
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

INTRODUCCION

La fabricación de piezas en el taller no permite obtener estas con las dimensiones y formas geométricas exactas con que se definen en los dibujos. Siempre se produce una inexactitud, una pequeña discrepancia entre la pieza “teórica” o “ideal”, consignada en el plano y la pieza “real” obtenida en el taller por la máquina-herramienta. Estas divergencias pueden afectar a las dimensiones de la pieza, y a la forma, posición, orientación y calidad de sus superficies.

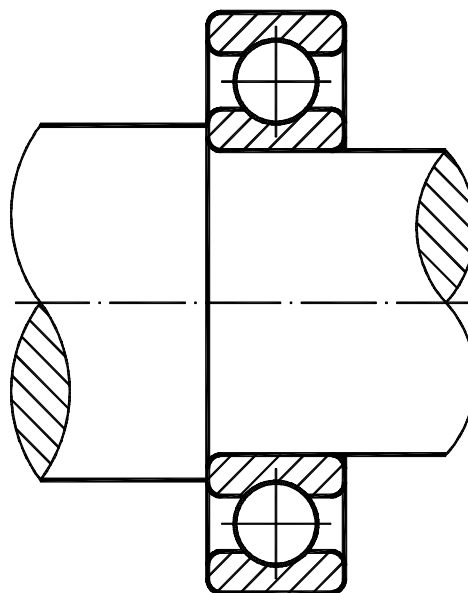
Cuanto más esmerada sea la fabricación, empleando aparatos de medida y máquinas-herramientas más precisas, y operarios más cualificados, menor será la diferencia entre la pieza “real” obtenida en el taller y la pieza “ideal” consignada en el dibujo.

INTERCAMBIABILIDAD Y FUNCIONALIDAD

La fabricación de máquinas en serie precisa que las piezas de que se componen, construidas conjunta o independientemente, puedan montarse sin necesidad de un trabajo previo de acondicionamiento, al igual que las piezas desgastadas o deterioradas para que puedan sustituirse por otras de fabricación en serie, considerando que esta sustitución pueda efectuarse lejos de su lugar de fabricación. Esta característica de las piezas que componen los mecanismos se denomina “*intercambiabilidad*”.

A su vez, para que un mecanismo funcione correctamente, es necesario que las distintas piezas que lo forman estén acopladas entre sí, en condiciones bien determinadas. Esta característica se denomina “*funcionalidad*”.

Por ejemplo, el conjunto representado en la figura, compuesto por un árbol y un rodamiento, para conseguir un funcionamiento exento de vibraciones, ha de reunir, en lo que se refiere al acoplamiento de las piezas entre sí, la siguiente condición: cualquier rodamiento del tamaño adecuado deberá ser montado con una ligera presión, es decir, deberá quedar fijo en el árbol. Para conseguir esta condición es necesario que, antes del montaje de las piezas, el diámetro del árbol sea ligeramente mayor que el diámetro interior del rodamiento.



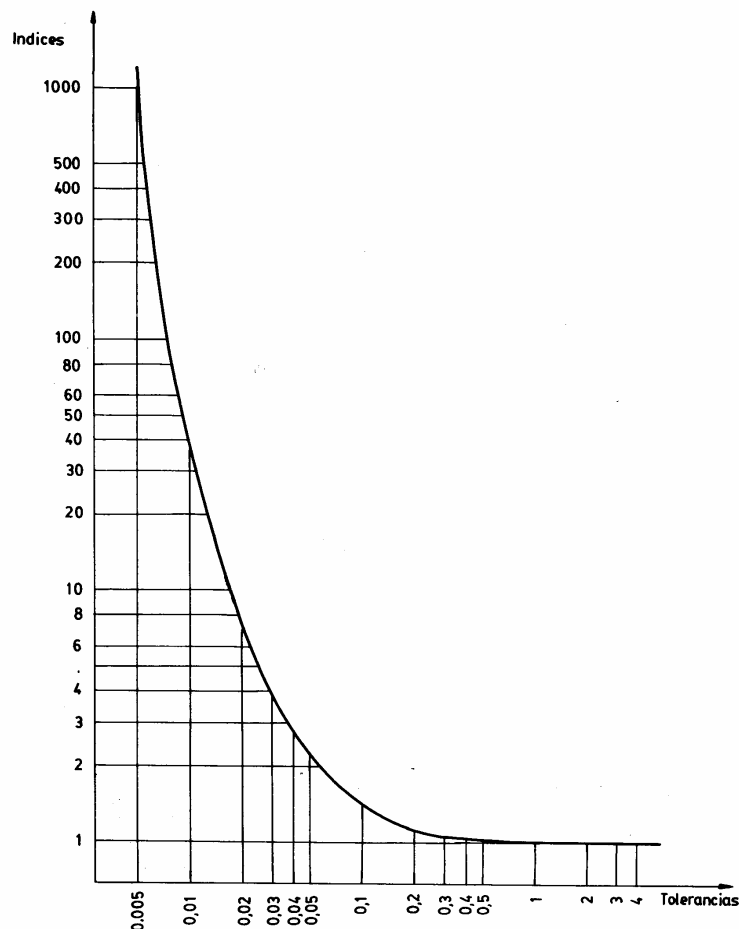
El ideal sería la fabricación de piezas exactamente iguales, pero como se ha indicado, esto resulta imposible de conseguir, por lo que se obliga a tolerar inexactitudes dimensionales, geométricas y superficiales comprendidas entre límites admisibles para que las piezas construidas sirvan como si se hubiesen fabricado expresamente para el mecanismo en el que se montan (intercambiabilidad) y, a su vez, puedan asegurar un correcto funcionamiento del mismo (funcionalidad). Estas inexactitudes admisibles se denominan *tolerancias*, y pueden ser: dimensionales, geométricas y superficiales, si se refieren, respectivamente, a irregularidades dimensionales, geométricas y superficiales.

Las tolerancias se aplicarán únicamente a aquellas cotas y superficies que aseguren el montaje y la funcionalidad de la pieza.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

La imposibilidad de poder obtener una dimensión exactamente igual a la correspondiente cota indicada en el plano de la pieza, puede ser debida a múltiples causas: falta de precisión de los aparatos de medida, errores cometidos por los operarios, deformaciones mecánicas, dilataciones térmicas, falta de precisión de las máquinas-herramientas, etc. Las tolerancias que limitan estas irregularidades dimensionales se denominan *tolerancias dimensionales*.

Para la fabricación de una pieza es conveniente que los límites entre los que pueden variar sus dimensiones, es decir, la tolerancia dimensional, sea lo más amplia posible, ya que siendo mínima esta tolerancia exigirá una mayor atención en la fabricación (máquinas más precisas, operarios más cualificados, etc.), lo cual, sin duda, encarecerá su coste. En el siguiente gráfico se puede observar la variación experimentada por los costes de fabricación en función de la precisión.



Por el contrario, generalmente la utilización de la pieza requiere que aquellas diferencias dimensionales sean mínimas para asegurar un mejor funcionamiento de la máquina o mecanismo a la que pertenecen.

En el proyecto de máquinas y mecanismos se estudiarán las circunstancias aludidas para resolver aquellos problemas de precisión y fabricación, consignando en los dibujos los valores máximo y mínimo admisibles de las dimensiones de las piezas.

DEFINICIONES:

EJE. Término convencionalmente empleado para designar cualquier medida exterior de una pieza, aunque ésta no sea cilíndrica (por ejemplo, la distancia entre dos planos paralelos).

AGUJERO. Término convencionalmente empleado para designar cualquier medida interior de una pieza, aunque ésta no sea cilíndrica (por ejemplo, la distancia entre dos planos paralelos).

MEDIDA NOMINAL. Es el valor indicado en el dibujo para una medida determinada, con respecto a la cual se evalúan los errores o desviaciones. Suele corresponder con la medida teórica o ideal obtenida por cálculo, según la experiencia, por una normalización, por una imposición física, etc. Puede ser un número entero o un número decimal.

MEDIDA EFECTIVA. Es la medida de un elemento obtenida como resultado de una medición efectuada una vez construida la pieza.

MEDIDAS LIMITES. Son aquellas que corresponden con las medidas extremas admisibles, dentro de cuyo intervalo debe encontrarse la medida efectiva para que la pieza no sea rechazada.

MEDIDA MAXIMA. Es la mayor medida admisible de un elemento.

MEDIDA MINIMA. Es la menor medida admisible de un elemento.

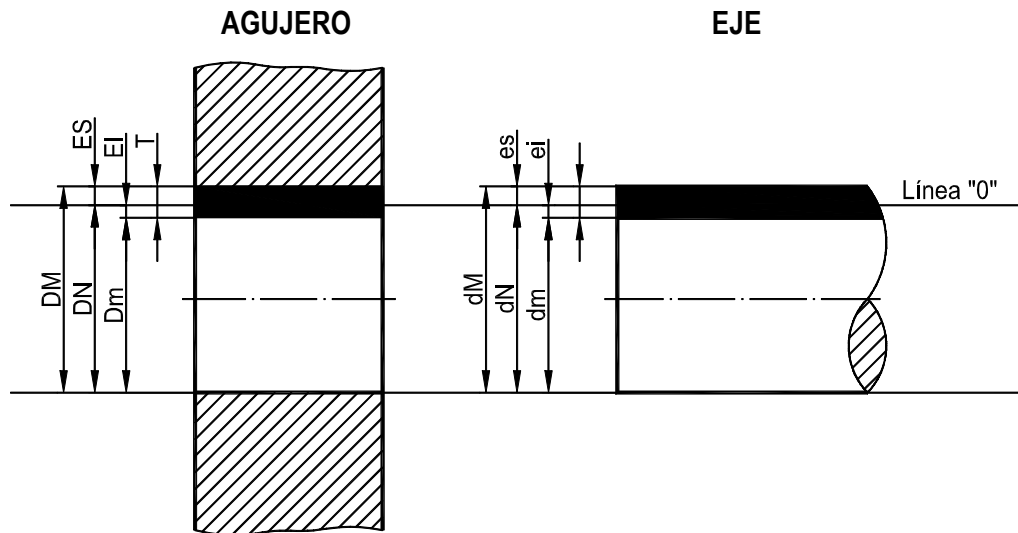
DESVIACION. Diferencia algebraica entre una medida y la medida nominal correspondiente. Se consideran positivas cuando la medida es superior a la nominal y negativas en caso contrario.

DESVIACION SUPERIOR. Es la diferencia algebraica entre la medida máxima y la medida nominal correspondiente.

DESVIACION INFERIOR. Es la diferencia algebraica entre la medida mínima y la medida nominal correspondiente.

LINEA CERO. En la representación gráfica de tolerancias y ajustes es la línea a partir de la cuál se representan las desviaciones. Es la línea de desviación nula y se corresponde con la medida nominal.

TOLERANCIA. Es el error que se admite en la fabricación, es decir, la diferencia entre las medidas máxima y mínima. También se puede definir como la diferencia algebraica entre las desviaciones superior e inferior. La medida práctica del elemento ha de quedar dentro de la zona de tolerancia para que la pieza no sea rechazada. El concepto de tolerancia representa la consideración de dimensiones sumamente pequeñas, utilizándose la micra como unidad de medida para expresarlas ($1\mu=0,001$ mm.).



$$T = DM - Dm$$

$$ES = DM - DN$$

$$EI = Dm - DN$$

$$T = ES - EI \text{ (diferencia algebraica)}$$

DN: medida nominal del agujero.
 DM: medida máxima del agujero.
 Dm: medida mínima del agujero.
 ES: desviación superior del agujero.
 EI: desviación inferior del agujero.
 T: tolerancia del agujero.

$$t = dM - dm$$

$$es = dM - dN$$

$$ei = dm - dN$$

$$t = es - ei \text{ (diferencia algebraica)}$$

dN: medida nominal del eje.
 dM: medida máxima del eje.
 dm: medida mínima del eje.
 es: desviación superior del eje.
 ei: desviación inferior del eje.
 t: tolerancia del eje.

DIFERENTES POSICIONES DE LA TOLERANCIA

Una vez que se fija la magnitud de la tolerancia (error máximo admitido en la construcción), cabe preguntar: ¿la cota nominal ha de estar comprendida dentro de la zona de tolerancia?, ¿la cota real ha de ser inferior a la cota nominal?, ¿puede la cota real exceder a la cota nominal?.

A la tolerancia se le puede fijar una posición, con lo cual se obtendrían cotas, aún estando dentro de la tolerancia, que tendrían límites distintos. Esta posición de la tolerancia la determina la característica de juego o aprieto que deba tener el ajuste.

Las diferentes posiciones que la tolerancia puede ocupar con respecto a la línea cero son las siguientes:

TOLERANCIA COMPLETAMENTE SITUADA POR ENCIMA DE LA LINEA CERO. En este caso las medidas máxima y mínima son superiores a la medida nominal, en consecuencia, las desviaciones superior e inferior son positivas.

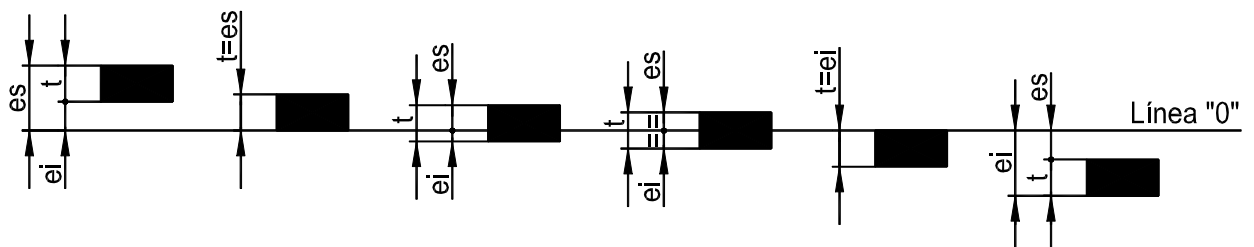
TOLERANCIA SITUADA POR ENCIMA DE LA LINEA CERO Y APOYADA SOBRE LA MISMA. En este caso la medida máxima es superior a la medida nominal, y la medida mínima coincide con la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es positiva y la desviación inferior es nula. El valor de la tolerancia es igual al valor de la desviación superior.

TOLERANCIA SITUADA POR ENCIMA Y POR DEBAJO DE LA LINEA CERO. En este caso la medida máxima es superior a la medida nominal, y la medida mínima es inferior a la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es positiva y la desviación inferior es negativa.

TOLERANCIA SITUADA SIMETRICAMENTE CON RESPECTO A LA LINEA CERO. En este caso la medida máxima es superior a la medida nominal, y la medida mínima es inferior a la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es positiva y la desviación inferior es negativa, pero con la particularidad de que el valor absoluto de ambas desviaciones coinciden. El valor de la tolerancia es el doble del valor de una de las desviaciones.

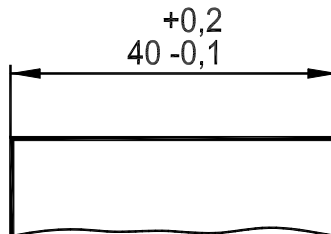
TOLERANCIA SITUADA POR DEBAJO DE LA LINEA CERO Y COINCIDENTE CON LA MISMA. En este caso la medida máxima coincide con la medida nominal, y la medida mínima es inferior a la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es nula y la desviación inferior es negativa. El valor de la tolerancia es igual al valor absoluto de la desviación inferior.

TOLERANCIA COMPLETAMENTE SITUADA POR DEBAJO DE LA LINEA CERO. En este caso las medidas máxima y mínima son inferiores a la medida nominal, en consecuencia, las desviaciones superior e inferior son negativas.

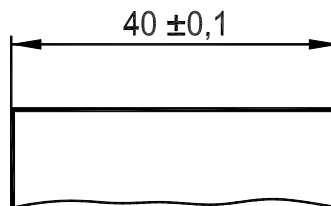


INDICACION DE LAS TOLERANCIAS DIMENSIONALES

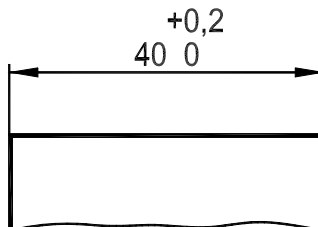
CASO GENERAL. Una cota con tolerancia dimensional se indicará con su medida nominal seguida de las desviaciones. La desviación superior se indicará encima de la desviación inferior. Ambas desviaciones se indicarán con su signo correspondiente y en las mismas unidades que la medida nominal.



TOLERANCIAS SITUADAS SIMÉTRICAMENTE CON RESPECTO A LA LINEA CERO. Si la tolerancia está situada simétricamente con respecto a la línea cero, solamente se anotará una vez el valor de las desviaciones, precedida del signo \pm .

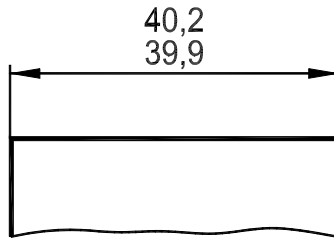


UNA DE LAS DESVIACIONES ES NULA. Si una de las desviaciones es nula, ésta se expresará por la cifra 0.

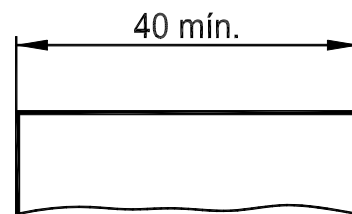
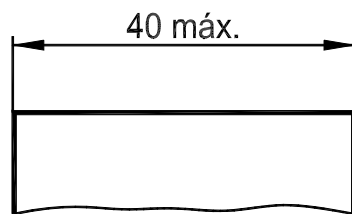


Pueden darse algunos casos particulares:

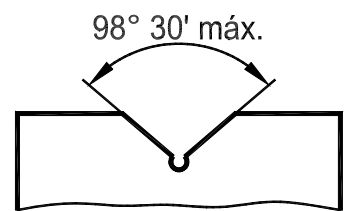
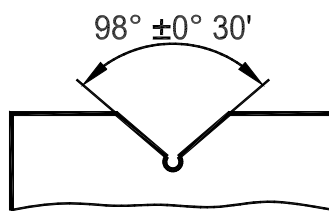
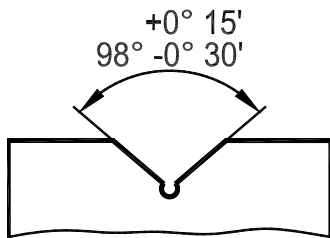
MEDIDAS LIMITES. Las medidas límites pueden también indicarse, situando la medida máxima encima de la medida mínima.



MEDIDAS LIMITADAS EN UN SENTIDO. Si la medida está limitada solamente en un sentido, deberá indicarse a continuación de la misma la palabra "mín." o "máx."



TOLERANCIAS DE MEDIDAS ANGULARES. Las notaciones admitidas para la indicación de las tolerancias de las medidas lineales se aplican igualmente a las medidas angulares.



TOLERANCIAS DIMENSIONALES

INTRODUCCION

La fabricación de piezas en el taller no permite obtener estas con las dimensiones y formas geométricas exactas con que se definen en los dibujos. Siempre se produce una inexactitud, una pequeña discrepancia entre la pieza “teórica” o “ideal”, consignada en el plano y la pieza “real” obtenida en el taller por la máquina-herramienta. Estas divergencias pueden afectar a las dimensiones de la pieza, y a la forma, posición, orientación y calidad de sus superficies.

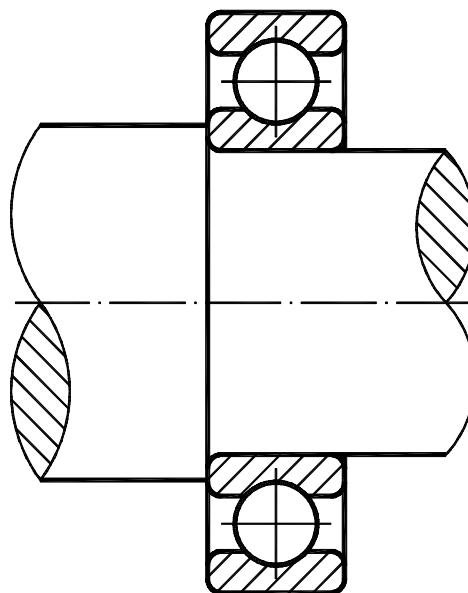
Cuanto más esmerada sea la fabricación, empleando aparatos de medida y máquinas-herramientas más precisas, y operarios más cualificados, menor será la diferencia entre la pieza “real” obtenida en el taller y la pieza “ideal” consignada en el dibujo.

INTERCAMBIABILIDAD Y FUNCIONALIDAD

La fabricación de máquinas en serie precisa que las piezas de que se componen, construidas conjunta o independientemente, puedan montarse sin necesidad de un trabajo previo de acondicionamiento, al igual que las piezas desgastadas o deterioradas para que puedan sustituirse por otras de fabricación en serie, considerando que esta sustitución pueda efectuarse lejos de su lugar de fabricación. Esta característica de las piezas que componen los mecanismos se denomina “intercambiabilidad”.

A su vez, para que un mecanismo funcione correctamente, es necesario que las distintas piezas que lo forman estén acopladas entre sí, en condiciones bien determinadas. Esta característica se denomina “funcionalidad”.

Por ejemplo, el conjunto representado en la figura, compuesto por un árbol y un rodamiento, para conseguir un funcionamiento exento de vibraciones, ha de reunir, en lo que se refiere al acoplamiento de las piezas entre sí, la siguiente condición: cualquier rodamiento del tamaño adecuado deberá ser montado con una ligera presión, es decir, deberá quedar fijo en el árbol. Para conseguir esta condición es necesario que, antes del montaje de las piezas, el diámetro del árbol sea ligeramente mayor que el diámetro interior del rodamiento.



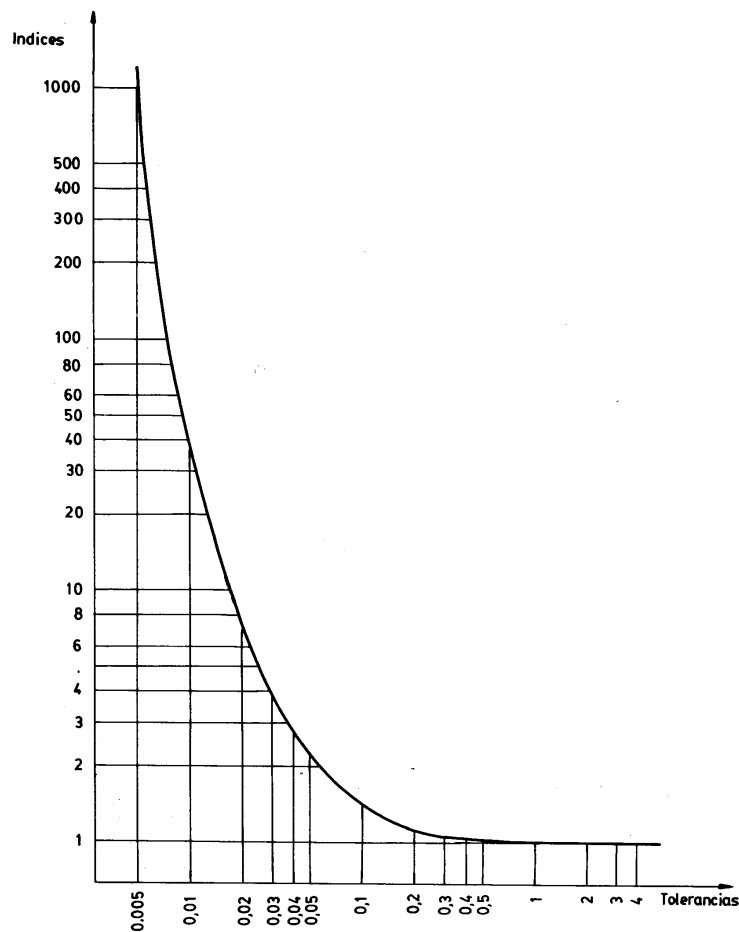
El ideal sería la fabricación de piezas exactamente iguales, pero como se ha indicado, esto resulta imposible de conseguir, por lo que se obliga a tolerar inexactitudes dimensionales, geométricas y superficiales comprendidas entre límites admisibles para que las piezas construidas sirvan como si se hubiesen fabricado expresamente para el mecanismo en el que se montan (intercambiabilidad) y, a su vez, puedan asegurar un correcto funcionamiento del mismo (funcionalidad). Estas inexactitudes admisibles se denominan *tolerancias*, y pueden ser: dimensionales, geométricas y superficiales, si se refieren, respectivamente, a irregularidades dimensionales, geométricas y superficiales.

Las tolerancias se aplicarán únicamente a aquellas cotas y superficies que aseguren el montaje y la funcionalidad de la pieza.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

La imposibilidad de poder obtener una dimensión exactamente igual a la correspondiente cota indicada en el plano de la pieza, puede ser debida a múltiples causas: falta de precisión de los aparatos de medida, errores cometidos por los operarios, deformaciones mecánicas, dilataciones térmicas, falta de precisión de las máquinas-herramientas, etc. Las tolerancias que limitan estas irregularidades dimensionales se denominan *tolerancias dimensionales*.

Para la fabricación de una pieza es conveniente que los límites entre los que pueden variar sus dimensiones, es decir, la tolerancia dimensional, sea lo más amplia posible, ya que siendo mínima esta tolerancia exigirá una mayor atención en la fabricación (máquinas más precisas, operarios más cualificados, etc.), lo cual, sin duda, encarecerá su coste. En el siguiente gráfico se puede observar la variación experimentada por los costes de fabricación en función de la precisión.



Por el contrario, generalmente la utilización de la pieza requiere que aquellas diferencias dimensionales sean mínimas para asegurar un mejor funcionamiento de la máquina o mecanismo a la que pertenecen.

En el proyecto de máquinas y mecanismos se estudiarán las circunstancias aludidas para resolver aquellos problemas de precisión y fabricación, consignando en los dibujos los valores máximo y mínimo admisibles de las dimensiones de las piezas.

DEFINICIONES:

EJE. Término convencionalmente empleado para designar cualquier medida exterior de una pieza, aunque ésta no sea cilíndrica (por ejemplo, la distancia entre dos planos paralelos).

AGUJERO. Término convencionalmente empleado para designar cualquier medida interior de una pieza, aunque ésta no sea cilíndrica (por ejemplo, la distancia entre dos planos paralelos).

MEDIDA NOMINAL. Es el valor indicado en el dibujo para una medida determinada, con respecto a la cual se evalúan los errores o desviaciones. Suele corresponder con la medida teórica o ideal obtenida por cálculo, según la experiencia, por una normalización, por una imposición física, etc. Puede ser un número entero o un número decimal.

MEDIDA EFECTIVA. Es la medida de un elemento obtenida como resultado de una medición efectuada una vez construida la pieza.

MEDIDAS LIMITES. Son aquellas que corresponden con las medidas extremas admisibles, dentro de cuyo intervalo debe encontrarse la medida efectiva para que la pieza no sea rechazada.

MEDIDA MAXIMA. Es la mayor medida admisible de un elemento.

MEDIDA MINIMA. Es la menor medida admisible de un elemento.

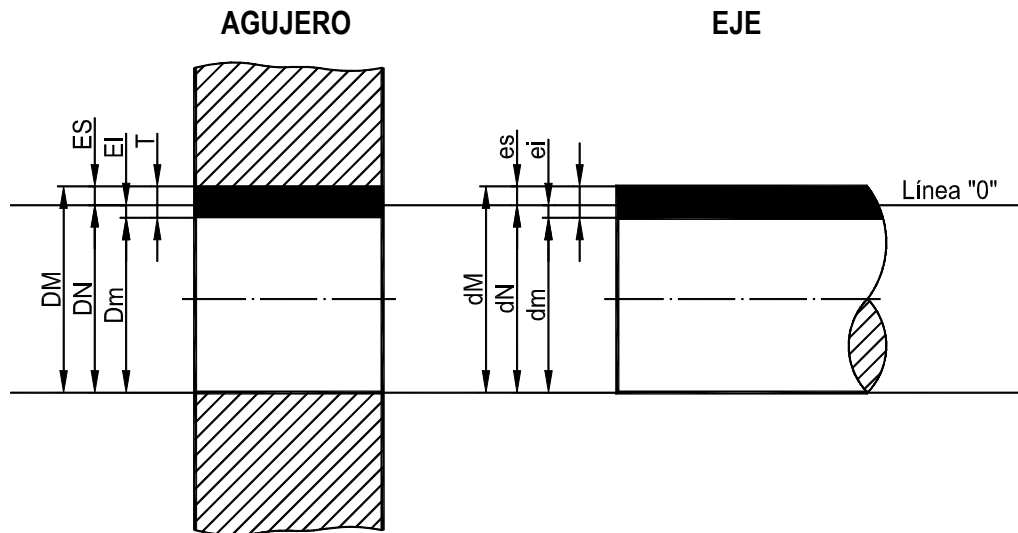
DESVIACION. Diferencia algebraica entre una medida y la medida nominal correspondiente. Se consideran positivas cuando la medida es superior a la nominal y negativas en caso contrario.

DESVIACION SUPERIOR. Es la diferencia algebraica entre la medida máxima y la medida nominal correspondiente.

DESVIACION INFERIOR. Es la diferencia algebraica entre la medida mínima y la medida nominal correspondiente.

LINEA CERO. En la representación gráfica de tolerancias y ajustes es la línea a partir de la cuál se representan las desviaciones. Es la línea de desviación nula y se corresponde con la medida nominal.

TOLERANCIA. Es el error que se admite en la fabricación, es decir, la diferencia entre las medidas máxima y mínima. También se puede definir como la diferencia algebraica entre las desviaciones superior e inferior. La medida práctica del elemento ha de quedar dentro de la zona de tolerancia para que la pieza no sea rechazada. El concepto de tolerancia representa la consideración de dimensiones sumamente pequeñas, utilizándose la micra como unidad de medida para expresarlas ($1\mu=0,001$ mm.).



$$T = DM - Dm$$

$$ES = DM - DN$$

$$EI = Dm - DN$$

$$T = ES - EI \text{ (diferencia algebraica)}$$

DN: medida nominal del agujero.
 DM: medida máxima del agujero.
 Dm: medida mínima del agujero.
 ES: desviación superior del agujero.
 EI: desviación inferior del agujero.
 T: tolerancia del agujero.

$$t = dM - dm$$

$$es = dM - dN$$

$$ei = dm - dN$$

$$t = es - ei \text{ (diferencia algebraica)}$$

dN: medida nominal del eje.
 dM: medida máxima del eje.
 dm: medida mínima del eje.
 es: desviación superior del eje.
 ei: desviación inferior del eje.
 t: tolerancia del eje.

DIFERENTES POSICIONES DE LA TOLERANCIA

Una vez que se fija la magnitud de la tolerancia (error máximo admitido en la construcción), cabe preguntar: ¿la cota nominal ha de estar comprendida dentro de la zona de tolerancia?, ¿la cota real ha de ser inferior a la cota nominal?, ¿puede la cota real exceder a la cota nominal?.

A la tolerancia se le puede fijar una posición, con lo cual se obtendrían cotas, aún estando dentro de la tolerancia, que tendrían límites distintos. Esta posición de la tolerancia la determina la característica de juego o aprieto que deba tener el ajuste.

Las diferentes posiciones que la tolerancia puede ocupar con respecto a la línea cero son las siguientes:

TOLERANCIA COMPLETAMENTE SITUADA POR ENCIMA DE LA LINEA CERO. En este caso las medidas máxima y mínima son superiores a la medida nominal, en consecuencia, las desviaciones superior e inferior son positivas.

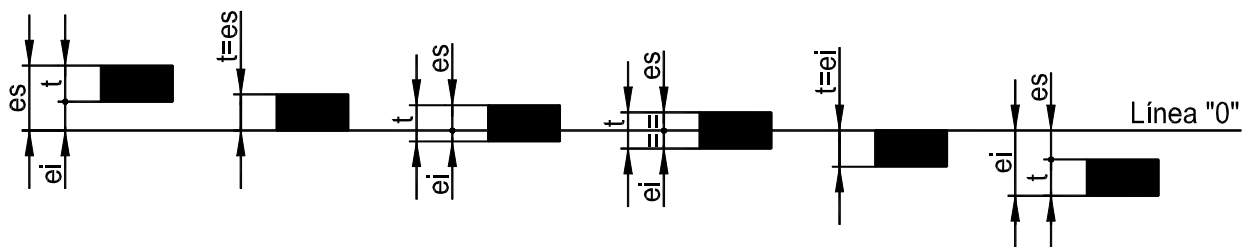
TOLERANCIA SITUADA POR ENCIMA DE LA LINEA CERO Y APOYADA SOBRE LA MISMA. En este caso la medida máxima es superior a la medida nominal, y la medida mínima coincide con la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es positiva y la desviación inferior es nula. El valor de la tolerancia es igual al valor de la desviación superior.

TOLERANCIA SITUADA POR ENCIMA Y POR DEBAJO DE LA LINEA CERO. En este caso la medida máxima es superior a la medida nominal, y la medida mínima es inferior a la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es positiva y la desviación inferior es negativa.

TOLERANCIA SITUADA SIMETRICAMENTE CON RESPECTO A LA LINEA CERO. En este caso la medida máxima es superior a la medida nominal, y la medida mínima es inferior a la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es positiva y la desviación inferior es negativa, pero con la particularidad de que el valor absoluto de ambas desviaciones coinciden. El valor de la tolerancia es el doble del valor de una de las desviaciones.

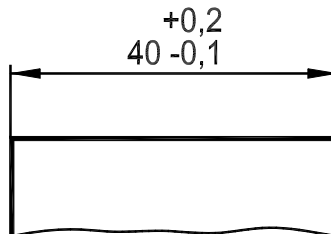
TOLERANCIA SITUADA POR DEBAJO DE LA LINEA CERO Y COINCIDENTE CON LA MISMA. En este caso la medida máxima coincide con la medida nominal, y la medida mínima es inferior a la medida nominal, en consecuencia, la desviación superior es nula y la desviación inferior es negativa. El valor de la tolerancia es igual al valor absoluto de la desviación inferior.

TOLERANCIA COMPLETAMENTE SITUADA POR DEBAJO DE LA LINEA CERO. En este caso las medidas máxima y mínima son inferiores a la medida nominal, en consecuencia, las desviaciones superior e inferior son negativas.

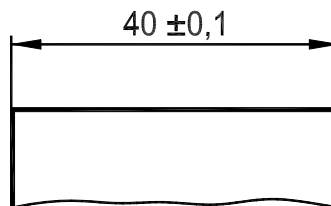


INDICACION DE LAS TOLERANCIAS DIMENSIONALES

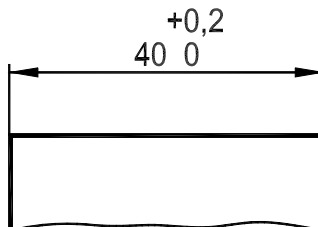
CASO GENERAL. Una cota con tolerancia dimensional se indicará con su medida nominal seguida de las desviaciones. La desviación superior se indicará encima de la desviación inferior. Ambas desviaciones se indicarán con su signo correspondiente y en las mismas unidades que la medida nominal.



TOLERANCIAS SITUADAS SIMÉTRICAMENTE CON RESPECTO A LA LINEA CERO. Si la tolerancia está situada simétricamente con respecto a la línea cero, solamente se anotará una vez el valor de las desviaciones, precedida del signo \pm .

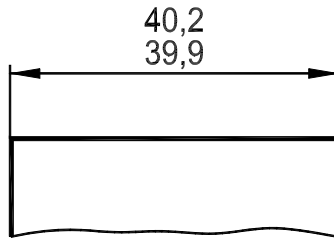


UNA DE LAS DESVIACIONES ES NULA. Si una de las desviaciones es nula, ésta se expresará por la cifra 0.

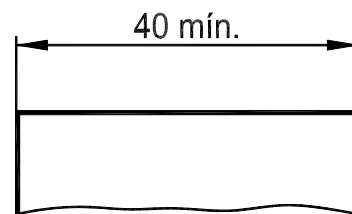
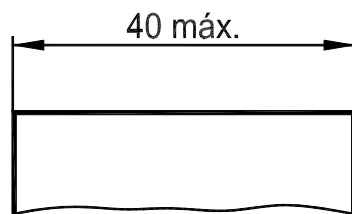


Pueden darse algunos casos particulares:

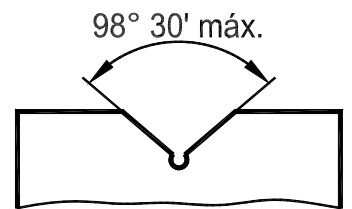
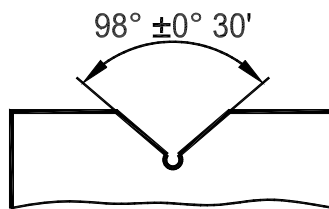
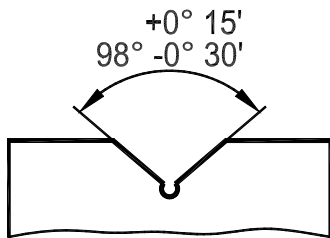
MEDIDAS LIMITES. Las medidas límites pueden también indicarse, situando la medida máxima encima de la medida mínima.



MEDIDAS LIMITADAS EN UN SENTIDO. Si la medida está limitada solamente en un sentido, deberá indicarse a continuación de la misma la palabra "mín." o "máx."



TOLERANCIAS DE MEDIDAS ANGULARES. Las notaciones admitidas para la indicación de las tolerancias de las medidas lineales se aplican igualmente a las medidas angulares.



TOLERANCIAS NORMALIZADAS ISO

INTRODUCCION

El Comité Internacional de Normalización ISO, constituido por numerosos países, estudió y fijó el método racional para la aplicación de las tolerancias dimensionales en la fabricación de piezas lisas. En dicho estudio se puede considerar:

- a) Una serie de grupos dimensionales.
- b) Una serie de tolerancias fundamentales.
- c) Una serie de desviaciones fundamentales.

GRUPOS DIMENSIONALES

Las medidas nominales se han reagrupado en una serie de grupos dimensionales con el fin de:

1. Reducir el número de herramientas, calibres y demás elementos constructivos utilizados en la fabricación.
2. Evitar el cálculo de tolerancias y desviaciones para cada medida nominal.

≤3	>3 ≤6	>6 ≤10	>10 ≤18	>18 ≤30	>30 ≤50	>50 ≤80	>80 ≤120	>120 ≤180	>180 ≤250	>250 ≤315
----	----------	-----------	------------	------------	------------	------------	-------------	--------------	--------------	--------------

>315 ≤ 400	>400 ≤500	>500 ≤630	>630 ≤800	>800 ≤1000	>1000 ≤1250	>1250 ≤1600	>1600 ≤2000	>2000 ≤2500	>2500 ≤ 3150
---------------	--------------	--------------	--------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------

Según lo anterior, para las diferentes medidas nominales comprendidas dentro de un grupo dimensional se les aplicarán las mismas tolerancias y desviaciones fundamentales.

TOLERANCIAS FUNDAMENTALES

TOLERANCIA FUNDAMENTAL (IT). En el sistema de tolerancias y ajustes, una cualquiera de las tolerancias de este sistema.

GRADO DE TOLERANCIA. En el sistema de tolerancias y ajustes, conjunto de tolerancias consideradas como corresponde a un mismo grado de precisión para todas las medidas nominales.

Se han previsto 20 grados de tolerancia, designados por las siglas IT 01, IT 0, IT 1, ..., IT 18, representativos de la amplitud de la tolerancia, desde la más fina hasta la más basta, cuyos valores numéricos están calculados para cada grupo de medidas nominales, constituyendo las tolerancias fundamentales del sistema.

Según se observa en la tabla de tolerancias fundamentales, para una determinada medida nominal, la magnitud de la tolerancia fundamental aumenta al hacerlo también el grado de tolerancia, es decir, disminuye la precisión; a su vez, para un determinado grado de tolerancia, la magnitud de la tolerancia fundamental aumenta al hacerlo también la medida nominal.

La amplitud de la tolerancia aplicable a una dimensión, que por razones de fabricación ha de ser la mayor posible, dependerá del uso o servicio que vaya a prestar la pieza a fabricar, a cuyo efecto se establecen los 20 grados de tolerancia.

Como guía orientativa se establece la siguiente clasificación:

Los grados de tolerancia IT01 a IT4 para ejes y los grados de tolerancia IT01 a IT5 para agujeros, están destinados a piezas de la mecánica de precisión (calibres, mecanismos de relojería, etc.).

Los grados de tolerancia IT5 a IT12 para ejes y los grados de tolerancia IT6 a IT12 para agujeros, están destinados a piezas de la mecánica general que han de ajustar.

Los grados de tolerancia superiores a IT12, tanto para ejes como para agujeros, están destinados para piezas o elementos aislados y que no requieren, por tanto, de una exactitud dimensional tan precisa.

TOLERANCIAS NORMALIZADAS ISO

VALORES NUMERICOS DE LAS TOLERANCIAS FUNDAMENTALES
(valores en μm)

Grupos de dimensiones nominales (mm)	GRADOS DE TOLERANCIAS NORMALIZADAS																			
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
Hasta 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
>3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
>6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
>10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
>18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
>30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
>50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
>80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
>120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
>180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
>250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
>315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
>400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
>500 a 630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
>630 a 800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
>800 a 1000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000	14000
>1000 a 1250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
>1250 a 1600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
>1600 a 2000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
>2000 a 2500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
>2500 a 3150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000

*Los grados de tolerancia IT14 a IT18 no deben utilizarse para las medidas nominales inferiores o iguales a 1 mm.

POSICIONES DE LAS TOLERANCIAS

El sistema de tolerancias normalizadas ISO establece una serie de posiciones de la tolerancia con respecto a la línea cero, fijadas por medio de fórmulas empíricas dependientes de la medida nominal.

Para poder satisfacer las necesidades corrientes de ajustes, se ha previsto para cada grupo dimensional toda una gama de desviaciones, las cuales definen la posición de las tolerancias con respecto a la línea cero.

Las notaciones para las desviaciones son las siguientes:

ES: desviación superior del agujero.

EI: desviación inferior del agujero.

Es: desviación superior del eje.

Ei: desviación inferior del eje.

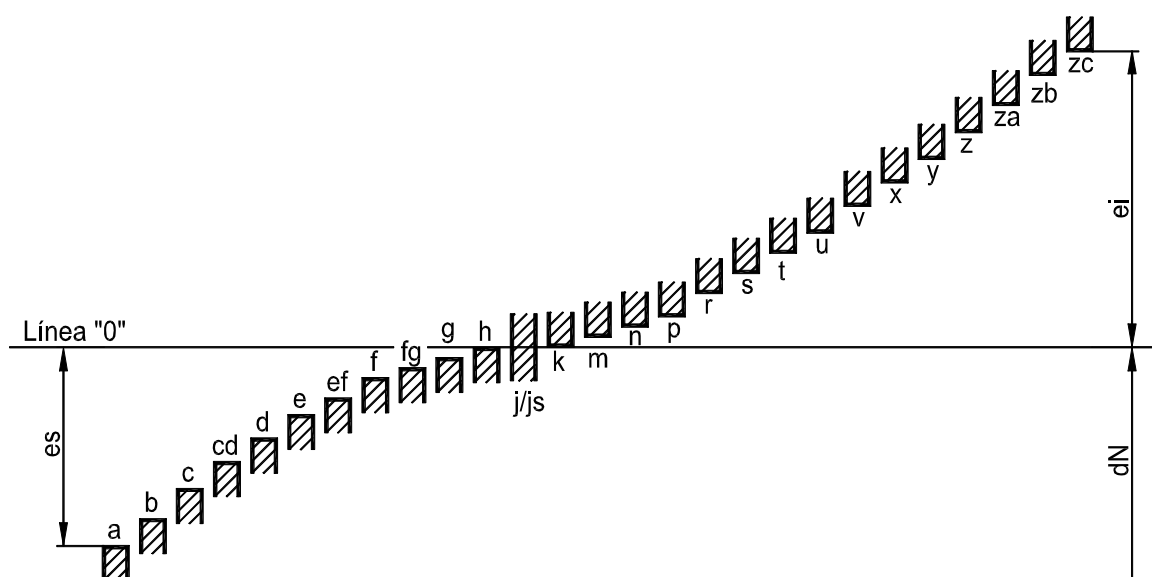
DESVIACION FUNDAMENTAL. Desviación elegida para definir la posición de la tolerancia con respecto a la línea cero. Se adopta como desviación fundamental, la más próxima a dicha línea.

Cada posición de la tolerancia viene simbolizada por una letra (a veces dos), minúsculas para los ejes y mayúsculas para los agujeros.

POSICIONES PARA LOS EJES. En el caso de ejes, las zonas de tolerancia situadas por debajo de la línea cero se indican con las letras *a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h*. La distancia de estas zonas de tolerancia a la línea cero va disminuyendo desde la posición *a* hasta la *h*.

Por su parte, las zonas de tolerancia situadas por encima de la línea cero se indican con las letras *k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc*. La distancia de estas zonas de tolerancia a la línea cero va aumentando desde la posición *k* hasta la *zc*.

Las zonas de tolerancia situadas por encima y por debajo de la línea cero se indican con la letra *j*, posición asimétrica de la tolerancia con respecto a la línea cero, y *js* para la posición simétrica de la tolerancia con respecto a la línea cero.



Para cada símbolo literal que define la posición de la zona de tolerancia, el valor absoluto y el signo de la desviación fundamental (desviación superior “es” para las posiciones *a* á *h* y desviación inferior “ei” para las posiciones *j* á *zc*) se determinan mediante fórmulas empíricas, cuyos resultados se pueden consultar en la siguiente tabla.

La otra desviación se deduce de la desviación fundamental (ver tabla) sumando o restando el valor absoluto de la tolerancia IT por medio de las relaciones algebraicas siguientes:

$$\begin{aligned} e_i &= e_s - IT \\ &\text{ó} \\ e_s &= e_i + IT \end{aligned}$$

Observación: excepto para las posiciones *j*, *js* y *k*, los valores de las desviaciones fundamentales son independientes de la calidad de la tolerancia elegida y corresponden a la posición más próxima a la línea cero.

VALORES NUMERICOS DE LAS DESVIACIONES FUNDAMENTALES PARA LOS EJES
(valores en μm)

Grupos de dimensiones nominales (mm)	POSICIONES DE LAS TOLERANCIAS NORMALIZADAS																																			
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc						
	Todos los grados de tolerancia												IT5	IT7	IT8	$\geq IT4$ y $\leq IT7$	$\leq IT3$ y $> IT7$	Todos los grados de tolerancia																		
	Desviación superior es												Desviación inferior ei																							
Hasta 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60					
>3 a 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80					
>6 a 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97					
>10 a 14																																				
>14 a 18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130					
>18 a 24																																				
>24 a 30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188					
>30 a 40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218					
>40 a 50	-320	-180	-130																																	
>50 a 65	-340	-190	-140																																	
>65 a 80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		+2	0	+11	+20	+32																
>80 a 100	-380	-220	-170																																	
>100 a 120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		+3	0	+13	+23	+37																
>120 a 140	-460	-260	-200																																	
>140 a 160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		+3	0	+15	+27	+43																
>160 a 180	-580	-310	-230																																	
>180 a 200	-660	-340	-240																																	
>200 a 225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		+4	0	+17	+31	+50																
>225 a 250	-820	-420	-280																																	
>250 a 280	-920	-480	-300																																	
>280 a 315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		+4	0	+20	+34	+56																
>315 a 355	-1200	-600	-360																																	
>355 a 400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28		+4	0	+21	+37	+62																
>400 a 450	-1500	-760	-440																																	
>450 a 500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32		+5	0	+23	+40	+68																
>500 a 560																																				
>560 a 630					-260	-145		-76		-22	0																									
>630 a 710																																				
>710 a 800					-290	-160		-80		-24	0																									
>800 a 900																																				
>900 a 1000					-320	-170		-86		-26	0																									
>1000 a 1120																																				
>1120 a 1250					-350	-195		-98		-28	0																									
>1250 a 1400																																				
>1400 a 1600					-390	-220		-110		-30	0																									
>1600 a 1800																																				
>1800 a 2000					-430	-240		-120		-32	0																									
>2000 a 2240																																				
>2240 a 2500					-480	-260		-130		-34	0																									
>2500 a 2800																																				
>2800 a 3150					-520	-290		-145		-38	0																									

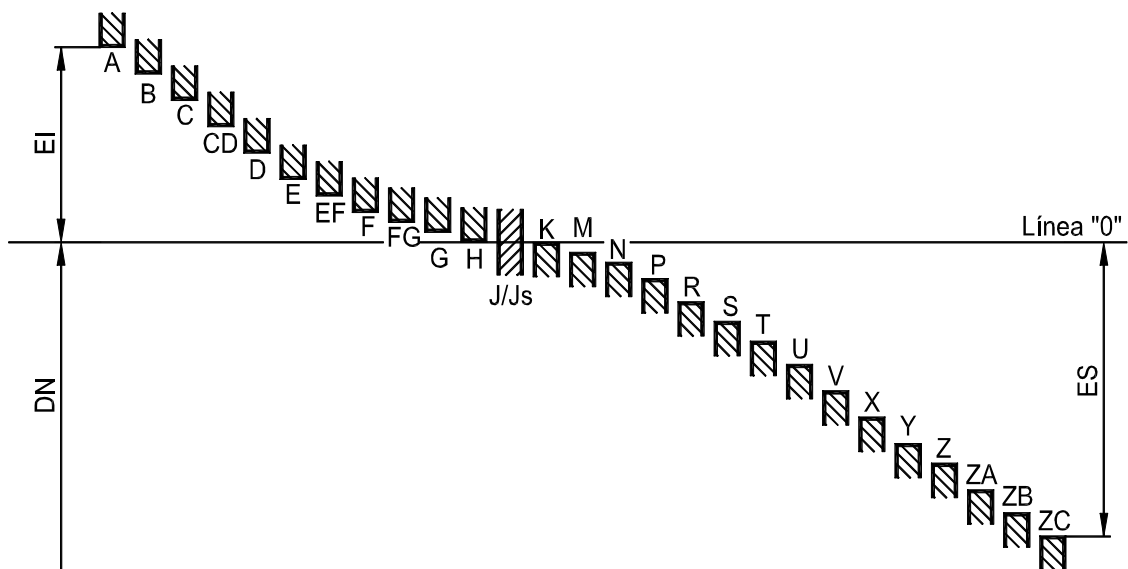
* Las desviaciones fundamentales a y b no deben utilizarse para ninguno de los grados de tolerancia normalizados en las medidas nominales inferiores o iguales a 1 mm.

** Las desviaciones fundamentales intermedias cd, ef y fg están previstas principalmente para la mecánica de precisión y relojería.

POSICIONES PARA LOS AGUJEROS. En el caso de los agujeros, las zonas de tolerancia situadas por encima de la línea cero se indican con las letras A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H. La distancia de estas zonas de tolerancia a la línea cero va disminuyendo desde la posición A hasta la H.

Por su parte, las zonas de tolerancia situadas por debajo de la línea cero se indican con las letras K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC. La distancia de estas zonas de tolerancia a la línea cero va aumentando desde la posición J hasta la ZC.

Las zonas de tolerancia situadas por encima y por debajo de la línea cero se indican con la letra J, posición asimétrica de la tolerancia con respecto a la línea cero, y Js para la posición simétrica de la tolerancia con respecto a la línea cero.



Para cada símbolo literal que define la posición de la zona de tolerancia, el valor absoluto y el signo de la desviación fundamental (desviación inferior “EI” para las posiciones A á H y desviación superior “ES” para las posiciones J á ZC) se determinan mediante fórmulas empíricas, cuyos resultados se pueden consultar en las siguientes tablas.

La otra desviación se deduce de la desviación fundamental (ver tablas) sumando o restando el valor absoluto de la tolerancia IT por medio de las relaciones algebraicas siguientes:

$$EI=ES-IT$$

ó

$$ES=EI+IT$$

Observación: Las posiciones de las tolerancias de los agujeros son simétricas respecto a la línea cero con las posiciones homónimas de los ejes; existen, sin embargo, algunas excepciones.

VALORES NUMERICOS DE LAS DESVIACIONES FUNDAMENTALES PARA LOS AGUJEROS
(valores en μm)

Grupos de dimensiones nominales (mm)	POSICIONES DE LAS TOLERANCIAS NORMALIZADAS																																			
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J					K					M					N								
	Todos los grados de tolerancia												IT6	IT7	IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	≥IT9	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	≥IT9	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	≥IT9
	Desviación inferior <i>Ei</i>												Desviación superior <i>Es</i>																							
Hasta 3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	+2	+4	+6	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	
>3 a 6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	+5	+6	+10	0	+0,5	0	+2	+3	+5			-3	-2,5	-3	-1	0	+2	-4	-7	-6,5	-7	-5	-4	-2	0
>6 a 10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	+5	+8	+12	0	+0,5	+1	+2	+5	+6			-5	-4,5	-4	-3	0	+1	-6	-9	-8,5	-8	-7	-4	-3	0
>10 a 14	+290	+150	+95		+50	+32		+16	+6	0	0	+6	+10	+15	0	+1	+2	+2	+6	+8			-6	-5	-4	-4	0	+2	-7	-11	-10	-9	-9	-5	-3	0
>14 a 18												+8	+12	+20	-0,5	0	+1	+2	+6	+10			-6,5	-6	-5	-4	0	+4	-8	-13,5	-13	-12	-11	-7	-3	0
>18 a 24	+300	+160	+110		+65	+40		+20	+7	0	0	+10	+14	+24	-0,5	+1	+2	+3	+7	+12			-7,5	-6	-5	-4	0	+5	-9	-15,5	-14	-13	-12	-8	-3	0
>24 a 30												+13	+18	+28	0	+1	+3	+4	+9	+14			-9	-8	-6	-5	0	+5	-11	-18	-17	-15	-14	-9	-4	0
>30 a 40	+310	+170	+120		+80	+50		+25	+9	0	0	+16	+22	+34	-1	+1	0	+1	+10	+16			-11	-9	-8	-6	0	+6	-13	-21	-19	-18	-16	-10	-4	0
>40 a 50	+320	+180	+130									+18	+26	+41	-1	0	+3	+4	+12	+20			-12	-11	-9	-8	0	+8	-15	-24	-23	-21	-20	-12	-4	0
>50 a 65	+340	+190	+140		+100	+60		+30	+10	0	0	+22	+30	+47	-1	0	+2	+5	+13	+22			-14	-13	-11	-8	0	+9	-17	-28	-27	-25	-22	-14	-5	0
>65 a 80	+360	+200	+150									+25	+36	+56	+17	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30
>80 a 100	+380	+220	+170		+120	+72	+36	+12	0	0	0	+29	+39	+60	0	+1	+3	+7	+17	+28			-17	-16	-14	-10	0	+11	-21	-33	-32	-30	-26	-16	-5	0
>100 a 120	+410	+240	+180									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>120 a 140	+460	+260	+200		+145	+85	+43	+14	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>140 a 160	+520	+280	+210									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>160 a 180	+580	+310	+230		+170	+100	+50	+15	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>180 a 200	+660	+340	+240									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>200 a 225	+740	+380	+260		+170	+100	+50	+15	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>225 a 250	+820	+420	+280									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>250 a 280	+920	+480	+300		+190	+110	+56	+17	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>280 a 315	+1050	+540	330									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>315 a 355	+1200	+600	+360		+210	+125	+62	+18	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>355 a 400	+1350	+680	+400									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>400 a 450	+1500	+760	+440		+230	+135	+68	+20	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>450 a 500	+1650	+840	+480									+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>500 a 560					+260	+145	+76	+22	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>560 a 630												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>630 a 710					+290	+160	+80	+24	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>710 a 800												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>800 a 900					+320	+170	+86	+26	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>900 a 1000												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>1000 a 1120					+350	+195	+98	+28	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>1120 a 1250												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>1250 a 1400					+390	+220	+110	+30	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>1400 a 1600												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>1600 a 1800					+430	+240	+120	+32	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>1800 a 2000												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>2000 a 2240					+480	+260	+130	+34	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>2240 a 2500												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35
>2500 a 2800					+520	+290	+145	+38	0	0	0	+25	+36	+55	0	0	+3	+5	+16	+25			-16	-16	-13	-9	0	+9	-20	-30	-30	-27	-25	-14	-5	0
>2800 a 3150												+33	+43	+68	+20	0	+33	+43	+66	0	0	+2	+8	+18	+29			-18	-18	-16	-10	0	+11	-23	-35	-35

Desviación = ±ITm/2

* Las desviaciones fundamentales A y B no deben utilizarse para ninguno de los grados de tolerancia normalizados en las medidas nominales inferiores o iguales a 1 mm.

(continúa)

** Las desviaciones fundamentales intermedias CD, EF y FG están previstas principalmente para la mecánica de precisión y relojería.

VALORES NUMERICOS DE LAS DESVIACIONES FUNDAMENTALES PARA LOS AGUJEROS
(valores en μm)

Grupos de dimensiones nominales (mm)	POSICIONES DE LAS TOLERANCIAS NORMALIZADAS																																			
	P						R						S						T						U											
	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8						
	Desviación superior ES																																			
Hasta 3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-14	-14	-14	-14	-14	-14											-18	-18	-18	-18	-18	-18		
>3 a 6	-11	-10,5	-11	-9	-8	-12	-14	-13,5	-14	-12	-11	-15	-18	-17,5	-18	-16	-15	-19											-22	-21,5	-22	-20	-19	-23		
>6 a 10	-14	-13,5	-13	-12	-9	-15	-18	-17,5	-17	-16	-13	-19	-22	-21,5	-21	-20	-17	-23											-27	-26,5	-26	-25	-22	-28		
>10 a 14																																				
>14 a 18	-17	-16	-15	-15	-11	-18	-22	-21	-20	-20	-16	-23	-27	-26	-25	-25	-21	-28											-32	-31	-30	-30	-26	-33		
>18 a 24																																				
>24 a 30	-20,5	-20	-19	-18	-14	-22	-26,5	-26	-25	-24	-20	-28	-33,5	-33	-32	-31	-27	-35										-39,5	-39	-38	-37	-33	-41			
>30 a 40																													-46,5	-45	-44	-43	-39	-48		
>40 a 50	-24,5	-23	-22	-21	-17	-26	-32,5	-31	-30	-29	-25	-34	-41,5	-40	-39	-38	-34	-43										-52,5	-51	-50	-49	-45	-54			
>50 a 65																																				
>65 a 80	-30	-29	-27	-26	-21	-32	-39	-38	-36	-35	-30	-41	-51	-50	-48	-47	-42	-53	-64	-63	-61	-60	-55	-66	-85	-84	-82	-81	-76	-87						
>80 a 100																																				
>100 a 120	-35	-33	-32	-30	-24	-37	-69	-67	-66	-64	-58	-51	-69	-67	-66	-64	-58	-71	-89	-87	-86	-84	-78	-91	-122	-120	-119	-117	-111	-124						
>120 a 140																																				
>140 a 160	-40	-39	-37	-36	-28	-43	-89	-88	-86	-85	-77	-63	-89	-88	-86	-85	-77	-92	-119	-118	-166	-115	-107	-122	-167	-166	-164	-163	-155	-170						
>160 a 180																																				
>180 a 200							-119	-118	-116	-113	-105	-77	-119	-118	-116	-113	-105	-122	-163	-162	-160	-157	-149	-166	-233	-232	-230	-227	219	-236						
>200 a 225	-47	-46	-44	-41	-33	-50	-127	-126	-124	-121	-113	-80	-127	-126	-124	-121	-113	-130	-177	-176	-174	-171	-163	-180	-255	-254	-252	-249	-241	-258						
>225 a 250																																				
>250 a 280							-137	-136	-134	-131	-123	-84	-137	-136	-134	-131	-123	-140	-193	-192	-190	-187	-179	-196	-281	-280	-278	-275	-267	-284						
>280 a 315	-52	-52	-49	-47	-36	-56	-154	-154	-151	-149	-138	-94	-154	-154	-151	-149	-138	-158	-214	-214	-211	-209	-98	-218	-311	-311	-308	-306	-295	-315						
>315 a 355																																				
>355 a 400	-58	-57	-55	-51	-41	-62	-186	-185	-183	-179	-169	-108	-186	-185	-183	-179	-169	-190	-264	-263	-261	-257	-247	-268	-386	-385	-383	-379	-369	-390						
>400 a 450																																				
>450 a 500	-63	-63	-61	-55	-45	-68	-227	-227	-225	-219	-209	-126	-227	-227	-225	-219	-209	-232	-325	-325	-323	-317	-307	-330	-485	-485	-483	-477	-467	-490						
>500 a 560																																				
>560 a 630	-78	-78	-78	-78	-78	-78	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-280	-280	-280	-280	-280	-280	-400	-400	-400	-400	-400	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600				
>630 a 710																																				
>710 a 800	-88	-88	-88	-88	-88	-88	-152	-175	-175	-175	-175	-175	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-500	-500	-500	-500	-500	-740	-740	-740	-740	-740	-740	-740	-740	-740				
>800 a 900																																				
>900 a 1000	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-154	-210	-210	-210	-210	-210	-430	-430	-430	-430	-430	-430	-620	-620	-620	-620	-620	-620	-940	-940	-940	-940	-940	-940	-940	-940	-940			
>1000 a 1120																																				
>1120 a 1250	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-155	-220	-220	-220	-220	-220	-470	-470	-470	-470	-470	-470	-680	-680	-680	-680	-680	-680	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050			
>1250 a 1400																																				
>1400 a 1600	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-157	-260	-260	-260	-260	-260	-580	-580	-580	-580	-580	-580	-840	-840	-840	-840	-840	-840	-1300	-1300	-1300	-1300	-1300	-1300	-1300	-1300	-1300			
>1600 a 1800																																				
>1800 a 2000	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-158	-300	-300	-300	-300	-300	-640	-640	-640	-640	-640	-640	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-1450	-1450	-1450	-1450	-1450	-1450	-1450	-1450	-1450			
>2000 a 2240																																				
>2240 a 2500	-195	-195	-195	-195	-195	-195	-159	-330	-330	-330	-330	-330	-720	-720	-720	-720	-720	-720	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050	-1600	-1600	-1600	-1600	-1600	-1600	-1600	-1600	-1600			
>2500 a 2800																																				
>2800 a 3150	-240	-240	-240	-240	-240	-240	-161	-400	-400	-400	-400	-400	-920	-920	-920	-920	-920	-920	-1350	-1350	-1350	-1350	-1350	-1350	-2000	-2000	-2000	-2000	-2000	-2000	-2000	-2000	-2000			
							-162	-440	-440	-440	-440	-440	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-2300	-2300	-2300	-2300	-2300	-2300	-2300	-2300	-2300			
							-163	-460	-460	-460	-460	-460	-1100	-1100	-1100	-1100	-1100	-1100	-1650	-1650	-1650	-1650	-1650	-1650	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500		
							-164	-550	-550	-550	-550	-550	-1250	-1250	-1250	-1250	-1250	-1250	-1900	-1900	-1900	-1900	-1900	-1900	-2900	-2900	-2900	-2900	-2900	-2900	-2900	-2900	-2900	-2900		
							-165	-580	-580	-580	-580	-580	-1400	-1400	-1400	-1400	-1400	-1400	-2100	-2100	-2100	-2100	-2100	-2100	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200		

(continúa)

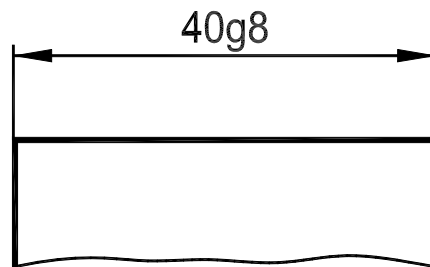
VALORES NUMERICOS DE LAS DESVIACIONES FUNDAMENTALES PARA LOS AGUJEROS
(valores en μm)

Grupos de dimensiones nominales (mm)	POSICIONES DE LAS TOLERANCIAS NORMALIZADAS																																	
	V							X							Y							Z							ZA					
	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	≥IT8				
	Desviación superior ES																																	
Hasta 3							-20	-20	-20	-20	-20	-20																						
>3 a 6							-27	-26,5	-27	-25	-24	-28																						
>6 a 10							-33	-32,5	-32	-31	-28	-34																						
>10 a 14							-39	-38	-37	-37	-33	-40																						
>14 a 18	-38	-37	-36	-36	-32	-39	-44	-43	-42	-42	-38	-45																						
>18 a 24	-45,5	-45	-44	-43	-39	-47	-52,5	-52	-51	-50	-46	-54	-61,5	-61	-60	-59	-55	-63	-71,5	-71	-70	-69	-65	-73	-96,5	-96	-95	-94	-90	-98				
>24 a 30	-53,5	-53	-52	-51	-47	-55	-62,5	-62	-61	-60	-56	-64	-73,5	-73	-72	-71	-67	-75	-86,5	-86	-85	-84	-80	-88	-116,5	-116	-115	-114	-110	-118				
>30 a 40	-66,5	-65	-64	-63	-59	-68	-78,5	-77	-76	-75	-71	-80	-92,5	-91	-90	-89	-85	-94	-110,5	-109	-108	-107	-103	-112	-146,5	-145	-144	-143	-139	-148				
>40 a 50	-79,5	-78	-77	-76	-72	-81	-95,5	-94	-93	-92	-88	-97	-112,5	-111	-110	-109	-105	-114	-134,5	-133	-132	-131	-127	-136	-178,5	-175	-174	-173	-171	-180				
>50 a 65	-100	-99	-97	-96	-91	-102	-120	-119	-117	-116	-111	-122	-142	-141	-139	-138	-133	-144	-170	-169	-167	-166	-161	-172	-224	-223	-221	-220	-215	-226				
>65 a 80	-118	-117	-115	-114	-109	-120	-144	-143	-141	-140	-135	-146	-172	-171	-169	-168	-163	-174	-208	-207	-205	-204	-199	-210	-272	-271	-269	-268	-263	-274				
>80 a 100	-144	-142	-141	-139	-133	-146	-176	-174	-173	-171	-165	-178	-212	-210	-209	-207	-201	-214	-256	-254	-253	-251	-245	-258	-333	-331	-330	-328	-322	-335				
>100 a 120	-170	-168	-167	-165	-159	-172	-208	-206	-205	-203	-197	-210	-252	-250	-249	-247	-241	-254	-308	-30	-305	-303	-297	-310	-398	-396	-395	-393	-387	-400				
>120 a 140	-199	-198	-196	-195	-187	-202	-245	-244	-242	-241	-233	-248	-297	-296	-294	-293	-285	-300	-362	-361	-359	-358	-350	-365	-467	-466	-464	-463	-455	-470				
>140 a 160	-225	-224	-222	-221	-213	-228	-277	-276	-274	-273	-265	-280	-337	-336	-334	-333	-325	-340	-412	-411	-409	-408	-400	-415	-532	-531	-529	-528	-520	-535				
>160 a 180	-249	-248	-246	-245	-237	-252	-307	-306	-304	-303	-295	-310	-377	-376	-374	-373	-365	-380	-462	-461	-459	-458	-450	-465	-597	-596	-594	-593	-585	-600				
>180 a 200	-281	-280	-278	-275	-267	-284	-347	-346	-344	-341	-333	-350	-422	-421	-419	-416	-408	-425	-517	-516	-514	-511	-503	-520	-667	-666	-664	-661	-653	-670				
>200 a 225	-307	-306	-304	-301	-293	-310	-382	-381	-379	-376	-368	-385	-467	-466	-464	-461	-453	-470	-572	-571	-569	-566	-558	-575	-737	-736	-734	-731	-723	-740				
>225 a 250	-337	-336	-334	-331	-323	-340	-422	-421	-419	-416	-408	-425	-517	-516	-514	-511	-503	-520	-637	-636	-634	-631	-623	-640	-817	-816	-814	-811	-803	-820				
>250 a 280	-381	-381	-378	-376	-365	-385	-471	-471	-438	-436	-455	-475	-576	-576	-573	-571	-560	-580	-706	-706	-703	-701	-690	-710	-916	-916	-913	-911	-900	-920				
>280 a 315	-421	-421	-418	-416	-405	-425	-521	-521	-518	-516	-505	-525	-646	-646	-643	-641	-630	-650	-786	-786	-783	-781	-770	-790	-996	-996	-993	-991	-980	-1000				
>315 a 355	-471	-470	-468	-464	-454	-475	-586	-585	-583	-579	-569	-590	-726	-725	-723	-719	-709	-730	-896	-895	-893	-879	-879	-900	-1146	-1145	-1143	-1139	-1129	-1150				
>355 a 400	-526	-525	-523	-519	-509	-530	-656	-655	-653	-649	-639	-660	-816	-815	-813	-809	-799	-820	-996	-995	-993	-989	-979	-1000	-1296	-1295	-1293	-1289	-1279	-1300				
>400 a 450	-590	-590	-588	-582	-572	-595	-735	-735	-733	-727	-717	-740	-915	-915	-913	-907	-897	-920	-1095	-1095	-1093	-1087	-1077	-1100	-1445	-1445	-1443	-1437	-1427	-1450				
>450 a 500	-655	-655	-653	-647	-637	-660	-815	-815	-813	-807	-797	-820	-995	-995	-993	-987	-977	-1000	-1245	-1245	-1243	-1237	=AF2427	-1250	-1595	-1595	-1593	-1587	-1577	-1600				
>500 a 560																																		
>560 a 630																																		
>630 a 710																																		
>710 a 800																																		
>800 a 900																																		
>900 a 1000																																		
>1000 a 1120																																		
>1120 a 1250																																		
>1250 a 1400																																		
>1400 a 1600																																		
>1600 a 1800																																		
>1800 a 2000																																		
>2000 a 2240																																		
>2240 a 2500																																		
>2500 a 2800																																		
>2800 a 3150																																		

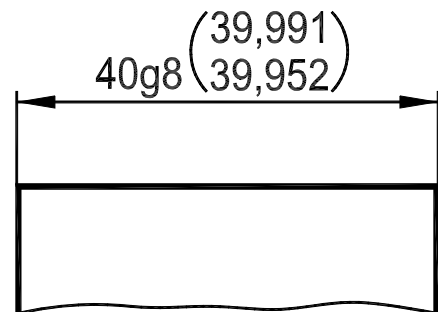
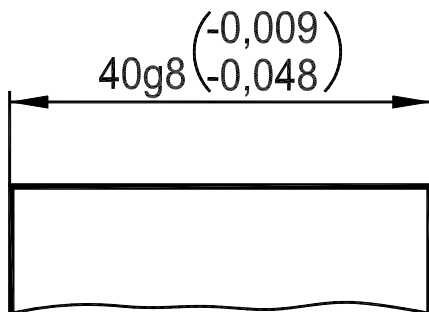
(continúa)

INDICACION EN LOS DIBUJOS

Una medida con tolerancia dimensional normalizada se designa con la medida nominal seguida del símbolo de la clase de tolerancia requerida. Este símbolo está constituido por la letra representativa de la desviación fundamental seguida de la cifra representativa del grado de tolerancia.



Cuando sea necesario indicar los valores de las desviaciones o las medidas límites, la información adicional deberá escribirse entre paréntesis.



AJUSTES

INTRODUCCION

Para que un mecanismo funcione correctamente, es necesario que las distintas piezas que lo componen estén acopladas entre sí en condiciones bien determinadas.

Se entiende por ajuste, la relación mecánica existente entre dos piezas cuando acoplan entre sí (una de ellas encaja en la otra); esta relación resulta con “juego” (holgura) cuando las dos piezas pueden moverse entre sí con cierta facilidad, y con “aprieto” cuando verificado el encaje las piezas han quedado sin posibilidad de movimiento relativo entre ellas.

DEFINICIONES

AJUSTE. Es la diferencia, antes del montaje, entre las medidas de dos piezas (eje y agujero) que han de ser ensambladas. Las dos piezas deberán tener una medida nominal común.

PIEZAS AJUSTADAS. Son todas las piezas que forman o componen un ajuste.

PIEZA EXTERIOR, PIEZA HEMBRA O AGUJERO. Es la pieza ajustada que envuelve a otra o a otras piezas ajustables.

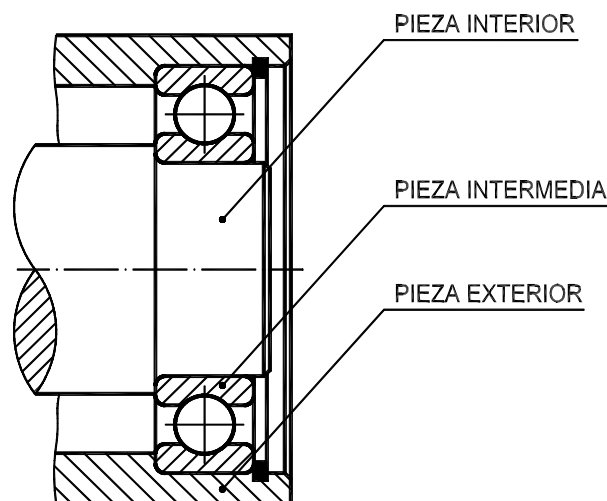
PIEZA INTERIOR, PIEZA MACHO O EJE. Es la pieza ajustada envuelta por otra o por otras piezas ajustables.

PIEZA INTERMEDIA. Es la pieza ajustada situada entre la exterior y la interior de un ajuste formado por más de dos piezas ajustadas (ajuste múltiple).

JUEGO. Diferencia entre las medidas, antes del montaje, del agujero y del eje, cuando esta diferencia es positiva, es decir, cuando la medida del agujero es mayor que la medida del eje.

APRIETO. Diferencia entre las medidas, antes del montaje, del eje y del agujero, cuando esta diferencia es positiva, es decir, cuando la medida del eje es mayor que la medida del agujero.

TOLERANCIA DE AJUSTE. Es la oscilación máxima del juego o del aprieto, según el tipo de ajuste. Su valor viene determinado por la suma aritmética de las tolerancias de las piezas que componen el ajuste.



CLASES DE AJUSTE

AJUSTE CON JUEGO

Es el tipo de ajuste que asegura siempre un juego entre las piezas que componen el ajuste, siendo móvil una respecto a la otra. La zona de tolerancia del agujero está situada completamente por encima de la zona de tolerancia del eje.

Este tipo de ajuste se utilizará siempre que las piezas que lo componen tengan que deslizarse o girar una dentro de la otra. Para la buena elección del mismo, es necesario tener en cuenta la precisión de guía del eje, el estado de las superficies de ajuste, la clase de lubricante y la temperatura que adquirirá en el funcionamiento.

JUEGO MINIMO (J_{min}). En un ajuste con juego, es la diferencia positiva entre la medida mínima del agujero y la medida máxima del eje.

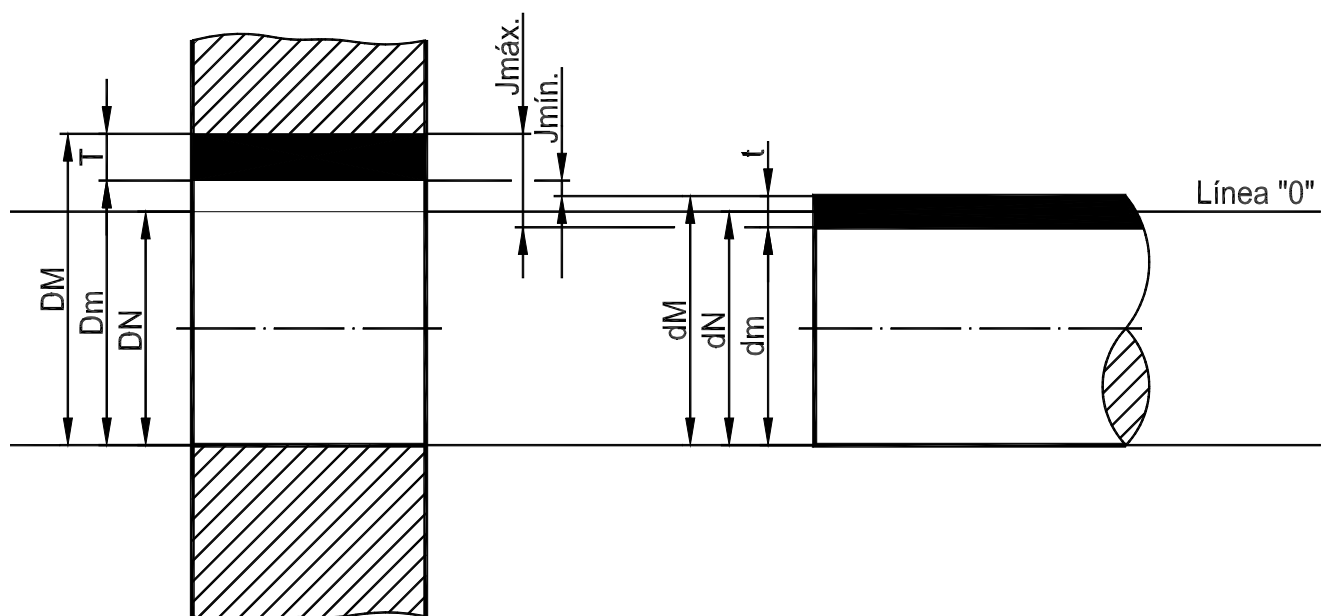
$$J_{min}=Dm-dM$$

JUEGO MAXIMO (J_{max}). En un ajuste con juego, es la diferencia positiva entre la medida máxima del agujero y la medida mínima del eje.

$$J_{max}=DM-dm$$

TOLERANCIA DE AJUSTE (TJ). Es la oscilación máxima del juego, es decir, la diferencia entre el juego máximo y el juego mínimo. A su vez, es igual a la suma aritmética de las tolerancias de las piezas que componen el ajuste.

$$\begin{aligned} TJ &= J_{max}-J_{min} \\ TJ &= (DM-dm)-(Dm-dM) \\ TJ &= DM-dm-Dm+dM \\ TJ &= (DM-Dm)+(dM-dm) \\ TJ &= T+t \end{aligned}$$



AJUSTE CON APRIETO

Es el tipo de ajuste que asegura siempre un aprieto entre las piezas que componen el ajuste. La zona de tolerancia del agujero está situada completamente por debajo de la zona de tolerancia del eje.

Este tipo de ajuste se elegirá para piezas que sea necesario asegurarse que han de quedar íntimamente unidas entre sí, pudiendo necesitar o no seguro contra el giro y deslizamiento. Para la adopción acertada de este ajuste es necesario tener en cuenta principalmente: el aprieto que ha de tener el ajuste, el espesor de las paredes, ver si el eje es hueco o no, resistencia del material empleado y estado de las superficies de ajuste.

APRIETO MINIMO (A_{min}). En un ajuste con aprieto, es la diferencia positiva entre la medida mínima del eje y la medida máxima del agujero, antes del montaje de las piezas.

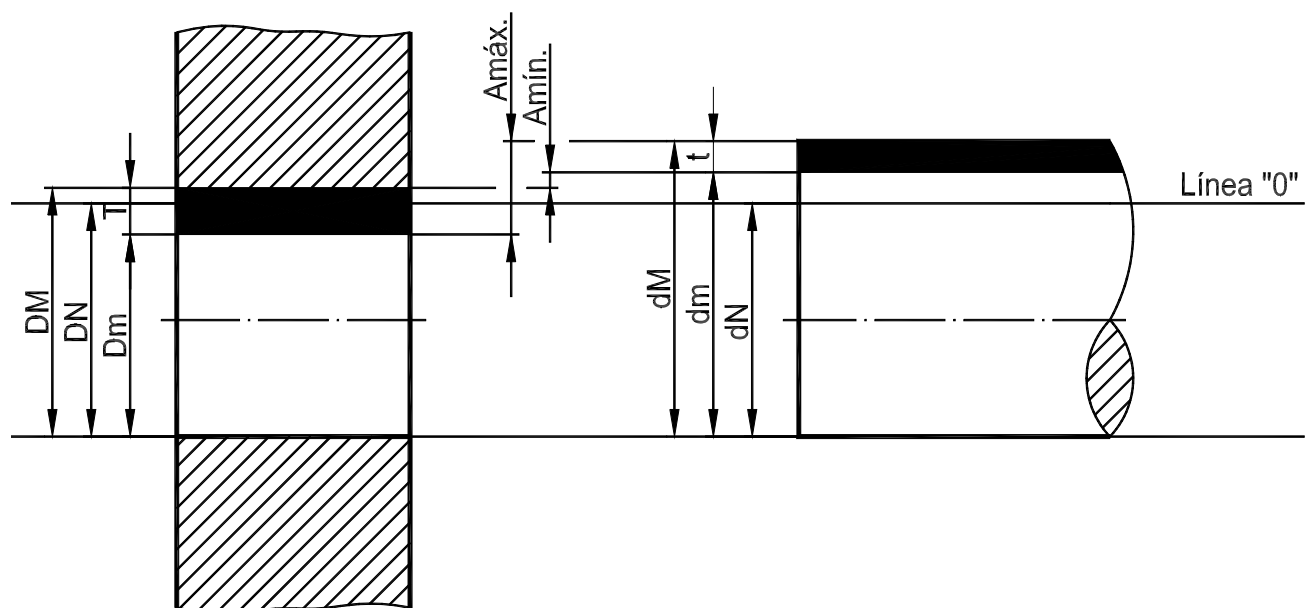
$$A_{min}=dm-DM$$

APRIETO MAXIMO (A_{max}). En un ajuste con aprieto, es la diferencia positiva entre la medida máxima del eje y la medida mínima del agujero, antes del montaje de las piezas.

$$A_{max}=dM-Dm$$

TOLERANCIA DE AJUSTE (TA). Es la oscilación máxima del aprieto, es decir, la diferencia entre el aprieto máximo y el aprieto mínimo. A su vez, es igual a la suma aritmética de las tolerancias de las piezas que componen el ajuste.

$$\begin{aligned}TA &= A_{max}-A_{min} \\TA &= (dM-Dm)-(dm-DM) \\TA &= dM-Dm-dm+DM \\TA &= (DM-Dm)+(dM-dm) \\TA &= T+t\end{aligned}$$



AJUSTE INCIERTO

Es el tipo de ajuste que puede dar lugar a juego o aprieto entre las piezas que componen el ajuste. Las zonas de tolerancia del agujero y del eje se solapan entre sí.

Este tipo de ajuste se elige para piezas que sea necesario determinar bien su posición y que requieren efectuar montajes y desmontajes con relativa frecuencia: piñones intercambiables, poleas en sus ejes, etc. Para una elección acertada de este ajuste es necesario tener en cuenta, principalmente, la frecuencia del montaje y desmontaje.

JUEGO MAXIMO (J_{max}). En un ajuste incierto, es la diferencia positiva entre la medida máxima del agujero y la medida mínima del eje.

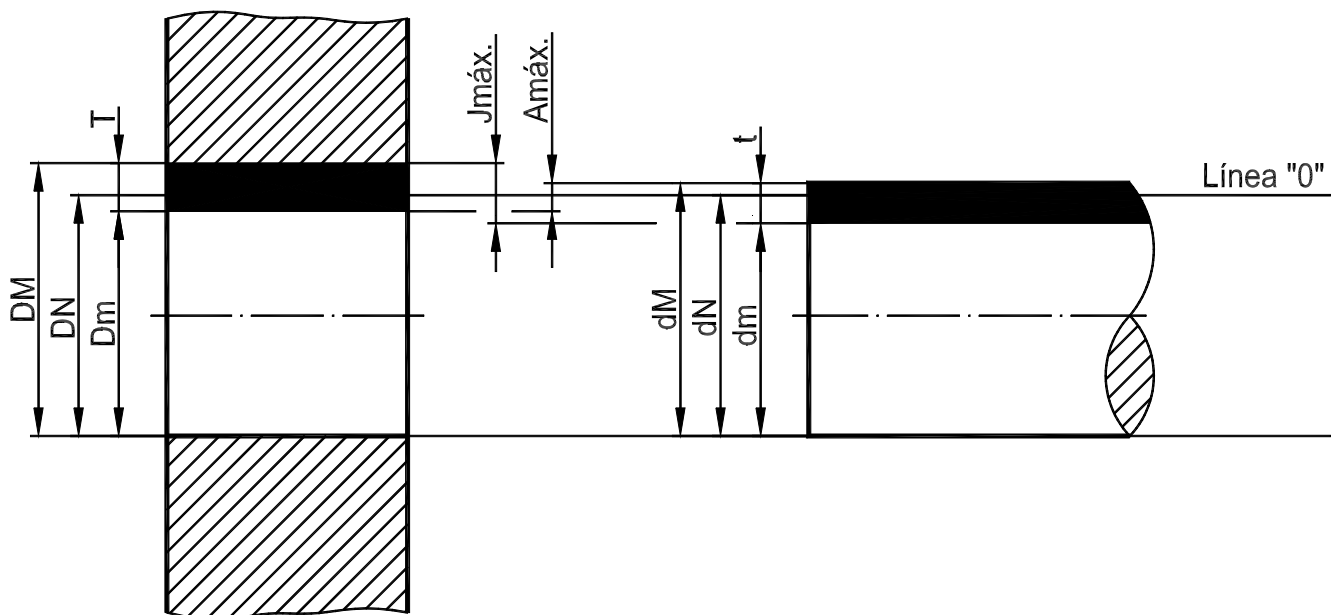
$$J_{max}=DM-dm$$

APRIETO MAXIMO (A_{max}). En un ajuste incierto, es la diferencia positiva entre la medida máxima del eje y la medida mínima del agujero, antes del montaje de las piezas.

$$A_{max}=dM-Dm$$

TOLERANCIA DE AJUSTE (TI). Es la suma entre el juego máximo y el aprieto máximo. A su vez, es igual a la suma aritmética de las tolerancias de las piezas que componen el ajuste.

$$\begin{aligned} TI &= J_{max} + A_{max} \\ TI &= (DM - dm) + (dM - Dm) \\ TI &= (DM - Dm) + (dM - dm) \\ TI &= T + t \end{aligned}$$



SISTEMAS DE AJUSTE

Dado que existen 28 posiciones de tolerancia para el agujero y otras tantas para el eje, se podría combinar cada una de las posiciones de la tolerancia del agujero con las distintas posiciones de la tolerancia en el eje, y viceversa; esto daría lugar a numerosas combinaciones, e incluso muchas de ellas tendrían características similares. Para evitar este inconveniente se establecen los *sistemas de ajuste*.

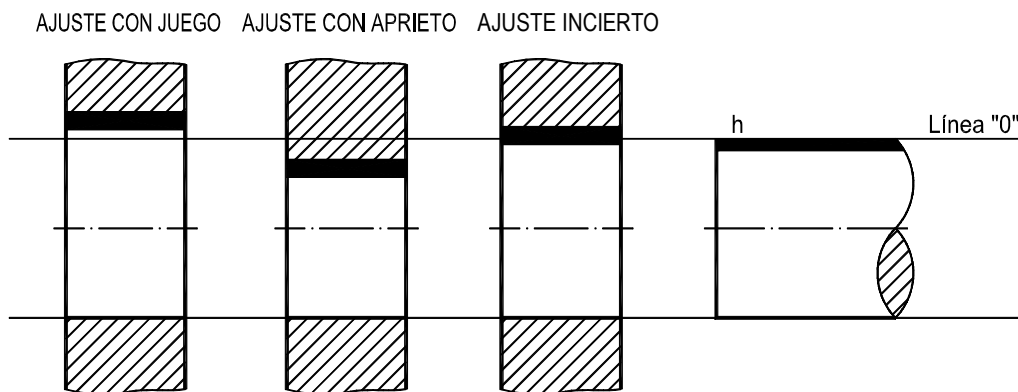
Un *sistema de ajuste* es un conjunto sistemático de ajustes entre ejes y agujeros pertenecientes a un sistema de tolerancias, y que puede dar lugar a diversos juegos y aprietos.

El comité ISO estableció dos sistemas de ajuste, denominados: *sistema de ajuste de eje único* y *sistema de ajuste de agujero único*

SISTEMA DE AJUSTE DE EJE UNICO

Conjunto sistemático de ajustes en el que los diferentes juegos y aprietos se obtienen asociando ejes con clase de tolerancia única y agujeros con diferentes clases de tolerancia.

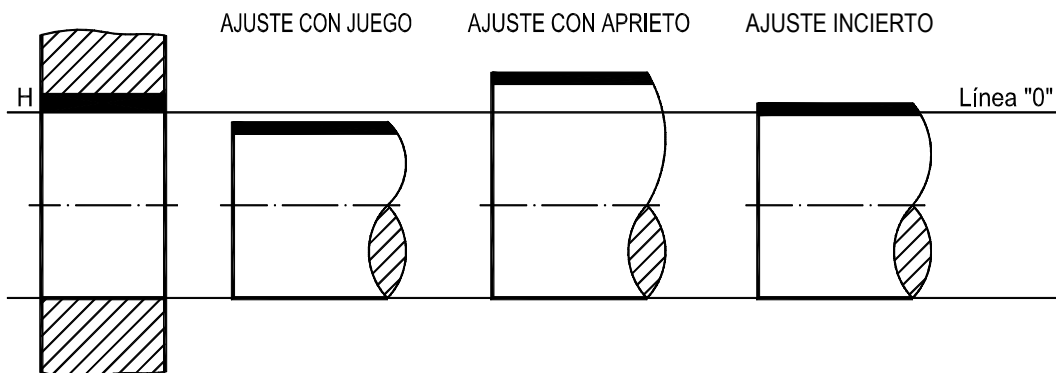
En el Sistema ISO de Tolerancias y Ajustes, el *eje base* es el eje de diferencia superior nula y diferencia inferior negativa (zona h).



SISTEMA DE AJUSTE DE AGUJERO UNICO

Conjunto sistemático de ajustes en el que los diferentes juegos y aprietos se obtienen asociando agujeros con clase de tolerancia única y ejes con diferentes clases de tolerancia.

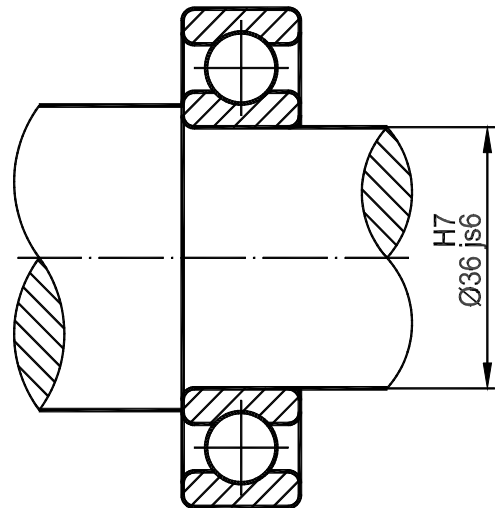
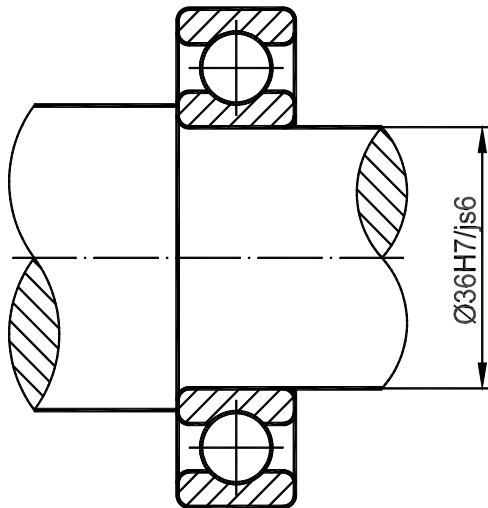
En el Sistema ISO de Tolerancias y Ajustes, el *agujero base* es el agujero de diferencia superior positiva y diferencia inferior nula (zona H).



NOTACION DE LOS AJUSTES EN LOS DIBUJOS DE CONJUNTO

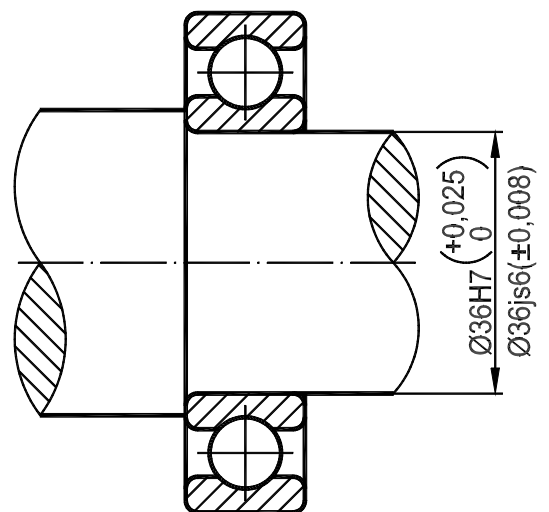
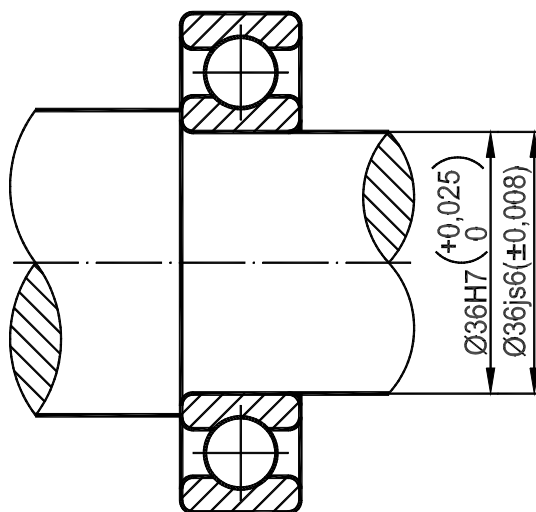
En los dibujos de conjunto se pueden indicar los diferentes ajustes, consignando las tolerancias de las piezas que intervienen en cada ajuste.

El símbolo de tolerancia del agujero deberá situarse antes que el del eje o sobre éste, indicando una sola vez la medida nominal común a las piezas que componen el ajuste.



Si es preciso, se indicarán también los valores numéricos de las diferencias, añadiéndolas entre paréntesis. En este caso se utilizarán dos líneas de cota, en una se indicará la dimensión del agujero (cota superior) y en la otra se indicará la dimensión del eje (cota inferior).

Se puede, para simplificar, utilizar una sola línea de cota, indicando la dimensión del agujero sobre la línea de cota y la dimensión del eje debajo de la misma.



TOLERANCIAS GENERALES DIMENSIONALES

El establecimiento de tolerancias en el diseño debería ser completo, a fin de asegurar que se han definido todas las características dimensionales y geométricas de todos los elementos de la pieza; es decir, que no es necesario sobrentender ni dejar nada a la apreciación del personal del taller o del servicio de control.

Esta condición previa se garantiza mediante la aplicación de las tolerancias generales, dimensionales y geométricas. La norma UNE EN 22768-1 especifica las tolerancias generales para las dimensiones lineales y angulares que no llevan especificación individual de tolerancia, estableciendo cuatro clases de tolerancia.

Los valores de las tolerancias generales corresponden a las clases de precisión habituales del taller, debiéndose elegir la clase de tolerancia más adecuada de acuerdo con las exigencias funcionales concretas de los componentes.

Las tolerancias generales para dimensiones lineales, excepto radios exteriores y alturas de chaflán, se indican en la siguiente tabla.

medidas en milímetros

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal							
Designación	Descripción	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
f	fina	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	media	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	grosera	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	muy grosera	-	±0,5	±1	±1,15	±2,5	±4	±6	±8

Las tolerancias generales para dimensiones angulares se indican en la siguiente tabla.

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado, en milímetros				
Designación	Descripción	hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
f	fina	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	media	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
c	grosera	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	muy grosera	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

Cuando hayan de aplicarse las tolerancias generales, en el bloque de títulos o en sus inmediaciones, deben figurar las indicaciones siguientes: norma-clase de tolerancia.

Ejemplo: ISO 2768-m

El empleo de tolerancias generales presenta una serie de ventajas, entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- a). El dibujo permite identificar fácilmente aquellos elementos que pueden fabricarse según el procedimiento normal de fabricación; ello facilita, igualmente, la gestión del sistema de calidad, reduciendo los niveles de inspección.
- b). Las restantes dimensiones, afectadas de tolerancias individuales, serán, en general, las correspondientes a los elementos cuya función exige tolerancias reducidas y que, en consecuencia, pueden necesitar un esfuerzo especial de fabricación; esto será de utilidad para la planificación de la producción y facilitará el trabajo del servicio de control de calidad en el momento de analizar las necesidades de inspección.

Todas estas ventajas no se obtienen plenamente más que cuando se está completamente seguro de que las tolerancias generales no serán rebasadas, es decir, cuando la precisión habitual del taller en cuestión es igual o superior a las tolerancias generales indicadas en el dibujo.

Salvo indicación en contra, no deben rechazarse automáticamente las piezas que una vez fabricadas excedan de sus tolerancias generales, con la condición de que no alteren la aptitud para su función de diseño.