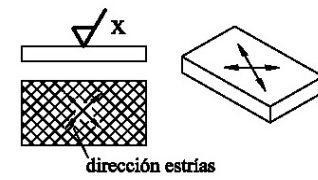
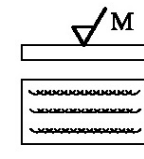
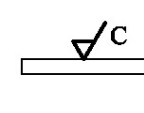
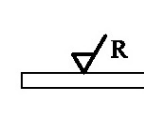
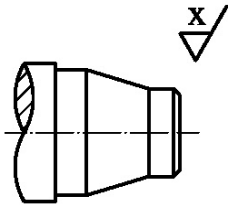
<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>	
	Estrías <i>paralelas</i> al plano de proyección	
	Estrías <i>perpendiculares</i> al plano de proyección	
X	Estrías <i>cruzadas en 2 direcciones</i> respecto del plano de proyección	
M	Estrías <i>cruzadas en direcciones múltiples</i>	
C	Estrías aprox. <i>concéntricas</i>	
R	Estrías aprox. <i>radiales</i>	

Figura A.39. Indicaciones sobre dirección de estrías o marcas de mecanizado.

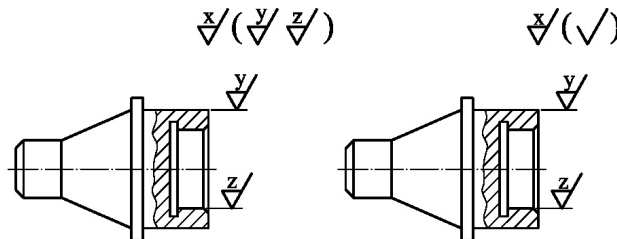
A.1.5.2. Indicaciones en el plano

Al ubicar el símbolo sobre el dibujo, debe orientarse de tal modo que las indicaciones puedan leerse desde la base o desde la parte derecha del dibujo (salvo excepciones).

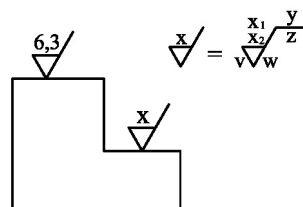


Por regla general, cuando todas las superficies de la pieza presenten el mismo grado de rugosidad, es suficiente con colocar un único símbolo, sin llegar a “tocar” el perfil de la pieza en cuestión (observar ubicación aproximada en la figura adjunta).

Cuando casi todas las superficies de la pieza presenten el mismo grado de rugosidad, suele procederse a la colocación de un símbolo genérico (indicando el acabado general de la pieza), acompañado de otros símbolos entre paréntesis que indican el estado superficial de algunas superficies concretas. Además, estos estados particulares deben indicarse sobre la superficie en cuestión, tal y como se indica en el ejemplo de la figura siguiente (también puede optarse por indicar el estado superficial genérico mediante una nota escrita):



Cuando las indicaciones sobre el símbolo sean complejas y resulte laborioso repetirlas por su número sobre las distintas superficies de la pieza, se coloca sobre éstas un símbolo con una letra (símbolo simplificado) especificándose el significado exacto en las proximidades de la pieza, tal y como puede verse en la figura siguiente:



En esta pieza, se admite una rugosidad en la superficie de 6,3 micras, excepto en la superficie en la que aparece el símbolo con una letra “x”, ya que los valores máximos y mínimos de rugosidad y otras posibles indicaciones (tratamientos a realizar, dirección de las marcas o estrías, etc.) se especifican aparte, debido a la complejidad de la representación sobre el propio perfil de la pieza o a la simple falta de espacio.

A.1.5.3. Indicaciones especiales de mecanizado y tratamientos

En numerosas ocasiones, el proceso de elaboración de una pieza requiere una o más operaciones, que deben ser realizadas sobre partes muy concretas de una superficie y no sobre todas sus superficies.

En líneas generales, pueden clasificarse bien como mecanizados especiales u ordinarios que convengan especificar, bien como tratamientos especiales para protección, embellecimiento o modificación de las propiedades de la superficie.

Mecanizados especiales o a especificar

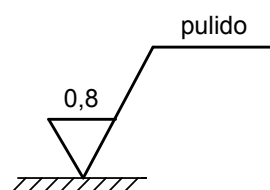
Entre los mecanizados “especiales” podríamos incluir el pulido, el rasquetado manual, esmerilado, amolado, etc. Además, en ocasiones puede resultar necesario precisar una aplicación concreta de operaciones de mecanizado ordinarias en lugares concretos, como torneado, fresado, limado y, sobre todo, rectificadas.

Las indicaciones de tratamientos especiales para la modificación de las propiedades del material pueden resultar habituales, entre las que se encuentran los templados, revenidos, recocidos, cementados, nitrurados, etc.

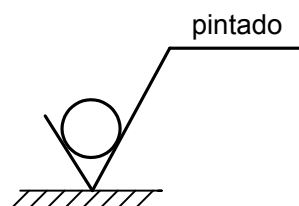
También hemos citado las indicaciones para procesos de protección y embellecimiento, como pintados, cromados, niquelados, pavonados, etc.

Indicaciones en el símbolo

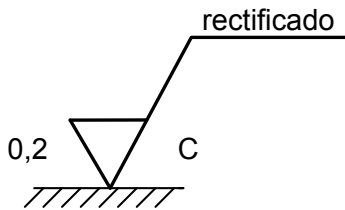
Como se comentó con anterioridad, las anotaciones a realizar se ubicarán sobre una línea horizontal de suficiente longitud, unida al extremo derecho del segmento de mayor longitud del símbolo base. A fin de acostumbrarnos a los modos de utilización y el significado de las indicaciones, incluimos a continuación cuatro ejemplos aleatorios:



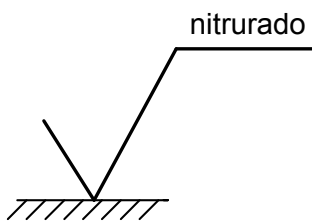
Realizar un proceso de pulido para obtener una superficie con una rugosidad máxima de 0,8 micras.



Realizar un pintado de la superficie; se indica que es un proceso sin arranque de viruta y no se concreta grado de rugosidad.



Realizar un proceso de rectificado para obtener una superficie con acabado esmerado (clase N4) con rugosidad máxima de 0,2 micras. En este caso, la dirección de las estrías o marcas es circular (C).



Realizar un proceso de nitruado en la superficie de la pieza; sin indicaciones especiales.

Otras consideraciones

Deben tenerse en cuenta una serie de consideraciones a la hora de aplicar o analizar esta simbología, para hacer un uso correcto de ésta, y que puede resumirse en los siguientes puntos:

- La anotación se limita a indicar la operación a realizar, pero no la forma de llevarla a cabo; por ejemplo, la indicación de “torneado” no especifica si ha de realizarse con una herramienta de metal duro o de cerámica, o la velocidad de corte y avances más adecuados, etc.
- La anotación siempre ha de señalar el estado final que adquiere la superficie; por ejemplo, ha de indicarse “templado” y no “templar”.
- Excepto casos particulares, se procede a indicar la operación final sin incluir procesos anteriores que, necesariamente, han de haberse ejecutado para lograr el efecto deseado. Por ejemplo, ante la indicación de un “escariado”, se da por supuesta la ejecución previa de un taladrado y no se precisa señalar esta última; también ante la indicación de un “pavonado”, se da por supuesto un desengrasado de la superficie y no precisa indicarse.

Indicaciones en el plano

Como hemos comentado, en ocasiones la práctica de los posibles tratamientos debe realizarse sobre una zona muy concreta de la pieza, por lo que interesa delimitar o acotar dicha zona sobre el plano. De igual modo, ciertas zonas pueden precisar una verificación de la ejecución llevada a cabo especialmente precisa, por lo que también ha de concretarse con exactitud la extensión de dicha ejecución.

Distingamos los casos que pueden presentarse con un análisis por separado:

- Cuando se precise un tratamiento sobre una parte de la pieza, cuya extensión quede bien reflejada por sí misma al visualizar el plano, se traza una línea paralela al perfil a tratar (línea de trazo y punto).

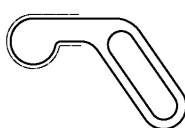


Figura A.40. Indicación de tratamiento superficial

- Si se requiere una mayor precisión para determinar la zona del tratamiento, puede recurrirse a una acotación de la zona afectada más el trazado de la línea paralela citada en el apartado anterior.

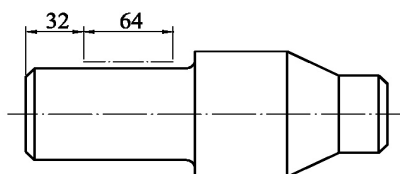


Figura A.41. Indicación de tratamiento superficial (acotado).

- En ocasiones, también se precisa la determinación del orden en el mecanizado y proceso de tratamiento superficial; como resulta evidente, tales indicaciones afectan únicamente a los últimos procesos a realizar sobre la pieza (acabado y tratamientos).

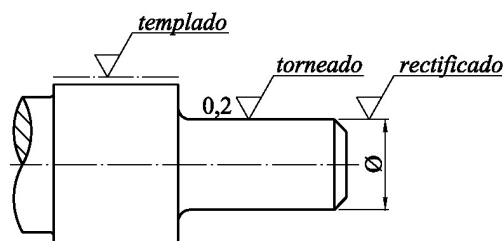


Figura A.42. Indicación de tratamientos superficiales (proceso).

En el ejemplo adjunto se indica la necesidad de tornear la parte indicada dejando un sobremetal de 0,2 mm, para realizar a continuación un rectificado de dicha zona. El anillo cilíndrico de mayor diámetro precisa un templado, tal y como se aprecia en la correspondiente indicación.

- En determinadas piezas (por ejemplo, piezas fabricadas mediante un proceso de estampación), debe precisarse la zona donde debe llevarse a cabo una posterior verificación de superficies que exijan especial exactitud, que se suponen sometidas a unas tolerancias muy estrictas. Dichas zonas deben resaltarse con línea paralela al perfil, y con trazo continuo y grueso.

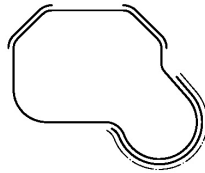


Figura A.43. Indicación de zonas resaltadas.

Templado de piezas

Mención especial merece la representación de las partes templadas de la pieza. Como ya se comentó en la primera unidad, el proceso de templado incluye un calentamiento del metal hasta una temperatura determinada, un tiempo de espera en el horno y un enfriamiento rápido, a fin de aumentar la resistencia a la rotura y la dureza, principalmente de los aceros. La dureza deseada se especifica en las unidades adecuadas (unidades Brinnell, Vickers, etc.).

En los ejemplos siguientes se especifica la dureza en unidades Vickers.

- Si toda la superficie ha de ser templada, basta con indicar la operación de templado y el valor de dureza.

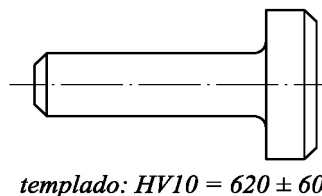


Figura A.44. Indicación de tratamiento superficial (dureza).

- Si el temple afecta a una determinada parte de la pieza, que presentará distinta dureza, se marca la zona afectada con línea paralela de trazo y punto. De igual modo, puede procederse a delimitar la zona sin templar, que quedará más blanda.

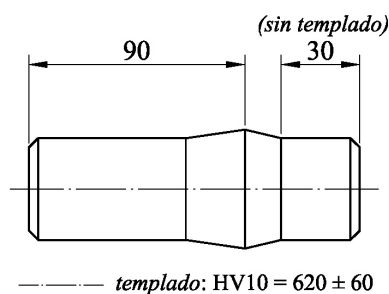


Figura A.45. Indicación de tratamiento superficial (dureza).

- Cuando se desee precisar la profundidad de temple de penetración, debe realizarse una anotación supletoria indicando la profundidad requerida en milímetros, y los valores de la tolerancia que se determine.

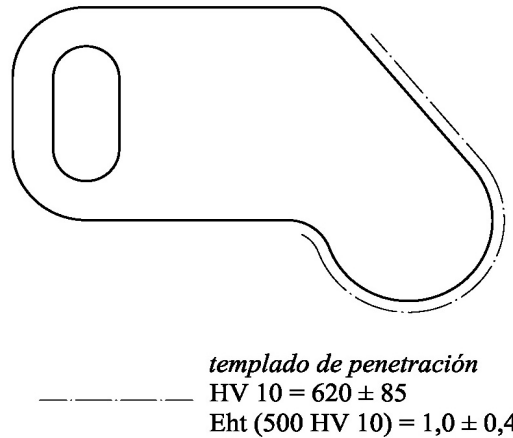


Figura A.46. Indicación de tratamiento superficial.

- En ocasiones, si lo único que se precisa es aumentar la dureza, sin determinar con exactitud su valor, basta con indicar directamente la zona a temprar con una simple indicación escrita.
- Cuando la parte de la pieza sometida a un templado debe conservar obligatoriamente un “núcleo blando” (es decir, debe conservar sus características de dureza iniciales), puede delimitarse dicha zona mediante el uso de una línea de trazos y puntos especialmente fina.

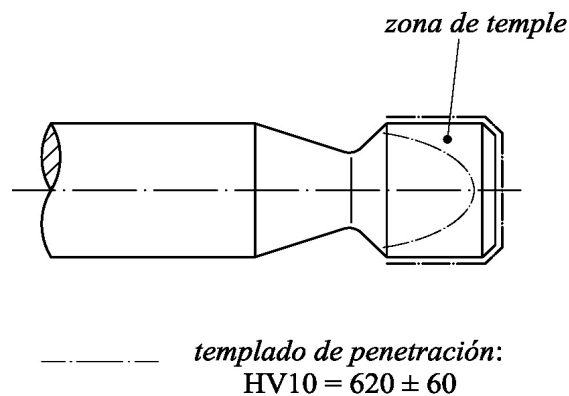


Figura A.47. Indicación de tratamiento superficial.

A.2. Elementos mecánicos

Resulta evidente la excepcional importancia de este capítulo, puesto que en él se sintetizan una serie de conocimientos indispensables para desenvolverse con soltura y rigor en el siempre interesante mundo de la mecánica. Prácticamente cualquier plano de taller incluirá uno o más de estos elementos, en especial si se trata de planos de montaje o de conjuntos (desde un eje roscado, hasta un plano de un conjunto mecánico que incluya ejes roscados, con chavetero, con rodamientos, grupillas, tuercas de fijación, etc., en sus extremos, por ejemplo).

Esperamos que el alumno encuentre interesante su estudio y que perciba la importancia que poseen dichos elementos, por otra parte de presencia multitudinaria e imprescindible en nuestra vida diaria.

A.2.1. Elementos de fijación

En este apartado se va a profundizar en los siguientes puntos:

- Generalidades sobre la representación de elementos roscados
- Roscas normalizadas más usuales
- Representación gráfica
- Tornillos, tuercas y arandelas.
- Chavetas y lengüetas.
- Pasadores.

A.2.1.1. Generalidades sobre la representación de elementos roscados

Una de las formas de unión y fijación de elementos mecánicos más conocida es el uso de elementos roscados, que en general se ven resumidos en los diferentes tipos de tornillos, espárragos y tuercas que podemos encontrar. No obstante, ciertos elementos roscados poseen una función alternativa a la fijación, en particular la transmisión de movimiento (por ejemplo un eje de roscar en el torno, tornillos sin fin, etc.).

Una “rosca” puede definirse como una elaboración en forma de helicoide alrededor de un cuerpo cilíndrico o cónico, pudiéndose tratar de una rosca exterior (que llamaremos genéricamente “tornillo”) o una rosca interior (que llamaremos “tuerca”). Según el desarrollo de dicho helicoide, las roscas pueden clasificarse de dos modos:

- **Roscas a derechas:** si roscásemos una tuerca en un tornillo, la primera avanzaría en el sentido de las agujas del reloj o, dicho de otro modo, este tipo de roscas se aprietan hacia la derecha. Son las más habituales.
- **Roscas a izquierdas:** si roscásemos una tuerca en un tornillo, la primera avanzaría en la dirección contraria a las agujas del reloj o, dicho de otro modo, este tipo de roscas se aprietan hacia la izquierda. Aunque no son las más habituales, suelen utilizarse para fijar dos piezas que deban girar, ya que aunque el giro de las piezas hacen que exista el riesgo de terminar aflojándose, una rosca a izquierdas tenderá siempre a apretarse.

Además, una rosca puede ser de una o más entradas. Normalmente, las roscas están construidas mediante un único helicoide, de tal modo que sólo existe un filete que rodea el cilindro (*rosca de una entrada*), aunque en ocasiones se construyen con dos o tres helicoides sobre el mismo cilindro (*roscas de dos entradas o tres entradas*). Como puede observarse en la figura, en las roscas de más de una entrada todos los helicoides implicados poseen el mismo paso, que debe ser lo suficientemente elevado como para permitir la presencia de los filetes pertenecientes al resto de los helicoides.

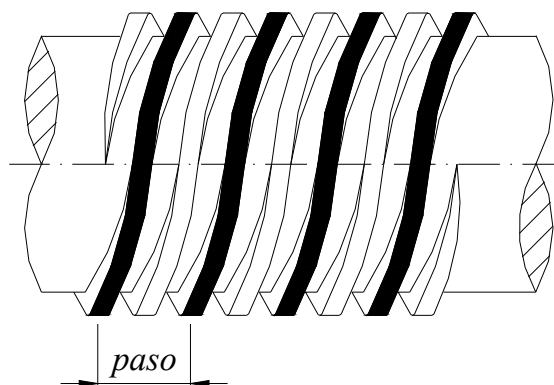


Figura A.48. Rosca de dos entradas.

Salvo excepciones, se procura el uso de roscas normalizadas, a fin de asegurar la disponibilidad e intercambiabilidad de nuevos elementos ante avería o desgaste.

A.2.1.2. Roscas normalizadas más usuales

Rosca métrica o rosca europea: rosca de perfil triangular, a 60°. Se trata del sistema métrico, aceptado internacionalmente. El paso o distancia entre dos hilos o filetes consecutivos se expresa en milímetros. De manera deliberada, en el dibujo adjunto se han separado exageradamente tornillo y tuerca para una mejor apreciación del perfil.

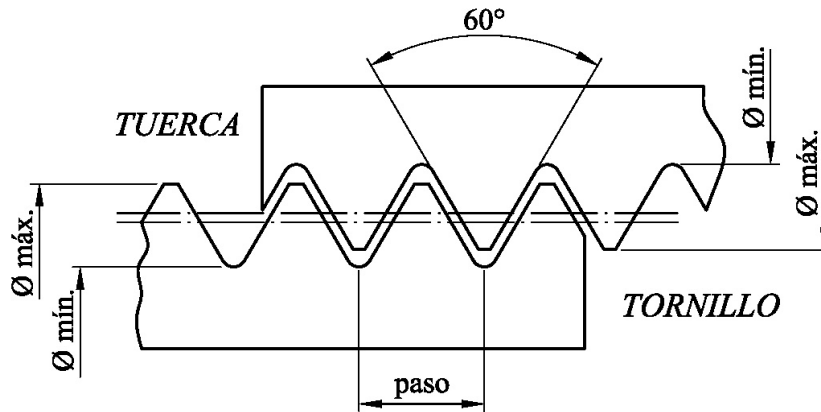


Figura A.49. Rosca métrica.

Rosca Sellers (rosca americana) o rosca SAE: rosca de perfil triangular, a 60° y con el diámetro nominal expresado en pulgadas. En lugar de expresar el paso directamente en milímetros, se indica el número de hilos que entran por pulgada (1 pulgada = 25.4 mm). Se clasifican como roscas Sellers bastas (NC), roscas Sellers especiales (NS) y roscas Sellers finas (NF o SAE, de amplia utilización en automoción).

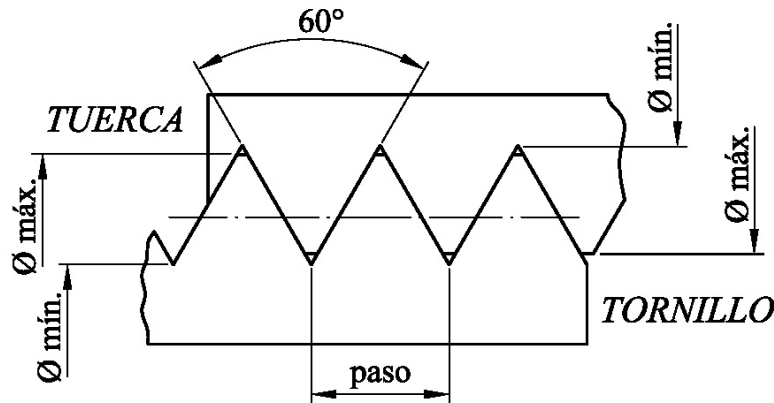


Figura A.50. Rosca Sellers o rosca americana.

Rosca Whitworth (rosca inglesa): rosca de perfil triangular, a 55° y con el diámetro nominal expresado en pulgadas. También puede indicarse el número de hilos que entren en una pulgada (1 pulgada = 25.4 mm). De amplio uso con anterioridad, va siendo sustituida por la rosca métrica. +



Recuerde

No olvide la equivalencia entre la unidad de medida inglesa y del continente europeo, ya que le resultará necesario realizar la conversión de medida en más de una ocasión.

1 pulgada = 25.4 mm.

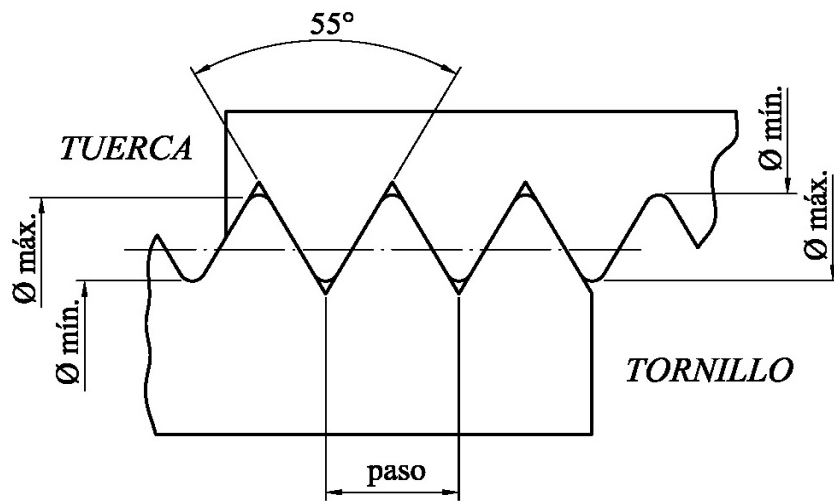


Figura A.51. Rosca Whitworth o rosca inglesa.

- **Rosca gas y rosca Whitworth fina:** rosca de perfil triangular para tuberías a 55° ; puede mecanizarse como rosca cónica exterior, garantizando así en el apriete final la estanqueidad necesaria. Tradicionalmente se ha considerado este tipo de rosca como el estándar en conducciones de fluidos (aplicaciones neumáticas e hidráulicas).
- **Rosca redonda:** de perfil semicircular, este tipo de rosca posee unas excelentes propiedades mecánicas, pero en cambio su mecanización resulta especialmente costosa. Utilizada en órganos de tracción ferroviarios, así como para casquillos de bombilla (rosca tipo "Edison").

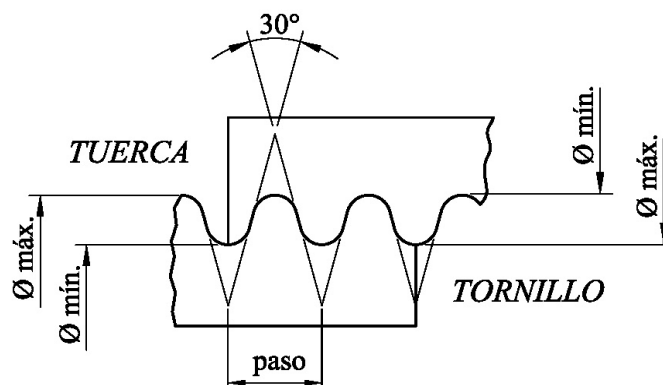


Figura A.52. Rosca redonda.

- **Rosca trapezoidal:** rosca de perfil trapezoidal, con un campo de aplicación centrado en la transmisión de movimientos; podemos encontrar la rosca ISO (a 30°) y la rosca ACME (a 29°). Uno de los ejemplos más típicos de aplicación que puede encontrarse para este tipo de rosca es el husillo de desplazamiento del carro de un torno.

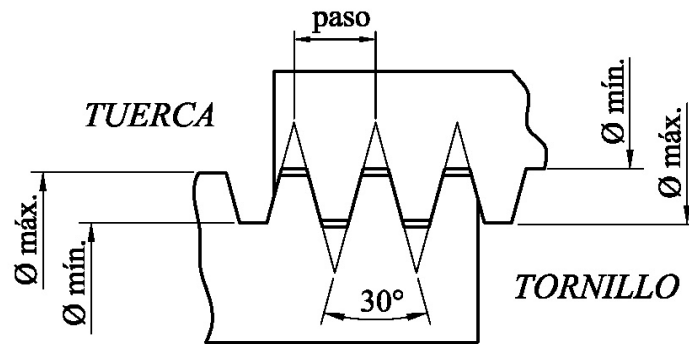


Figura A.53. Rosca trapezoidal.

- **Rosca en diente de sierra:** por ejemplo, rosca tipo Buttress. Utilizada en casos con empujes axiales considerables y en un único sentido.

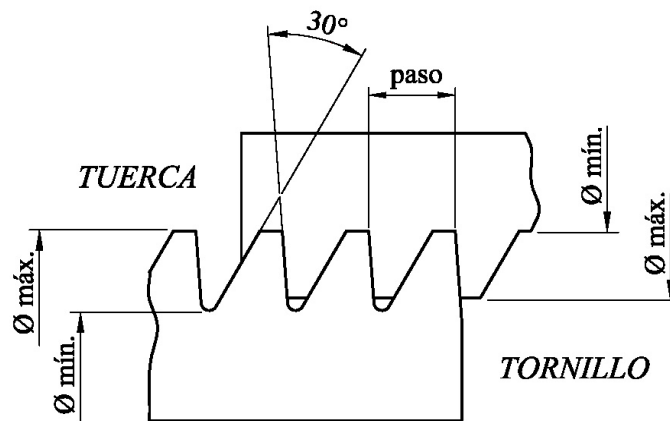


Figura A.54. Rosca de dientes de sierra.

Además existen tipos de roscas específicos para aplicaciones concretas. Algunas son bastante conocidas, como por ejemplo los perfiles de roscas para bombillas (rosca tipo Edison), para tubos de manillares de bicicletas, para microscopios y un largo etcétera.



Atención

Debe advertirse que como “rosca fina” se entiende aquella con un paso menor del que le correspondería por el diámetro sobre el que se trabaja. En rosca métrica, por ejemplo, el paso correspondiente a un diámetro de 8 mm. es de 1,25 mm (M8 x 1,25); sin embargo, en rosca fina, para dicho diámetro le corresponde un paso de 1mm (M8 x 1).

A.2.1.3. Representación gráfica

La consideración principal a tener en cuenta a la hora de representar gráficamente una rosca, es su simplificación extrema.

Como es lógico, resulta impensable representar todas y cada una de las crestas que posee una rosca real sobre el plano, por lo que simplemente se representan los diámetros máximo y mínimo con dos líneas paralelas de distinto grosor, tal y como veremos a continuación. Existen diversos factores que influirán sobre la traza final del dibujo, de manera que pasaremos a analizar todas las posibilidades por separado.

- **Roscas exterior, para tornillos:** en el alzado, el diámetro máximo alcanzado (determinado por la altura de las “crestas”) se simboliza con una línea gruesa continua, y el diámetro mínimo (determinado por los “fondos”) mediante una línea fina continua.

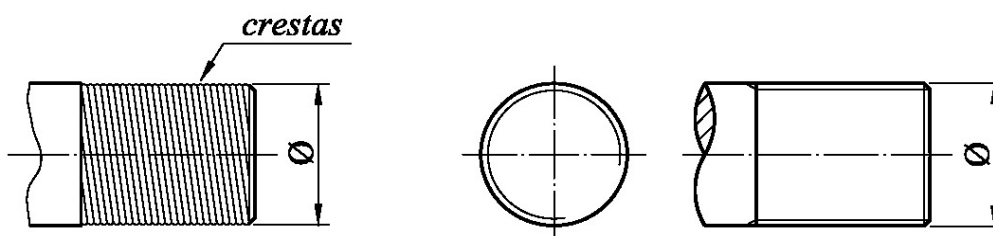


Figura A.55. Rosca exterior: representación real (a la izquierda) y simbólica (a la derecha).

En la representación del perfil se traza un círculo completo con línea gruesa continua para representar el diámetro exterior, y un arco de algo más de 270° en línea fina continua tal y como se observa en la figura 5.55.

- **Roscas interior pasante:** en el alzado, tanto el diámetro máximo como el diámetro mínimo alcanzado se simbolizan con dos líneas discontinuas. En esta ocasión, el perfil se traza de forma inversa a la del apartado anterior (círculo interior grueso, arco exterior fino).

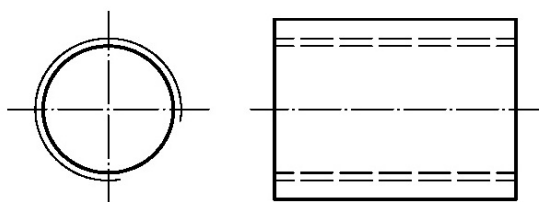


Figura A.56. Rosca interior pasante.

- **Roscas interior pasante, vista en corte longitudinal:** si se trata de un corte, tanto el diámetro máximo como el diámetro mínimo alcanzado se simbolizan con dos líneas continuas; la sección cortada debe rayarse de la forma habitual.

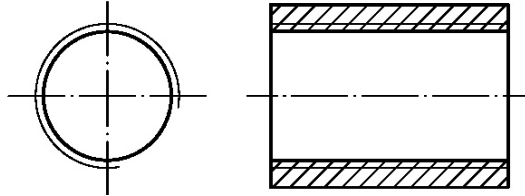


Figura A.57. Rosca interior pasante, con corte.

- **Roscas interior ciega:** de no realizarse corte, en alzado los trazos han de realizarse con línea discontinua. Normalmente se representa la forma que deja el taladro previo (punta cónica a 118°), siendo la longitud de taladrado ligeramente superior a la de roscado. El perfil se representa con un círculo interior grueso y con un arco exterior fino.

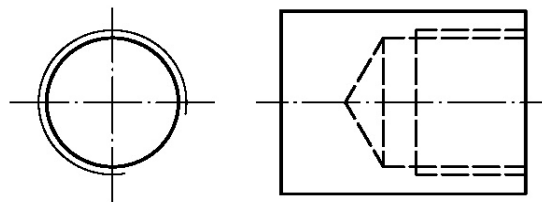


Figura A.58. Rosca interior ciega.

- **Roscas interior ciega, vista en corte longitudinal:** en el alzado, se representa la forma que deja el taladro previo en línea continua gruesa, mientras que el diámetro máximo de la parte roscada se traza con línea continua fina. El perfil es idéntico al caso anterior.

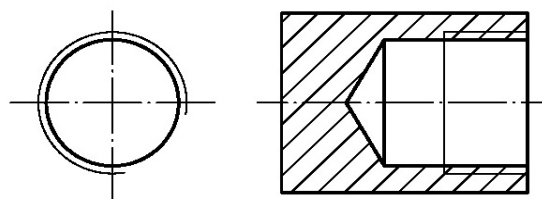


Figura A.59. Rosca interior ciega, con corte.

En cuanto a la designación de una rosca, por regla general suele indicarse el diámetro nominal de la rosca precedido de algún carácter (una o dos letras) que define el tipo de rosca. Les sigue el carácter "x" ("por") y la indicación del paso de la rosca.

Veamos un primer ejemplo en el que debe definirse una rosca de métrica 8 y paso de unos 1,25 milímetros:

M8 x 1,25

Donde:

M	Indicación de rosca métrica.
8	Diámetro de 8 milímetros (diámetro nominal de la rosca)
1,25	Paso de 1,25 milímetros.

Veamos un segundo ejemplo donde debe definirse una rosca tipo gas de 1,5 pulgadas de diámetro:

G1 1/2

Donde:

G1	Indicación de rosca gas.
1/2	Diámetro de 1,5 pulgadas (del tubo, no de la rosca).

Además, junto a estas indicaciones pueden llegar a aparecer otras indicando el número de entradas, si es rosca a derechas o izquierdas, etc. En la siguiente tabla puede verse la denominación abreviada de los tipos de roscas más usuales.

<i>Tipo de rosca</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Modo de acotación</i>	<i>Norma DIN</i>
Métrica	M	$M10$	13 h 1
Métrica fina	M	$M10 \times 1,25$	516 a 521 244 a 247
Whitworth	W	$1''$	11
Whitworth fina	W	$W60 \times 1/6''$	239 240
Whitworth gas	R (cilíndrica) G (cónica)	$G 2''$	259
Redonda	Rd	$Rd 42 \times 1/6''$	405
Trapezoidal	Tr	$Tr50 \times 6$	103 378 389
Diente sierra	S	$S 50 \times 6$	513 a 515
Sellers fina Sellers basta Sellers especial	NF (UNF) NC (UNC) NS	$1 1/2'' - 6 - NC$	

Figura A.60. Tipos de roscas más usuales.

En cuanto a la acotación de la longitud de la rosca, han de diferenciarse tres dimensiones básicas, tal y como se especifica en la siguiente figura:

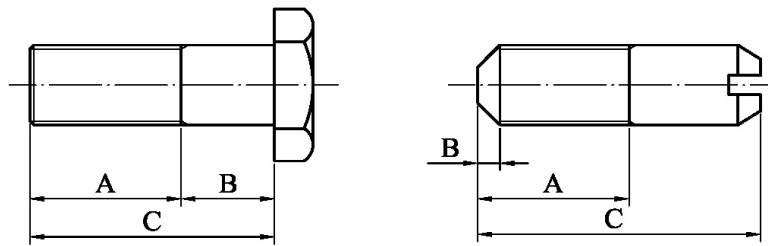
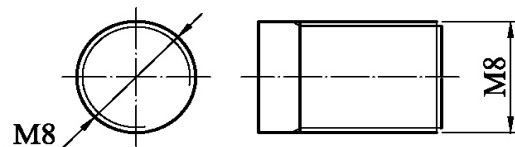


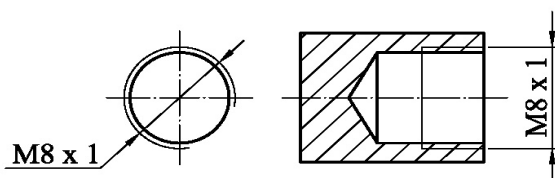
Figura A.61. Acotación de longitudes de rosca.

Realmente, el parámetro más importante de acotación en este caso es la longitud identificada como "A", es decir, la longitud roscada. La longitud "B" determina la parte no roscada, mientras que la longitud "C" determina la total (en tornillos no se consideran las dimensiones de la cabeza a efectos de acotado sobre plano de taller, suministrándose por parte del fabricante únicamente a efectos de montaje).

En cuanto a la acotación del diámetro, puede efectuarse la acotación sobre el alzado o sobre el perfil según se estime oportuno (generalmente, en función de las vistas disponibles o de una distribución equitativa de las cotas). Hay que distinguir entre lo que es el acotado de roscas interiores o el de exterior, tal y como puede observarse en dos las siguientes figuras:



El carácter "M" indica que es una rosca métrica, mientras que el valor numérico indica su diámetro. Caso de no haberse indicado el paso, se tratará del paso estándar para dicho diámetro.



En esta ocasión se trata de rosca métrica de nuevo, pero cuando se indica el paso (1 mm. en el ejemplo) se tratará de un paso más fino o más grueso que el paso estándar (ejemplo anterior).

A.2.1.4. Tornillos, tuercas y arandelas

Aunque se trata de elementos mecánicos íntimamente relacionados, procederemos a diferenciarlos y enumerar sus características por separado a fin de mejorar su comprensión:

- Tornillos.
- Tabla de tornillería de uso frecuente.
- Espárragos
- Bulones.
- Tuercas
- Arandelas.

Tornillos

Los tornillos son elementos mecánicos con una parte de su cuerpo roscada, con funciones de fijación de elementos desmontables o de transmisión del movimiento.

Como es de suponer, es la rosca la parte del tornillo encargada de efectuar la fijación de elementos (como “macho”) o la transmisión del movimiento, recibiendo en este último caso el nombre de husillo.

Los tornillos son elementos normalizados, y, por consiguiente, no suelen acotarse: simplemente deben indicarse sobre el plano ciertos datos que lo identifican (generalmente tipo de rosca, longitud de la parte roscada u datos de interés específico).



Actividad

La normalización es aplicable al resto de elementos que van a estudiarse más adelante, y por ello resulta especialmente recomendable la consulta de catálogos de fabricantes y distribuidores de este tipo de elementos, a fin de acostumbrarse a las dimensiones normalizadas de estos elementos.

Tabla de tornillería de uso frecuente

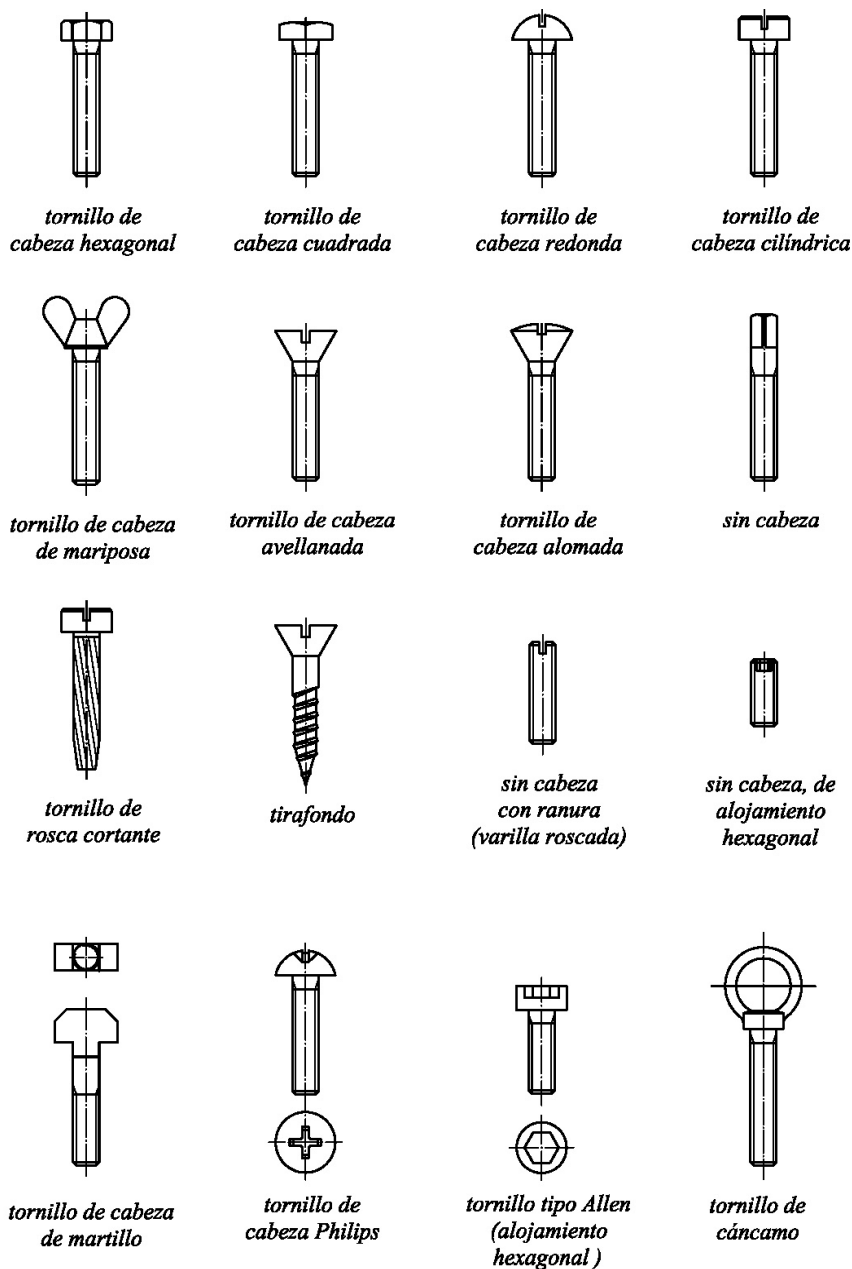
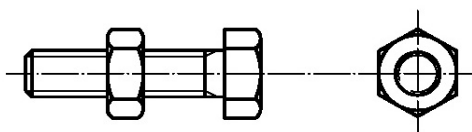


Figura A.62. Tornillería de uso más frecuente.

Veamos a continuación un ejemplo de denominación y dimensionamiento de tuerca y tornillo de cabeza hexagonal (se ha escogido esta combinación por ser de uso frecuente):



Tornillo hexagonal M8 x 1 x 30 DIN 933 mg 3.4

Donde:

M8 x 1	Rosca fina (diámetro y paso de la rosca).
30	Longitud del vástago, sin incluir la cabeza.
DIN 933	Normativa correspondiente, si procede indicarla.
mg	Calidad de ejecución de la rosca, según DIN 267.
3,4	Calidad en cuanto a resistencia mecánica.

Espárragos

Los espárragos son varillas roscadas de acero que se utilizan para la unión de una pieza sencilla a otra de tamaño considerable, si se considera que el montaje y desmontaje de ambos elementos va a ser frecuente. Los espárragos se reconocen por no poseer cabeza y por su gran longitud con relación a su diámetro.

En la figura puede verse un espárrago que une dos elementos con una diferencia de grosor apreciable. El espárrago se rosca sobre el elemento base, para colocarse a continuación el elemento superior (con un taladro previo no roscado que atravesará el espárrago); finalmente, una tuerca fijará el elemento superior contra el elemento base.

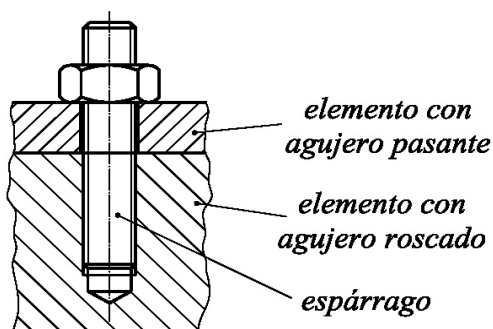


Figura A.63. Conjunto espárrago – tuerca.

Mediante la fijación por espárrago se obtiene una fijación fiable sin necesidad de roscar los dos elementos, resultando la sustitución del espárrago dañado por uso intensivo la opción más económica.

Bulones.

Los bulones o tornillos pasantes son tornillos con la mayor parte del vástago sin roscar, para atravesar piezas sin roscar. En el extremo roscado se sitúa la tuerca que aprisionará dichos elementos.

Cuando exista riesgo de deslizamiento de las piezas, es recomendable ayudarse de pasadores de fijación (ver apartado “pasadores”).

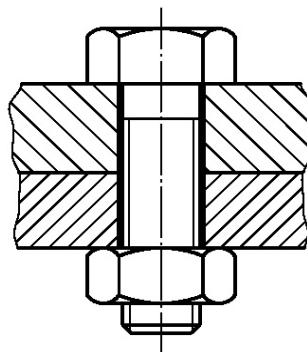


Figura A.64. Conjunto bulón – tuerca.

Existe cierta confusión entre los bulones y los denominados pernos o pasadores de articulación; éstos son piezas de revolución que sirven de apoyo y/o articulación de ciertos elementos, efectuándose el apoyo o el giro sobre la parte no roscada.

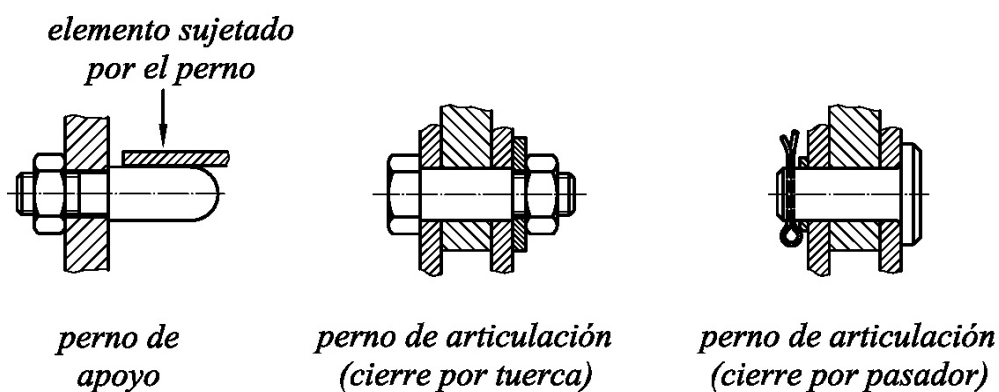


Figura A.65. Diferentes tipos de pernos.

Tuercas

Las tuercas son elementos con un agujero interior roscado, y están destinadas al acople con tornillos del mismo diámetro nominal y paso (además de responder a un mismo tipo). En cuanto a su denominación resulta muy sencilla, ya que basta con indicar el tipo de tuerca acompañado de la clase de rosca.

Tuerca hexagonal M16 DIN 934 mg 6

Donde:

M8 x 1	Rosca fina (diámetro y paso de la rosca).
DIN 934	Normativa correspondiente.
mg	Calidad de ejecución de rosca (según DIN 267).
6	Calidad de resistencia mecánica.

En la tabla pueden verse algunos de los tipos de tuerca de uso frecuente:

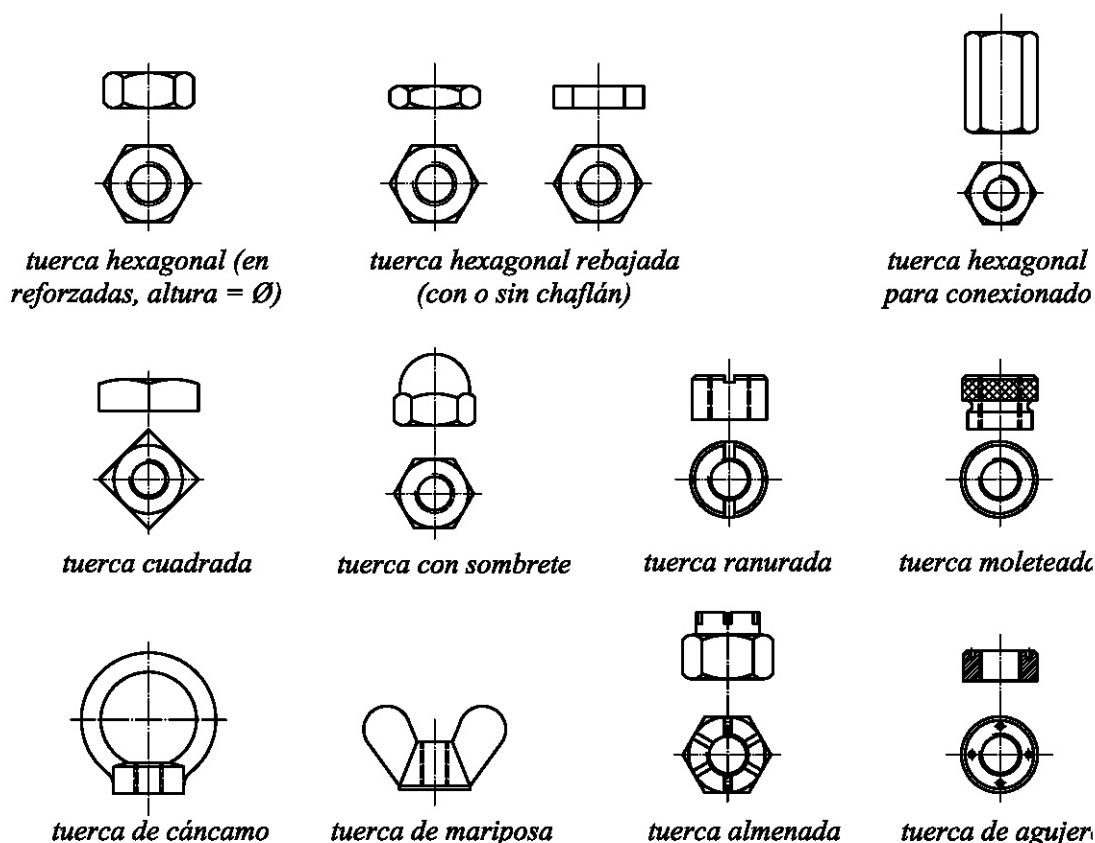


Figura A.66. Tuercas de uso más frecuente.

La altura de la tuerca guarda una relación directa con su diámetro, en función de la aplicación de ésta, y se resume de este modo:

- **Altura en tuercas normales:** diámetro x 0,8.
- **Altura en tuercas rebajadas:** diámetro x 0,5
- **Altura en tuercas con refuerzo:** igual al diámetro.

Arandelas

Las arandelas son elementos con un agujero interior y relativamente poco gruesas. Aunque no son elementos roscados, se incluyen en este apartado debido a que suelen acoplarse entre la cabeza del tornillo y una tuerca o pieza.

Algunas arandelas se denominan “de seguridad” y poseen una ejecución especial (por su geometría o por la presencia de lengüetas situadas estratégicamente). En la tabla pueden verse algunos de los tipos más frecuentes, así como la norma DIN que los define:

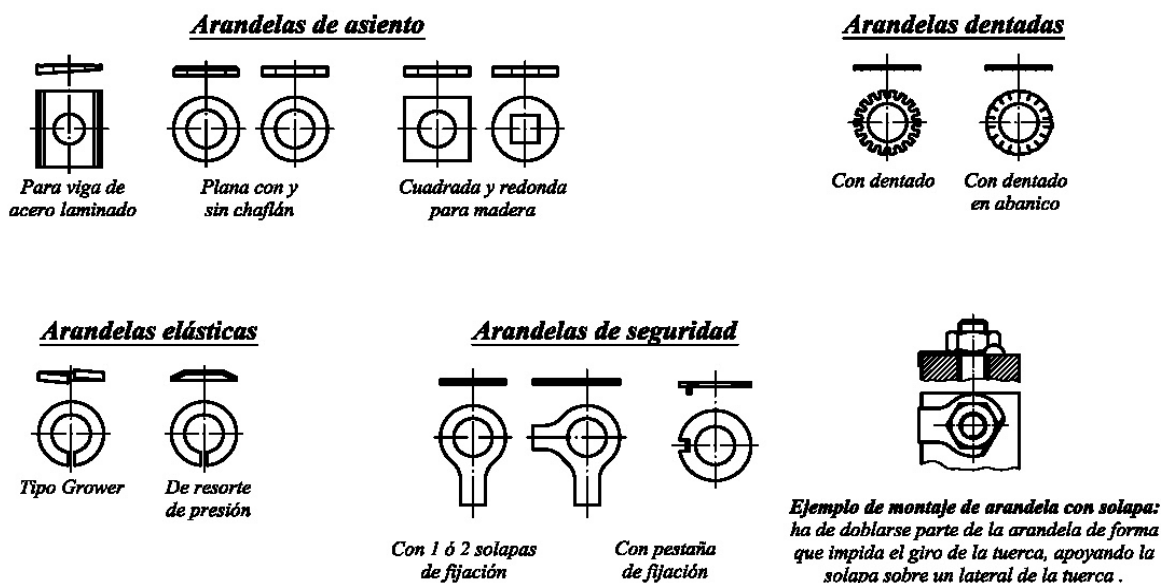
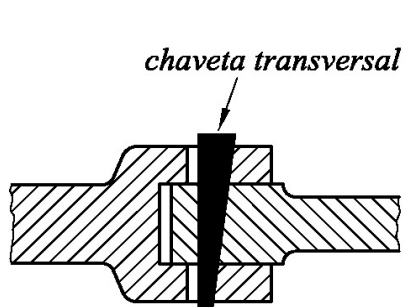


Figura A.67. Tipos de arandelas más frecuentes.

A.2.1.5. Chavetas y lengüetas.

Cuando para evitar el giro libre entre un eje y una rueda (el eje giraría “loco”, sin transmitir el movimiento a la rueda), se recurre al uso de la chaveta o de la lengüeta. En general, puede decirse que asegura la transmisión eficaz del movimiento entre dos elementos, siendo capaces de transmitir movimiento y esfuerzo (potencia).



Como puede verse en los dibujos adjuntos, las chavetas pueden posicionarse transversalmente o longitudinalmente, siendo más habitual esta última opción tratándose de uniones de elementos cilíndricos. En cualquiera de los casos, los elementos a unir deben ir provistos de la ranura o hueco apropiado para alojar la chaveta, y que es denominado “chavetero”.

Figura A.68. Chaveta transversal.

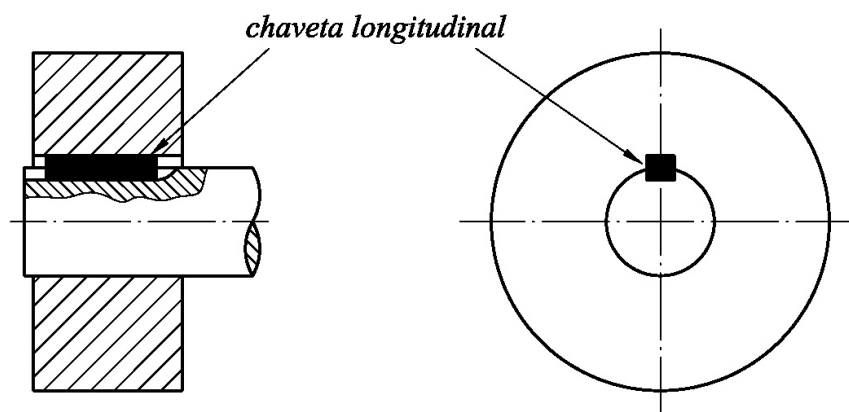


Figura A.69. Chaveta longitudinal.

Si se efectúa el acoplamiento forzado, la chaveta queda fuertemente bloqueada entre el eje y la pieza (rueda, volante, polea, engranaje, etc.). Sin embargo, cuando se prevé también un desplazamiento axial de la pieza, se utilizan unas chavetas denominadas “lengüetas” que deben introducirse en el eje antes del montaje del conjunto, en función del ajuste deseado.

En el siguiente dibujo puede observarse el posicionamiento que diferencia a estos dos elementos:

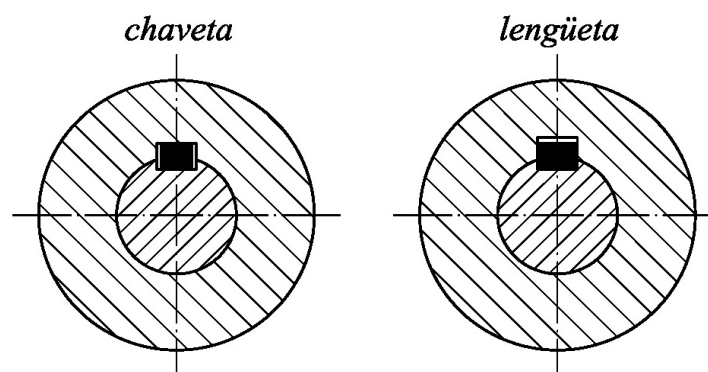


Figura A.70. Diferencias entre chaveta y lengüeta.

Puede encontrarse una gran variedad de este tipo de elementos, resumida en tres grandes grupos: chavetas deslizantes, chavetas embutidas y chavetas con cabeza (cuando un extremo del chavetero no posea salida). En lo que atañe a los tipos de lengüetas existentes, en la figura siguiente pueden verse algunos de las utilizadas con más frecuencia, con criterios de ubicación similares a los anteriormente expuestos:

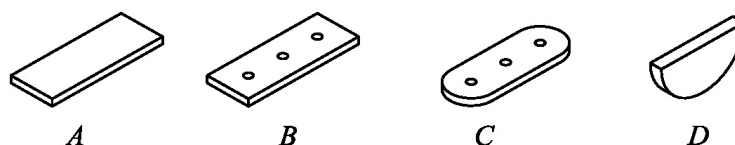


Figura A.71. Diversos tipos de lengüetas.

Donde:

A	Lengüeta recta de ajuste.
B	Lengüeta deslizante de ajuste (con alojamientos para tornillos).
C	Lengüeta deslizante de ajuste (con extremos redondeados y alojamientos para tornillos).
D	Lengüeta redonda.

En cuanto a la representación gráfica y especialmente su acotación, las chavetas poseen una serie de particularidades que conviene conocer y recordar.

- **Acotación de chavetas sin cabeza:** debe acotarse longitud, anchura y altura, así como la pendiente (inclinación) de la cara superior. Como puede observarse, al indicar la anchura resulta impropio acotar el radio en los extremos.

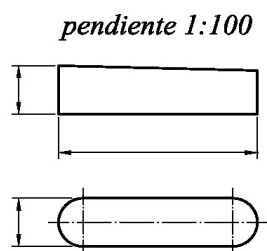


Figura A.72. Acotación de chavetas sin cabeza.

- **Acotación de chavetas con cabeza:** debe acotarse longitud, anchura y altura, así como la pendiente (inclinación) de la cara superior. También deben precisarse las dimensiones e inclinación de la cabeza. En el dibujo puede observarse la acotación de un punto intermedio, que define el punto de inserción en el eje.

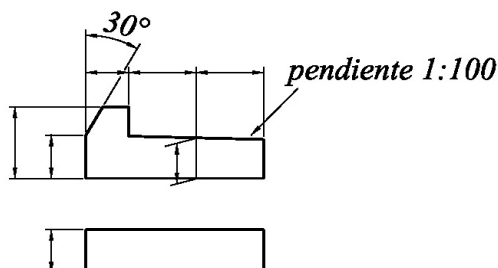


Figura A.73. Acotación de chavetas con cabeza.

- **Acotación de chaveteros tallados en la pieza:** debe acotarse el diámetro interior, la altura total del conjunto y las dimensiones del alojamiento. Además también ha de acotarse la pendiente o inclinación en la vista correspondiente, tal y como se puede ver en la siguiente figura.

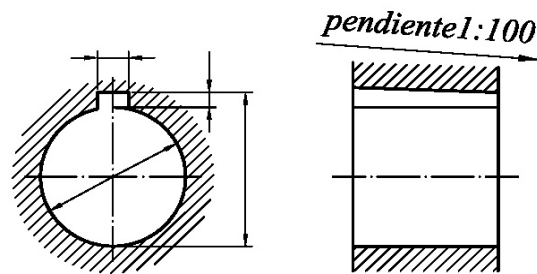


Figura A.74. Acotación de chaveteros tallados en pieza.

- **Acotación de chaveteros tallados en el eje:** debe acotarse la anchura total y la altura, indicando la altura del alojamiento más la del resto del eje. Además ha de acotarse su longitud y anchura totales en la vista correspondiente, sin indicación del radio.

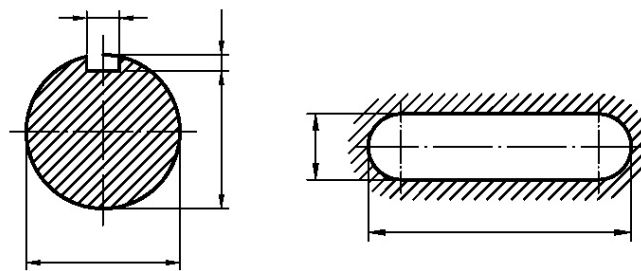


Figura A.75. Acotación de chaveteros tallados en el eje.

- **Acotación de conjuntos (eje+pieza+chaveta):** en un conjunto acotado, ha de prestarse una especial atención al acotado de la anchura de la chaveta y del chavetero, con las tolerancias correspondientes si procede.

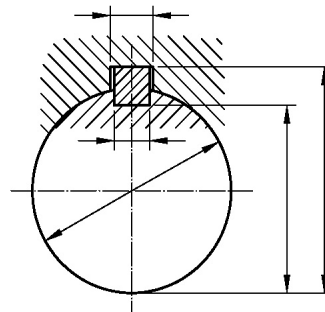


Figura A.76. Acotación de conjuntos (eje + pieza + chaveta).

A.2.1.6. Pasadores

Los pasadores son unos elementos pensados en general para la fijación entre sí de dos piezas. Pueden llegar a transmitir movimiento, pero no potencia (esfuerzos): en caso de transmisión simultánea de movimiento y potencia, se recurre a la utilización de chavetas.



Recuerde

Los pasadores son elementos normalizados, y, por tanto, no se acotan: simplemente debe explicitarse sobre el plano de la forma que se indica más adelante (diámetro, longitud, material, clase).

Los pasadores pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- Pasadores cilíndricos.
- Pasadores cónicos.
- Pasadores de seguridad.
- Pasadores tubulares.

Los pasadores cilíndricos son los más conocidos, y se utilizan para fijar dos piezas en una posición estable aunque la unión definitiva entre ambas quede asegurada por diferentes sistemas de fijación (tornillo en agujero roscado, tornillo o espárrago con tuercas, bulones, etc.). Estos elementos proporcionan una fijación precisa y por tanto, presentan un acabado esmerado.

Para facilitar la utilización de este tipo de elementos, se recurre a un mecanizado previo consistente en un taladrado para generar el agujero donde se introducirá el pasador; a continuación debe escariarse dicho agujero (terminación esmerada del agujero con una herramienta denominada escariador). Como es lógico, lo más habitual es procurar realizar las uniones sobre las caras planas de la pieza.

Los pasadores pueden quedar clasificados en cuatro grandes grupos: pasadores cilíndricos, pasadores cónicos, pasadores de seguridad y pasadores tubulares (una laminilla de acero doblada de forma tubular).

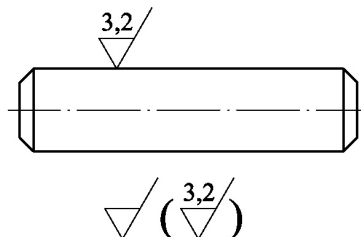


Figura A.77. Pasador cilíndrico.

Cuando se trata de representaciones transversales de este tipo de elementos en planos de conjunto (generalmente la vista en planta) puede utilizarse el símbolo que se muestra a continuación. Con este símbolo se distingue la presencia de un pasador insertado en su correspondiente agujero, ya que de no ser así se debería recurrir a una anotación o a su representación en otra vista para eliminar la incógnita de la presencia o no de dicho pasador (esto es algo que no ocurre con otros tipos de elementos similares, como por ejemplo tornillos o espárragos, puesto que la representación de la cabeza o la rosca de éstos evita cualquier posible confusión o imprecisión).



Figura A.78. Representación simbólica sobre plano.

A continuación se muestra un ejemplo de denominación completa para un pasador cilíndrico estándar:

Pasador cilíndrico 10 x 60 acero F-125B clase 90

Donde:

10	Diámetro (con tolerancia h8).
60	Longitud del vástago (no incluir cabeza).
F-125B	Normativa correspondiente al acero utilizado en su construcción (clase 60 en aceros al carbono F-114N, clase 80 en aceros al carbono F-114B o clase 90 en aceros aleados F-125).

A.2.2. Elementos de transmisión

El entendimiento de los elementos que nos ocupan resulta de especial importancia dadas sus múltiples aplicaciones, aunque un estudio completo resultaría suficiente para una publicación específica sobre el tema. Por lo tanto, intentaremos extraer el mayor número de conocimientos posibles de las líneas que vienen a continuación y que pretenden resumir los aspectos más importantes.

A.2.2.1. Engranajes

Como engranaje debe entenderse el conjunto de dos o más elementos encargados de la transmisión del movimiento de rotación de los ejes que los soportan. Dicha transmisión se efectúa a través de unos dientes mecanizados con un perfil concreto, y que van entrando sucesivamente en contacto.

No obstante, existen una serie de variantes sobre este primer concepto inicial de engranaje, que hace que podamos encontrar otros dos elementos característicos, las cremalleras (barras planas con dientes tallados) y los sinfines (cuerpos cilíndricos equivalentes a un tornillo y cuyos dientes helicoidales se denominan guías).



Es importante realizar dos puntualizaciones al respecto, para evitar confusiones o conceptos equivocados. Como engranaje debe entenderse el conjunto de elementos que se encargan de efectuar la transmisión entre ejes, y no los elementos por separados (como es habitual), ya que en tal caso deben denominarse “piñón” o “rueda”, entendiéndose como elemento transmisor y transmitido respectivamente.

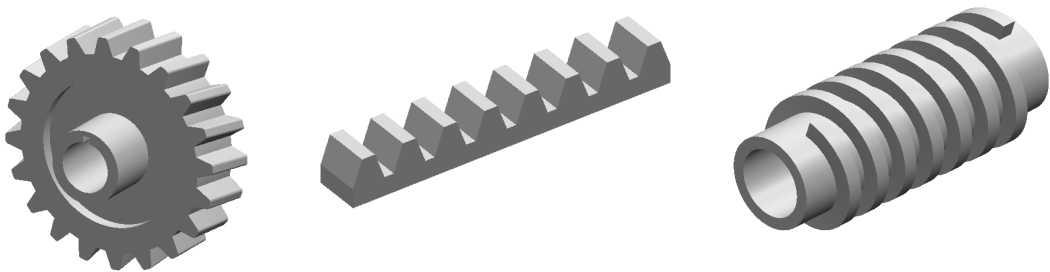


Figura A.79. Piñón o rueda (izqda), cremallera (centro) y sinfín (derecha).

Centrándonos en la disposición que pueden tomar los dientes sobre el engranaje; básicamente, podemos encontrarlos con dentado recto o con dentado helicoidal.

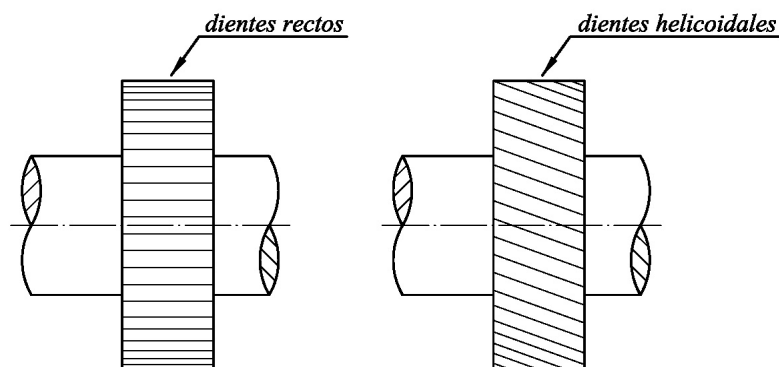
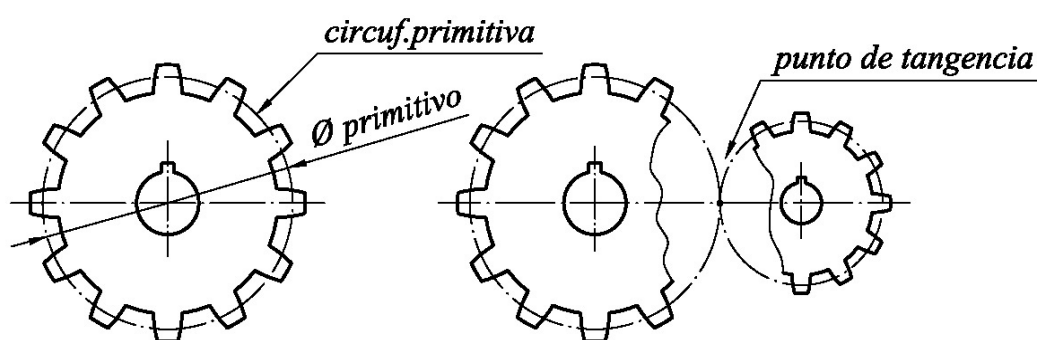


Figura A.80. Engranajes de dientes rectos y helicoidales.

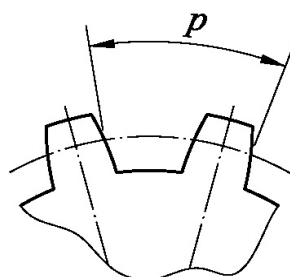
En los engranajes de dentado recto los dientes se encuentran en disposición paralela al eje y a la generatriz, mientras que en los engranajes de dentado helicoidal, los dientes se hallan inclinados en forma de hélice (equivalen a un tornillo de varias entradas, y los hilos de éste serían los dientes del engranaje).

En ambos casos existen una serie de conceptos de los que por el momento sólo deberemos recordar los siguientes, ya que serán objeto de una ampliación y un análisis mucho más exhaustivo en el curso siguiente.

- **Circunferencia primitiva:** es la circunferencia que definen los puntos donde entran en contacto los dientes de dos elementos (puntos de tangencia). Al diámetro de ésta se le denomina diámetro primitivo.



- **Paso:** es la longitud entre dos puntos de dos dientes consecutivos, en la circunferencia primitiva. Es condición que todos los elementos que engranan deben tener el mismo paso.



$p = \text{paso circular}$

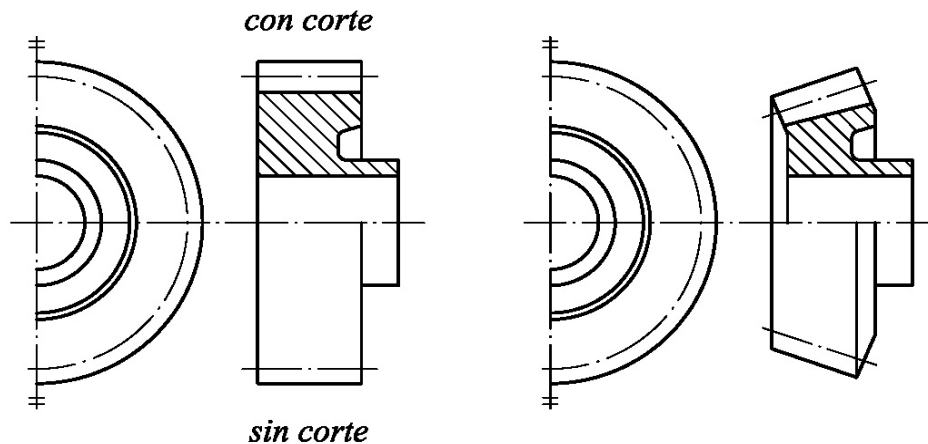
En los engranajes helicoidales debe distinguirse entre el paso circunferencial (p_t), paso normal (p_n) y el paso helicoidal (p_z).

- **Módulo:** relación entre el diámetro primitivo (en milímetros) y el número de dientes, por lo que se trata de un número adimensional. También puede entenderse como la “parte” del diámetro primitivo que le corresponde a cada diente. Existen unos módulos normalizados (según UNE 18-005-75) utilizados con frecuencia para simplificar y reducir costes.

Representación gráfica de unidades de engranaje.

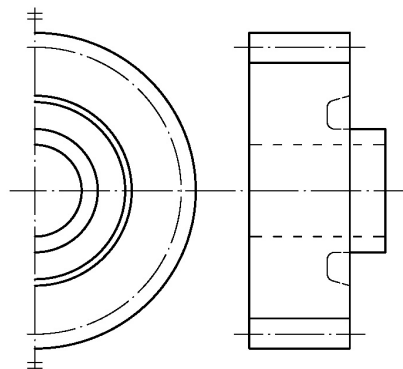
Como es obvio, representar estos elementos íntegramente supondría un considerable esfuerzo y unos profundos conocimientos de dibujo, además de resultar sensiblemente costoso en términos económicos. Por este motivo, en la representación de engranajes podremos encontrar una acusada simplificación que resulta imprescindible conocer.

La representación por separado se basa en unos aspectos que pueden resumirse en estas líneas (según norma UNE 1-044-75); observe con atención los dibujos que las acompañan.



Deben tenerse en cuenta una serie de consideraciones para la representación que pasamos a resumir a continuación:

- En vistas no cortadas, los contornos y aristas se dibujan como si la rueda no tuviese tallados los dientes. El máximo diámetro nos lo proporciona la altura máxima real del diente.
- Si es necesaria una vista cortada axialmente (ver dibujo, partes superiores vistas derechas), se dibuja siempre como si la rueda poseyese dientes rectos. Con vistas a una mayor simplificación, los dientes se representan sin cortar, aunque en la práctica el número de dientes sea impar o no sean dientes rectos.
- La superficie primitiva de funcionamiento queda representada por una línea fina de trazo y punto, independientemente de si la pieza está o no cortada.
- La zona interior o zona de acoplamiento sólo se representa por lo general en vistas cortadas, aunque puede representarse con línea fina discontinua en vistas no cortadas.



- Si interesa representar el perfil del diente, se recurre al trazado en línea gruesa de uno o dos de ellos, tal y como puede apreciarse en la figura. Normalmente se precisa de este artificio para indicar el inicio del dentado en engranajes de cremallera o para explicitar la posición del dentado respecto de un plano axial).

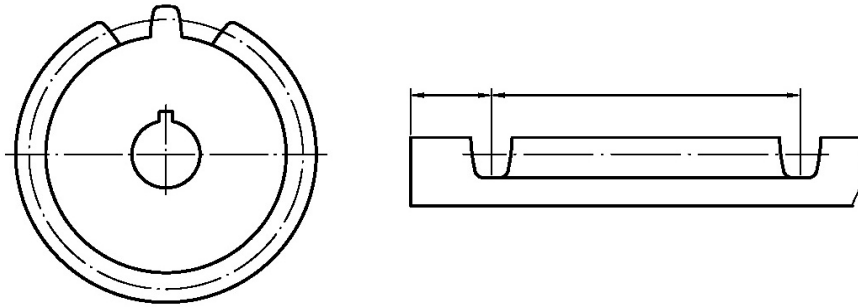


Figura A.81. Representación unitaria del perfil del diente (en engranaje y cremallera respectivamente).

- Si interesa representar la orientación y ángulo del dentado, se llevará a cabo mediante tres líneas finas paralelas (con la correspondiente orientación).

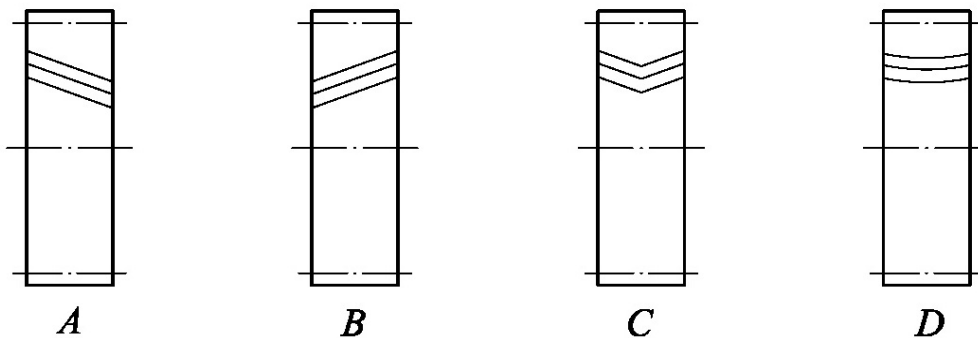


Figura A.82. Representación de orientación y ángulo del dentado.

Donde:

A	Representación para helicoidal a derechas.
B	Representación para helicoidal a izquierdas.
C	Representación en ángulo.
D	Representación en espiral.

Representación gráfica de conjuntos de engranajes

La representación se basa en aspectos similares a los anteriores, a los que deberemos añadir los expuestos en las siguientes líneas:

- Ninguno de los dos elementos del engranaje puede ocultar al otro, y, por consiguiente, deben superponerse los dibujos de ambos. Veamos algunos ejemplos de representación:

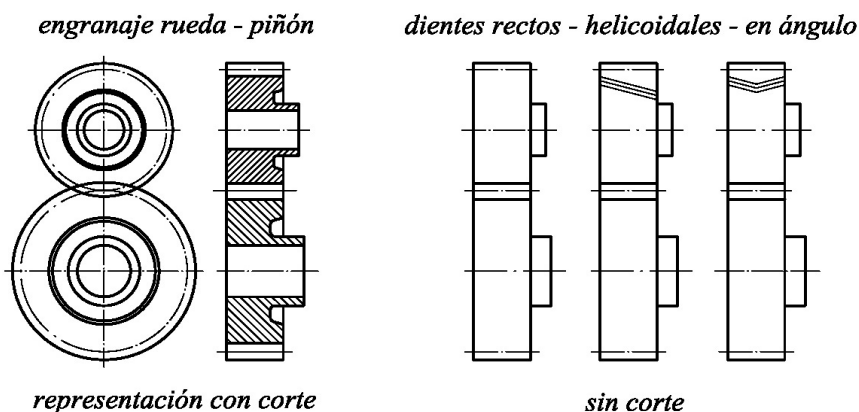


Figura A.83. Ejemplo de representación para rueda – piñón.

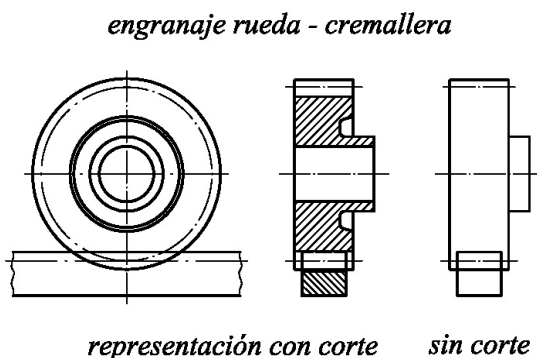


Figura A.84. Ejemplo de representación para rueda – cremallera.

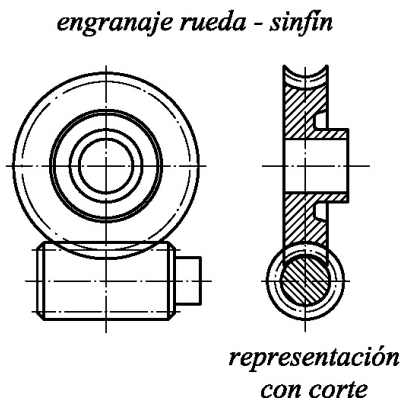


Figura A.85. Ejemplo de representación para rueda – sinfín.

- En engranajes cónicos en proyección paralela al eje, debe alargarse la línea que representa la superficie primitiva hasta interseccionar con el eje. Veamos la siguiente figura.

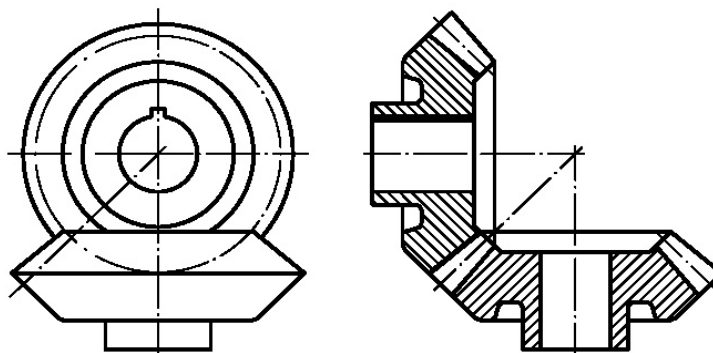


Figura A.86. Ejemplo de representación para engranajes cónicos.

Acotación de engranajes

Para la acotación de engranajes, deben considerarse las dimensiones que se enumeran en la lista siguiente:

- Diámetro máximo y tolerancia.
- Diámetro del alojamiento del eje y tolerancia.
- Longitud del diente.
- Indicación de la superficie de referencia.
- Acabados superficiales.
- Otros datos de interés, que deben indicarse en un cuadro adjunto: módulo, número de dientes, ángulo de presión o de hélice, calidad, juego rueda-piñón durante el funcionamiento, etc.

Para una ampliación del tema que nos ocupa, puede hacerse consulta de la normativa UNE 1-044-75 (signos convencionales para engranajes) y UNE 18-033 (simbología de su geometría).

Por último, y aunque su inclusión dentro del apartado de engranajes puede resultar discutible, debemos citar la existencia de los denominados “ejes estriados”, destinados a la transmisión de grandes esfuerzos de torsión. Se trata en realidad de ejes a los que se les ha realizado unas operaciones de fresado para generar una serie de ranuras longitudinales, obteniéndose como resultado una serie de resaltes o nervios destinados a efectuar dicha transmisión.

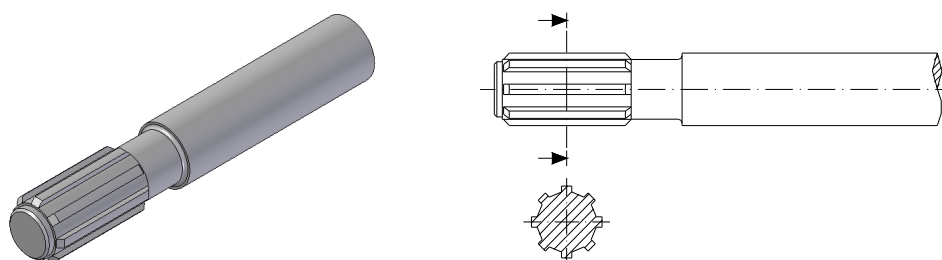


Figura A.87. Eje nervado.

A.2.2.2. Poleas

Existen multitud de elementos de este tipo (poleas macizas, de radios, aligeradas, de base plana, acanaladas, etc) y cada cual presenta una serie de diferencias respecto a sus hermanos que hace imposible una definición completa de todos y cada uno de ellos. Debido a la diversidad existente de este tipo de elementos resulta impracticable el intentar abarcar todos y cada uno de los tipos posibles, por lo que se ha optado por escoger una serie de ejemplos representativos.

No obstante, la denominación de una polea suele realizarse indicando una serie de parámetros en el orden que señalamos a continuación:

- Polea de un cuerpo (“1 T”) o de dos cuerpos (“2 T”).
- Forma de la llanta.
- Diámetro máximo.
- Anchura de la llanta.
- Diámetro del alojamiento para el eje.
- Longitud del alojamiento para el eje (si difiere del ancho de la llanta).
- Chavetero.

Veamos a continuación un ejemplo cualquiera de designación para una polea de una pieza, forma de llanta G, dimensiones y tipo de chavetero:

Polea 1T G 360 x 160 x 50 x132 PN

Donde:

1T	Indicativo de polea de una pieza.
360 X 160 X 50 X132	Dimensiones.
PN	Tipo de chavetero.

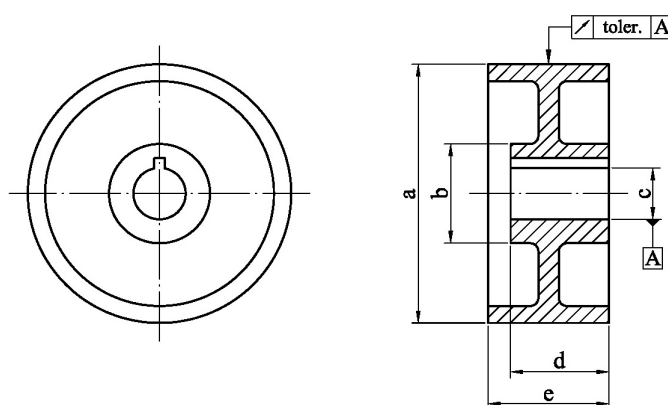
En lo que atañe a representación de correas, suele ser suficiente dibujar su perfil y proceder al relleno del área interior.



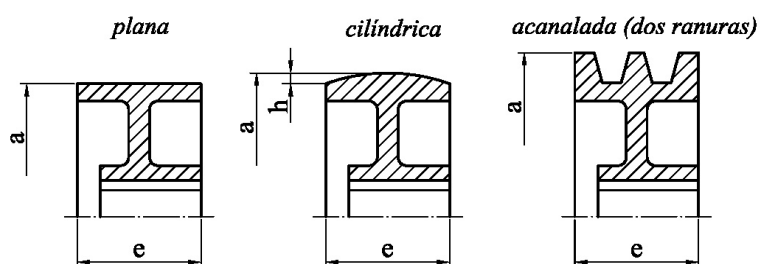
Figura A.88. Sección de las correas.

Representación de polea maciza.

En el ejemplo de la figura se realiza una representación de una polea maciza de fundición, de un único cuerpo. Por este motivo el corte debe rayarse por completo, exceptuando el alojamiento para el eje y el chavetero.



La superficie de deslizamiento para la correa puede ser plana, abombada o presentar acanaladuras para su alojamiento.



Donde:

a	Diámetro máximo.
b	Diámetro exterior del alojamiento del eje.
c	Diámetro interior del alojamiento del eje.
d	Longitud del alojamiento del eje.
e	Longitud de la llanta.
h	Incremento radial.

Representación de polea de radios de un cuerpo

En el siguiente dibujo se muestra una polea de radios de un cuerpo; en este caso, en el corte no deben rayarse los radios, como ya se comentó en capítulos anteriores.

En ocasiones, puede representarse en el radio una sección para delimitar su corte transversal (ver capítulo “cortes, secciones y roturas”). También aquí la superficie de deslizamiento puede ser plana, abombada o presentar acanaladuras.

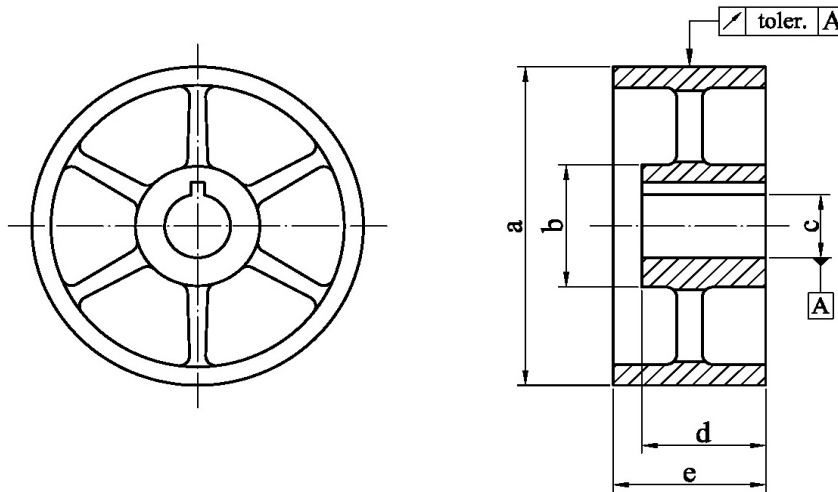


Figura A.89. Polea de radios de una pieza.

Representación de polea de radios de dos cuerpos

El dibujo representa una polea de radios, aunque esta vez de dos piezas; en ocasiones, las poleas se construyen uniendo dos cuerpos simétricos (generalmente debido a su gran tamaño). Analizando la figura con detenimiento podrá apreciarse en la representación del corte los alojamientos para los tornillos de fijación.

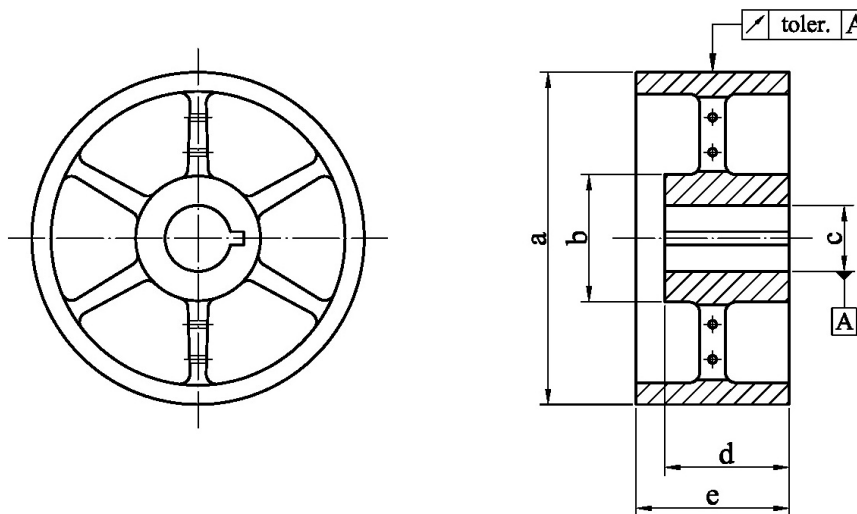


Figura A.90. Polea de radios de dos piezas.

Obsérvese en el dibujo la necesidad de variar la posición del chavetero, puesto que (por requerimientos mecánicos) éste no puede formarse mediante la unión de las dos partes rebajadas: debe tallarse en una de las dos mitades.

A.2.2.3. Cadenas.

El uso de polea y cadenas se justifica en aquellos casos en los que la distancia entre los dos ejes deba ser exacta, deban transmitirse potencias elevadas y resulte imposible la aplicación de engranajes (por ejemplo, una distancia entre ejes excesiva).

Existen numerosas variantes, pero pueden resumirse en cadenas de eslabones, de rodillos o de bloques. Intentaremos resumir la representación gráfica de estos elementos en los siguientes ejemplos.

Representación de cadena de eslabones.

Precisa de una polea con acanaladura especial para una correcta orientación y desplazamiento durante el movimiento. Empleada en industria para polipastos y aparatos de elevación en general.

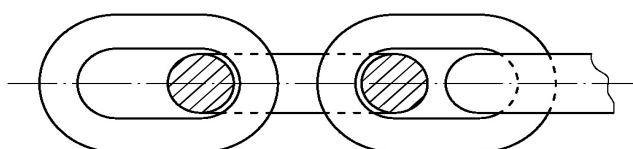


Figura A.91. Cadena de eslabones.

Representación de cadena de rodillos

Formadas por placas metálicas, articuladas y unidas entre sí por medio de pasadores (pueden encontrarse cadenas de una hilera o simples, o de más de una hilera).

En este tipo de cadenas, la distancia entre rodillos equivale al paso, por lo que dicha distancia debe ser igual que el paso de la rueda con la que engrana.

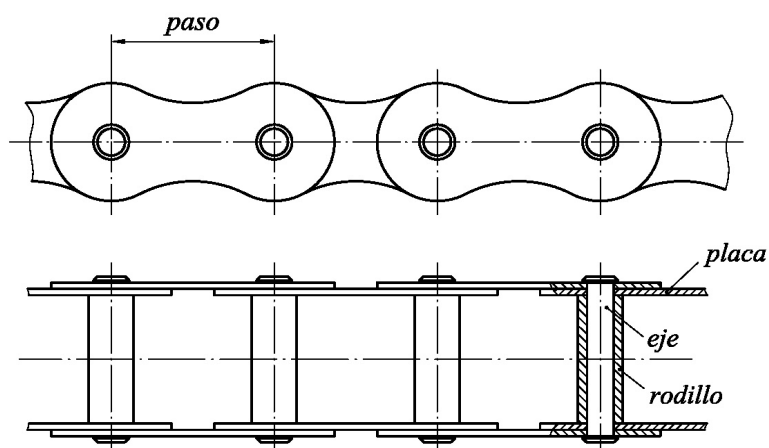


Figura A.92. Cadena de rodillos.

Representación de cadena de bloques.

Similar a la anterior, pero formada por bloques metálicos macizos que quedan unidos por placas laterales y pasadores.

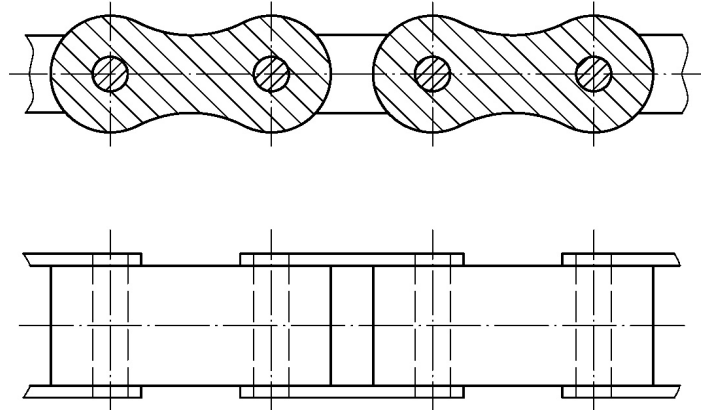


Figura A.93. Cadena de bloques.

A.2.3. Cojinetes y rodamientos

Los ejes giratorios precisan unos puntos de apoyo, estudiados para cumplir tres misiones fundamentales: soportar el peso del eje y accesorios solidarios, eliminar la posibilidad de desplazamientos indeseados y servir de guía para la rotación.

En general, suelen posicionarse sobre unos soportes específicos; como veremos con más detalle al estudiar los rodamientos, en función del trabajo desarrollado podemos clasificarlos como:

- **Radiales:** soportan esfuerzos radiales.
- **Axiales:** soportan esfuerzos axiales.
- **Mixtos:** soportan esfuerzos radiales y axiales.

Por otra parte, estos puntos de apoyo (llamados genéricamente “cojinetes”) se dividen en cuanto a su forma constructiva en dos grandes grupos:

- Cojinetes de fricción.
- Rodamientos.

Los cojinetes de fricción, ya comentado en la primera unidad de la asignatura, suelen ser una simple pieza de revolución, montados a presión y utilizados siempre que no estén previstos desgastes importantes (una vez montado y habiendo funcionado, no podrá corregirse el diámetro interior).

Los rodamientos son elementos mecánicos que se intercalan entre el eje y el soporte, esta vez con una hilera de bolas o rodillos de acero intercalada entre un aro exterior y un aro interior, que delimitan el rodamiento para sustituir el rozamiento directo entre la superficie del eje y la del cojinete por “rodadura”.

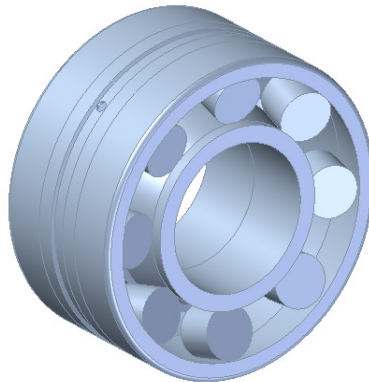


Figura A.94. Rodamiento de rodillos.

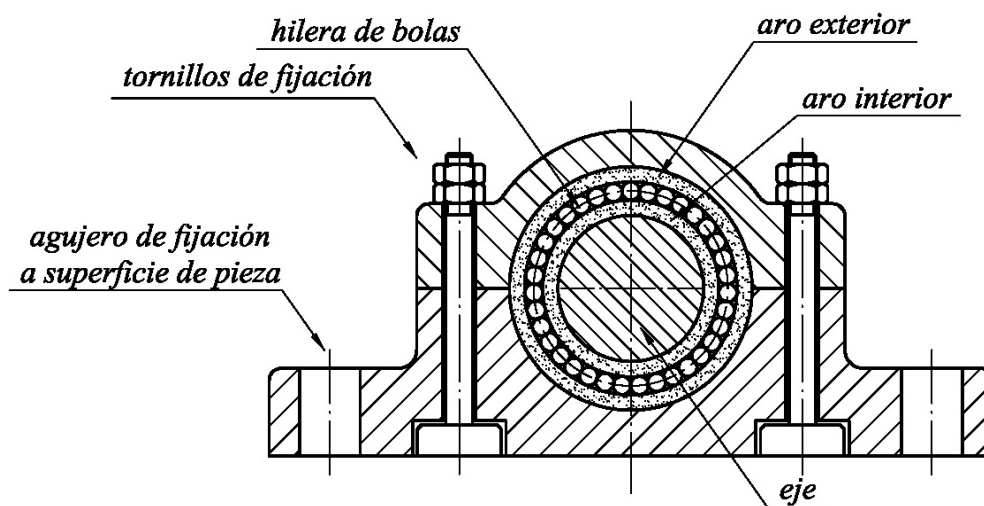


Figura A.95. Elementos constitutivos de un rodamiento estándar.

La designación puede variar de un fabricante a otro, por lo que se recomienda consultar los catálogos y publicaciones de los fabricantes más relevantes del sector (ver apartado *bibliografía recomendada*).

Su ubicación puede realizarse de modos muy variados, aunque pueden resumirse en la fijación mediante tuerca y arandela de cierre (muy empleado), anillos o tapetas (cuando los esfuerzos de axiales son muy pequeños) y manguitos elásticos (en rodamientos en los que el diámetro inferior del anillo interior es cónico). La fijación debe ir acompañada de los correspondientes obturadores (retenes, prensaestopas, o anillos de fieltro), además de engrasadores o cualquier otro tipo de accesorio.

En cuanto a las normas generales de representación, en los siguientes apartados podemos encontrar una síntesis de los principales tipos de rodamientos, ejecuciones especiales aparte, en los que puede apreciarse la representación normalizada y la representación simplificada o simbólica. En el primero de los ejemplos podrá estudiarse la acotación pertinente, aunque el acotado del rodamiento no volverá a repetirse en los siguientes esquemas, por resultar reiterativo.

En el ejemplo siguiente puede verse un ejemplo de aplicación real de este tipo de elementos, en donde puede observarse su ubicación y la de los elementos que lo rodean (pieza que lo aloja, tuercas especiales para fijar el rodamiento, tapetas de protección, etc.).

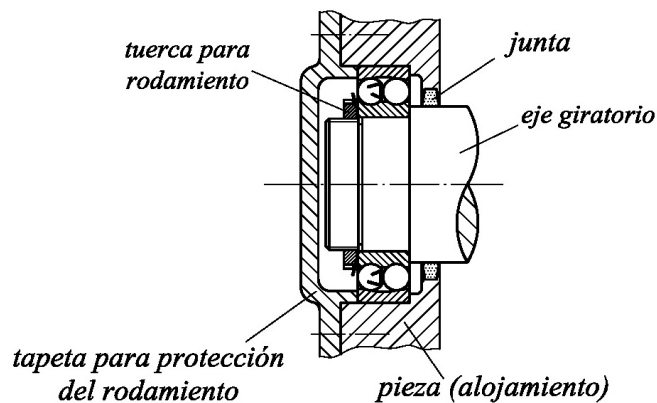


Figura A.96. Elementos anexos al montaje de un rodamiento.

A continuación veremos los distintos tipos de rodamientos:

- Representación de rodamientos rígidos de bolas.
- Rodamiento de bolas de contacto angular
- Rodamiento de bolas a rótula (o de bolas oscilante)
- Rodamiento de rodillos cilíndricos:
- Rodamiento de rodillos cónicos
- Rodamiento oscilante de rodillos
- Rodamiento axial de bolas
- Rodamiento de agujas

Representación de rodamientos rígidos de bolas

Se trata del rodamiento más típico, diseñado para pequeñas cargas radiales y axiales y el más capacitado para soportar trabajo a altas velocidades. Normalización según DIN 625.

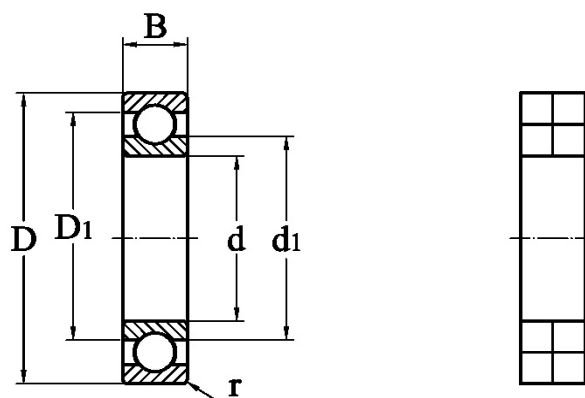


Figura A.97. Representación normalizada (izquierda) y simbólica (derecha).

Donde:

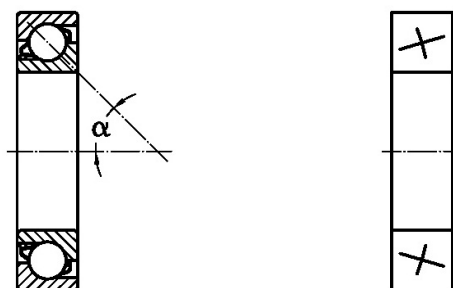
D	Diámetro máximo del anillo exterior.
D1	Diámetro mínimo del anillo exterior.
d1	Diámetro máximo del anillo interior.
d	Diámetro mínimo del anillo interior.
B	Ancho del rodamiento.
R	Radio de curvatura de las aristas.



Este último parámetro puede considerarse a primera vista irrelevante, y, sin embargo, tiene una especial importancia, puesto que guarda una relación directa con el radio a aplicar en el soporte y la herramienta a utilizar en el mecanizado.

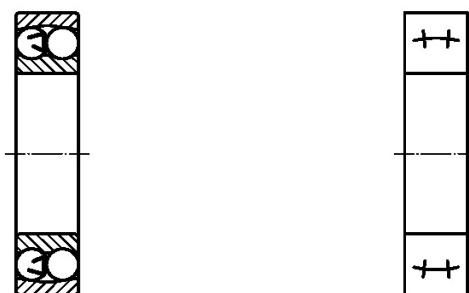
Rodamiento de bolas de contacto angular

Para pequeñas cargas radiales, así como axiales en un único sentido (en este caso, la transmisión de la carga aplicada se efectúa con un ángulo de contacto de un máximo de 40°). En general, soporta cargas axiales sólo en un sentido, de modo que debe montarse con un segundo rodamiento que soporte las cargas axiales en el sentido opuesto. Normalización según DIN 628.



Rodamiento de bolas a rótula (o de bolas oscilante)

Contiene dos hileras de bolas, que se deslizan sobre dos pistas de rodadura (ver las acanaladuras en el aro interior). Es autocentrante, por lo que es capaz de compensar flexiones o desalineaciones leves en el eje. Normalización según DIN 630.



Rodamiento de rodillos cilíndricos:

Soporta grandes cargas radiales y son desmontables, lo que facilita en gran medida el montaje y desmontaje en el alojamiento correspondiente. Normalización según DIN 5412.



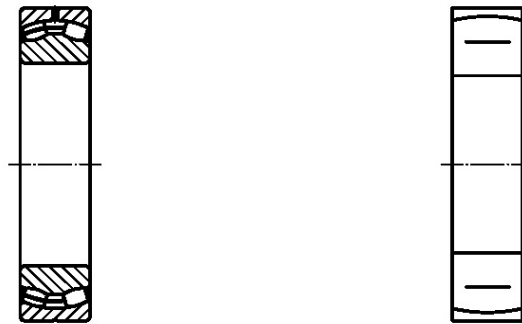
Rodamiento de rodillos cónicos

Soporta grandes cargas radiales y también axiales en un único sentido, por lo que suelen montarse acompañados de un segundo rodamiento opuesto. Pueden desmontarse de tal manera que el montaje de los aros exterior e interior se puede llevar a cabo por separado, siendo además autorregulables en cuanto el juego axial y radial. Normalización según DIN 5412.



Rodamiento oscilante de rodillos

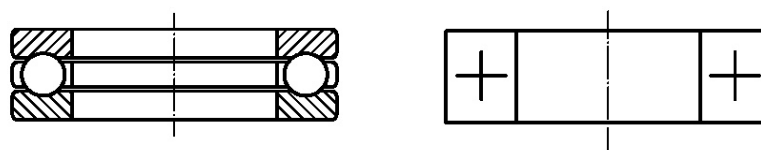
Contiene dos hileras de rodillo abombados, en forma de tonel, que se deslizan sobre dos pistas de rodadura (ver las acanaladuras en el aro interior). Es autocentrante, distribuyen la presión uniformemente y soportan grandes cargas radiales y axiales incluso en las condiciones más desfavorables. Normalización según DIN 635.



Rodamiento axial de bolas

Los rodamientos axiales de “simple efecto” soportan cargas en un único sentido (según DIN 711); soportan grandes cargas axiales.

Los rodamientos axiales de “doble efecto” soportan cargas en los dos sentidos (según DIN 715); y también admiten grandes cargas axiales.

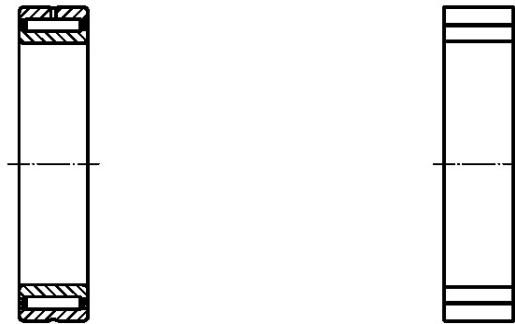


Rodamiento de agujas

Los rodamientos de agujas constan de unos rodillos de escaso diámetro en relación con su longitud, denominados agujas. Apropriados para montajes en lugares con espacio restringido, aunque requieren una alta precisión en su montaje.

En este tipo de rodamientos podemos encontrar tres variantes: con aro exterior e interior, con aro exterior (contacto eje – agujas directo), y sin aros (dos aros laterales encarcelan las agujas).

Normalizados según DIN 617, 618 y 5404-5407 respectivamente.



A.2.4. Muelles y resortes

Como muelle o resorte se entiende aquel elemento capaz de deformarse a causa de una fuerza externa, y recuperar su forma anterior tras el cese de aquella. Estos elementos son de sobras conocidos y tienen un gran abanico de utilidades, entre las que podemos citar la separación entre piezas conservando unos límites adecuados (por ejemplo, actuadores neumáticos, suspensiones, somieres de muelles), almacenamiento de energía (muelles de relojería, juguetes “de cuerda”), etc.

Independientemente de su aplicación, incluimos a continuación una clasificación de los tipos de resortes (según DIN 29) basada en tres aspectos: la vista real, la sección y el símbolo de representación del elemento:

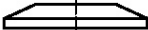

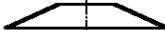
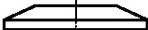

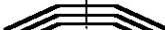
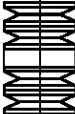

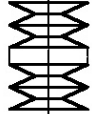




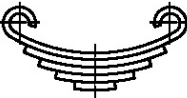
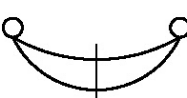



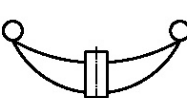
<i>Denominación</i>		<i>Vista</i>	<i>Sección</i>	<i>Símbolo</i>	<i>DIN</i>
Muelles de platillo	Platillo sencillo				2093 2092
	Platillo múltiple				
	Columna de platillos				
Resortes en espiral	En espiral				
Ballestas	Sin ojos				
	Con ojos				
	Sin ojos y con brida				
	Con ojos y brida				

Figura A.98. Resumen simbología básica para muelles, resortes y ballestas (1).

Denominación		Vista	Sección	Símbolo	DIN
Resortes helicoidales cilíndricos	Resorte a compresión (secc. redonda)				2089 2095 2096
	Resorte a compresión (secc. cuadr.)				2090
	Resorte a tracción				2089 2097
	Resorte a flexión				2088
Resortes a compresión (truncocónicos)	Truncocónico (secc. redonda)				
	Truncocónico (secc. rectang.)				

Figura A.99. Resumen simbología básica para muelles, resortes y ballestas (2).

A.2.5. Formas de mecanizado normalizadas

En este apartado vamos a repasar brevemente algunos de las representaciones utilizadas de forma habitual en planos mecánicos. La mayoría de estas geometrías son mecanizadas por herramientas especiales que determinan su forma; los procesos de mecanizado son necesarios y repetidos con frecuencia en multitud de piezas.

A.2.5.1. Entalladuras

Las entalladuras son unos pequeños vaciados que se realizan durante el torneado de una pieza. Su finalidad es que la piedra esmeril con la que se efectúa el rectificado de la pieza tenga una “salida” natural y no llegue a tocar los ángulos rectos que puedan existir. Existen dos formas posibles de ejecución física, resumidas en las entalladuras de formas “E” y “F”.

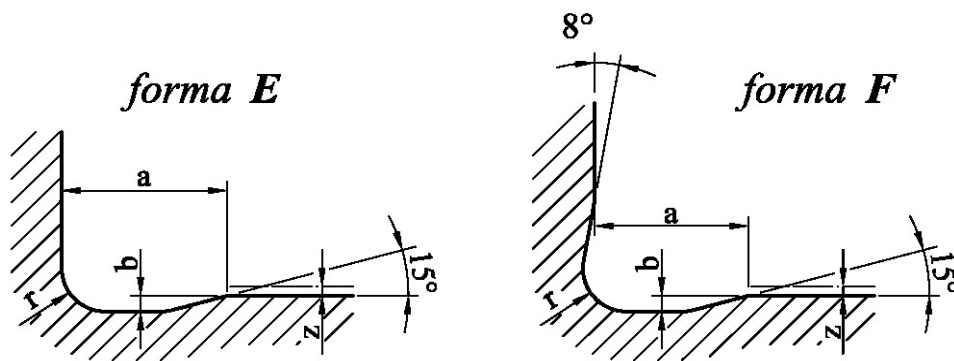


Figura A.100. Formas E y F.

En cuanto a su representación y designación, para designar una entalladura debe especificarse, en el orden citado, los siguientes datos:

- Su forma (“E” o “F”).
- El valor del radio de redondeo (“r”).
- La profundidad de la huella (“b”), determinada en función del radio (ver tabla anterior).
- La normativa DIN correspondiente.

A continuación incluimos un ejemplo aleatorio de designación de entalladura:

Entalladura E 0,6 x 0,2 DIN 509

Donde:

E	Forma de la entalladura.
0,6	Radio.
0,2	Profundidad de la huella, según tablas.
DIN 509	Normativa correspondiente.

Las entalladuras se representarán habitualmente de forma simplificada, tal y como se observa en la figura siguiente. La acotación completa de la entalladura queda reservada generalmente para el fabricante de las herramientas.

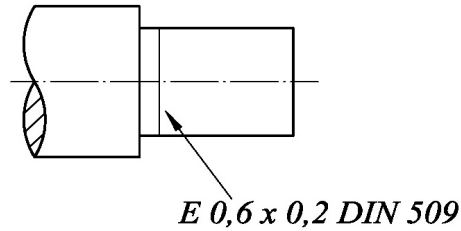


Figura A.101. Acotación simplificada.

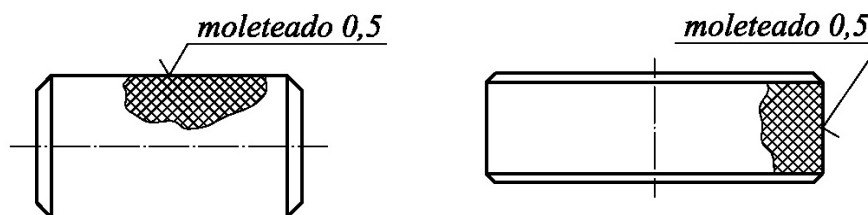
A.2.6. Moleteado

El moleteado es una operación realizada sobre piezas de revolución, con el fin de presentar un mejor agarre manual, procediéndose para ello al labrado de unas estrías sobre la superficie de la pieza. Las estrías del moleteado pueden presentar distintas disposiciones (en paralelo, en cruz, a derechas, a izquierdas o en doble diagonal).

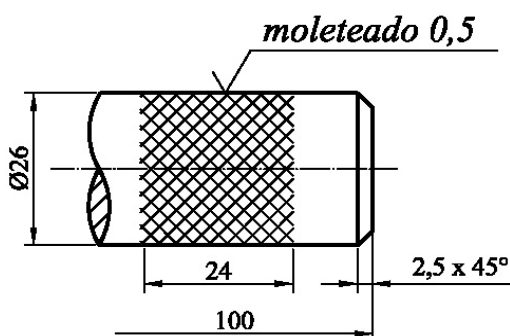
En cuanto a su representación y acotado, el moleteado se representa con línea continua fina; cuando la superficie sobre la que se efectúa el moleteado está redondeada por los extremos, dichas líneas deben interrumpirse poco antes de llegar al perímetro.



Si la superficie moleteada es relativamente grande, suele representarse sólo una parte del moleteado, donde se indica el proceso junto con el paso (distancia entre estrías consecutivas).



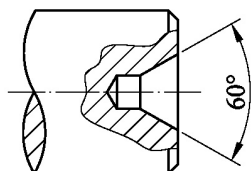
En cuanto a la acotación, únicamente citar como relevante la necesidad de demarcar la superficie acotada, tal y como se indica en el ejemplo:



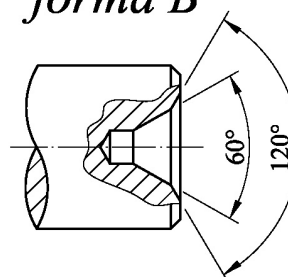
A.2.6.1. Puntos de centrado

Los puntos de centrado son unas perforaciones (taladros) que se realizan en la cara frontal de piezas de considerable longitud, con objeto de ayudar en el centrado y apoyo de la pieza a tornear. Su perfil queda definido por la herramienta al penetrar, desplazándose a lo largo del eje de revolución. En el dibujo puede comprobarse la existencia de cuatro tipos ("A", "B", "C" y "R"):

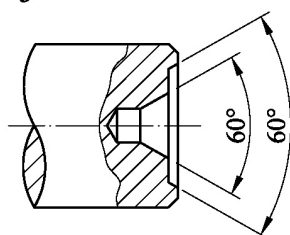
forma A



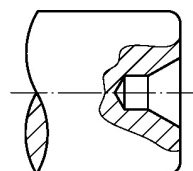
forma B



forma C



forma R



En cuanto a su representación y designación, para designar un punto de centrado debe especificarse, en el orden citado, los siguientes datos:

- Punto de centrado y su forma ("A", "B", "C" y "R").
- El valor del radio de la broca (se indica el menor diámetro del perfil, puesto que la conicidad la proporciona la forma de la propia herramienta).
- Norma DIN correspondiente.

A continuación incluimos un ejemplo aleatorio de designación de entalladura:

Punto de centrado A 2,5 DIN 332

Donde:

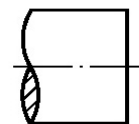
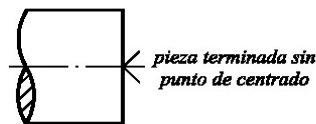
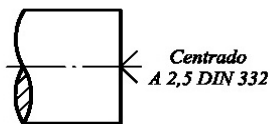
A	Punto de centrado clase A.
2,5	Diámetro de punta de la broca utilizada.
DIN 332	Normativa correspondiente.

La representación se simplifica considerablemente, pudiéndose indicar si el punto de centrado queda incluido en la pieza tras el mecanizado, si desaparece durante éste o si resulta indiferente el que permanezca o no.

si el punto de centrado ha de quedar en la pieza

si el punto de centrado no ha de quedar en la pieza

si el punto de centrado puede quedar en la pieza



A.3. Metrología básica

La metrología es la ciencia que se encarga del estudio de todo lo referente a la medición, siendo la denominada **metrología dimensional** la encargada de la medida de las dimensiones de una pieza. Existen otros conceptos de metrología, como la **metrología eléctrica**, encargada de las mediadas eléctricas, la **metrología ponderal**, encargada de la medida de pesos, etc.

La metrología dimensional, que es la que nos ocupa, nace como fruto de la necesidad de controlar las dimensiones del producto tanto a lo largo de las diferentes fases del proceso productivo como una vez acabado. No cabe duda de que el fracaso o el éxito de un producto dependen en gran parte del rigor con el que se hayan aplicado los diferentes procesos de verificación.

Aunque no todas las partes de una pieza deben ser medidas necesariamente, o al menos con el mismo rigor, sí existen una serie de reglas en cuanto a unidades de medición, aparatos a emplear y tolerancias admitidas, tal y como pudimos ver en el apartado posterior. Como es lógico, un incremento de los requisitos exigidos se traduce invariablemente en un incremento del coste final del producto, por lo que ya desde las etapas iniciales del producto, es decir, en su fase de diseño, deben preverse unos requisitos acordes con la finalidad que posee dicho producto. Y este no es sólo un concepto aplicable a producción, sino que también mantenimiento debe plantear la fabricación de un repuesto en función del cometido y la responsabilidad que vaya a tener una vez fabricado.



Ejemplo

Como puede comprobarse fácilmente en cualquier máquina-herramienta, las bancadas de fundición gris que soportan el resto de los elementos sólo presentan un acabado esmerado y unos requisitos estrictos en cuanto a tolerancias (sobre todo de forma), en las superficies donde apoyarán o sobre las que se deslizarán otros elementos.

Mecanizar o acabar con esmero el resto de las superficies, que quizás tan sólo hayan de ser pintadas, representaría invertir un tiempo y un dinero innecesarios que encarecerían el coste económico del producto.

No obstante, y sin entrar en otro tipo de consideraciones, la metrología abarca una serie de aspectos que interesa recordar:

- **Magnitudes:** estudio de magnitudes como longitud, masa, fuerza, carga eléctrica, etc., así como los patrones de medida correspondientes.
- **Sistemas de unidades:** en función de su pertenencia al sistema internacional, sistema técnico, sistema sexagesimal, etc.
- **Normas y criterios de medición:** para realizar las mediciones de forma correcta, con los aparatos de medición adecuados.
- **Instrumentos de medida:** elección y utilización de los aparatos de medición necesarios.

Evidentemente, la ejecución de ciertas medidas o comprobaciones rutinarias (así como el uso de los aparatos implicados, por consiguiente), pueden realizarse perfectamente por parte del operario encargado del proceso de fabricación y/o montaje del producto, aunque muchas otras, generalmente las más complejas y que requieren aparatos de mayor precisión, quedan reservadas a los laboratorios de calidad.

A.3.1. Medir, comparar, verificar

Existen diferentes operaciones en mecánica para controlar las dimensiones y formas de los productos (el control de la pieza no consiste en otra cosa más que en averiguar si el producto fabricado reúne las condiciones que se exigían en el plano), que pueden agruparse de tres modos bien diferenciados:

- Medir.
- Comparar.
- Verificar.

La operación de **medir** sirve para controlar una pieza comparándola con la unidad de medida establecida. Existen diferentes tipos de aparatos de medida, bien sean digitales o analógicos: en este último caso suelen estar equipados con una serie de trazas o divisiones graduadas, que son las que determinan el valor de los errores.



Generalmente, la unidad empleada en taller es el milímetro, siendo sus submúltiplos más frecuentes la décima ($1/10$ mm), la centésima ($1/100$) y la milésima o micra ($1/1000$) respectivamente.

Sin embargo, no hemos de olvidar que también es frecuente encontrar piezas o recambios de máquina-herramienta expresados en el sistema inglés, el cual utiliza la pulgada, sus submúltiplos o fracciones de ésta como unidad de medida (1 pulgada = $25,4$ mm).

Generalmente, una misma magnitud puede ser cuantificada con diferentes aparatos, pero la exactitud en la medida dependerá directamente de la precisión que posea el instrumento empleado. Por ejemplo, la longitud de una pieza relativamente pequeña puede ser medida mediante un flexómetro, una regla, un pie de rey o un micrómetro, pero es evidente que el resultado difícilmente será el mismo, debido al diferente grado de apreciación de cada uno de ellos.

También la habilidad del operario para una toma correcta de la medida es fundamental y, como es de suponer, cualquier operación habrá de realizarse en unas condiciones de limpieza, iluminación, estabilidad y temperatura adecuadas (debe tomarse una temperatura de 20° C. como referente).



Figura A.102. Mesa de granito Mitutoyo.

La operación de **comparar** sirve para comparar dos objetos o más, a fin de descubrir sus relaciones, diferencias o semejanzas. Por ello ha de utilizarse un patrón, que es el que se comparará con el producto que se desea examinar.

Hemos de darnos cuenta de que en este caso no nos estamos centrando en el valor de una determinada magnitud (por ejemplo, la longitud de la pieza), sino únicamente en saber si cumple ciertos requisitos como puedan ser dimensiones, calidad superficial, perfil de una rosca, material, etc.

El ejemplo más representativo quizá sea el de los calibre fijos, conocidos habitualmente como “pasa-no pasa”, que explicaremos más adelante y cuyo cometido no es el de medir una pieza, sino sencillamente determinar si entra dentro de las tolerancias exigidas o no.

La operación de **verificar** sirve para comprobar si tanto la forma como las dimensiones de unas piezas son verdaderas. En términos mecánicos, la verificación comprende las operaciones de medir y comparar simultáneamente, con objeto de determinar si las piezas o los aparatos analizados reúnen las condiciones necesarias para cumplir las funciones que se espera de ellos.

A.3.2. Aparatos de medición

Uno de los aspectos más importantes que atañen al personal implicado en los procesos de fabricación y/o mantenimiento, es el poseer unos conocimientos mínimos imprescindibles sobre los aparatos de medición utilizados.

Por ello, y aunque quizás puedan tratarse de aparatos sobradamente conocidos por parte de algunos, hemos considerado necesario incluir unos ejemplos de modos de lectura acompañando a la descripción del aparato en cuestión.

Evidentemente existen numerosas variantes dentro de estos aparatos, sobre todo considerando la especialización que surge de las necesidades de medición de determinados productos más o menos particulares, pero en las siguientes líneas se reúnen los más significativos y que sin duda se hallarán presentes en todo taller mecánico. Además, existen ciertos aparatos muy utilizados pero que por su amplia difusión hemos considerado innecesario incluir, como por ejemplo la regla o el metro flexible.

Aparatos de medición que estudiamos a continuación:

- El calibre o pie de rey.
- El micrómetro.
- Reloj comparador.
- Calibres fijos.

A.3.2.1. El calibre o pie de rey

Se trata de un instrumento de amplísima utilización en talleres, concretamente en lo que pueden considerarse mediciones de pequeña y mediana precisión: los analógicos suelen presentarse con precisiones de 0'05 mm, 0'02 mm y hasta 0'01 mm, mientras que con los digitales se logran precisiones de milésima (0'001 mm).

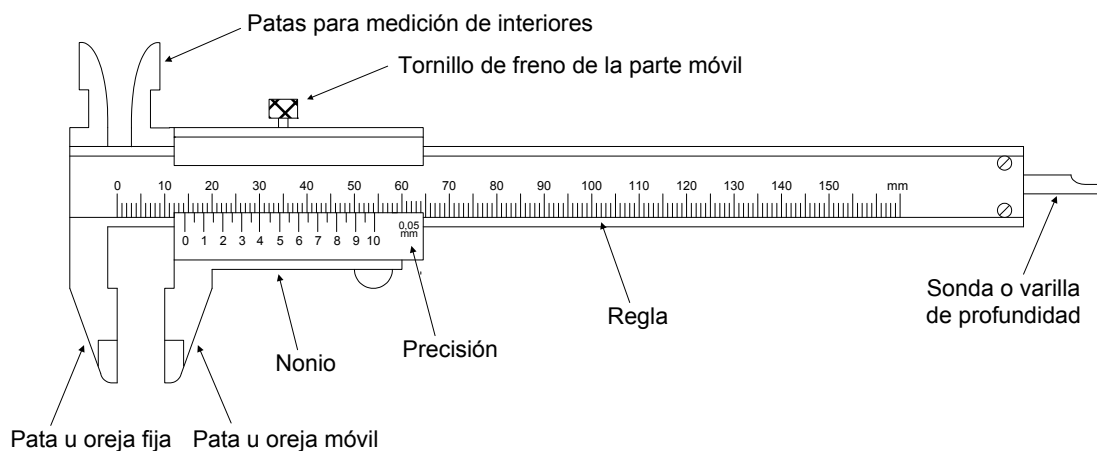


Figura A.103. Partes de un pie de rey analógico estándar.

Un calibre estándar consta de dos partes bien diferenciadas:

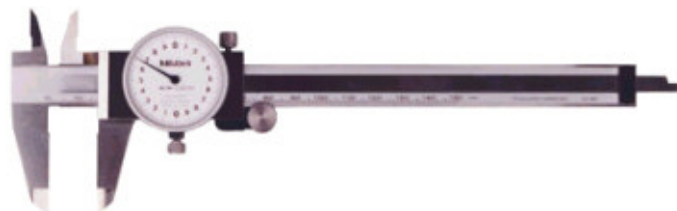
- Una **parte fija**, sobre la que se halla serigrafiada una regla graduada en milímetros por el lateral inferior y en pulgadas por el lateral superior, tal y como puede verse en las fotografías incluidas. Además constan de dos patas u orejas fijas en un extremo (la inferior para llevar a cabo el apoyo sobre la pieza en el caso de mediciones exteriores y la superior para mediciones de interiores).
- Una **parte móvil**, donde lleva serigrafiado una graduación especial denominada nonio, cuyo funcionamiento detallaremos más adelante. Dicha parte móvil también incorpora unas patas u orejas para mediciones exteriores e interiores, así como una varilla que se desplaza longitudinalmente y que actúa como sonda para medición de alturas. Pueden incorporarse tornillos de apriete (que dejan la parte móvil fija, sin posibilidad de desplazamientos no deseados tras la medición), ruletas de desplazamiento fino, etc.

Los calibres o pies de rey suelen estar fabricados en acero inoxidable, disponiendo la mayoría de un cromado mate que evita la formación de reflejos y una mala percepción de las medidas a realizar.

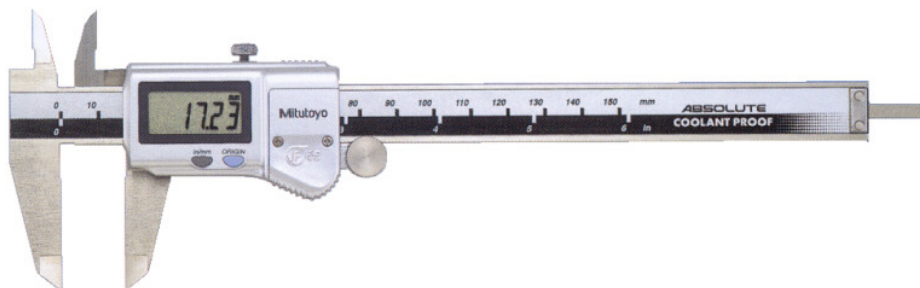
Tipos de pie de rey

Aunque existen numerosas variantes sobre los modelos aquí descritos, a continuación vamos a hacer referencia a los tres modelos más habituales empleados; como es natural, la mayor diversidad entre una misma familia va a localizarse en la forma de las patas u orejas, que variarán en función de la formas y posibles puntos de apoyo de la pieza a medir.

- Calibre analógico de lectura mediante nonio. Posiblemente se trate del modelo más conocido, ofertado en múltiples tamaños y calidades (y precios, por consiguiente).
- Calibre analógico de lectura mediante reloj. Como es fácilmente imaginable, la incorporación del reloj en sustitución del nonio ayuda a una lectura mucho más fácil y rápida de los datos.



- Calibre de lectura digital. En este caso tampoco se precisa nonio, puesto que la pantalla digital permite una rapidísima lectura de la medición.



Realización de mediciones

Cuando se trata de un pie de rey provisto de nonio, la medición se efectúa basándonos en el desplazamiento de éste a lo largo de la regla graduada de la que dispone la parte fija del pie de rey.

El nonio es, en realidad, una regla recta o circular que fracciona las divisiones del instrumento de medida en partes proporcionales a fin de ampliar las apreciaciones de éste. Démonos cuenta de que las divisiones que posee el pie de rey en su regla fija son de milímetros, y que si se intentase incluir divisiones más pequeñas no resultarían apreciables por el ojo humano.



Aunque estamos hablando de apreciaciones de milímetros y sus subdivisiones, también se aplican estos conceptos para la medición de grados y sus subdivisiones cuando se trate de aparatos destinados a medir la amplitud de un ángulo.

El nonio se halla dividido en 20 divisiones, aunque sólo se numeran de dos en dos, por lo que como puede verse en el dibujo la numeración se realiza de 0 a 10. Como puede deducirse, las citadas 20 divisiones le confieren al pie de rey representado una apreciación de 0,05 milímetros ($1 / 20 = 0,05 \text{ mm}$).

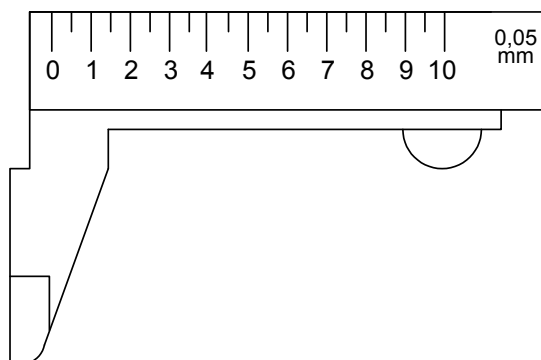


Figura A.104. Detalle del nonio de un pie de rey.

En realidad, la percepción de la parte entera, es decir, la parte que corresponderá a los milímetros, se realiza directamente mediante la lectura de la regla graduada situada sobre la parte fija, tratándose por tanto de una operación extremadamente sencilla.

Sin embargo, la lectura de la parte fraccionaria (décimas y centésimas generalmente) se lleva a cabo mediante el procedimiento de comprobar qué rayita del nonio resulta coincidente con alguna otra de la regla graduada. Esto es posible en cuanto sólo una de dichas rayitas podrá ser coincidente, excepto cuando no exista parte decimal, caso en el que resultarán coincidentes las cifras 0 y 10 del nonio simultáneamente.

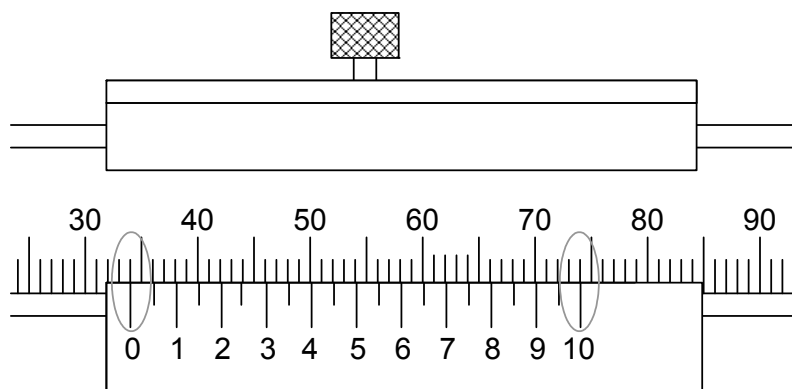


Figura A.105. Ejemplo nº 1 de medición.

En este primer ejemplo, el valor de la medición corresponde exactamente a 34 mm: por un lado, la regla delata una parte entera de 34 mm, mientras que por otro lado la coincidencia de alineamiento de las cifras 0 y el 10 del nonio delata que no existe una parte decimal que añadir.

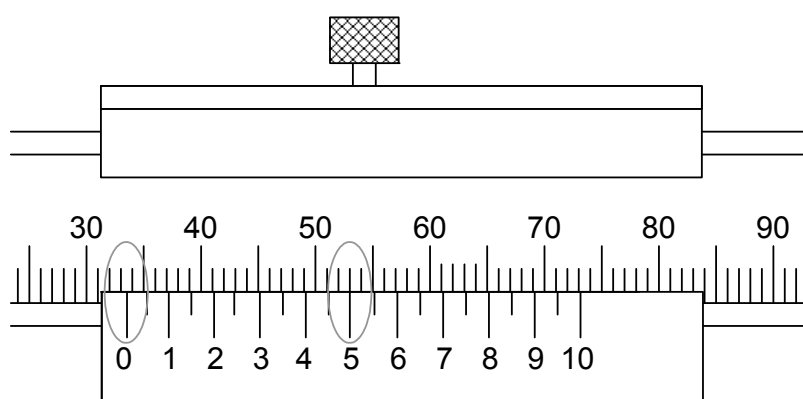


Figura A.106. Ejemplo nº 2 de medición.

En este primer ejemplo, el valor de la medición corresponde exactamente a 33.5 mm: por un lado, la regla delata una parte entera de 33 mm, mientras que la coincidencia de alineamiento de la cifra 5 del nonio con una de las rayitas de la regla indica una parte decimal a añadir de 5 décimas.

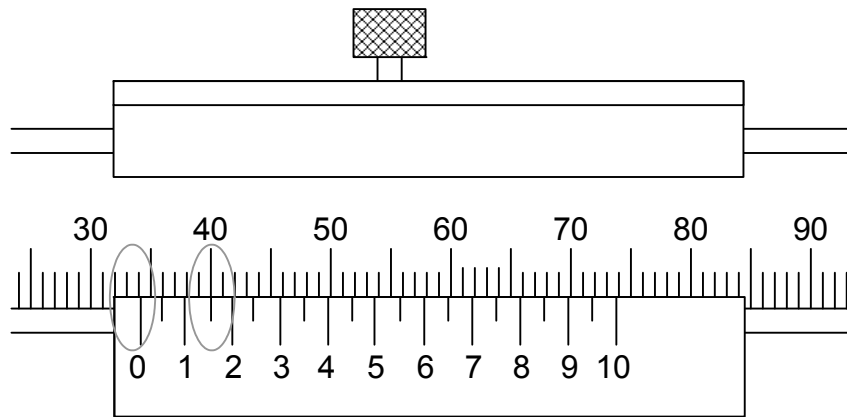


Figura A.107. Ejemplo nº 3 de medición.

En este primer ejemplo, el valor de la medición corresponde exactamente a 34,15 mm: por un lado, la regla delata una parte entera de 34 mm, mientras que la coincidencia de alineamiento de la rayita comprendida entre las cifras 1 y 2 del nonio con una de las de la regla, indica una parte decimal a añadir de 1,5 décimas, es decir, 15 centésimas.

Veamos a continuación un ejemplo gráfico de aplicación práctica para medición exterior (en color gris se resalta el cuerpo cilíndrico cuyo diámetro se pretende medir):

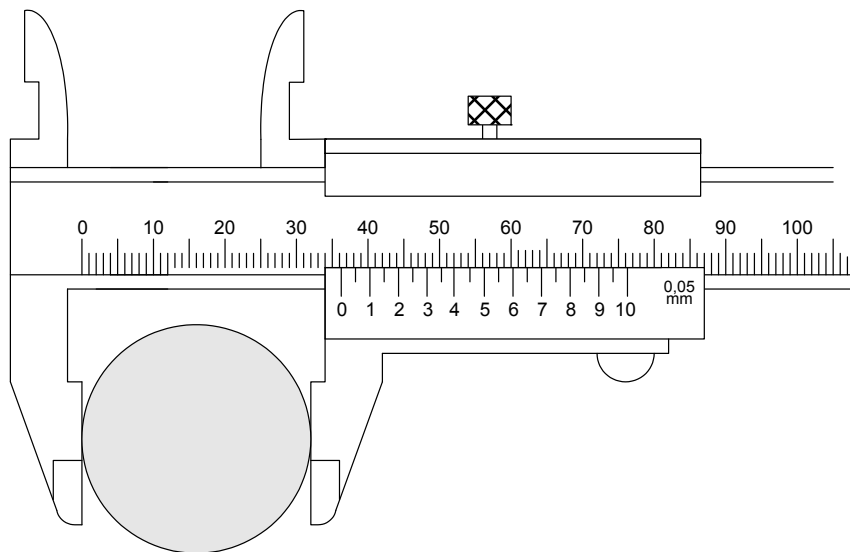


Figura A.108. Ejemplo nº 4 de medición.

Como puede observarse en la anterior figura, la regla graduada que incorpora el pie de rey en su parte fija delata una longitud de 36 mm, mientras que en la parte móvil puede apreciarse si observamos con detalle que únicamente es la cifra 4 del nonio la que coincide con alguna de las rayitas de la regla. Por tanto, el diámetro del cuerpo cilíndrico medido es de 36,40 mm.

En la siguiente figura, sin embargo, la medición se realiza con la ayuda de las patas u orejas de la parte superior, ya que suponemos se trata de la medición de un tubo, es decir, una medición interior.

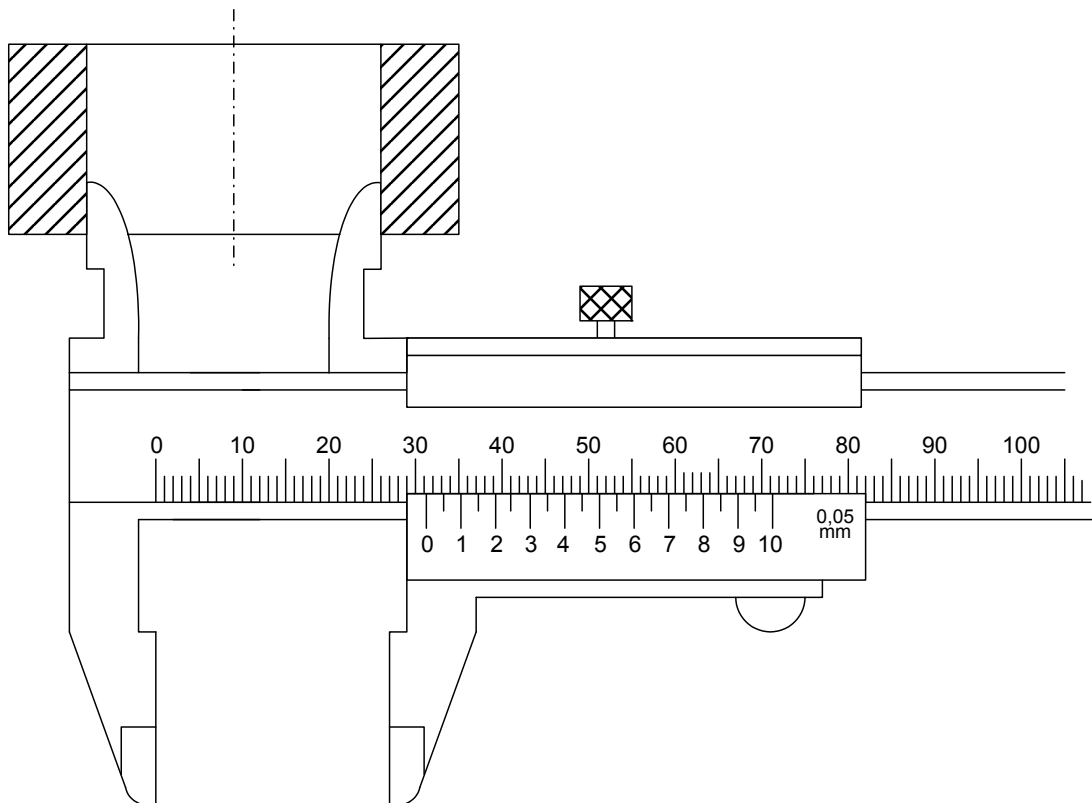


Figura A.109. Ejemplo nº 5 de medición.

Como puede observarse en la anterior figura, en esta ocasión la regla graduada delata una longitud de 31 mm, mientras que en la parte móvil puede observarse si observamos con detalle que únicamente es la rayita comprendida entre las cifras 2 y 3 del nonio coincide con una de las rayitas de la regla, por tanto, el diámetro del tubo medido es de 31,25 mm.

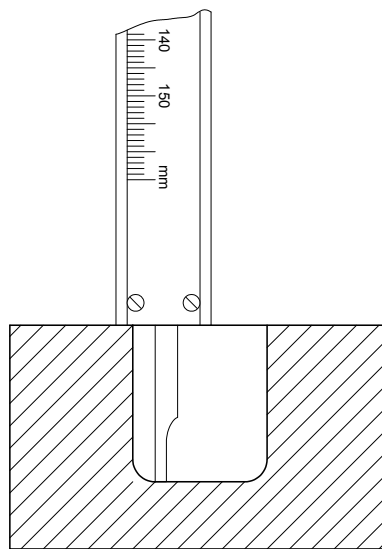


Atención

Como puede deducirse del ejemplo anterior, con dicho pie de rey no podría obtenerse una precisión mayor en la medida que la conseguida. Una medida real de 15,351 mm. Sería apreciado por el calibre a efectos prácticos como 15,35 mm, ya que no posee capacidad para precisar la micra de diferencia (apreciación 0,05 mm. en el pie de rey del ejemplo).

No obstante, resulta muy importante que recuerde una serie de preceptos básicos a la hora de utilizar un pie de rey, y en general cualquier otro tipo de elemento de naturaleza similar:

- La pieza, o al menos la zona a medir, debe estar exenta de rebabas u otro tipo de imperfecciones que pudiesen alterar las medidas.
- Las patas u orejas del pie de rey han de realizar una presión adecuada sobre la pieza a medir, ya que una presión excesiva produce una pequeña pero inevitable deformación en el aparato. Algunos disponen de un tornillo de regulación fina, para poder efectuar la presión más adecuada al contacto con la pieza.
- El pie de rey ha de quedar completamente perpendicular a la pieza a medir, para no obtener una medición errónea de la pieza. En el caso de medición mediante sonda, debe prestarse una especial atención a su modo de posicionamiento, ya que como puede observarse en la figura la sonda no debe verse interferida por posibles irregularidades en la zona de palpado (por ejemplo, redondeos de las aristas debido a la forma de las herramientas de mecanizado).



- La medición ha de efectuarse a la temperatura adecuada. Éste es un aspecto importante a tener en cuenta cuando se está trabajando a pie de máquina, ya que si la pieza no está lo suficientemente fría tras su mecanizado sufriremos las consecuencias de las dilataciones térmicas: a ser posible, debe tomarse como temperatura de referencia 20° C.
- Si existe riesgo de perder la medida (en caso de tener que retirar el pie de rey de la pieza para una lectura correcta), debe procederse a apretar y fijar la parte móvil mediante el tornillo de fijación correspondiente.

A.3.2.2. El micrómetro

Aunque el pie de rey sea quizás el elemento de medición de precisión más conocido para el neófito, es el micrómetro uno de los elementos más utilizados y difundidos en metrología gracias a su facilidad de uso y precisión. Los micrómetros para mediciones exteriores también son conocidos bajo el nombre de **pálmer**, en honor a su inventor J.L.Palmer, aunque los de interiores suelen conocerse como micrómetros exclusivamente.

Su funcionamiento se basa en el principio del mecanismo tornillo-tuerca, o lo que es lo mismo, el avance que experimenta un tornillo cuando rota sobre una tuerca fija.

Las partes externas y que nos interesa conocer de un micrómetro son su cuerpo principal, un tope o palpador fijo, un palpador móvil y un tambor graduado. Además posee un cuerpo cilíndrico roscado en su interior (que hace las veces de tuerca) y un tornillo alojado en su interior, solidario con el palpador móvil.

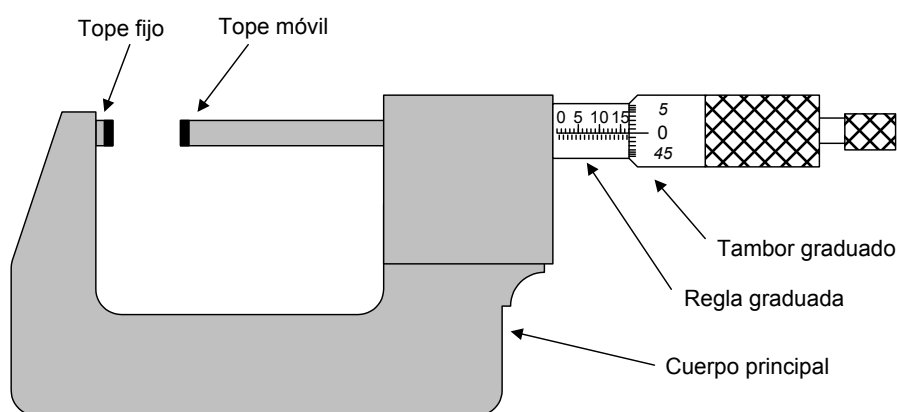


Figura A.110. Partes de un micrómetro de exteriores analógico estándar.

Como es de suponer, son frecuentes la utilización de micrómetros digitales, de fácil lectura, y el uso de una gama de topes especializada en la realización de diversas mediciones, lo que da lugar a la existencia de una amplia familia de micrómetros (para medición de engranajes, de perfiles de rosca, lugares de difícil acceso, etc.).

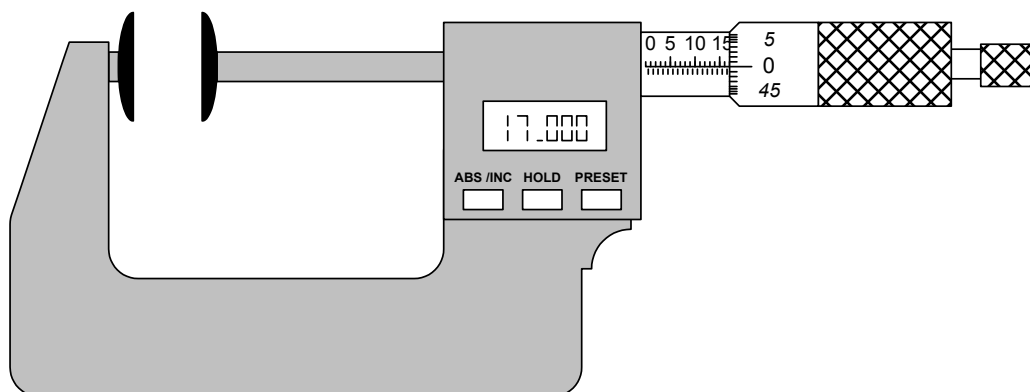


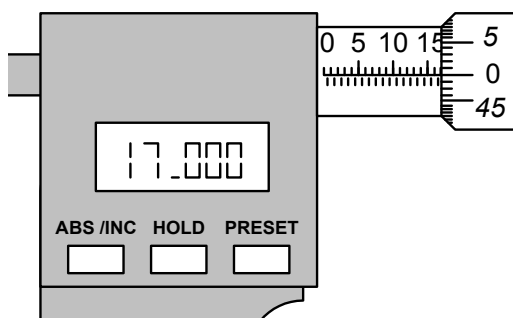
Figura A.111. Micrómetro digital con toques de platillos.

Realización de mediciones

Al igual que sucedía con el pie de rey, la apreciación que posea el instrumento va a depender directamente del número de divisiones que posea su escala graduada, por lo que en este caso se hallará en relación al número de divisiones del tambor.

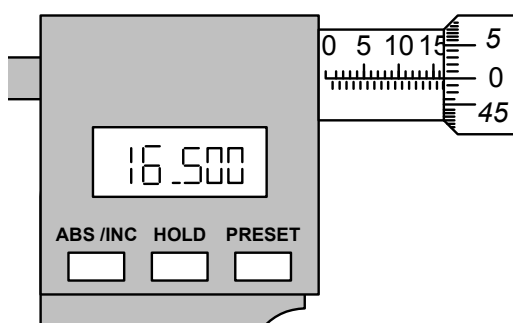
Los micrómetros, por lo general, suelen fabricarse con un paso de rosca de 0,5 mm, de modo que si se dispusiese de un tambor con 10 divisiones, el resultado sería una apreciación final de 0,05 mm ($0,5 / 10 = 0,05$ mm).

Sin embargo, lo más habitual es encontrar tambores provistos de 50 divisiones, por lo que la apreciación resultante será de 0,01 mm; en tal caso, considerándose un paso de rosca de 0,5 mm, una vuelta completa del tambor, y sus 50 divisiones por ende, fuerza un desplazamiento lineal de 0,5 mm ($0,5 / 50 = 0,01$ mm). Como puede deducirse, un micrómetro estándar proporciona una apreciación sensiblemente más elevada que la que puede ofrecer un pie de rey estándar.



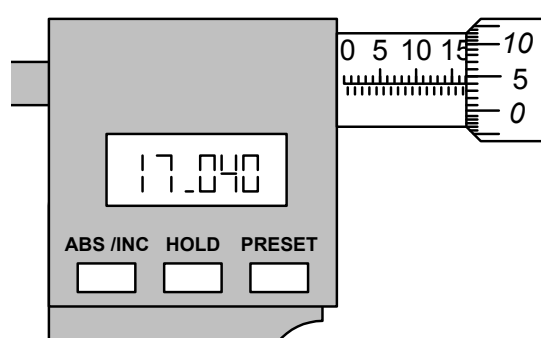
En el ejemplo adjunto puede comprobarse cómo la alineación del 0 del tambor con la línea de la regla delata una medida exacta de 17,00 mm, puesto que la parte entera de la medición puede comprobarse directamente sobre la regla.

Figura A.112. Ejemplo nº 1 de medición con micrómetro.



En el ejemplo adjunto puede comprobarse cómo la alineación del 0 del tambor con la línea de la regla delata una medida exacta de 16,50 mm. La parte superior de la regla indica una medida entera de 16 mm, mientras que la parte inferior incrementa en 0,5 mm esta última medida.

Figura A.113. Ejemplo nº 2 de medición con micrómetro.



En el ejemplo adjunto puede observarse una medida de 17,04 mm. La parte entera puede leerse desde la regla, mientras que el alineamiento de la cuarta cifra del tambor comenzando desde el 0 indica un valor añadido de 0,04 mm (recuérdese que la precisión es de 0,01 mm).

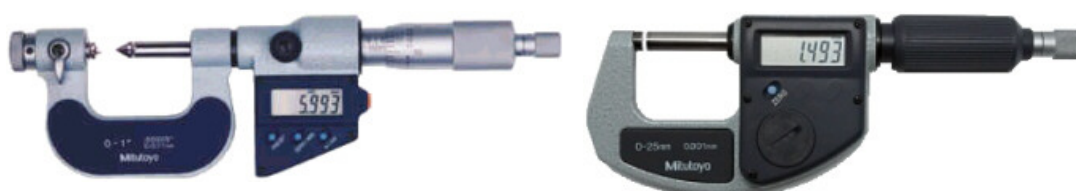
Figura A.114. Ejemplo nº 3 de medición con micrómetro.

También existen micrómetros con nonio incorporado, que lógicamente van a verse provistos de una mayor apreciación, a sumar a la ya elevada apreciación que le proporciona la graduación del tambor original. Un nonio de 10 divisiones, unido a la apreciación de 0,05 mm que proporcionaba un tambor de 50 divisiones, elevaría la apreciación total a 0,001 mm.



Un nonio incorporado a un micrómetro se trata básicamente de un segundo tambor graduado de precisión incorporado tras el primero.

Como su funcionamiento se basa en idénticos fundamentos a los expuestos para el pie de rey. Hemos considerado tedioso volver a insistir en su explicación.



Las normas de conservación aplicables son las habituales en aparatos de este tipo, aunque como debido a su elevada apreciación resultan muy sensibles a pequeñas variaciones producidas por el desgaste, conviene efectuar un reglaje de los mismos periódicamente. Para ello, los micrómetros vienen provistos de unas sencillas llaves fijas para el apriete del tambor y/o la rosca micrométrica. Tras su ajuste, debe llevarse a cabo una comprobación final midiendo una pieza patrón calibrada, suministrada por el fabricante, y verificando que la medida señalada por el micrómetro es la esperada.

A.3.2.3. El reloj comparador

En este aparato se introduce una variación fundamental respecto a los anteriormente comentados, y es que la medición por comparación es de tipo indirecto, ya que el objetivo fundamental radica en constatar la diferencia entre la medida real de la pieza y la medida dada como referencia (si es una diferencia superior, inferior o no existe tal diferencia).



Figura A.115. Reloj comparador y reloj comparador-palpador (ver forma del eje de palpado).

Consta básicamente de cuatro partes principales:

- **Una esfera:** de forma circular y con una regla serigrafiada donde se realiza la división correspondiente. Por ejemplo, 100 divisiones proporcionaría una apreciación directa de 0,01 mm, correspondiendo una vuelta entera de la aguja a 1 mm.
- **Eje de palpado:** un tubo guía protege el eje de palpado propiamente dicho, encargado de transmitir el movimiento de percepción al mecanismo amplificador que esconde la esfera tras de sí. Existen diferentes tipos de cabezas de palpado, en función de la superficie o forma de la pieza a palpar (de rubí o zafiro en ciertos casos por su resistencia al desgaste).
- **Mecanismo amplificador:** destinado a amplificar la señal de origen mecánico, consiste básicamente en un piñón, un juego de engranajes y resortes que ponen en contacto el eje de palpado con las agujas indicadoras.
- **Caja:** una caja de protección envuelve el mecanismo de amplificación y sirve de soporte para el resto de los elementos descritos.

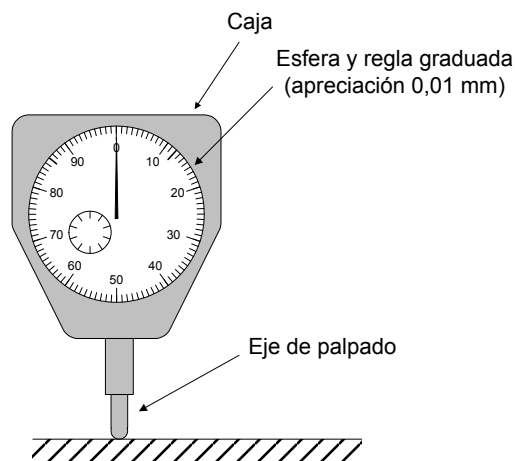


Figura A.116. Reloj comparador.

Suele emplearse ampliamente a lo largo del proceso productivo, debido a su fácil lectura, una presión de contacto necesaria ínfima y una menor posibilidad de cometer errores de medida.

Cara a la fabricación propiamente dicha, interesa su conocimiento por sus aplicaciones para el centrado y alineación de piezas, y en general cualquier verificación a realizar sobre la pieza antes de proceder a su mecanizado. Para ello debe disponerse de una serie de accesorios para sujetar y posicionar bien la caja del reloj comparador a alguna parte fiable mecánicamente de la máquina herramienta.

A.3.2.4. Calibres fijos

Este tipo de calibres, también denominados calibres “pasa-no pasa”, no se utiliza para medir una parte de una pieza propiamente dicha, sino para verificar que queda dentro de las tolerancias prescritas una vez mecanizada. Deben incorporar un serigrafiado o un labrado sobre el cuerpo del calibre con una indicación sobre la tolerancia que se va a verificar.

Los **calibres fijos para exteriores** suelen tener forma de herradura. Para diámetros superiores a los 100 mm. se utilizan calibres simples, por lo que resulta necesario trabajar con un juego de dos calibres para la comprobación de cota máxima y mínima.

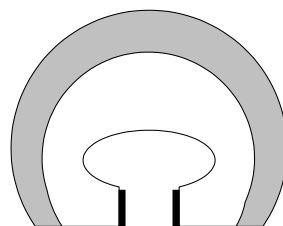
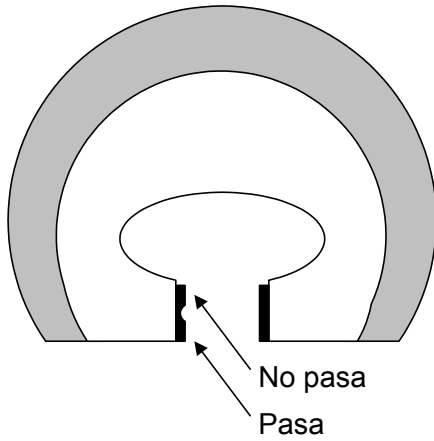


Figura A.117. Calibre fijo.

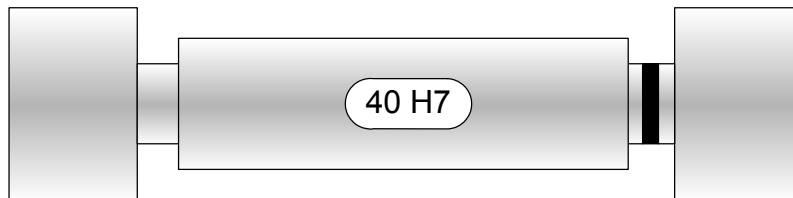
Para diámetros inferiores, pueden utilizarse los denominados calibres mixtos, en los que una de las patas hace las veces de patrón y la otra pata posee dos partes diferenciadas mediante una rayita coloreada en rojo, que separa la parte que define el lado “pasa” y la que define el lado “no pasa”.



Como es de suponer, para que una pieza pueda considerarse como válida en cuanto a dimensiones, deberá poder pasar primeramente a través del sector “pasa” y no poder hacerlo a través del sector “no pasa”. Si una pieza pasa ambos sectores es que ha quedado pequeña de medida, mientras que si no puede atravesar ninguno es porque ha quedado grande (entendiendo como pequeño o grande de medida el haber sobrepasado las tolerancias admisibles).

Figura A.118. Calibre pasa - no pasa.

Los **calibres fijos para interiores** se basan en el mismo principio que los de exteriores, aunque lógicamente su forma constructiva es diferente y destinada primordialmente a la verificación de agujeros.



Los calibres de interiores de tampón liso sólo sirven para verificar los diámetros, constando de un “tampón pasa” por un extremo y un “tampón no pasa” en el opuesto. Generalmente, el “tampón no pasa” incorpora un anillo rojo que lo identifica, recordándonos que es éste tampón precisamente el que no ha de penetrar por el taladro.



Figura A.119. Calibre fijo de interiores (izquierda) y roscas (derecha).

Los calibres de interiores de tampón plano o de varilla permiten verificar, además, la circularidad de la pieza.

● Resumen

- Un uso adecuado de las tolerancias garantiza la posibilidad de intercambiar piezas, sin tener que realizar ajustes de consideración posteriores.
- Es inevitable que una pieza presente unas desviaciones en cuanto a medida y en cuanto a forma, que podrán resultar “excesivas” o no en función de la utilidad de la pieza (determinadas sobre plano por la tolerancia). Entre dos elementos puede existir juego, apriete o ambas circunstancias a la vez, según la medida alcanzada.
- Las normas internacionales ISO (International Organisation for Standardization) ha establecido un sistema de “eje único” o “agujero único” para acoplamientos entre dos piezas, con objeto de limitar y simplificar las múltiples posibilidades que se abren para establecer tolerancias dimensionales.
- Además de las tolerancias dimensionales, existen tolerancias que establecen unos límites a las desviaciones en cuanto a forma y posición.
- El grado de acabado exigido para cada una de las superficies de una pieza estará en función del uso que tenga previsto; un acabado esmerado en una superficie que no vaya a desplazarse o soportar otros elementos, aumentará los costes de manera innecesaria. En general, cada uno de los procedimientos de fabricación existentes, proporciona un grado de acabado diferente.
- Los elementos mecánicos estudiados son en su mayor parte elementos normalizados, a fin de poder asegurar su disponibilidad e intercambiabilidad. Por norma general se aplica una simplificación extrema en su representación de dichos elementos, lo que facilita la labor del delineante y la interpretación del plano.
- Existen una serie de procesos de mecanizado, realizados con herramienta específica, destinados a variar el acabado de la pieza y conferirle unas determinadas particularidades.
- La medición, verificación y comparación de las medidas finales en una pieza precisa de una serie de aparatos acordes con el grado de precisión deseado. A pie de máquina, los elementos de medición y comparación más utilizados son los calibres fijos, el pie de rey, el micrómetro y los relojes comparadores.