

1996-10-23*

**DIBUJO TÉCNICO.
TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS. PRINCIPIO DEL
MATERIAL MÁXIMO**



E: TECHNICAL DRAWINGS. GEOMETRICAL TOLERANCING.
MAXIMUM MATERIAL PRINCIPLE

CORRESPONDENCIA: esta norma es equivalente (EQV) a la
ISO 2692: 1988.

DESCRIPTORES: dibujo técnico; dibujo industrial; dibujo;
representación gráfica; representación
de datos; codificación; tolerancia de
dimensión; tolerancia mecánica;
tolerancia; mediciones.

I.C.S.: 01.100.20

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

Primera actualización
*Reaprobada 2000-11-22

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 1876 (Primera actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo de 1996-10-23. y reprobada en el 2000-11-22.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que pertenecen al Comité Técnico 000003 Dibujo técnico, y que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en Consulta Pública

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD ANTONIO
NARIÑO
FÁBRICA DE TORNILLOS GUTENBERTO S.
A.
FEDERACIÓN COLOMBIANA DE
INDUSTRIAS METALÚRGICAS
FEDERACIÓN INSTITUTO TECNOLÓGICO
CONFENALCO

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
UNIVERSIDAD EAFIT
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
TÉCNICAS DE MECANIZADOS LTDA.
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Se realiza la reaprobación teniendo en cuenta que al confrontar la NTC 1876 (Primera actualización) con documento de referencia ISO 2692: 1988 contra la versión vigente de la ISO se encontró que este último documento sigue siendo vigente. Teniendo en cuenta lo anterior se reaprueba la norma.

ICONTEC cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

**DIBUJO TÉCNICO.
TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS.
PRINCIPIO DEL MATERIAL MÁXIMO**

0. INTRODUCCIÓN

0.1 El ensamble de partes depende de la relación entre el tamaño real y la desviación geométrica real de los elementos que se deben acoplar, por ejemplo, los orificios para los tornillos en dos rebordes y los tornillos que los aseguran.

El juego mínimo en el ensamble se presenta cuando cada uno de los elementos que se van a acoplar está en la condición de material máximo (por ejemplo, tornillos grandes y orificios pequeños) y cuando sus desviaciones geométricas (por ejemplo, la desviación posicional) están también al máximo.

El juego en el ensamble aumenta al máximo cuando los tamaños reales de los elementos ensamblados están más lejos de sus tamaños de material máximo (por ejemplo, un cuerpo pequeño y un orificio grande) y cuando las desviaciones geométricas (por ejemplo, la desviación posicional) son cero.

En consecuencia, si los tamaños reales de una parte de acople no alcanzan su condición de material máximo, la tolerancia geométrica indicada puede aumentar, sin peligro para el ensamble de la otra parte.

Esto se llama el "principio de material máximo" y se indica en los dibujos por el símbolo **(M)**.

Las figuras en esta norma están previstas sólo como ilustraciones, para ayudar al usuario a entender el principio del material máximo. En algunos casos, las figuras ilustran detalles añadidos para enfatizar; en otros, se han dejado deliberadamente incompletas. Los valores numéricos de las dimensiones y tolerancias se dan sólo con propósitos ilustrativos.

Para simplificar, los ejemplos se limitan a cilindros y planos.

0.2 Por uniformidad, todas las figuras en este documento están en la proyección de primer ángulo.

Se debe entender que la proyección de tercer ángulo puede haberse usado igualmente bien, sin perjuicio de los principios establecidos.

Para la presentación definitiva (proporciones y dimensiones) de los símbolos para tolerancias geométricas, véase la norma ISO 7083.

1. OBJETO

Esta norma define y establece el principio de material máximo y especifica su aplicación.

El uso de este principio facilita la fabricación sin alterar el ensamble de partes en que hay dependencia mutua de tamaño y geometría.

Nota. Los requisitos de envoltura para un solo elemento (véase numeral 5.2.2), se pueden indicar por el símbolo E (véase la NTC 2498).

2. NORMAS QUE DEBEN CONSULTARSE

Las siguientes normas contienen disposiciones que, mediante la referencia dentro de este texto, constituyen la integridad del mismo. En el momento de la publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización; los participantes, mediante acuerdos basados en esta norma, deben investigar la posibilidad de aplicar la última versión de las normas mencionadas.

NTC 1831:1988, Dibujo Técnico. Tolerancias geométricas. Tolerancias de forma, orientación, localización y alineación, representación (ISO 1101).

NTC 2130:1996, Dibujo Técnico. Dibujo industrial. Tolerancias geométricas. Referencias y sistemas de referencias (ISO 5459).

NTC 2493:1988, Dibujo Técnico. Símbolos para tolerancias geométricas proporciones y dimensiones (ISO 7083).

NTC 2498:1988, Dibujo Técnico. Principio fundamental de tolerancia (ISO 8015).

ISO 1101, Technical Drawings. Geometrical Tolerancing. Tolerancing of form, Orientation, Location and Runout -Generalities, Definitions, Symbols, Indications on Drawings.

ISO 5448, Technical Drawings. Geometrical Tolerancing. Positional Tolerancing.

ISO 5459, Technical Drawings. Geometrical Tolerancing. Datums and Datum Systems for Geometrical Tolerances.

ISO/TR 5460, Technical Drawings. Symbols for Geometrical Tolerancing. Tolerancing of form, Orientation, Location and Runout. Verification Principles and Methods. Guidelines.

ISO 7083, Technical Drawings. Symbols for Geometrical Tolerancing. Porportions and Dimensions.

3. DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se aplican las definiciones contempladas en la misma.

3.1 Tamaño real local: cualquier distancia en cualquier sección transversal de un elemento, es decir, cualquier tamaño medido entre dos puntos opuestos (ejemplos, véanse las Figuras 1, 12b y 13b).

3.2 Tamaño de empalme

3.2.1 Tamaño de empalme para un elemento externo: es la dimensión del elemento perfecto más pequeño que se puede circunscribir alrededor de él, de forma que sólo entre en contacto con la superficie en los puntos más altos.

Nota. Por ejemplo, el tamaño del cilindro más pequeño de forma perfecta, o la mayor distancia entre 2 planos paralelos de forma perfecta, que apenas hace contacto con los puntos más altos de la superficie real (véase la Figura 1).

3.2.2 Tamaño de empalme para un elemento interno: es la dimensión del elemento perfecto más grande que se puede inscribir dentro del elemento, de forma que apenas haga contacto con la superficie en los puntos más altos.

Nota. Por ejemplo, el tamaño del cilindro más largo de forma perfecta, o la mayor distancia entre 2 planos paralelos de forma perfecta, que apenas hace contacto en los puntos más altos de la superficie real.

3.3 Condición de material máximo (CMM): es el estado del elemento que se está considerando, en el que el elemento está, en todas sus partes, al límite de tamaño cuando el material del elemento está en condición máxima, por ejemplo, el diámetro mínimo de un orificio y el diámetro máximo de un cuerpo (véase la Figura 1).

Nota. El eje del elemento no debe ser necesariamente recto.

3.4 Tamaño máximo del material (TMM): es la dimensión que define la condición de material máximo de un elemento (véase la Figura 1).

3.5 Condición de material mínimo: es el estado del elemento que se está considerando, en el que el elemento está, en todas sus partes, al límite de tamaño cuando el material del elemento está al mínimo, por ejemplo, el diámetro máximo de un orificio y el diámetro mínimo de un cuerpo.

Indicación en el dibujo

Interpretación

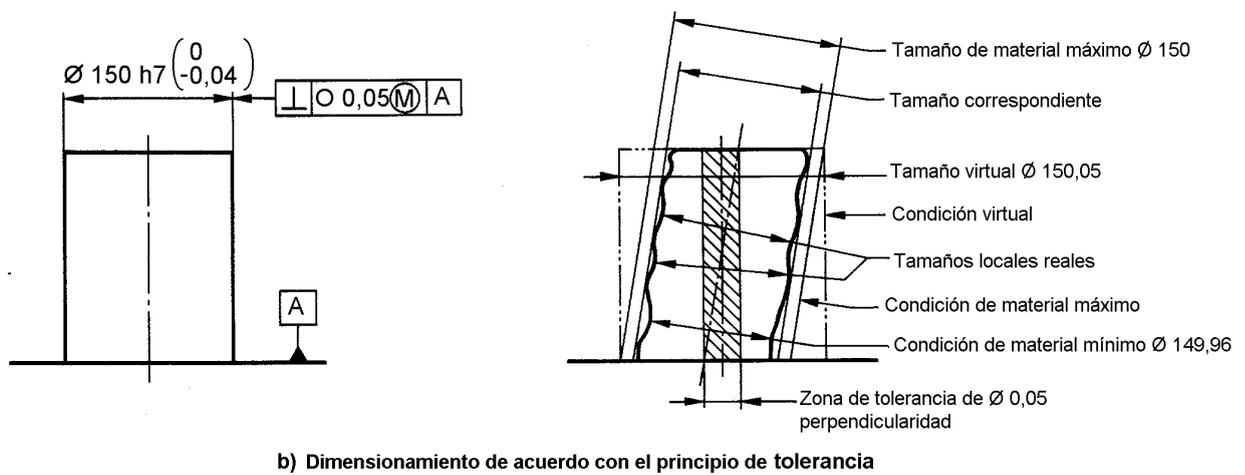
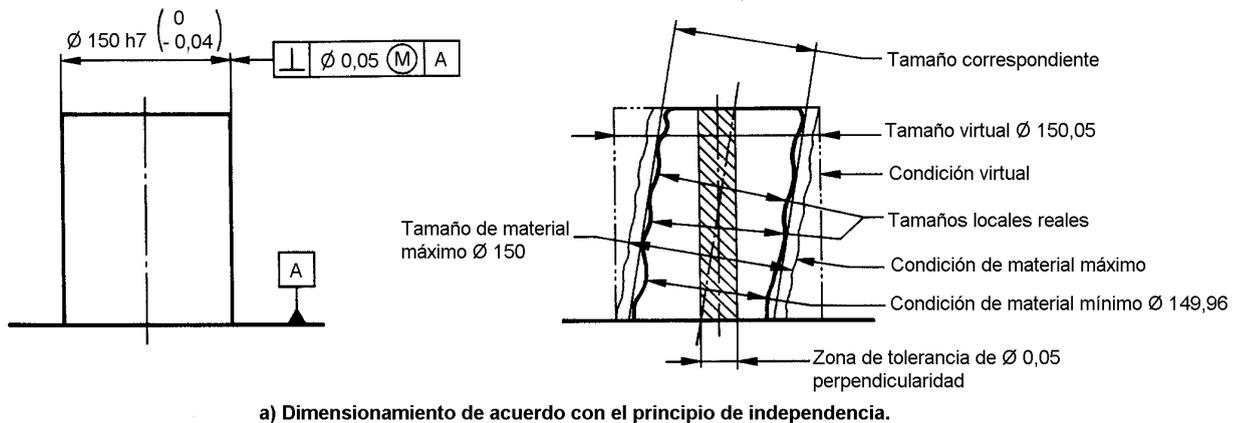


Figura 1.

3.6 Tamaño del material mínimo (TMM): es la dimensión que define la condición de material mínimo de un elemento (véase la Figura 1).

3.7 Condición virtual: es el límite de la forma perfecta, permitido por los datos del dibujo, para un elemento; la condición se genera por el efecto colectivo del tamaño del material máximo y las tolerancias geométricas.

Cuando se aplica el principio del material máximo, sólo las tolerancias geométricas seguidas por el símbolo (M) se deben tomar en cuenta al determinar la condición virtual (véase la Figura 1).

Nota. La condición virtual representa la dimensión de diseño del calibre funcional.

3.8 Tamaño virtual: es la dimensión que define la condición virtual de un elemento.

3.9 Condición virtual de material mínimo (CVMM): límite de la forma perfecta y de tamaño virtual del material mínimo.

3.10 Tamaño virtual de material mínimo (TVMM): generado por el efecto colectivo del material de tamaño mínimo y la tolerancia geométrica seguida por el símbolo L.

Nota. Para ejes: CVMM = MTM - tolerancia geométrica
Para orificios : CVMM = MTM + tolerancia geométrica

4. PRINCIPIO DE MATERIAL MÁXIMO

4.1 GENERALIDADES

El principio de material máximo es un principio de tolerancia que requiere que no se violen ni la condición virtual para el elemento al que se aplica la tolerancia ni, si está indicada, la condición del material máximo de forma perfecta para un elemento de referencia.

Este principio se aplica a ejes de planos medianos y toma en cuenta la relación mutua de tamaño y la tolerancia geométrica en cuestión. La aplicación de este principio se debe indicar con el símbolo **(M)**

4.2 PRINCIPIO DE MATERIAL MÁXIMO APLICADO A LOS ELEMENTOS A LOS QUE SE APLICA LA TOLERANCIA

Cuando se aplica a los elementos considerados, el principio de material máximo permite un aumento en la tolerancia geométrica declarada, cuando el elemento de que se trata se aparta de su condición de material máximo, si el elemento no viola la condición virtual.

4.3 PRINCIPIO DE MATERIAL MÁXIMO APLICADO AL ELEMENTO DE REFERENCIA

Cuando se aplica el principio de material máximo a un elemento de referencia, el eje o plano medio de referencia puede flotar en relación con el elemento al que se aplica la tolerancia, si se aparta (el elemento de referencia) de su condición de material máximo. El valor de flotación es igual a la desviación del tamaño de acople del elemento de referencia, en relación con su tamaño de material máximo (véanse las Figuras 27b y 27c).

Nota. La desviación del elemento de referencia de su tamaño de material máximo, no aumenta la tolerancia de los elementos a los que se aplica la tolerancia en relación uno con otro.

5. APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE MATERIAL MÁXIMO

En todos los casos, el diseñador debe decidir si la aplicación del principio de material máximo se puede permitir en las tolerancias en cuestión.

Nota. El principio de material máximo no se debe usar en aplicaciones tales como uniones cinemáticas, centros de engranaje, orificios roscados, orificios de pasadores, etc, cuando un aumento en la tolerancia pueda ser peligroso para la función.

5.1 TOLERANCIA POSICIONAL PARA UN GRUPO DE ORIFICIOS

El principio de material máximo se usa generalmente con tolerancias de posición, y por lo tanto, estas tolerancias se han empleado para la ilustración en este numeral.

Nota. En los cálculos de tamaño virtual, se asume que los pasadores y orificios están en su condición de tamaño máximo y tienen forma perfecta.

5.1.1 En la Figura 2 se ilustra la indicación en el dibujo de la tolerancia posicional para un grupo de cuatro orificios.

En la Figura 4 se ilustra la indicación en el dibujo de la tolerancia posicional para un grupo de cuatro pasadores fijos que ajustan en el grupo de cuatro orificios.

El tamaño mínimo de los orificios es $\phi 8,1$ - Este es el tamaño de material máximo.

El tamaño máximo de los pasadores es $\phi 7,9$ - Este es el tamaño de material máximo.

5.1.2 La diferencia entre el tamaño de material máximo de los orificios y el de los pasadores es

$$8,1 - 7,9 = 0,2.$$

La suma de las tolerancias posicionales para los orificios y pasadores no debe exceder esta diferencia (0,2). En este ejemplo, esta tolerancia se distribuye en forma equitativa entre los agujeros y los pasadores, es decir, la tolerancia posicional para los orificios es $\phi 0,1$ (véase la Figura 2) y la tolerancia posicional para los pasadores también es $\phi 0,1$ (véase la Figura 4).

Las zonas de tolerancia de $\phi 0,1$, se localizan en sus posiciones teóricamente exactas (véanse las Figuras 3 y 5).

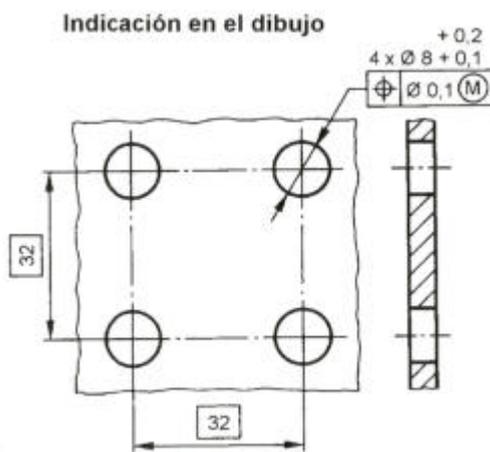


Figura 2

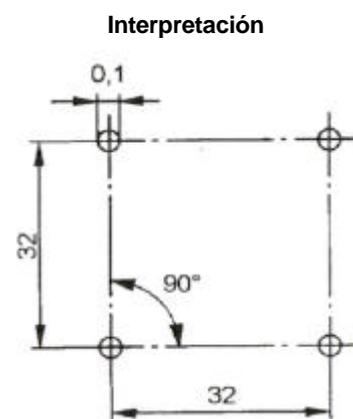


Figura 3

Dependiendo del tamaño real de cada elemento, el aumento en la tolerancia posicional puede ser diferente para cada uno.

Indicación en el dibujo

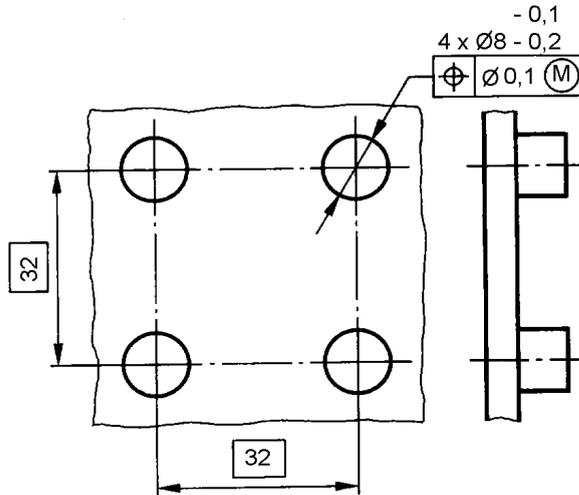


Figura 4

Interpretación

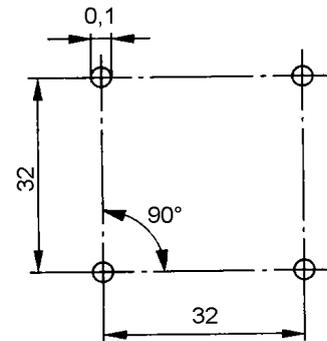


Figura 5

5.1.3 La Figura 6 muestra cuatro superficies cilíndricas para cada uno de los cuatro orificios, teniendo todos su tamaño de material máximo y forma perfecta. Los ejes se localizan en posiciones extremas dentro de la zona de tolerancia.

La Figura 8 muestra los pasadores correspondientes en su tamaño de material máximo. De las Figuras 6 a 9 se puede deducir que el ensamble de las partes es posible aun bajo las condiciones más desfavorables.

5.1.3.1 Uno de los orificios en la Figura 6, se muestra a escala más grande en la Figura 7. La zona de tolerancia para el eje es de θ 0,1. El tamaño de material máximo del orificio es ϕ 8,1. Todos los círculos de ϕ 8,1, cuyos ejes están localizados en los límites de la zona de tolerancia de ϕ 0,1, forman un cilindro inscrito de ϕ 8. Este cilindro está localizado en la posición teóricamente exacta y forma un límite funcional para la superficie del orificio.

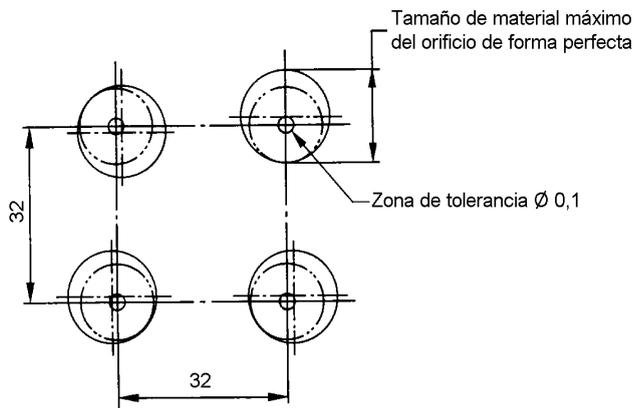


Figura 6

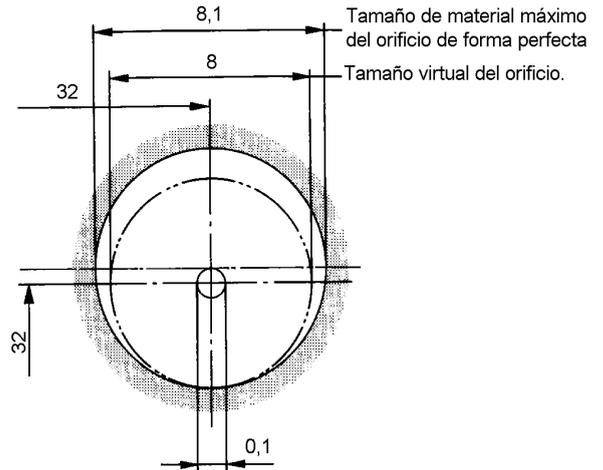


Figura 7

5.1.3.2 Uno de los pasadores en la Figura 8, se muestra a mayor escala en la Figura 9. La zona de tolerancia para el eje es $\theta 0,1$. El tamaño de material máximo del pasador es de $\phi 7,9$. Todos los círculos de $\phi 7,9$, cuyos ejes están localizados en el límite de la zona de tolerancia de $\phi 0,1$, forman un cilindro circunscrito de $\phi 8$, que es la condición virtual del pasador.

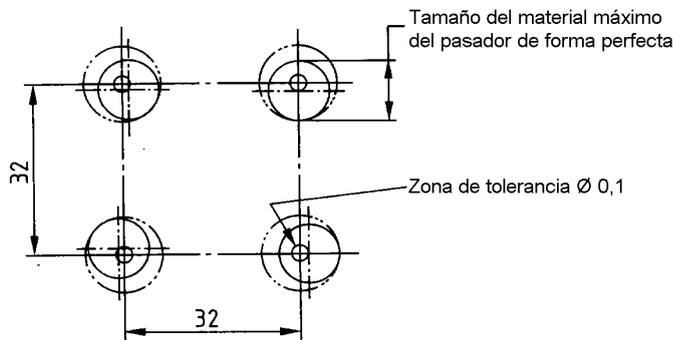


Figura 8

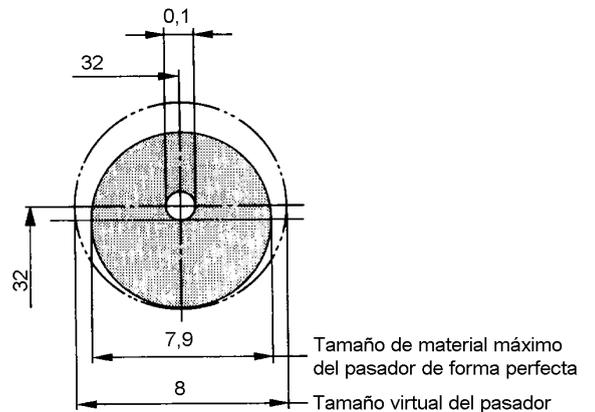


Figura 9

5.1.4 Cuando el tamaño del orificio es mayor que su tamaño de material máximo y/o cuando el tamaño del pasador es más pequeño que su tamaño de material máximo, hay un espacio aumentado entre el pasador y el orificio, que se puede usar para aumentar las tolerancias posicionales del pasador y/o el orificio. Dependiendo del tamaño real de cada elemento, el aumento en la tolerancia posicional puede ser diferente para cada elemento.

El caso extremo es cuando el orificio está en su tamaño máximo de material, es decir $\phi 8,2$. La Figura 10 muestra que el eje del orificio puede estar en cualquier parte dentro de una zona de tolerancia de $\phi 0,2$, sin que la superficie del orificio viole el cilindro de tamaño virtual.

La Figura 11 muestra una situación similar en relación con los pasadores. Cuando el pasador está en su tamaño de material máximo, es decir $7,8 \phi$, el diámetro de la zona de tolerancia para la posición es de $\phi 0,2$.

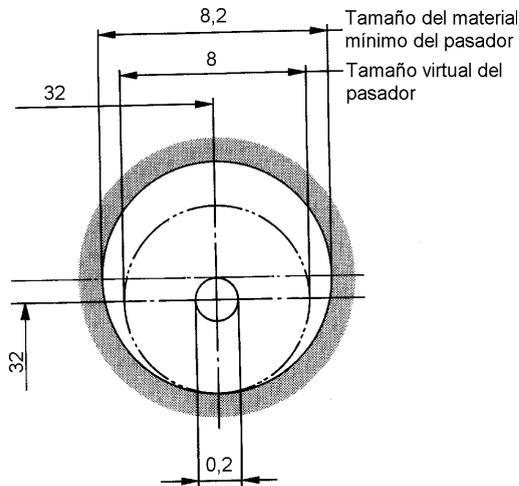


Figura 10

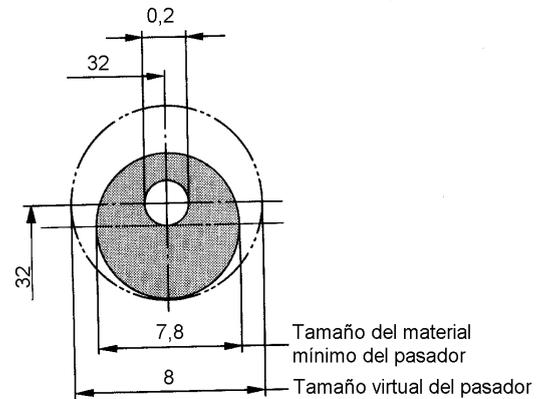


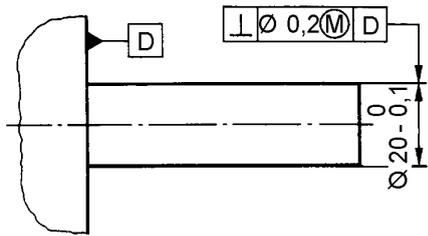
Figura 11

5.1.5 El aumento en la tolerancia geométrica se aplica a una parte del ensamble sin referencia a la parte correspondiente. El ensamble siempre será posible, aun cuando la parte correspondiente esté fabricada en los límites extremos de la tolerancia en la dirección más desfavorable para el ensamble, porque la desviación combinada de tamaño y geometría, no se excede en ninguna de las partes, es decir, no se violan sus condiciones virtuales.

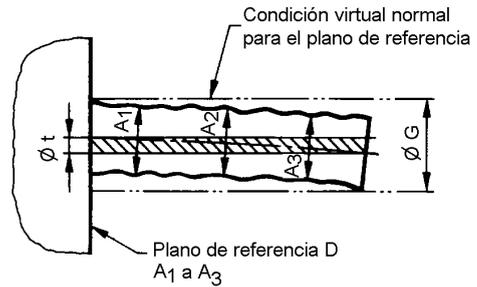
5.2 TOLERANCIA EN LA PERPENDICULARIDAD DE UN CUERPO EN RELACIÓN CON UN PLANO DE REFERENCIA

5.2.1 El elemento al que se aplica la tolerancia en la Figura 12a, debe satisfacer las condiciones que indica la Figura 12b, es decir, el elemento no debe violar la condición virtual, $\phi 20,2$ ($\phi 20 + 0,2$) y, como todos los tamaños locales reales deben permanecer entre $\phi 19,9$ y $\phi 20$, las desviaciones de las líneas del generador o del eje en relación con la rectitud, no pueden ser mayores de $0,2 \dots 0,3$, dependiendo de los tamaños locales reales, es decir, $0,2$ si todos los tamaños locales reales son de $\phi 20$ (véase la Figura 12c) y $0,3$ si todos los tamaños locales reales son $\phi 19,9$ (véase la Figura 12 d).

Indicación en el dibujo



Interpretación



A1 a A3 = Tamaños locales reales 19,9...20
(Tamaño de material máximo = Ø 20)

G = tamaño virtual = Ø 20,2

Ø t = Zona de tolerancia de orientación = 0,2 ...0,3

Figura 12a

Figura 12b

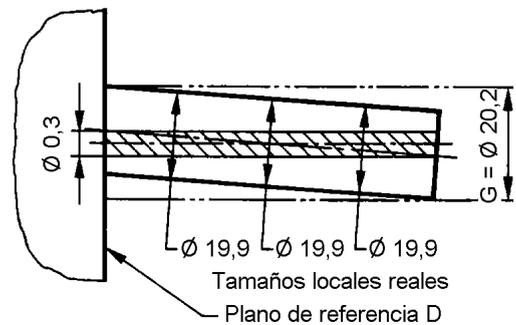
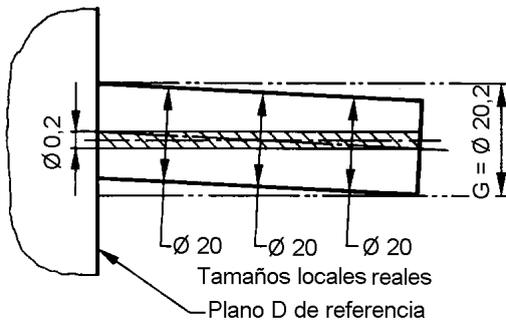


Figura 12c

Figura 12d

5.2.2 En la Figura 13a) el requisito adicional \textcircled{E} (véase la norma ISO 8015) junto con \textcircled{M} , restringen el elemento dentro de la tolerancia de forma perfecta al tamaño de material máximo de ϕ 20 (véase la Figura 13b). En este ejemplo, los tamaños reales locales deben permanecer dentro de ϕ 19,9 y ϕ 20 y el efecto combinado de las desviaciones de la rectitud y la redondez, no debe hacer que el elemento viole los requisitos de la tolerancia. Por ejemplo, la desviación de la rectitud de las líneas del generador o del eje, no puede exceder $0...0,1$ dependiendo de los tamaños reales locales; sin embargo, la desviación de la perpendicularidad, por la indicación \textcircled{M} se puede aumentar a 0,3 (tamaño virtual = ϕ 20,2), cuando los tamaños locales reales del elemento son ϕ 19,9 (véase la Figura 13b).

Indicación en el dibujo

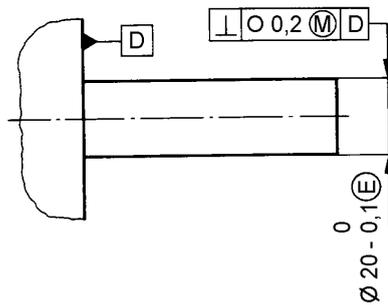
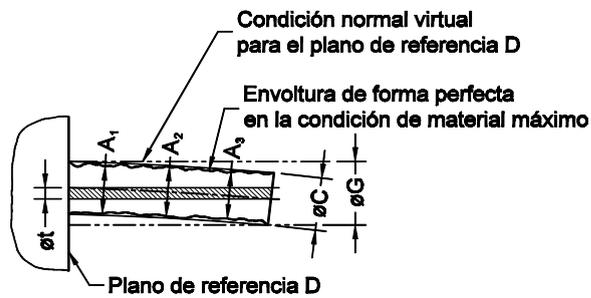


Figura 13a

Interpretación



- A₁ a A₃ = tamaños locales reales 19,9... 200
- C = tamaño de material máximo = Ø 20
- G = tamaño virtual = Ø 20,2
- Ot = zona de tolerancia de orientación = 0,2 0,3

Figura 13b

6. EJEMPLOS DE APLICACIÓN CUANDO (M) SE APLICA AL ELEMENTO AL QUE SE APLICA LA TOLERANCIA

6.1 TOLERANCIA DE RECTITUD DE UN EJE

a) Indicación en el dibujo

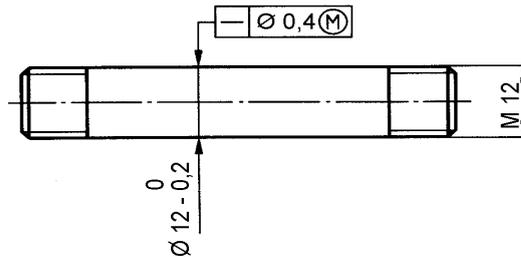


Figura 14a

b) Requisitos funcionales

El elemento al que se aplica la tolerancia debe satisfacer los siguientes requisitos:

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 0,2 y por lo tanto, puede variar entre $\phi 12$ y $\phi 11,8$;
- el elemento al que se aplica la tolerancia debe cumplir con la condición virtual, es decir, el cilindro de forma perfecta de $\phi 12,4$ ($= \phi 12 + 0,4$) (véanse las Figuras 14b y 14c).

El eje debe, por lo tanto, permanecer dentro de la zona de tolerancia de rectitud de $\phi 0,4$, cuando todos los diámetros del elemento están en su tamaño de material máximo de $\phi 12$ (véase la Figura 14b) y puede variar dentro de una zona de tolerancia de hasta $\phi 0,6$ cuando todos los diámetros del elemento están en su tamaño de material mínimo de $\phi 11,8$ (véase la Figura 14c).

Notas:

- 1) Las Figuras 14b y 14c ilustran los casos extremos del tamaño del elemento. En la práctica, el elemento debe estar en alguna parte entre las condiciones extremas con diferentes tamaños reales locales.
- 2) Esta indicación (véase Figura 14a) puede ser apropiada cuando no se puede aplicar la indicación de una tolerancia de mayor diámetro, asociada con el requisito de la tolerancia, por ejemplo, en el caso de un perno roscado.

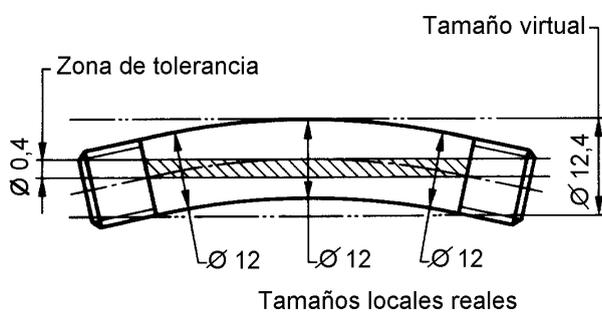


Figura 14b

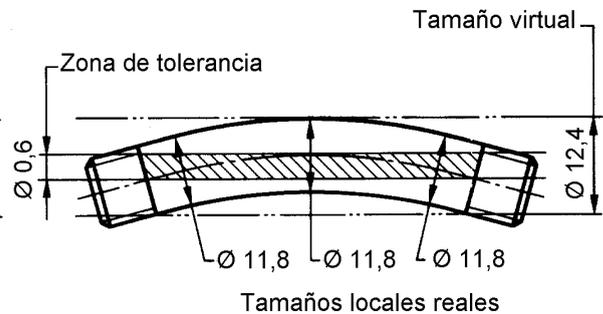


Figura 14c

6.2 TOLERANCIA DE PARALELISMO DE UN CUERPO EN RELACIÓN CON UN PLANO DE REFERENCIA

a) Indicación en el dibujo

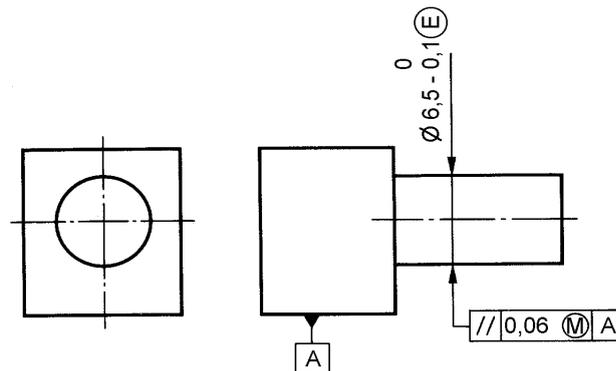


Figura 15a

b) Requisitos funcionales

El elemento al que se aplica la tolerancia debe satisfacer los siguientes requisitos:

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 0,1 y por lo tanto puede variar entre $\varnothing 6,4$ y $\varnothing 6,5$.
- El elemento debe permanecer dentro del límite del cilindro de forma perfecta de 6,5 p.
- el elemento al que se aplica la tolerancia debe cumplir la condición virtual establecida por 2 planos paralelos 6,56 ($= 6,5 + 0,06$) aparte y paralelos al plano de referencia A (véanse Figuras 15b y 15c).

El eje debe, por lo tanto, permanecer dentro de dos planos paralelos 0,06 aparte y paralelos al plano de referencia A, cuando todos los diámetros del elemento estén en su tamaño de material máximo de $\varnothing 6,5$ (véase Figura 15b) y pueden variar dentro de una zona de tolerancia (distancia entre dos planos paralelos) de hasta 0,16, cuando todos los diámetros del elemento están en su tamaño de material mínimo de $\varnothing 6,4$ (véase la Figura 15c).

Notas:

1. En el caso de una tolerancia de paralelismo de un eje a un plano de referencia, la zona de tolerancia debe ser una zona entre dos planos paralelos y no puede ser cilíndrica.
2. Como la zona de tolerancia de paralelismo está en una zona entre planos paralelos, la condición virtual es una zona entre dos planos paralelos. La distancia entre ellos es el tamaño de material máximo 6,5 más la tolerancia de paralelismo de 0,06, es decir, 6,56.

La condición del cilindro perfecto en el tamaño de material máximo, como se indica por (E) , se debe verificar por separado.

3. Las Figuras 15b y 15c ilustran los casos extremos en que el elemento tiene una forma teóricamente exacta. En la práctica, el elemento debe estar en alguna parte entre las condiciones extremas con diferentes tamaños reales locales.

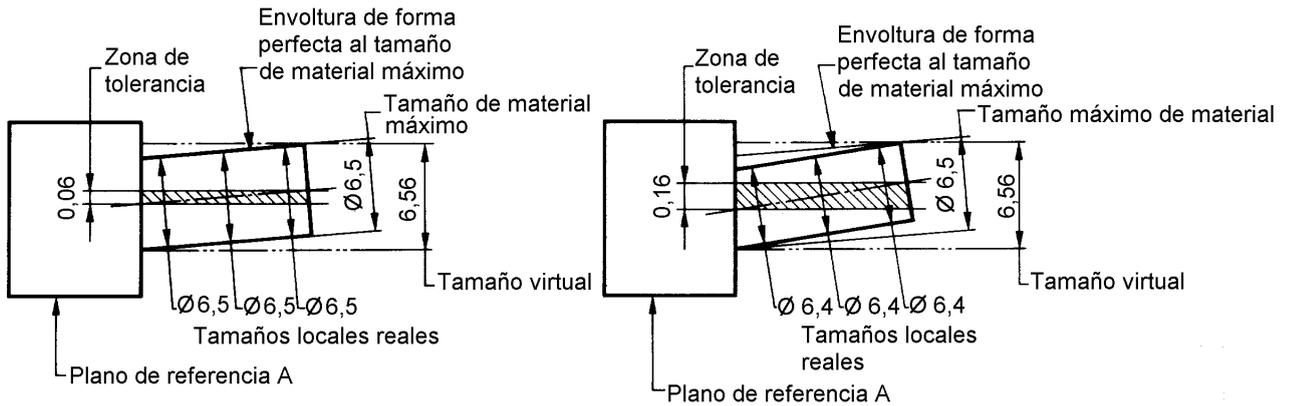


Figura 15b

Figura 15c

6.3 TOLERANCIA DE PERPENDICULARIDAD DE UN ORIFICIO EN RELACIÓN CON UN PLANO DE REFERENCIA

a) Indicación en el dibujo

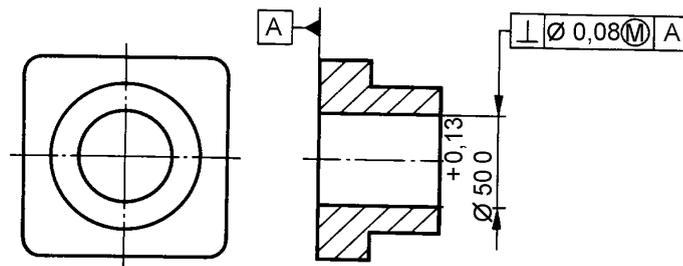


Figura 16a

b) Requisitos funcionales

El elemento al que se aplica la tolerancia debe satisfacer los siguientes requisitos:

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 0,13 y por lo tanto puede variar entre 50 y ϕ 50,13.
- el elemento al que se aplica la tolerancia debe cumplir la condición del límite virtual, es decir, el cilindro de forma perfecta de ϕ 49,92 ($= \phi$ 50 - 0,08) y perpendicular al plano de referencia A, cuando todos los diámetros del elemento están en su tamaño de material máximo de ϕ 50 (véase la Figura 16b) y por lo tanto pueden variar dentro de una zona de tolerancia de hasta ϕ 0,21, cuando todos los diámetros del elemento están en su tamaño de material mínimo de 50,13 (véase Figura 16c).

Nota. Las Figuras 16b y 16c, ilustran los casos extremos cuando el elemento tiene forma teóricamente exacta. En la práctica, el elemento debe estar en alguna parte entre las condiciones extremas con diferentes tamaños reales locales.

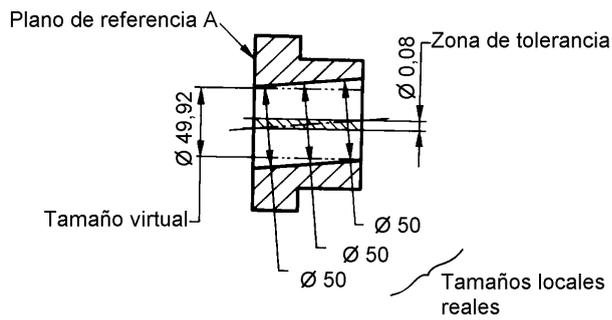


Figura 16b

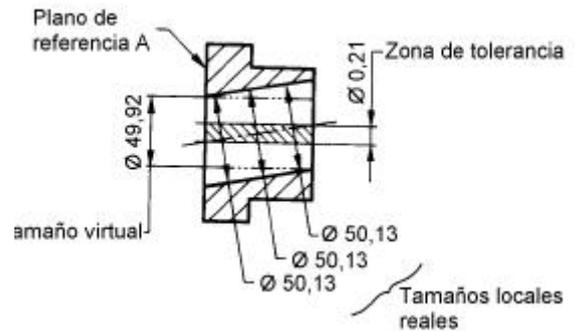


Figura 16c

6.4 TOLERANCIA DE ANGULARIDAD DE UNA RANURA EN RELACIÓN CON UN PLANO DE REFERENCIA

a) Indicación en el dibujo

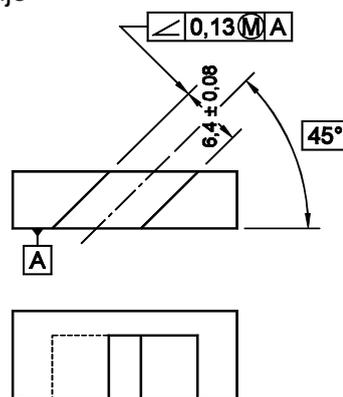


Figura 17a

b) Requisitos funcionales

El elemento al que se aplica la tolerancia debe satisfacer los siguientes requisitos:

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 0,16 y por lo tanto puede variar entre 6,32 y 6,48.
- el elemento al que se aplica la tolerancia debe cumplir la condición del límite virtual establecido por 2 planos paralelos 6,19 (= 6,32 - 0,13) aparte y en el ángulo especificado de 45° con el plano de referencia A, cuando todos los anchos del elemento están en su tamaño de material máximo de 6,32 (véase la Figura 17b). El plano medio del elemento puede variar dentro de una zona de tolerancia de hasta 0,29, cuando todos los anchos del elemento están en su tamaño de material mínimo de 6,48 (véase la Figura 17c).

Nota. Las Figuras 17b y 17c, ilustran los casos extremos cuando el elemento tiene forma teóricamente exacta. En la práctica, el elemento debe estar en alguna parte entre las condiciones extremas con diferentes tamaños reales locales.

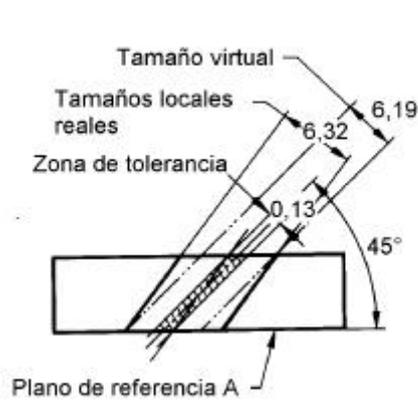


Figura 17b

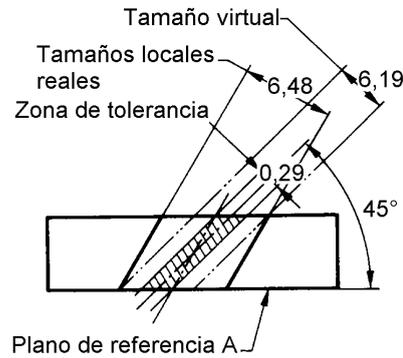


Figura 17c

6.5 TOLERANCIA DE ANGULARIDAD DE 4 ORIFICIOS EN RELACIÓN CON CADA UNO

a) Indicación en el dibujo

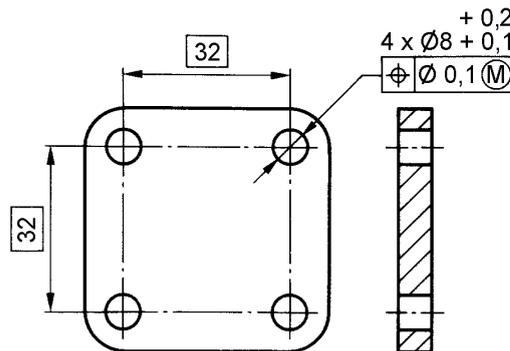


Figura 18a

b) Requisitos funcionales

El elemento al que se aplica la tolerancia debe satisfacer los siguientes requisitos:

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 8,1 y por lo tanto puede variar entre 8,1 y $\varnothing 8,2$.
- todos los elementos a los que se aplica la tolerancia deben cumplir la condición del límite virtual, es decir, el cilindro de forma perfecta de $\varnothing 8 (= \varnothing 8,1$ a $0,1)$ cuando cada uno de los cilindros está localizado en su posición teóricamente exacta en relación con los otros (dimensión 32 en un patrón exacto de 90°) (véase la Figura 18a).

El eje de cada elemento debe, por lo tanto, permanecer dentro de la zona de tolerancia posicional de $\phi 0,1$ cuando cada diámetro del elemento está en su tamaño de material máximo de 8,1 (véase la Figura 18b) y puede variar dentro de una zona de tolerancia de $\theta 0,2$, cuando el diámetro de cada elemento está a su tamaño de material mínimo de $\phi 8,2$ (véase la Figura 18c).

Nota. Las Figuras 18b y 18c ilustran los casos extremos cuando el elemento tiene forma teóricamente exacta. En la práctica, el elemento debe estar en alguna parte entre las condiciones extremas con diferentes tamaños reales locales.

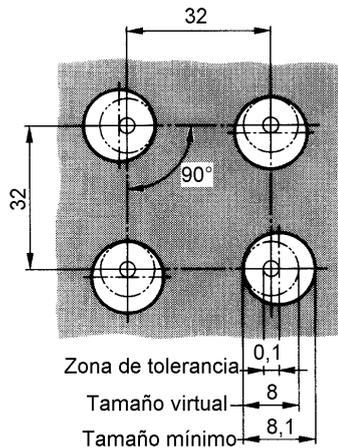


Figura 18b

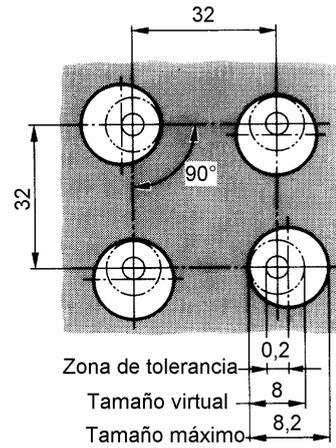


Figura 18c

El diagrama de la tolerancia dinámica (véase la Figura 19), ilustra la interrelación entre el tamaño del elemento y la desviación permisible de la posición teóricamente exacta, de acuerdo con la Tabla 1.

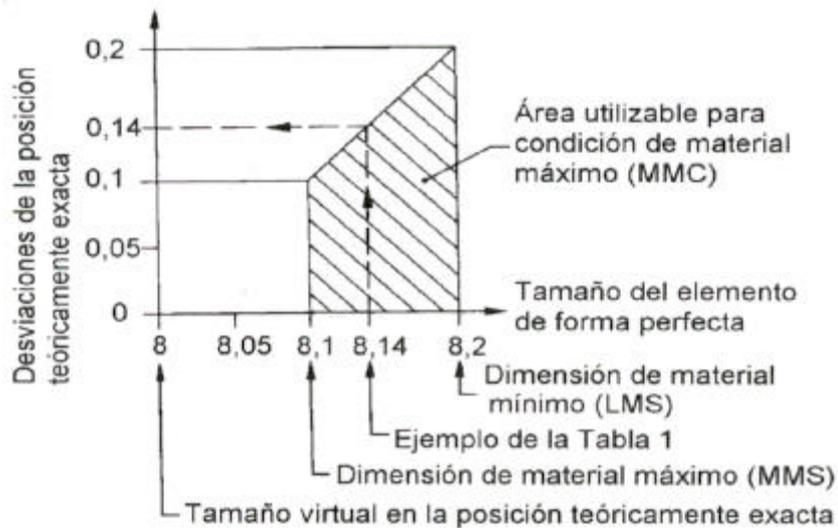


Figura 19

Tabla 1

Diámetro del orificio de forma perfecta	Tolerancia posicional
8,1 MMS	0,1
8,12	0,12
8,14	0,14
8,16	0,16
8,18	0,18
8,2 LMS	0,2

El calibre funcional (véase la Figura 20) representa la condición virtual.

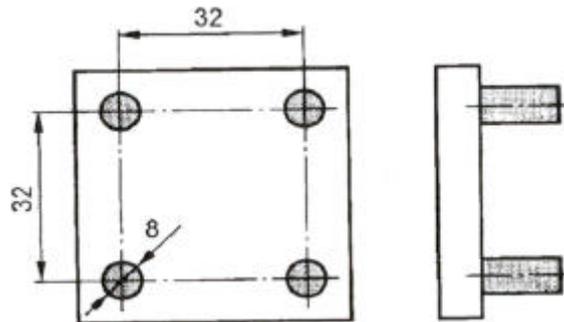


Figura 20

7. TOLERANCIA GEOMÉTRICA CERO

7.1 GENERALIDADES

En los ejemplos que se dan en los numerales 5.1 y 6.5, la tolerancia se distribuye entre el tamaño y la posición. El caso extremo es asignar toda la tolerancia al tamaño, e indicar una tolerancia posicional cero. En este caso, la tolerancia de tamaño se aumenta y se convierte en la suma de las tolerancias de tamaño y posición, que se indicaron previamente.

La indicación en el dibujo para los orificios en la Figura 2, por lo tanto, es como se ilustra en la Figura 21a y la indicación en el dibujo para los pasadores en la Figura 4, por lo tanto, es como se ilustra en la Figura 21b.

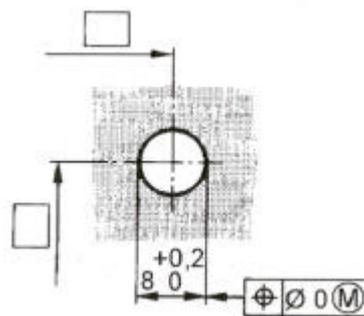


Figura 21a

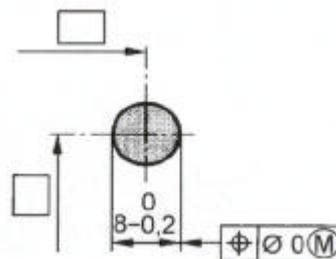


Figura 21b

De acuerdo con las indicaciones en los dibujos de las Figuras 21a) y 21b), las tolerancias posicionales pueden variar entre $\phi 0$ y $\phi 0,2$, al variar los tamaños reales entre el máximo y el mínimo.

La indicación "O (M)" también se puede usar con otras características geométricas.

7.2 EJEMPLOS

7.2.1 CUATRO ORIFICIOS RELACIONADOS UNO CON EL OTRO

a) Indicación en el dibujo

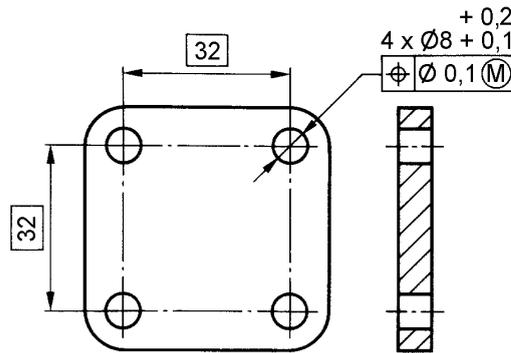


Figura 22

b) Interpretación

De acuerdo con la indicación en el dibujo de la Figura 22, el tamaño virtual es el tamaño de material máximo (mínimo diámetro del orificio), menos la tolerancia posicional dada, es decir, $\phi 8 - \phi 0 = \phi 8$.

El diagrama de tolerancia dinámica (véase Figura 23) ilustra la interrelación entre el tamaño del elemento y la desviación permisible de la posición teóricamente exacta de acuerdo con la Tabla 2.

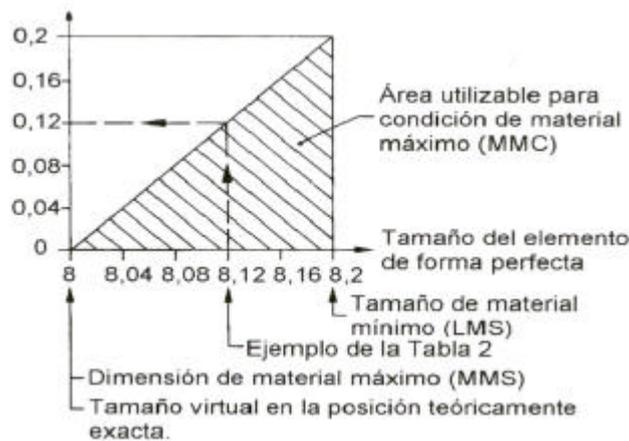


Figura 23

Tabla 2

Diámetro del orificio de forma perfecta	Tolerancia posicional
8 MMS	0
8,04	0,04
8,08	0,08
8,12	0,12
8,16	0,16
8,2 LMS	0,2

El calibre funcional de acuerdo con la Figura 22 también representa la condición virtual de la parte que se ilustra en la Figura 22. En ambos casos, los diámetros del elemento se deben verificar por separado, de acuerdo con sus diferentes tamaños de tolerancia.

7.2.2 Cuatro pasadores relacionados uno con el otro

- a) Indicación en el dibujo

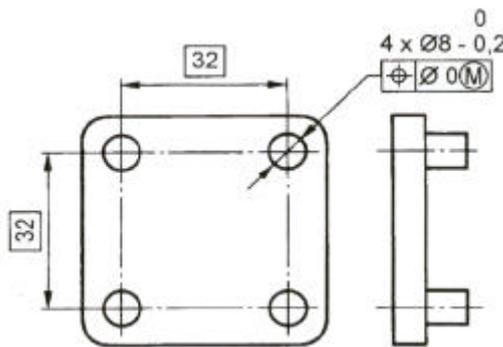


Figura 24

- b) Interpretación

De acuerdo con la indicación en el dibujo de la Figura 24, el tamaño virtual es el tamaño de material máximo (diámetro máximo del pasador), más la tolerancia posicional dada, es decir, $\phi 8 + \phi 0 = \phi 8$.

El diagrama de tolerancia dinámica (véase la Figura 25) ilustra la interrelación entre el tamaño del elemento y la desviación permisible de la posición teóricamente exacta de acuerdo con la Tabla 3.

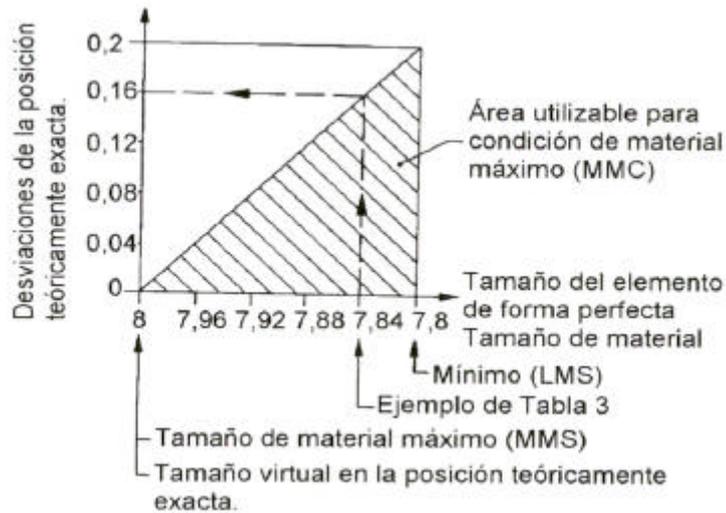


Figura 25

Tabla 3

Diámetro del pasador de forma perfecta	Tolerancia posicional
8 MMS	0
7,96	0,04
7,92	0,08
7,88	0,12
7,84	0,16
7,8	0,2

El calibre funcional (véase la Figura 26 también representa la condición virtual.

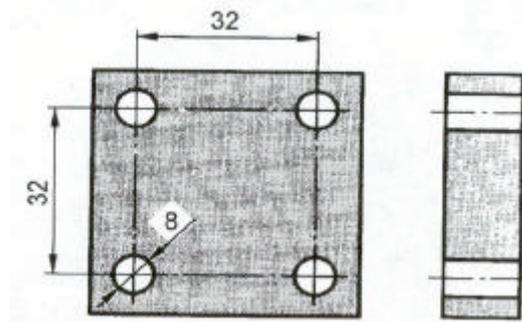


Figura 26

8. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DONDE \textcircled{M} SE APLICA A LOS ELEMENTOS A LOS QUE SE APLICA LA TOLERANCIA Y AL ELEMENTO DE REFERENCIA
- 8.1 TOLERANCIA POSICIONAL DE CUATRO ORIFICIOS EN RELACIÓN CON UNO DE REFERENCIA
 - a) Indicación en el dibujo

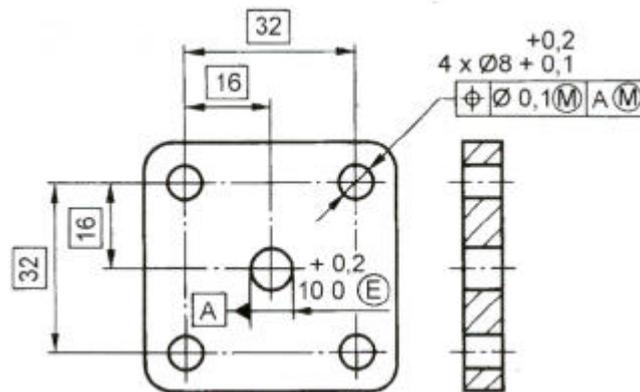


Figura 27a

b) Requisitos funcionales

El elemento al que se aplica la tolerancia debe satisfacer los siguientes requisitos:

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 0,1 y por lo tanto puede variar entre 8,1 y 8,2. (véanse las Figuras 27b y 27c).
- todos los elementos a los que se aplica la tolerancia deben cumplir la condición del límite virtual, es decir, el cilindro de forma perfecta de $\phi 8 (= \phi 8,1 - 0,1)$ en donde cada uno de estos cilindros está en su posición teórica exacta con relación a los otros cilindros (dimensión 32 en un patrón exacto de 90° (véanse las Figuras 27b y 27c)) y también en su posición teóricamente exacta en relación con el eje de referencia, cuando el tamaño correspondiente del elemento de referencia A está en su tamaño de material máximo de $\phi 10$ (véase la Figura 27b).

En el caso extremo, el eje de cada elemento debe, por lo tanto, permanecer dentro de la zona de tolerancia posicional de $\phi 0,1$, cuando cada diámetro del elemento está en su tamaño de material máximo de 8,1 (véase la Figura 27b) y puede variar dentro de una zona de tolerancia de $\phi 0,2$, cuando el diámetro de cada elemento está a su tamaño de material mínimo de $\phi 8,2$ (véase la Figura 27c).

El eje real del elemento de referencia A puede flotar en relación con las condiciones virtuales de la posición de los cuatro elementos, si hay una desviación del tamaño de material máximo del elemento de referencia. El valor de la flotación es igual a la desviación del tamaño correspondiente del elemento de referencia, en relación con su tamaño de material máximo (véanse las Figuras 27b y 27c).

En el caso extremo, el eje real del elemento de referencia A, puede, por lo tanto, flotar dentro de una zona de $\phi 0,2$, cuando el elemento tiene forma perfecta y tamaño de material mínimo $\phi 10,2$ (véase la Figura 27c).

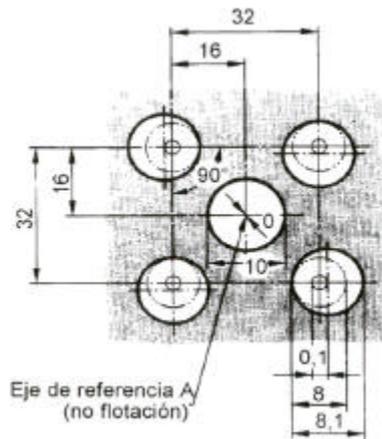


Figura 27b

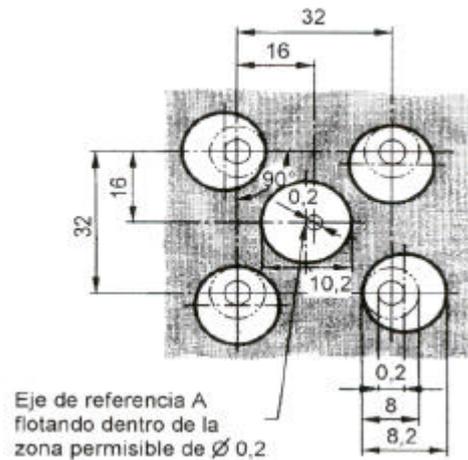


Figura 27c

La tolerancia posicional se aplica a los cuatro elementos a los que se aplica la tolerancia en relación de uno con el otro y también con el elemento de referencia. El valor dado aumenta en una cantidad igual a la desviación indicada en la Tabla 4 (segunda columna).

La tolerancia posicional adicional, depende del tamaño del elemento de referencia (debido a la condición de material máximo en la referencia), se aplica sólo a los elementos a los que se aplica la tolerancia, como una tolerancia de grupo en relación con el elemento de referencia, pero no se aplica a los elementos a los que se aplica la tolerancia en relación uno con otro, es decir, el elemento de referencia puede flotar en relación con el de tolerancia (véase la Tabla 4 para valores).

Tabla 4

Diámetro del orificio al que se aplica la tolerancia	Tolerancia posicional de cada elemento al cual se aplica tolerancia	Diámetro del orificio de referencia	Zona de flotación para el elemento de referencia
8,1 MMS	0,1	10 MMS	0
8,12	0,12	10,5	0,05
8,14	0,14	10,1	0,1
8,16	0,16	10,15	0,15
8,18	0,18	10,2 LMS	0,2
8,2 LMS	0,2		

Puede ocurrir cualquier combinación de los valores en las columnas 2 y 4 de la Tabla 4. Los valores en ellas no se pueden simplemente añadir, porque tienen diferentes interpretaciones. En la Tabla 5 se dan algunos ejemplos de combinaciones extremas.

Tabla 5

Zona de tolerancia para el elemento al que se aplica la tolerancia	0,1	0,2	0,1	0,2
Zona de tolerancia para el elemento de referencia	0	0	0,2	0,2
Diagrama de tolerancia				

El calibre funcional (véase la Figura 28) representa la condición virtual.

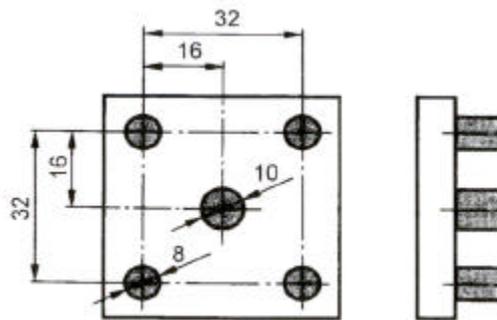


Figura 28

8.2 TOLERANCIA DE COAXIALIDAD

a) Indicación en el dibujo

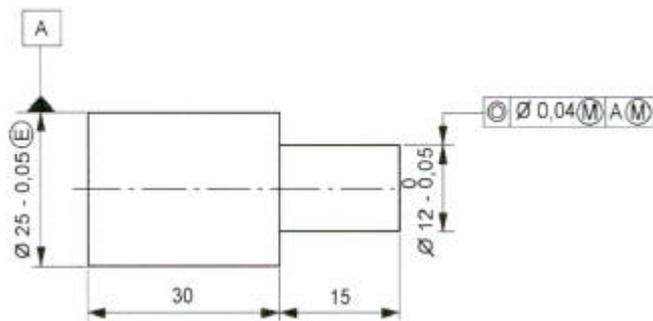


Figura 29a

b) Requisitos funcionales

- cada tamaño real local del elemento debe permanecer dentro de la tolerancia de tamaño de 0,05 y por lo tanto puede variar entre 12 y ϕ 119,95 (véanse las Figuras 29b y 29c).
- Todo el elemento debe permanecer dentro del límite de la condición virtual, es decir, el cilindro de forma perfecta de ϕ 12,04 (= ϕ 12 +0,04) y coaxial al eje de referencia A, cuando el tamaño correspondiente del elemento de referencia A está en su tamaño de material máximo (véanse las Figuras 29b y 29c).
- El eje real del elemento de referencia A puede flotar en relación con la condición virtual si hay una desviación del tamaño de material máximo del elemento de referencia. El valor de flotación es igual a la desviación del tamaño correspondiente del elemento de referencia en relación con su tamaño de material máximo (véase la Figura 29 d).
- El eje del elemento debe, por lo tanto, permanecer dentro de la zona de tolerancia de coaxialidad de ϕ 0,04 cuando todos los diámetros del elemento están en su tamaño de material máximo de ϕ 12 (véase la Figura 29b) y pueden variar dentro de una zona de tolerancia de hasta ϕ 0,09 cuando todos los diámetros del elemento al que se aplica la tolerancia están en su tamaño de material mínimo de ϕ 11,95 y el tamaño correspondiente del elemento de referencia está en su tamaño de material máximo de ϕ 25 (véase la Figura 29c). El eje real del elemento de referencia A puede flotar dentro de una zona de ϕ 0,05 cuando el tamaño correspondiente del elemento de referencia A, está en su tamaño de material mínimo de ϕ 24,95 (véase la Figura 29d). Como en este caso, sólo un elemento se relaciona con el de referencia, la flotación de éste tiene el efecto de aumentar al tolerancia de coaxialidad, como se ilustra en la Figura 29e.

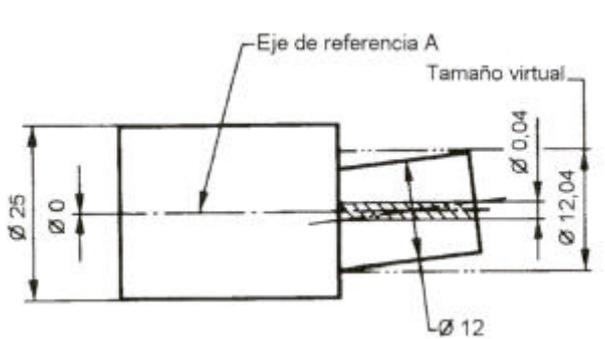


Figura 29b

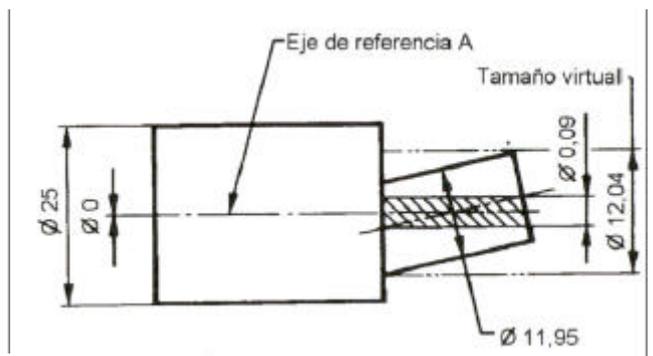


Figura 29c

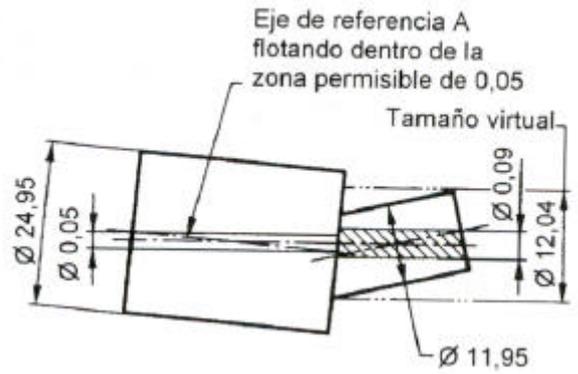


Figura 29d

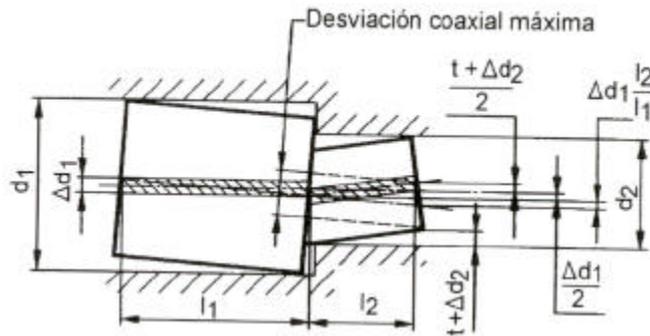


Figura 29e

- d_1 es el tamaño de material máximo del elemento de referencia
- d_2 es el tamaño virtual del elemento al que se aplica la tolerancia
- t es la tolerancia geométrica
- $\Delta d_1 = d_1$ menos el tamaño correspondiente del elemento de referencia
- $t + \Delta d_2 = d_2$ menos el tamaño correspondiente del elemento al que se aplica la tolerancia

$$\begin{aligned}
 \text{Desviación coaxial máxima} &\approx 2 \left(\frac{t + \Delta d_2}{2} + \frac{\Delta d_1}{2} + \Delta d_1 \frac{l_2}{l_1} \right) \\
 &\approx 2 \left(\frac{0,04 + 0,05}{2} + 0,025 + 0,05 \frac{15}{30} \right) \\
 &= 0,19
 \end{aligned}$$

El calibre funcional (véase la Figura 30) representa la condición virtual.

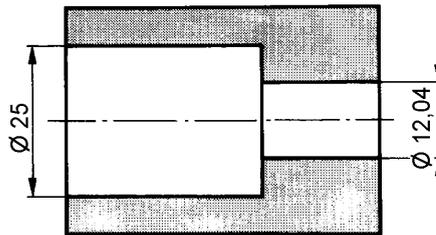


Figura 30

9. REQUISITO DE MATERIAL MÍNIMO (RMM)

El requisito de material mínimo permite un incremento en la tolerancia geométrica establecida cuando la característica implicada se desvía de su condición de material mínimo (CMM).

Se indica sobre los dibujos por el símbolo L colocado en el marco de tolerancia después de tolerancia o de la característica afectada por la tolerancia o después de la letra de referencia específica:

- Aplicado a la característica afectada por la tolerancia, que la condición virtual del material mínimo (CVMM) debe estar contenida completamente dentro del material de la característica afectada por la tolerancia real.
- Aplicado a la referencia, que el límite de la forma perfecta en el tamaño de material mínimo puede flotar dentro del material de la característica de referencia real (sin violar la superficie real de la característica de la referencia).

9.1 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Los ejemplos de aplicación del requisito de material mínimo (RMM) se dan en el Anexo B.

DOCUMENTO DE REFERENCIA

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Technical Drawings. Geometrical Tolerance. Maximum Material Principle. Geneve, 1988. 21 p. (ISO 2692).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Technical Drawings. Geometrical Tolerance - Maximum Material Principle. Amendment No. 1. Geneve, 1992. 6p (Amendment No. 1 ISO 2692).

Anexo A (Informativo)

Ilustración del requisito del material mínimo

El requisito de material mínimo se ilustra en la Figura A.1; cuando la característica se desvía de su tamaño de material mínimo, cuando ésta estuvo en forma perfecta, se permite un incremento en la tolerancia posicional la cual es igual a la cantidad de tal desviación.

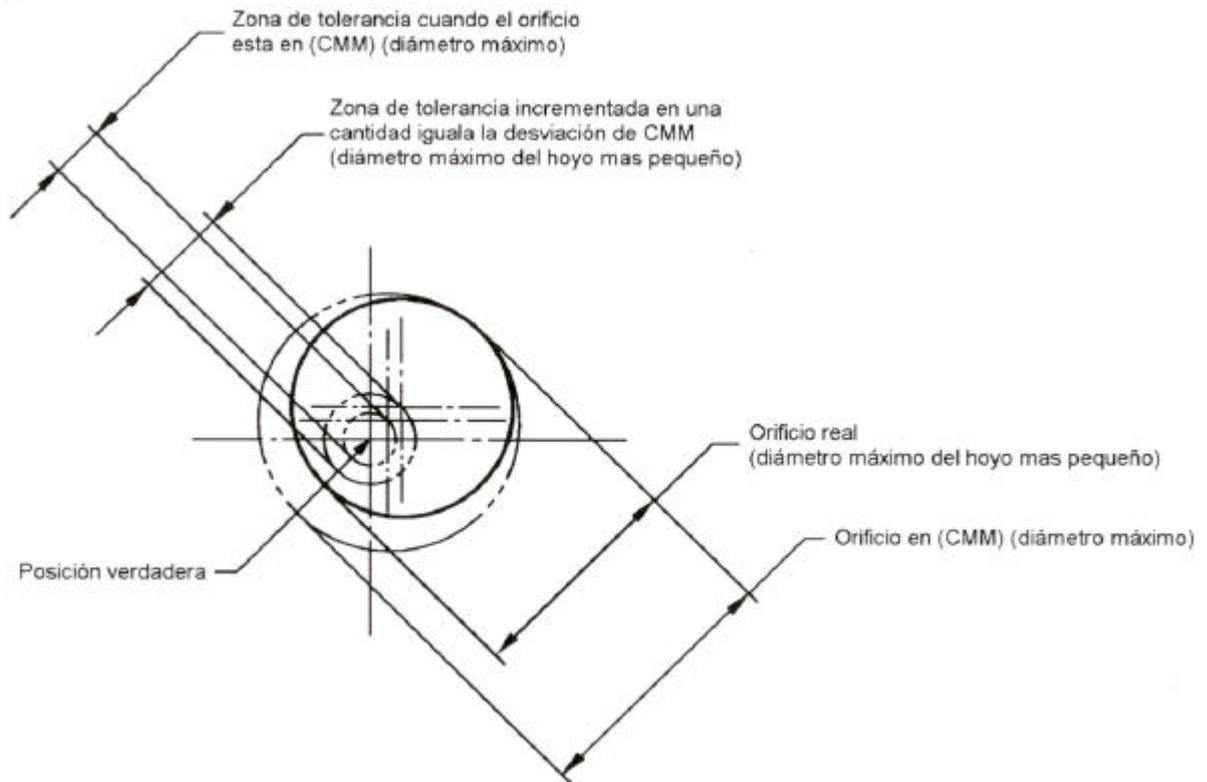
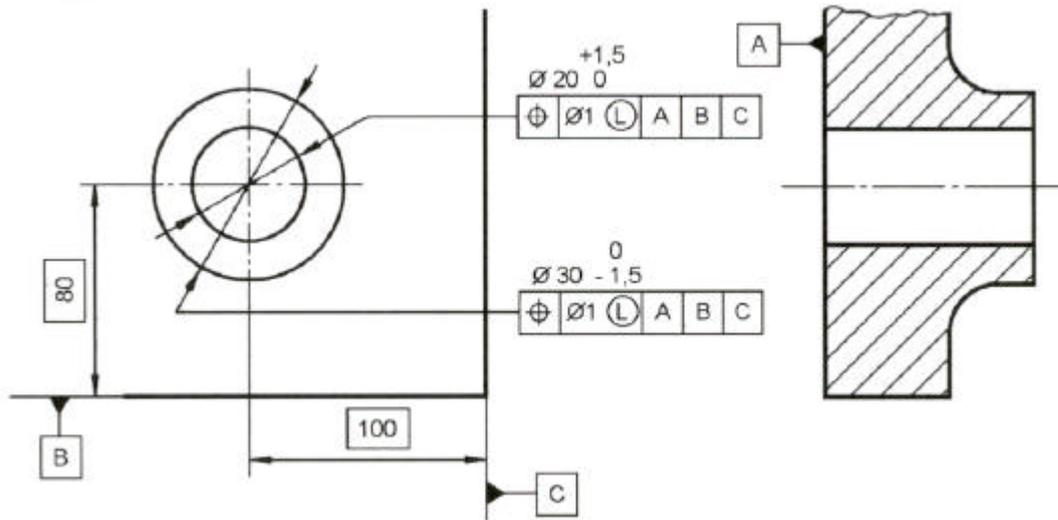
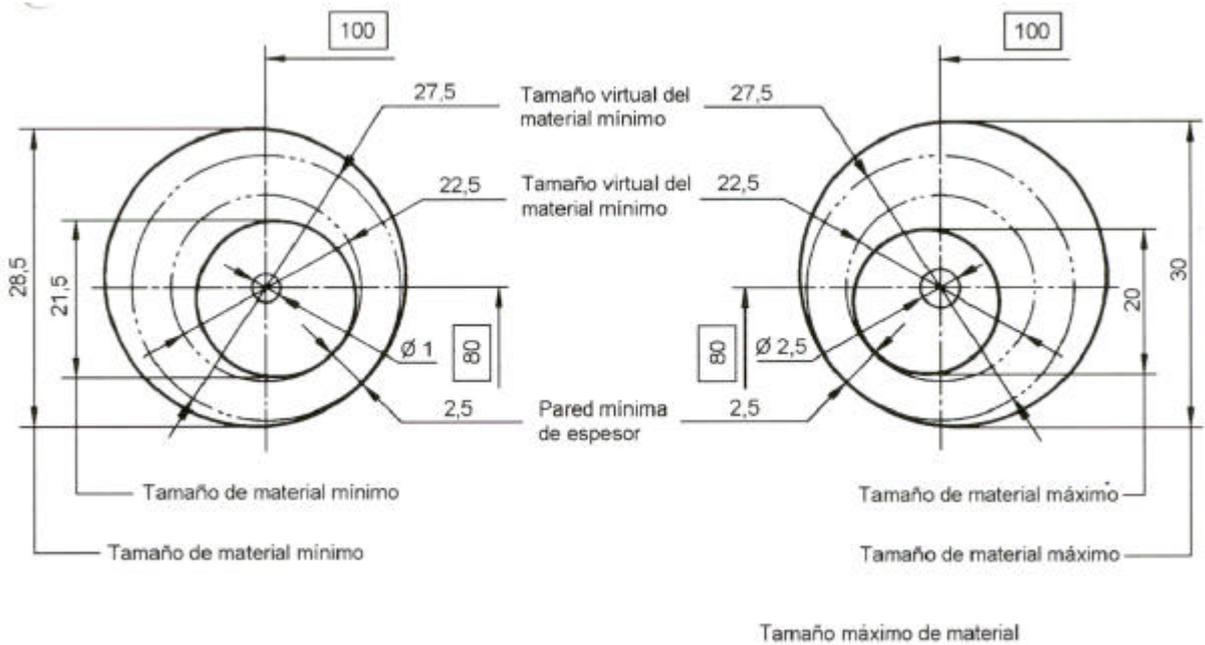


Figura A1

Anexo B (Informativo)



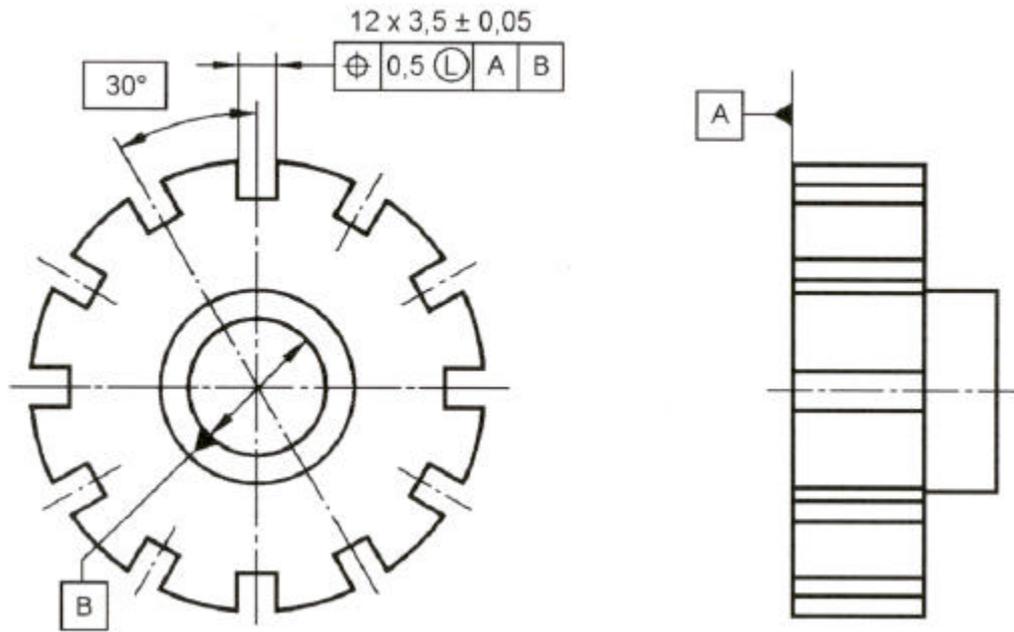
a) Indicación sobre el dibujo



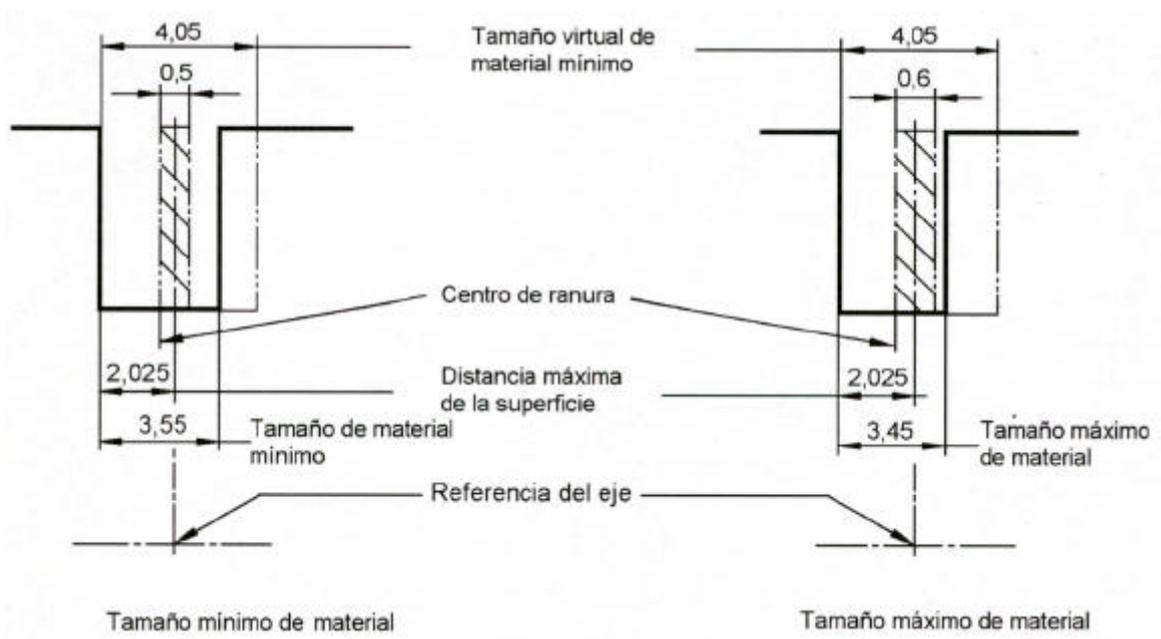
b) Interpretación

Ejemplos de indicaciones sobre los dibujos e interpretación

Figura B1. Requisitos de material mínimo, mínimo espesor de pared

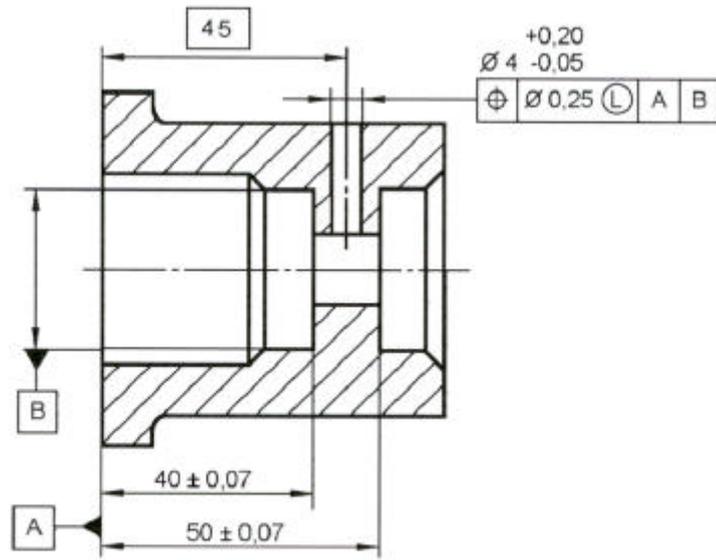


a) Indicación sobre el dibujo

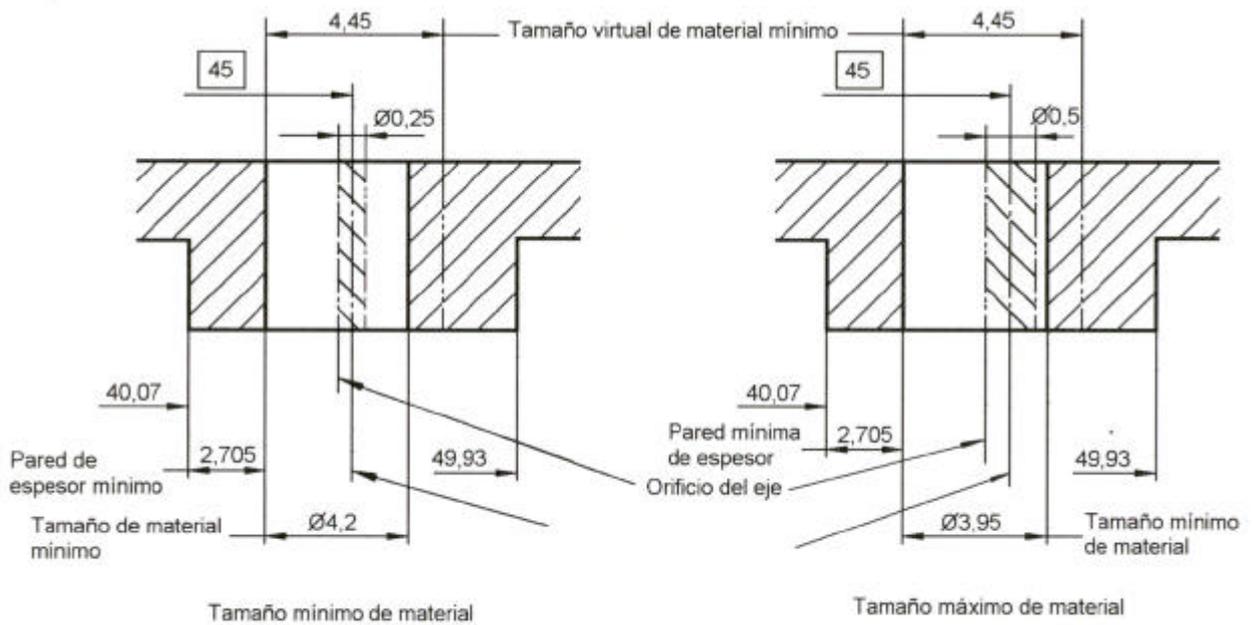


b) Interpretación

Figura B2. Requisito de material mínimo, distancia máxima de la superficie

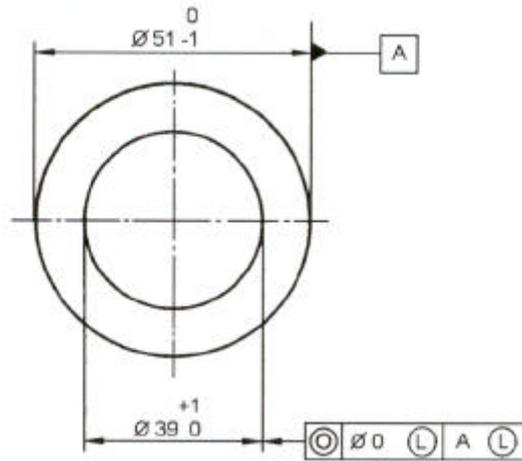


a) Indicación sobre el dibujo

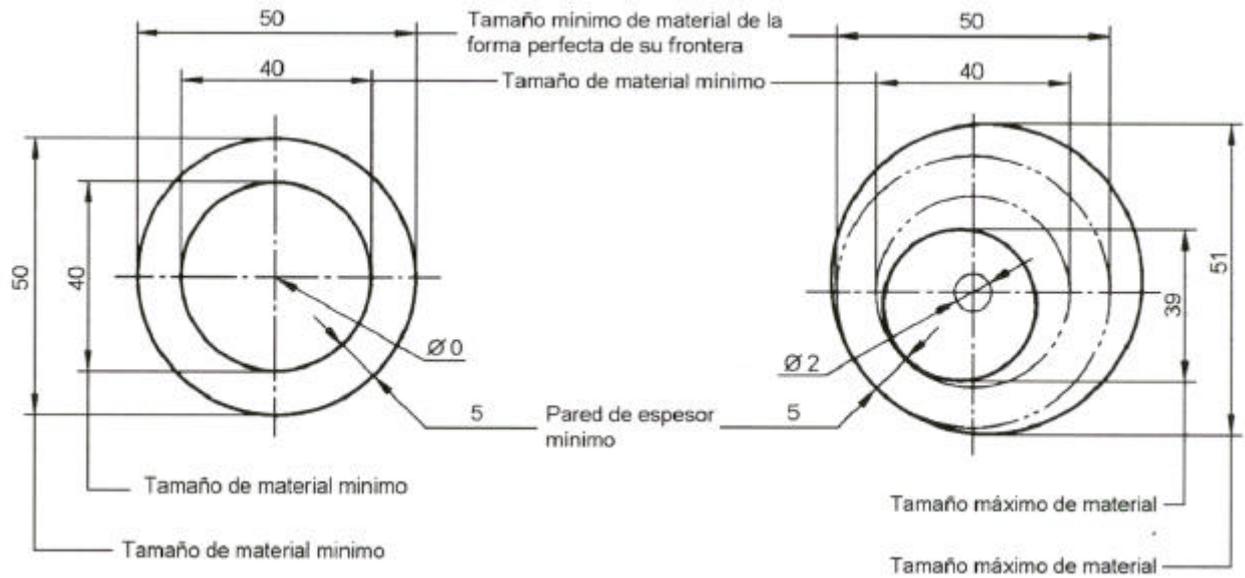


b) Interpretación

Figura B3. Requisitos de material mínimo, pared de espesor mínimo



a) Indicación sobre el dibujo



b) Interpretación

Figura B4. Requisitos mínimos del material, condiciones de espesor mínimo de pared con condiciones mínimas de forma del material