

20

Dimensionamiento geométrico y tolerancia

Esquema del capítulo

20-1	Sistemas de dimensionamiento y tolerancia	938
20-2	Definición de dimensionamiento geométrico y tolerancia	939
20-3	Datums	943
20-4	Control de las tolerancias geométricas	949
20-5	Definiciones de las características geométricas	952
20-6	Modificadores de las condiciones de materiales	962
20-7	Aplicación práctica	964
20-8	DG&T en los modelos CAD	968
20-9	Glosario de términos de DG&T	969

En las etapas tempranas del proceso de diseño, el diseñador trabaja principalmente desde un punto de vista macro, en el que las piezas se dimensionan nominalmente para satisfacer los requisitos de diseño, que normalmente incluyen el control del esfuerzo y de la deflexión. Pero cuando se tratan temas de fabricación, conjuntos entre piezas y su montaje, el diseñador debe tener una visión más cercana a la especificación precisa de las piezas. La sección 1-14, pág. 26, aborda algunas de las cuestiones básicas de dimensionamiento y tolerancias que un diseñador debe considerar. En este capítulo, la atención se centra en un método estandarizado de definir la geometría de la pieza que toma en consideración el hecho de que ninguna pieza es perfecta, ni es necesario que lo sea. El método conocido como *Dimensionamiento geométrico y tolerancia* proporciona claridad para obtener funcionalidad, flexibilidad para la fabricación y el nivel de precisión necesario para superar la inspección.

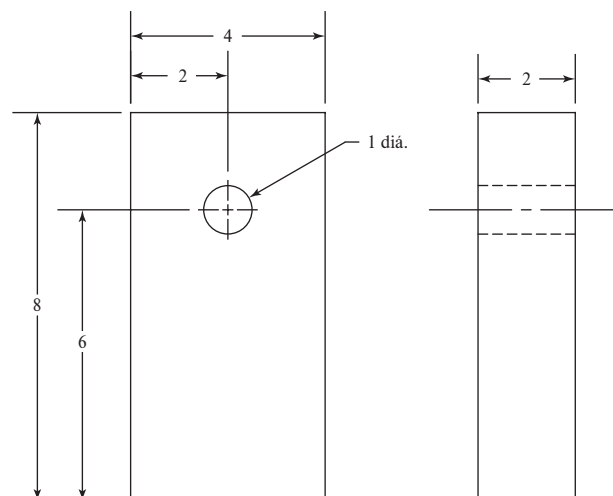
20-1 Sistemas de dimensionamiento y tolerancia

El método tradicional de dimensionamiento y tolerancia se denomina *sistema de acotación por coordenadas*. En este sistema, cada dimensión, o cota, está asociada con una más/menos tolerancia, directamente especificada junto a la dimensión, o implícitamente especificada con una notación de tolerancia general. Este método de tolerancia ha sido utilizado durante generaciones. Funciona razonablemente bien para piezas que no se producen en gran cantidad o para las que no necesitan ensamblarse con otras piezas. En general, este método es aceptable cuando no es necesario un alto nivel de precisión. Sin embargo, contiene deficiencias en muchos aspectos, especialmente en los que se refiere a abordar temas de forma geométrica y orientación.

Como ejemplo, considere la pieza mostrada en la figura 20-1. Esta sencilla pieza está completamente acotada según el sistema tradicional de acotación por coordenadas. En general, la intención del diseñador es clara, y la mayoría de talleres podrían fabricar esa pieza. Pero supongamos que durante la inspección de una pieza real se encontró que la barra no es perfectamente plana, las esquinas no son perfectamente cuadradas, y el agujero no es perfectamente perpendicular a la cara de la barra y no es perfectamente redondo. De hecho, este será siempre el caso ya que la fabricación nunca puede alcanzar la forma perfecta. La figura 20-2 muestra de forma exagerada las imperfecciones de la parte fabricada. El problema es que cada dimensión puede estar dentro de la tolerancia, pero la pieza puede ser inservible para su aplicación debido a cualquier imperfección geométrica. Un problema más difícil es que ni siquiera está claro cómo medir algunas de las dimensiones. Por ejemplo, el centro del agujero está a 2 pulg del borde de la pieza. Si el agujero no es perfectamente redondo, ¿cómo se define su centro? Si la esquina de la pieza no es cuadrada, ¿desde dónde deben medirse las 2 pulg? ¿Esquina inferior? ¿Esquina superior? ¿Borde más cercano? Con este sistema de dimensionamiento no se ha definido la respuesta correcta a estas preguntas.

Figura 20-1

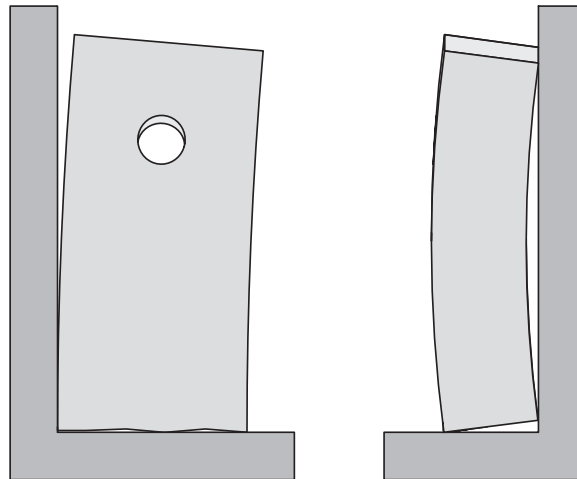
Pieza dimensionada con el sistema tradicional de acotación por coordenadas.



Todas las dimensiones ± 0.01

Figura 20-2

Representación exagerada de imperfecciones de una parte manufacturada.



Para muchas aplicaciones, estos problemas se pueden ignorar porque los métodos típicos de fabricación se consideran lo suficientemente buenos. Sin embargo, la producción en masa requiere la operación más eficiente y económica permitida. El fabricante legítimamente debe ser capaz de tomar todos los atajos posibles. Esto requiere que la pieza sea especificada con una precisión suficientemente buena. De hecho, el diseñador siempre debe ver la tarea de especificación de la geometría como restringir y liberar simultáneamente al fabricante, restricción dentro de los límites necesarios para los requisitos funcionales, y liberación de los niveles innecesarios de perfección. El equilibrio adecuado entre estos dos aspectos proporciona piezas rentables y funcionales.

Evidentemente, para abordar cuestiones de funcionalidad, fabricación, intercambiabilidad y control de calidad, se requiere de piezas que se puedan definir y medir de forma única y coherente. Esto requiere un método de dimensionamiento y tolerancia que tome en cuenta no solo el tamaño, sino también la posición geométrica, la orientación y la forma. Este sistema se conoce como Dimensionamiento geométrico y tolerancia (DG&T).

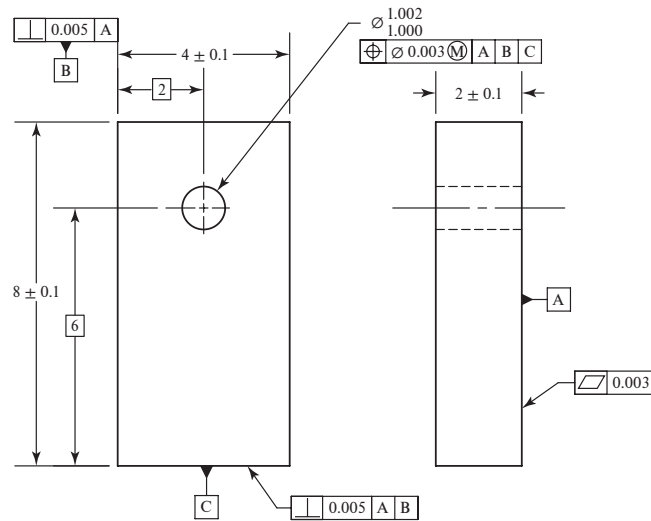
20-2

Definición de dimensionamiento geométrico y tolerancia

El Dimensionamiento geométrico y tolerancia (DG&T) es un sistema completo de símbolos, reglas y definiciones para establecer la geometría nominal (teóricamente perfecta) de piezas y conjuntos de piezas, junto con la variación admisible en su tamaño, posición, orientación y forma. Sirve como un medio de representar con precisión la pieza con fines de diseño, fabricación y control de calidad. El DG&T no es nuevo. Se ha venido desarrollando como norma en la industria desde 1940. Hoy en día, la mayoría de las grandes empresas manufactureras utilizan DG&T. La pieza previamente considerada en la figura 20-1 se muestra de nuevo en la figura 20-3 utilizando la terminología de DG&T. Lamentablemente, muchos ingenieros mecánicos no son capaces de interpretar el dibujo. Durante el tiempo en que la norma era cada vez más frecuente en la industria manufacturera, la mayoría de las escuelas de ingeniería fueron eliminando los cursos de dibujo en favor de la formación en CAD por computadora. Por consiguiente, el DG&T a menudo se elimina de los programas de estudios de ingeniería. Para obtener un conocimiento completo del DG&T ha de seguirse, por lo general, un intenso programa o curso de capacitación, fácilmente disponible para ingenieros practicantes. Algunos ingenieros mecánicos se beneficiarán de esa formación rigurosa. *Todos* los ingenieros mecánicos, sin embargo, al menos deben estar familiarizados con los conceptos básicos y la notación. La finalidad de dar cobertura al DG&T en este capítulo es proporcionar esta exposición inicial que es esencial para todos los diseñadores de maquinados. Esta cobertura no es completa. La atención se centra en los conceptos fundamentales y en la notación más común. Un primer acercamiento al DG&T puede resultar abrumador, ya que hay numerosos conceptos y termi-

Figura 20-3

Pieza con dimensiones y tolerancias de acuerdo a la terminología DG&T.



nología que dependen unos de otros. Este capítulo está organizado para que un principiante gradualmente adquiriera los conceptos más importantes en primer lugar, agregando detalles según sea necesario, y culminando con una sección sobre aplicaciones prácticas. La sección 20-9 incluye un glosario con algunos de los términos más importantes utilizados en DG&T, y se debe usar como referencia para la aclaración de términos al leer el resto del capítulo.

Normas DG&T

El DG&T está definido y controlado por normas para proporcionar uniformidad y claridad a una escala global. La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos publica una norma ampliamente utilizada denominada *ASME Y14.5-2009 Dimensionamiento y tolerancia*. Forma parte de un conjunto más amplio de normas ASME Y14 que cubren todos los aspectos de planos de ingeniería y terminología. La Organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en inglés) también publica una serie de normas que se utilizan más comúnmente en los países europeos. Las dos normas se han desarrollado en paralelo y en su mayoría son similares en concepto y terminología. La norma ASME tiende a poner más énfasis en las *intenciones del diseño*, mientras que las normas ISO lo ponen en la *metrología*, o la medición de la pieza resultante. Según el enfoque ASME, las piezas se definen principalmente para garantizar que van a realizar la función deseada, sin especificar qué equipos o procesos se deben utilizar para fabricar o inspeccionar las piezas. En este texto se utiliza la norma ASME Y14.5-2009.

Los cuatro atributos geométricos de las características

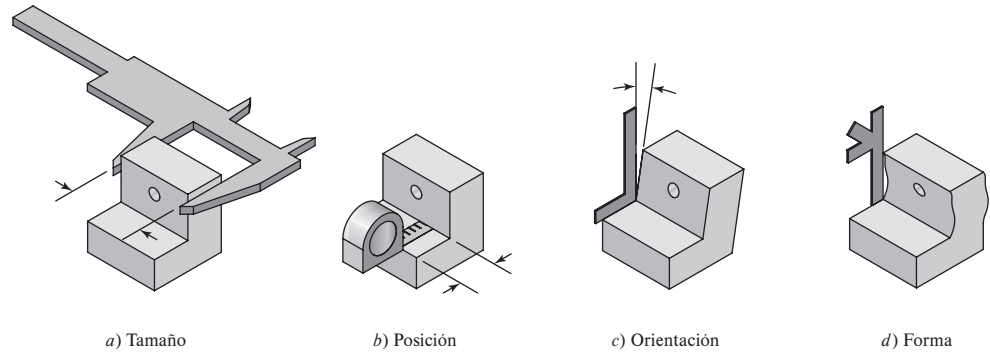
Una *característica* de una pieza es un término general que hace referencia a una porción física claramente identificable de una pieza. Los ejemplos incluyen agujeros, puntas, ranuras, superficies o cilindros. Existen cuatro atributos geométricos de cada característica que se debe considerar a la hora de definir la geometría de la característica. Son *tamaño*, *posición*, *orientación* y *forma*. Se ilustran en la figura 20-4. Para entender el DG&T es importante distinguir estos cuatro atributos geométricos. Cada uno de ellos está descrito brevemente a continuación, seguido de una mayor elaboración en las siguientes secciones.

La expresión *característica de tamaño* se refiere a una característica que tiene un tamaño que puede ser medido desde dos puntos opuestos, como un agujero, un cilindro o una ranura. Una útil regla empírica es que una característica de tamaño generalmente puede medirse con la cabeza de un calibrador, como se ilustra en la figura 20-5. Una dimensión que se mide con el extremo de la varilla del calibrador no tiene puntos opuestos y, por lo tanto, no es una función del tamaño. Esa dimensión sería una dimensión de *posición* más que una dimensión de *tamaño*.

La *posición* hace referencia a la ubicación de una característica con respecto al origen de algunas medidas. La *orientación* se refiere al ángulo o a una línea central de una característica con respecto al origen de algunas medidas. Incluye paralelismo, perpendicularidad y angula-

Figura 20-4

Los cuatro atributos de una característica geométrica.
 a) Tamaño; b) posición;
 c) orientación; d) forma.



ridad o inclinación. La *forma* se refiere a imperfecciones en la forma de una característica, e incluye directamente rectitud, planicidad, circularidad y cilindridad.

Según la norma del DG&T, la tolerancia más/menos solo debería aplicarse directamente a la dimensión del tamaño de una característica de tamaño. Los demás atributos (posición, orientación y forma) se controlan por medio de la *tolerancia geométrica*, descrita en la sección 20-4.

Lenguaje simbólico

La norma internacional ASME Y14.5-2009 utiliza un lenguaje de símbolos que disminuye la necesidad y las potenciales confusiones de las notas escritas en los dibujos de las piezas. Los símbolos se clasifican en dos categorías: características geométricas y modificaciones. Como referencia, a continuación se hará un breve resumen introductorio de los símbolos. El uso de estos se aclarará en secciones posteriores.

La tabla 20-1 muestra las 14 características geométricas y sus símbolos. Estas características geométricas son refinamientos de los atributos geométricos (tamaño, posición, orientación y forma), y cada uno de ellos se utiliza para controlar una tolerancia geométrica de una característica. Cada característica geométrica tiene un símbolo que se utiliza en el dibujo para especificar una zona de tolerancia asociada con una característica geométrica. Los símbolos de características geométricas están directamente asociados con la geometría de una característica, no con una dimensión de tamaño. Este es el motivo por el que se las conoce como tolerancias geométricas. Como se muestra en la tabla, las características geométricas se subdividen en los tipos de tolerancia definidos por el DG&T (forma, perfil, orientación, posición y alabeo),

Figura 20-5

Medición de puntos opuestos de las características de tamaño, con la cabeza del calibrador.

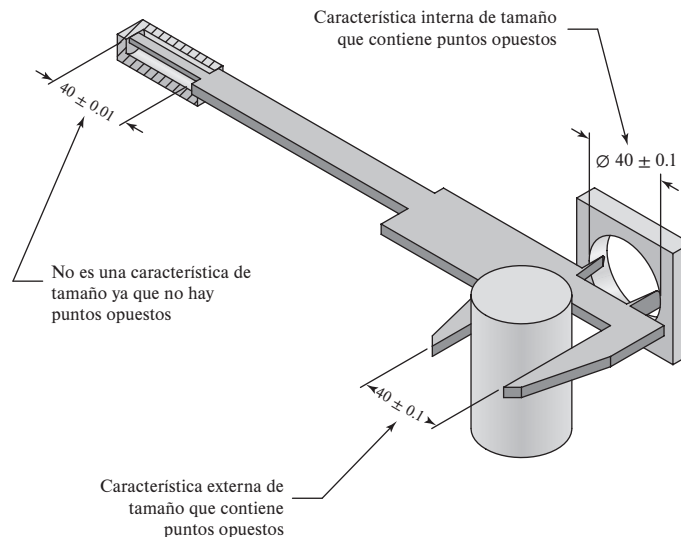


Tabla 20-1

Controles de características geométricas y símbolos

Tipo de tolerancia	Características geométricas	Símbolo	Atributo geométrico controlado	¿Referencia datum?	Modificador de la condición del material permitido	
Forma	Rectitud		Forma	No hay	Ⓜ Ⓛ o RFS	
	Planicidad				Ⓜ Ⓛ o RFS	
	Circularidad				RFS	
	Cilindricidad				RFS	
Perfil	Perfil de una línea		Posición, orientación, tamaño y forma	Opcional	Ⓜ Ⓛ o RFS	
	Perfil de una superficie					
Orientación	Angularidad		Orientación	Requerido	Ⓜ Ⓛ o RFS	
	Perpendicularidad					
	Paralelismo					
Posición	Posición		Posición y orientación de la característica de tamaño	Requerido	Ⓜ Ⓛ o RFS	
	Concentricidad		Posición de puntos o planos medios derivados			RFS
	Simetría					RFS
Alabeo	Alabeo circular		Posición del cilindro	Requerido	RFS	
	Alabeo total				RFS	

así como el atributo geométrico que se está controlando (tamaño, posición, orientación y forma). La tabla también indica si el símbolo puede estar asociado con un dato de referencia y cualquier condición de modificación del material, que será aclarada en secciones posteriores.

Tabla 20-2

Modificadores de dimensionamiento y símbolos

Descripción	Símbolo
Dimensión básica	
Diámetro	
Diámetro esférico	
Radio	
Radio esférico	
Radio controlado	
Cuadrado	
Referencia	
Longitud del arco	
Origen de la dimensión	
Aplicación del todo (perfil)	
Aplicación de alrededor	
Independencia	
Característica continua	
Agujero con taladro	
Avellanado	
Refrentado	
Profundidad	

Tabla 20-3

Modificadores de tolerancia y símbolos

Descripción	Símbolo
Condición de máximo material (aplicado a la tolerancia) Límite de máximo material (aplicado al datum)	Ⓜ
Condición de mínimo material (aplicado a la tolerancia) Límite de mínimo material (aplicado al datum)	Ⓛ
Desplazamiento	▷
Zona de tolerancia proyectada	Ⓟ
Estado libre	ⓕ
Plano tangente	Ⓣ
Tolerancia estadística	⊠ST
En medio	↔
Perfil desigual	Ⓤ

Las tablas 20-2 y 20-3 muestran los símbolos de modificación. La tabla 20-2 incluye los modificadores de dimensionamiento y sus símbolos. Se usan para modificar o aclarar el significado de una dimensión en el dibujo. La tabla 20-3 incluye los modificadores de tolerancia y sus símbolos. Se usan en un marco de control de características (que se define más adelante) para modificar o aclarar la especificación de tolerancia.

20-3

Datums

Para la aplicación de DG&T varios conceptos son fundamentales. En esta sección se explicará el concepto de sistemas de referencia, seguido de métodos específicos de aplicación del DG&T.

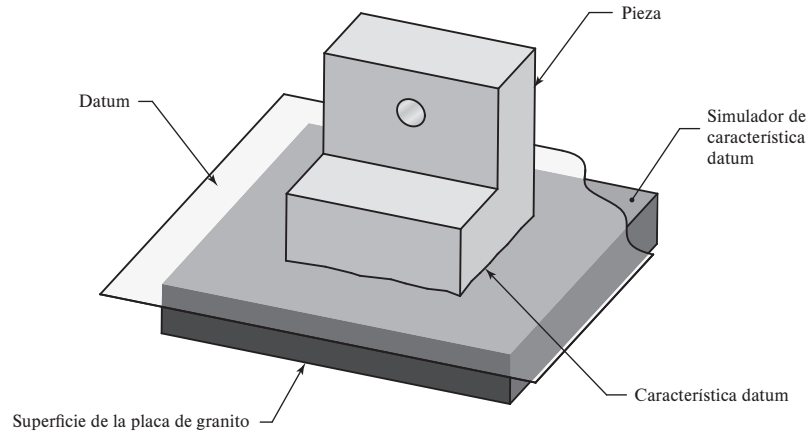
Las características geométricas se definen y miden por su relación con los datums claramente definidos. Un *datum* es un origen a partir del cual se establece la *posición* o la *orientación* de la característica de la pieza. Tenga en cuenta que las dimensiones de *tamaño* y la *forma* no requieren un origen para la medida y, por lo tanto, no es necesario hacer referencia a un datum. Para caracterizar una pieza que se va a fabricar o inspeccionar, esta se coloca con respecto a un marco de referencia datum. Un *marco de referencia datum* es un conjunto de hasta tres planos perpendiculares entre sí que se definen como el origen de la medición para situar las características de una pieza. Es ideal y geoméricamente perfecto. Es necesario considerar su relación no ideal con la pieza física y los equipos de tratamiento. Para ello, es necesario distinguir entre varios términos afines, a saber, datum, marco de referencia datum, característica datum y simulador de características datum.

Una *característica datum* es una superficie física no ideal de la pieza que se especifica con el fin de establecer una referencia teóricamente exacta. Siempre es una superficie de la pieza que se puede tocar físicamente, no una línea central u otra entidad teórica. Dado que la característica datum no es perfecta, no se utiliza directamente para las mediciones. Supongamos que se selecciona una superficie plana de una pieza como característica datum. La superficie es un plano imperfecto con picos y valles, y no es perfectamente plana. Si la pieza se coloca sobre una superficie de la placa de granito pulido, como mínimo tres puntos de la superficie de la característica datum, se pondrán en contacto con el plano casi perfecto de la superficie pulida. La placa sirve como *simulador de características datum* de la característica datum real. Se trata pues de una materialización de precisión, como una superficie de la placa, un calibrador o centro de pruebas de máquina herramienta, del datum descrito por una característica datum imperfecta. El simulador de la característica datum es a menudo una superficie de medición física, pero también se puede simular con elementos de medición ópticos o métodos de prueba. El *datum* en sí mismo es teóricamente un punto exacto, un eje o un plano derivado del simulador de características datum.

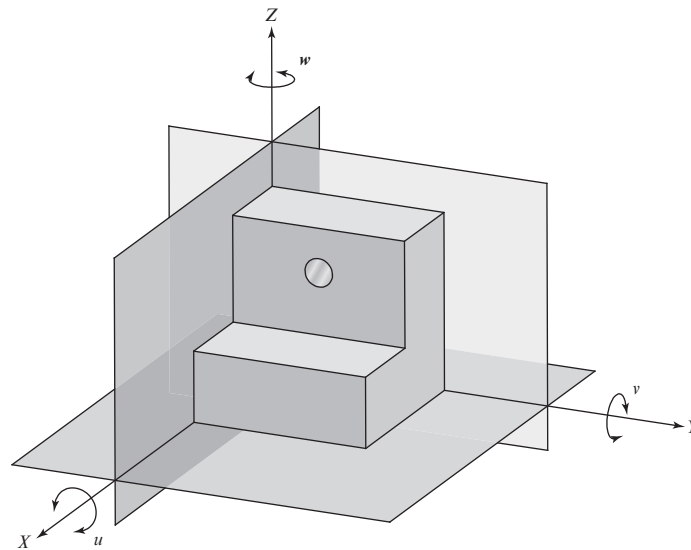
Puede que sea útil una recapitulación de la relación entre los diversos términos datum, utilizando el ejemplo que se muestra en la figura 20-6. Una superficie real imperfecta de una

Figura 20-6

Ejemplo que muestra el datum.

**Figura 20-7**

Ejemplo mostrando un marco de referencia datum de tres planos.



pieza real, como la superficie inferior, se designa como una característica datum. Esta (superficie inferior) se pone en contacto con un simulador de características datum casi perfecto (superficie de la placa de granito).

Un datum teórico (plano real) se define en asociación con el simulador de características datum. El proceso se repite hasta definir los datums suficientes y necesarios para obtener un marco de referencia datum de tres planos. Por ejemplo, si se seleccionan como características datum la superficie posterior y una lateral, entonces se puede obtener el marco de referencia datum de tres planos de la figura 20-7.

¿Cómo se gestionan entonces las posiciones y las orientaciones de las características en los procesos de diseño, fabricación e inspección? El diseñador especifica características datum que se adaptan mejor a la funcionalidad, fabricación e inspección de la pieza. El diseñador define las posiciones y las orientaciones en el dibujo con respecto al marco de referencia datum. En realidad se fabrican con respecto a un simulador de características datum inherente a la fabricación de equipos, como la superficie de la mesa de una fresadora. Se miden para control de calidad con respecto a un simulador de características datum como, por ejemplo, una superficie de placa de granito. Tenga en cuenta que las mediciones de la posición y la orientación no se hacen con respecto a la superficie real de la característica datum, sino del simulador de características datum.

Inmovilización de la pieza

La selección de características datum se puede pensar como la selección de las superficies de la pieza que se pondrán en contacto con los simuladores de características datum a fin de inmovilizar la pieza para su fabricación e inspección. La pieza flotando en el espacio tiene seis grados de libertad (tres traslaciones y tres rotaciones). Cada datum limita algunos de los grados de libertad con el fin de inmovilizar la pieza en una posición precisa y repetible. Considere el proceso de inmovilizar una pieza con tres datums, que se muestra en la figura 20-8. En primer lugar, seleccione la superficie inferior de la pieza como una característica datum para ser limitada por el primer plano datum, como se muestra en la figura 20-8a). Recuerde que la característica datum es imperfecta, por lo que puede tocar el plano datum solamente en unos pocos puntos. Específicamente, se necesita un mínimo de tres puntos de contacto para evitar que la pieza se balancee sobre el plano datum. Este contacto con el plano datum limitará tres grados de libertad el movimiento de la pieza: traslación en Z , giro en u y rotación en v . A continuación, permita que se designe la superficie posterior de la pieza como segunda característica datum, a partir de la cual se deriva el segundo plano datum, como se muestra en la figura 20-8b). Imagínese sujetando la pieza en contacto con el primer plano datum y deslizándola en contacto con el segundo plano datum. Debe tocar en un mínimo de dos puntos para estabilizarse con respecto al segundo plano datum. Esto limitará otros dos grados de libertad de movimiento adicionales: traslación en X y rotación en w . Finalmente, designemos una superficie lateral como la tercera característica datum para definir el tercer plano datum, como se muestra en la figura 20-8c). Manteniendo el contacto de la pieza con los dos primeros datums, y dejándola caer y tocar el tercer plano datum, dará como resultado un punto de contacto, como mínimo, con el tercer plano datum. Esto restringe el grado final de libertad: la traslación en Y . La pieza ahora está totalmente restringida en una posición precisa y repetible.

Orden de datums

Observe que el orden de aplicación de los datums es importante. Supongamos que la pieza de la figura 20-8 está limitada por el primer plano datum como antes, pero se invierte el orden de aplicación de los datums segundos y tercero. La figura 20-9a) muestra una vista superior de la pieza que ha sido limitada por el plano YZ primero, y luego por el plano XZ . La figura 20-9b) muestra la misma pieza con el orden de aplicación de los dos datums invertido. La posición final de las dos piezas no es la misma. Debido a que las medidas se realizan desde los planos datum, no desde los bordes de la pieza en sí, las posiciones de las características medidas de la pieza dependen claramente de la elección de las características datum y del orden de aplicación de los planos datum resultantes. Para los dibujos de las piezas es necesario especificar claramente, para cada característica que se encuentra en la pieza, las características datum así como el orden de aplicación de los datums. Las características no tienen que utilizar los mismos datums ni el orden de aplicación.

Figura 20-8

Inmovilización de una pieza por la aplicación secuencial de datums.

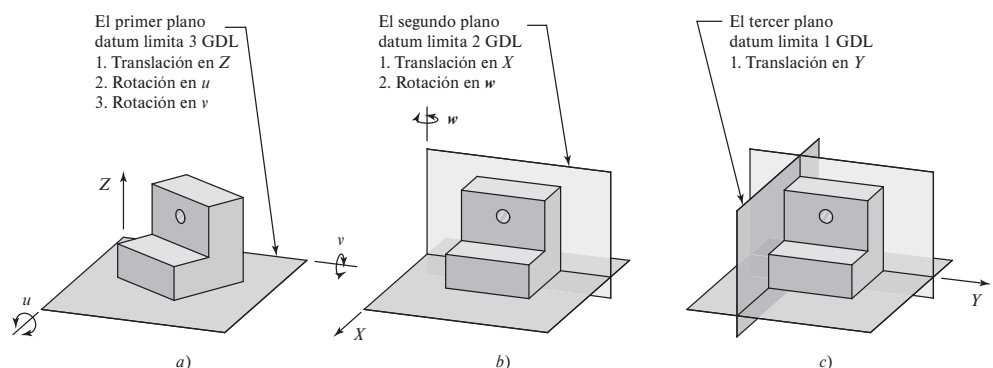
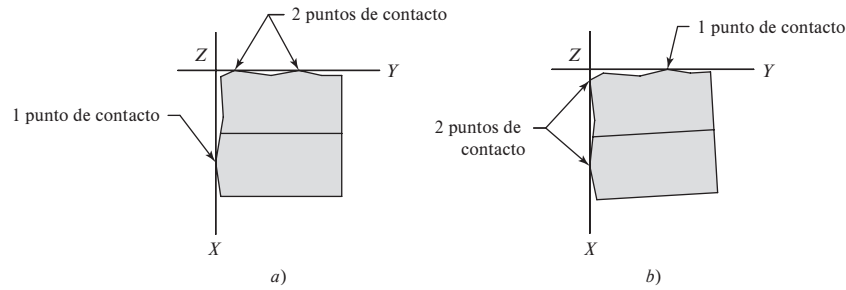


Figura 20-9

Comparación del orden de aplicación de los planos datum.
 a) Plano YZ limitado en primer lugar; b) plano XZ limitado en primer lugar.



Características datum no planas

Hasta ahora, solo se han presentado características datum planas, ya que son las más fáciles para visualizar la progresión desde la característica datum en un marco de referencia datum. En la norma Y14.5 también están previstas algunas otras características datum. En particular, las características cilíndricas como ejes, rebordes y agujeros suelen ser útiles como características datum. Supongamos que en la pieza mostrada en la figura 20-10, el agujero se selecciona como característica datum. La superficie del agujero es la característica datum; el eje central del agujero es el datum. El eje central define la intersección de dos planos datum perpendiculares. En conjunto con otra característica datum, como la superficie posterior, tenemos que la pieza está limitada y queda definido un marco de referencia datum.

Cubiertas de acoplamiento reales

En el párrafo anterior, se dijo que el eje central del agujero es el datum. Esta es una declaración simplificada de un concepto más detallado que garantiza una mejor explicación. Dado que la característica agujero es imperfecto en forma (es decir, no tiene una sección transversal circular perfecta, una línea central perfectamente recta o una superficie perfectamente lisa), ¿cómo se determina su eje datum teóricamente perfecto? Para responder a esta pregunta, se introducen unos nuevos términos de DG&T.

Una *cubierta de acoplamiento real* es una envoltura perfecta de una característica de tamaño imperfecta, que se puede constreñir sobre una característica externa, o ampliar dentro de una característica interna, de modo que toque los puntos altos de la superficie de la característica. Por ejemplo, la figura 20-11a) muestra una espiga imperfecta (característica de tamaño) que está circunscrita por el cilindro más pequeño posible (cubierta de acoplamiento real). El pasador imperfecto técnicamente no tiene un eje central. En cambio, tiene una colección de *puntos medios derivados* que representan los centroides de cada sección transversal. Cuando nos referimos al eje central de una característica imperfecto, como el pasador, lo que realmente queremos decir es el eje central teóricamente perfecto de la cubierta de acoplamiento real teóricamente perfecta del pasador. El mismo concepto se puede aplicar a una característica de tamaño con una superficie interna, como la característica agujero mostrada en la figura 20-11b).

Figura 20-10

Ejemplo de un agujero como una característica datum.

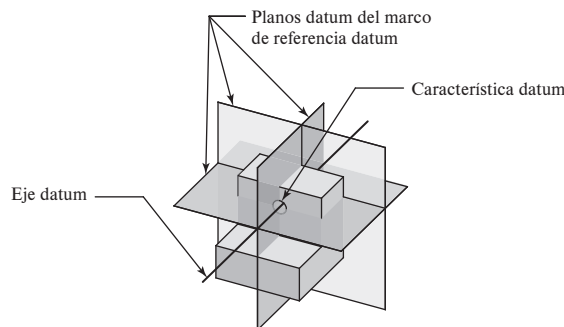
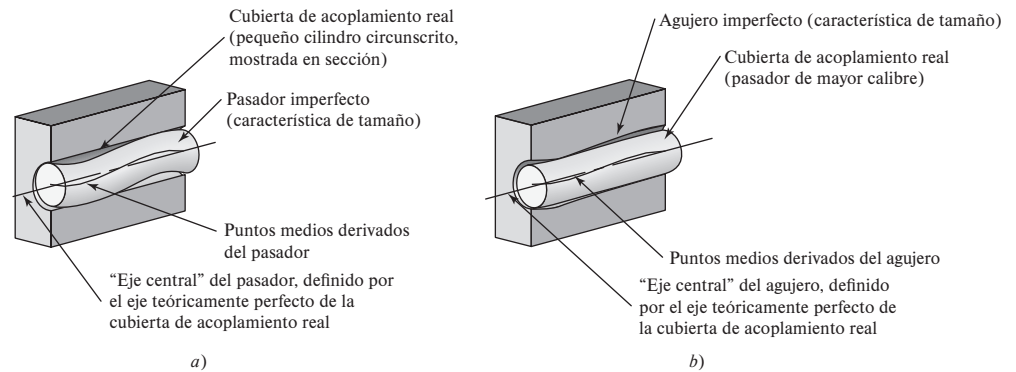


Figura 20-11

Definición de términos para una cubierta de acoplamiento real.

- a) Característica externa;
b) característica interna.



Las cubiertas de acoplamiento reales se clasifican como *relacionadas* o *no relacionadas* con un datum. Una *cubierta de acoplamiento real no relacionada* se ajusta al tamaño de la característica sin ninguna restricción a ningún datum. En otras palabras, puede flotar libremente para encontrar la que mejor se adapte a sus necesidades. Una *cubierta de acoplamiento real relacionada* se ajusta a la característica manteniendo cierta restricción en la orientación o posición con respecto a un datum. Por ejemplo, para la característica agujero en la figura 20-10, la correspondiente cubierta de acoplamiento real con respecto a la parte posterior del plano de la superficie de referencia es el mayor pasador que pueda colocar en el agujero, mientras se mantenga perpendicular al plano datum posterior.

Ahora, volviendo al datum ejemplo en la figura 20-10, el eje datum correspondiente a la característica datum (el agujero) queda definido por la cubierta de acoplamiento real del agujero, que es el cilindro más grande que puede caber dentro de él. En la práctica, este cilindro más grande se puede determinar insertando físicamente pasadores de distintos calibres fabricados con gran precisión, de tamaño creciente hasta que se encuentre el más grande. También se puede utilizar un mandril expansivo. El de mayor calibre sirve como simulador de características datum (previamente definido). En el caso de una característica datum externa, como la superficie de un eje, el simulador de características datum puede ser las mordazas de un mandril o collar agarradas a la superficie. El eje central del mandril es entonces el eje datum.

Símbolo de característica datum

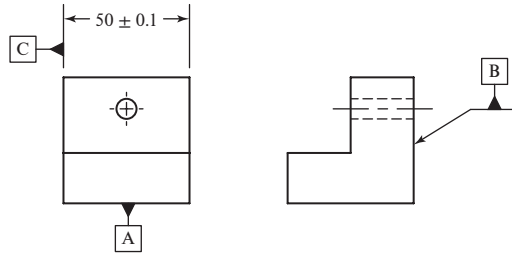
En un dibujo, una característica datum se define simbólicamente por una letra mayúscula encerrada en un recuadro, adjunta a una línea de marcado que termina en la característica datum con un triángulo. El triángulo puede estar relleno o vacío. Se puede utilizar cualquier letra excepto I, O y Q, que se pueden confundir con números. Las letras no necesitan asignarse alfabéticamente ya que la prioridad de los datums se especificará posteriormente, según sea necesario, para controlar cada característica.

El triángulo se puede acoplar directamente al contorno de la superficie de la característica datum, con una línea de marcado, o a una línea de extensión a la superficie. Estos tres métodos se ilustran en la figura 20-12, donde las características datum se correlacionan con aquellas previamente mostradas para la pieza de la figura 20-8.

Si el datum es un eje o un plano centrado de una característica de tamaño, entonces el triángulo datum se coloca en línea con la línea de dimensión de la característica de tamaño. En el caso de un cilindro, se puede conectar directamente a la superficie del cilindro. El triángulo puede, opcionalmente, reemplazar una de las puntas de flecha de dimensión si ambos no encajaran. En la figura 20-13 se muestran varios ejemplos. Un triángulo datum siempre indica una característica datum (una superficie física) desde la cual el datum (un eje teórico o un plano centrado) se deriva. En consecuencia, el triángulo nunca se coloca directamente sobre un eje, línea central o plano centrado.

Figura 20-12

Tres métodos para designar una característica datum.



El triángulo datum también se puede conectar a un marco de control de características (que se define en una sección posterior de este capítulo), para controlar la tolerancia geométrica de la característica datum. Se incluye un ejemplo en la figura 20-13b).

Tenga en cuenta que en el caso de una característica de tamaño, una sutil diferencia en la colocación del triángulo en las figuras 20-14a) y 20-14b) tiene como resultado una diferencia importante en el significado. Cuando el triángulo se coloca en línea con la línea de dimensión, como en la figura 20-14a), el datum es el plano centrado de la característica de tamaño. Cuando el triángulo está colocado lejos de la línea de dimensión, como en la figura 20-14b), el datum es el plano definido por el borde de la pieza. El datum plano centrado se podría utilizar si es importante que el agujero esté centrado en la pieza, independientemente de las fluctuaciones en el ancho total de la pieza. El datum borde tiene la ventaja de tener una configuración más sencilla para la fabricación y la inspección, pero dado que la posición del agujero se controla desde un borde, la pieza puede que no sea simétrica.

Figura 20-13

Métodos de designación de un eje o un plano centrado de una característica de tamaño como un datum. a) Los datums A y B se definen como los ejes centrados de dos características de superficies cilíndricas diferentes. b) Los símbolos de los datums A y B están conectados a la dimensión de anchura, definiendo los planos centrados como datums. Los símbolos C, D y E se adjuntan a las características como ejes, definiendo los ejes centrales como datums.

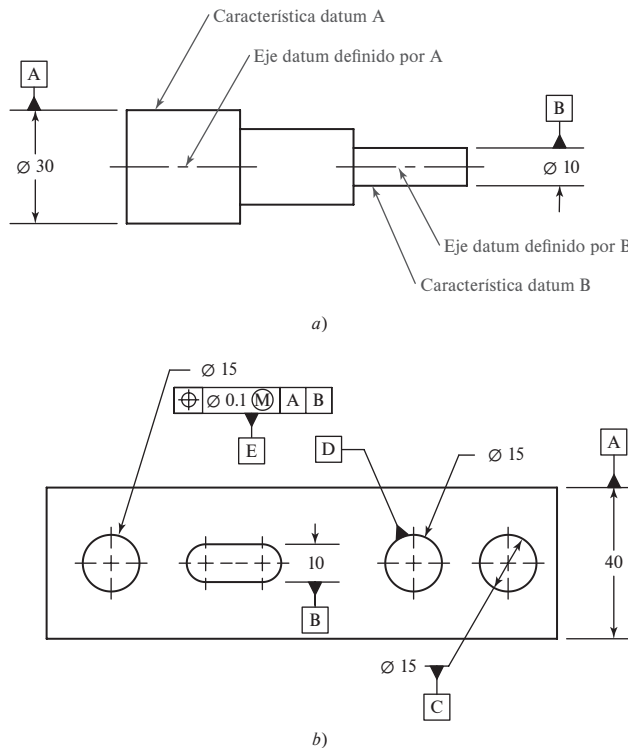
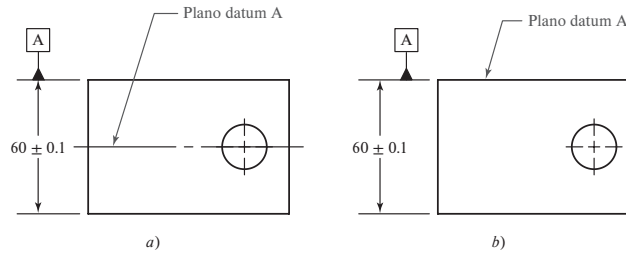


Figura 20-14

Diferente designación de un plano datum debido a la colocación del símbolo de referencia. *a)* Símbolo en línea con la dimensión; *b)* símbolo fuera de línea con la dimensión.



20-4

Control de las tolerancias geométricas

Zonas de tolerancia

El DG&T generalmente solo utiliza la aplicación directa de tolerancias más/menos al dimensionar una *característica de tamaño*. Un concepto fundamental del DG&T es que además de cualquier tolerancia dimensional en una característica de tamaño, se deben controlar también la forma geométrica y la posición de las superficies para que permanezcan dentro de las *zonas de tolerancia*. Estas se definen de diferentes maneras como, por ejemplo, por dos planos paralelos o por cilindros concéntricos, para definir los límites de las superficies físicas de las piezas. Las zonas de tolerancia se definen con relación a una posición o forma teóricamente exactas. La forma y posición real de las superficies de la pieza puede variar con respecto a la posición o forma teóricamente exactas, siempre que permanezcan dentro de los límites de las zonas de tolerancia.

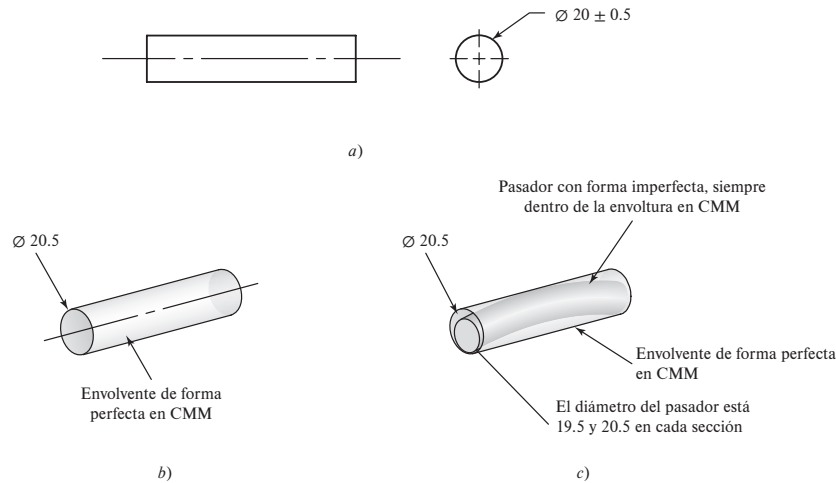
Existen condiciones especiales definidas para representar los límites máximo y mínimo de una característica de tamaño. La *condición de máximo material (CMM)* es aquella en la cual una característica de tamaño contiene la cantidad máxima de material dentro de los límites de tamaño indicados. Para una característica externa, como la superficie exterior de un eje, la CMM es cuando el diámetro del eje alcanza el máximo valor permitido por la tolerancia. Para una característica interna, como un agujero, la CMM es cuando el agujero alcanza el diámetro más pequeño permitido por la tolerancia. Asimismo, la *condición de mínimo material (CmM)* es la condición según la que una característica de tamaño contiene la menor cantidad de material dentro de los límites de tamaño indicados. Esto se correlaciona con el menor diámetro del eje o el mayor diámetro de agujero permitidos. Estos términos se usan muy a menudo en el DG&T.

La norma Y14.5 especifica una zona de tolerancia predeterminada para características de tamaño por medio de lo que se denomina *Regla #1*, también conocido como el *principio de la envolvente*. Esta regla establece que cuando solo se especifica una tolerancia de tamaño (es decir, tolerancia más/menos) para una característica de tamaño, se permite que los límites de tamaño prescriban la extensión de la variación en su forma geométrica, así como el tamaño. En especial, el principio establece que la superficie de una característica de tamaño no puede extenderse más allá de una envolvente de forma perfecta en su CMM. Considere un ejemplo sencillo de un pasador espiga en la figura 20-15a). La envolvente limitante es un pasador perfectamente formado (p. ej., perfectamente recto, perfecta sección transversal circular, etc.) que tiene su mayor tamaño permitido, como se muestra en la figura 20-15b). Un pasador imperfecto aún puede cumplir las especificaciones en tanto que su diámetro en cualquier posición esté dentro de la tolerancia permitida, y su superficie no exceda la de la envolvente. Una consecuencia de esto es que si el pasador se fabrica en su CMM, entonces debe tener una forma perfecta. Como el diámetro es menor que la CMM, el pasador puede desviarse de la forma perfecta, como se muestra en la figura 20-15c).

Se pueden especificar otros controles geométricos (descritos en la sección 20-5) cuando la zona de tolerancia predeterminada por la Regla #1 no es suficiente para satisfacer los requisitos de la aplicación.

Figura 20-15

Principio de la envolvente (Regla #1). a) Especificación de tamaño y tolerancia en el dibujo; b) envolvente de forma perfecta en CMM; c) pasador aceptable imperfecto dentro de la envolvente.



Dimensiones básicas

Una posición teóricamente exacta se especifica con una *dimensión básica*. Una dimensión básica es una dimensión teóricamente exacta que no tiene una tolerancia asociada directamente, sino que está asociada con un control geométrico de una zona de tolerancia. Cuando una de las dimensiones básicas se utiliza para colocar una característica de una pieza, la propia característica debe incluir un control geométrico que defina una zona de tolerancia, especificando la variación permitida con respecto a la forma y a la posición perfectas.

Las dimensiones básicas se indican en un dibujo adjunto incluyendo la dimensión dentro de una caja rectangular, o con una nota indicando que todas las dimensiones sin tolerancias son básicas.

Marcos de control de características

En un dibujo se especifica un control geométrico dentro de un *marco de control de características*. Este es una caja rectangular adjunta a una característica en un dibujo, que contiene la información necesaria para definir la zona de tolerancia de la característica especificada. El marco está dividido en compartimentos en un orden específico, como se muestra en el ejemplo de la figura 20-16.

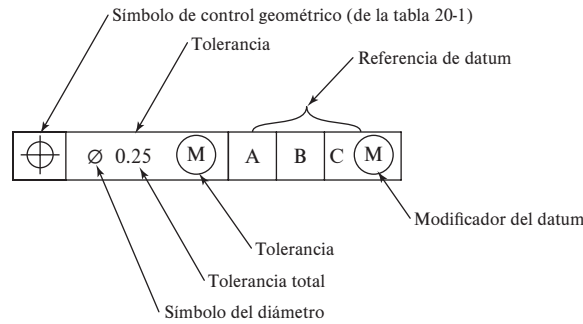
El primer compartimento contiene siempre uno de los símbolos de control geométrico de la tabla 20-1 para indicar qué aspecto de la característica está controlada por la información de tolerancia siguiente.

El segundo compartimento contiene siempre un valor numérico que designa la tolerancia total permitida. El valor de tolerancia especificado es siempre una tolerancia total, es decir, todo el rango de tolerancia, no un valor de tolerancia de más/menos a partir de un valor medio. Si la tolerancia es circular o cilíndrica, el símbolo de diámetro precederá a la tolerancia especificada.

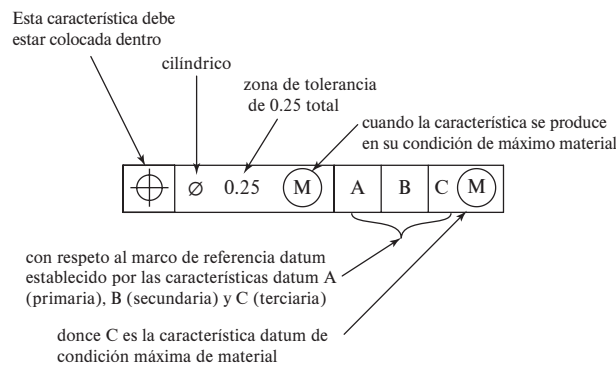
El tercer compartimento y siguientes se emplean a medida que sea necesario para definir el (los) datum(s) necesario(s) para inmovilizar la pieza. El orden de las letras datum de izquierda a derecha define la precedencia de aplicación de los datums. El número de letras datum puede variar de cero a tres, dependiendo del marco de referencia datum necesario para controlar la tolerancia. Las tolerancias de *forma* afectan solo a la característica designada, independiente de cualquier otra característica o datum (como se indica en la tabla 20-1), y por lo tanto nunca incluyen letras datum en el marco de control de características. Las tolerancias de posición, orientación y descentramiento siempre relacionan la característica designada con alguna otra característica o datum y, por lo tanto, siempre requiere la especificación de letras de referencia datum.

Figura 20-16

Ejemplo de un marco de control de características.

**Figura 20-17**

Lectura de un marco de control de características.



Se pueden incluir modificadores de la tabla 20-3 en un compartimiento inmediatamente después de un valor de tolerancia, o después de la especificación de un datum. El efecto de estos modificadores se trata en la sección 20-6.

El marco de control de características se lee de izquierda a derecha, como se ilustra en la figura 20-17. Si se aplica más de un control geométrico a la misma característica, los marcos de control de características se pueden apilar y se aplican de arriba a abajo.

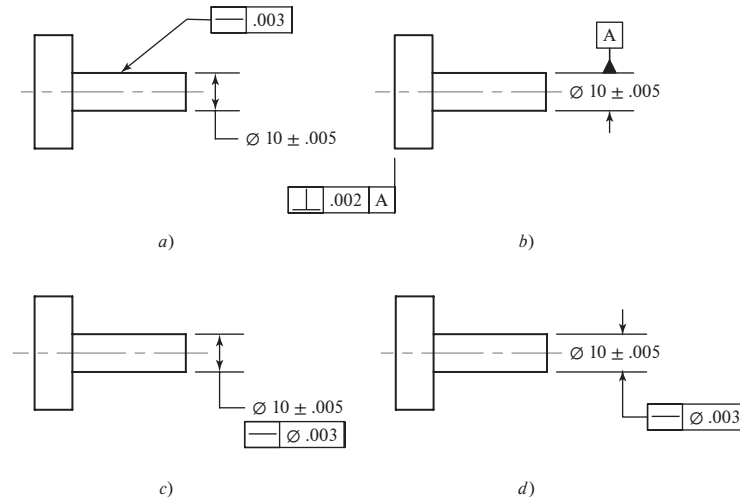
Un marco de control de características controla la característica a la que está conectado. Los cuatro métodos de conexión son los siguientes:

- 1 Una línea maestra del marco de control de características apunta directamente a la característica. Véase la figura 20-18a).
- 2 El marco de control de características está conectado a una línea de extensión de una característica de planicidad. Véase la figura 20-18b).
- 3 El marco de control de características se coloca debajo de una dimensión o nota dirigida relativa a la característica. Véase la figura 20-18c).
- 4 El marco de control de características se adjunta a una extensión de la línea de dimensión correspondiente a una característica de tamaño. Véase la figura 20-18d).

Un marco de control de características asociado con una característica de tamaño puede controlar tanto la superficie real de la característica, como su eje o línea central. Para controlar el eje o línea central de una característica de tamaño, el marco de control de características se asocia con la dimensión de la característica de tamaño utilizando los métodos de conexión 3 o 4.

Figura 20-18

Cuatro métodos para conectar un marco de control de características con una característica.



La dimensión y el marco de control de características se deben mostrar en una vista del dibujo en el que el eje o línea central aparezca como una línea. Además, si la dimensión de la característica es un diámetro, el símbolo de diámetro precede al valor de tolerancia en el marco de control de características. Como ejemplo, en la figura 20-18a), el control de rectitud se aplica a la superficie del cilindro pequeño, mientras que en las figuras 20-18c) y 20-18d), el control se aplica a la rectitud del eje del cilindro pequeño. La importancia de la diferencia entre el control de la superficie o del eje se describe más adelante.

20-5

Definiciones de las características geométricas

Cada uno de los símbolos de las características geométricas de la tabla 20-1 se utiliza para definir una zona de tolerancia particular de ciertas características geométricas. Los controles geométricos se clasifican como controles de *forma*, *orientación*, *perfil*, *posición* y *oscilación*. Algunos de los controles son bastante generales y abarcan la mayoría de las necesidades comunes, mientras que algunos son muy específicos para una determinada necesidad geométrica. Como referencia, se proporcionará una descripción básica para cada control geométrico, seguida por una discusión más amplia sobre la aplicación práctica. El lector puede encontrar útil esta sección la primera vez que se consulta para, a continuación, volver a consultarla como referencia cuando se necesiten detalles para las aplicaciones prácticas.

Controles de forma

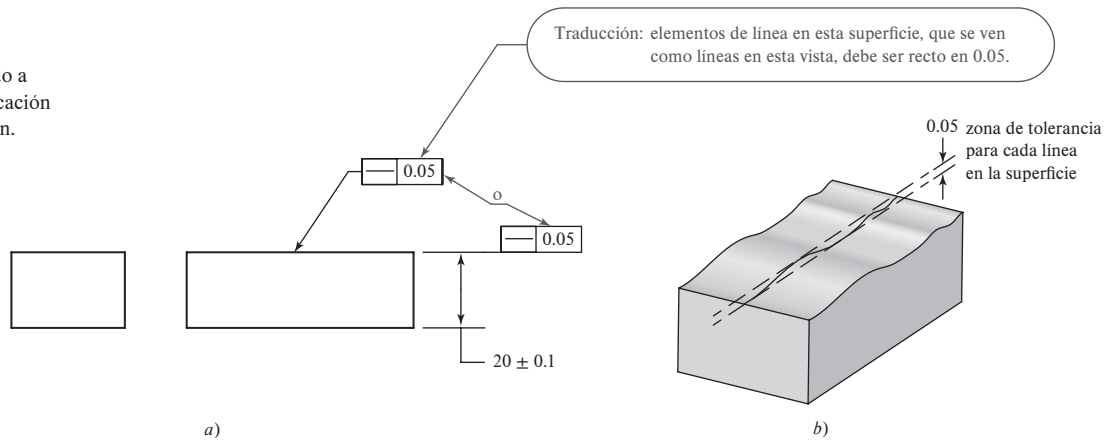
Las cuatro características geométricas que proporcionan control de *formulario* son *rectitud*, *planicidad*, *circularidad* y *cilindricidad*. Estas controlan la forma de una característica individual, independientemente de su posición o de su relación con cualquier otra característica. Por consiguiente, los controles de forma nunca incluyen referencias a los datums. Observe que los controles de forma son un perfeccionamiento de cualquier tolerancia de tamaño, que también debe ser satisfecha.

Rectitud —

El control de rectitud especifica una zona de tolerancia dentro de la cual deben situarse los elementos de línea de una superficie o de un eje. Cuando se aplica a la superficie de una característica con una línea maestra o con una línea de extensión hacia la superficie, la rectitud se aplica a todas las líneas en la superficie que aparecen como líneas rectas en el dibujo. Véase la figura 20-19. Cuando se aplica la trama de control de características bajo la dimensión de tamaño de una característica de tamaño, el control de rectitud se encuentra sobre el eje o línea media derivada de la característica.

Figura 20-19

Control de rectitud aplicado a una superficie. *a)* Especificación del dibujo; *b)* interpretación.



El símbolo de diámetro está incluido con la tolerancia de rectitud para aplicar a una zona de tolerancia cilíndrica en el eje de un cilindro. Véase la figura 20-20.

Planicidad ▭

El control de planicidad especifica una zona de tolerancia de una determinada distancia entre dos planos paralelos dentro de la cual deben situarse todos los puntos de una superficie (o del plano medio derivado). El marco de control de características se aplica con una línea maestra o una línea de extensión a la superficie en una vista del dibujo en el que la superficie aparezca como una línea. Véase la figura 20-21. Si el marco de control de características se aplica bajo la dimensión de tamaño de una característica de tamaño, el control de planicidad se encuentra en el plano medio derivado en lugar de en la superficie. El control de planicidad se utiliza a menudo para proporcionar un control adicional de la característica datum primaria para mejorar la reproducibilidad de la medición.

Circularidad ○

El control de circularidad se utiliza para controlar la periferia de las secciones transversales circulares de cilindros, conos o esferas. La zona de tolerancia es la corona entre dos círculos concéntricos dentro de la cual debe situarse cada elemento circular de la superficie. Véase la figura 20-22. El control de circularidad debe usarse con moderación, ya que es difícil de inspeccionar, pues hay que evaluar cada sección transversal circular de la superficie independientemente una de otra e independiente de cualquier datum. Los controles de perfil o alabeo proporcionan métodos alternativos que suelen ser suficientes para garantizar la circularidad con métodos de inspección más fáciles.

Figura 20-20

Control de rectitud aplicado a un eje de una característica. *a)* Especificación del dibujo; *b)* Interpretación.

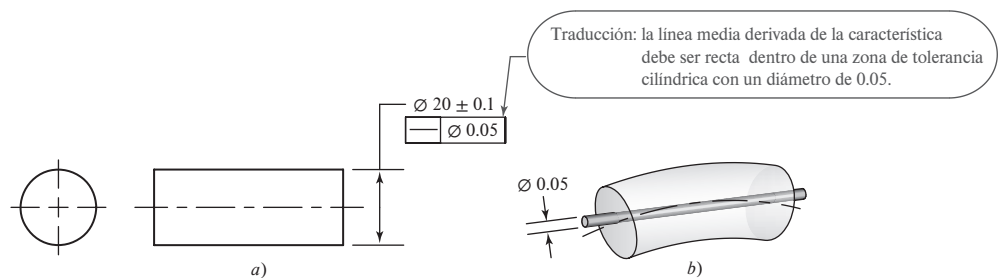


Figura 20-21

Control de planicidad.

- a) Especificación del dibujo;
- b) interpretación.

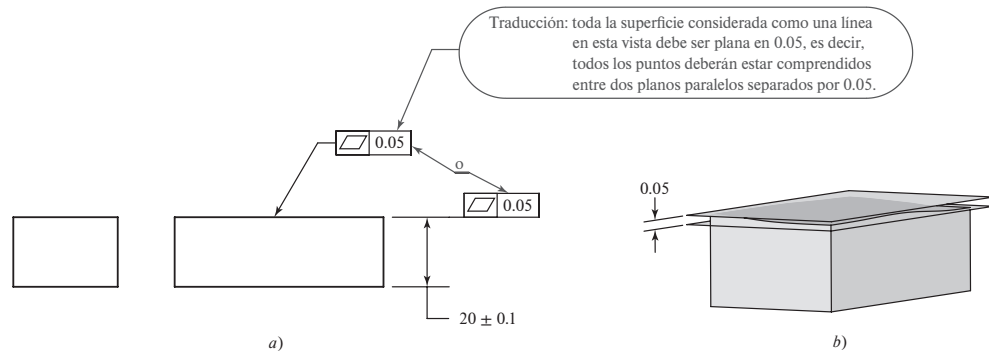
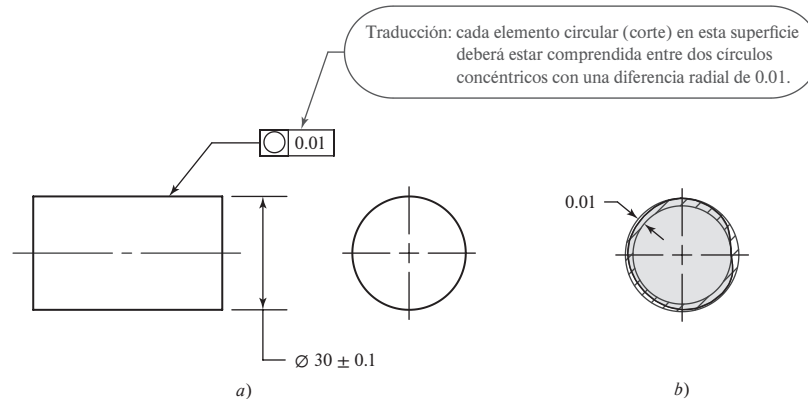


Figura 20-22

Control de circularidad.

- a) Especificación del dibujo;
- b) interpretación.



Cilindricidad Ⓢ

El control de cilindricidad se utiliza para controlar una combinación de la circularidad y de la rectitud de un cilindro. La zona de tolerancia es el espacio delimitado por dos cilindros concéntricos con una diferencia de radio igual a la tolerancia. Véase la figura 20-23.

Controles de orientación ⌄ ⊥ ∥

Las tres características geométricas que proporcionan control de *orientación* son *angularidad*, *paralelismo* y *perpendicularidad*. Estas controlan la orientación de una característica con respecto a uno o más datums, por lo que es obligatoria la inclusión de al menos un datum en el marco de control de características. Los controles de paralelismo y de perpendicularidad son esencialmente subconjuntos prácticos del control de angularidad en el cual el ángulo deseado es de 0° o 90° , respectivamente. Los controles de orientación pueden aplicarse a superficies, ejes o planos centrados. En el caso de superficies y planos, la zona de tolerancia se define por dos planos paralelos orientados en el ángulo básico especificado por el datum de referencia. Véanse las figuras 20-24 y 20-25. Cuando se controlan los ejes o los planos centrados, el marco de control de características se coloca debajo de la dimensión de tamaño. Cuando se controlan los ejes, el símbolo de diámetro se incluye antes de la tolerancia y la zona de tolerancia es cilíndrica, como se muestra en la figura 20-26.

Las tolerancias de orientación están limitadas solo en grados de libertad de rotación con respecto al datum de referencia. Dado que los grados de libertad de traslación no están limitados por las tolerancias de orientación, una zona de tolerancia de orientación no se puede utilizar para localizar una característica. Solo se debe usar como un refinamiento de la tolerancia que está haciendo la localización, como la posición o el perfil de una superficie. El uso más común de los controles de orientación es orientar a un datum secundario o terciario con respecto al plano datum primario.

Figura 20-23

Control de cilindridad.
 a) Especificación del dibujo;
 b) interpretación.

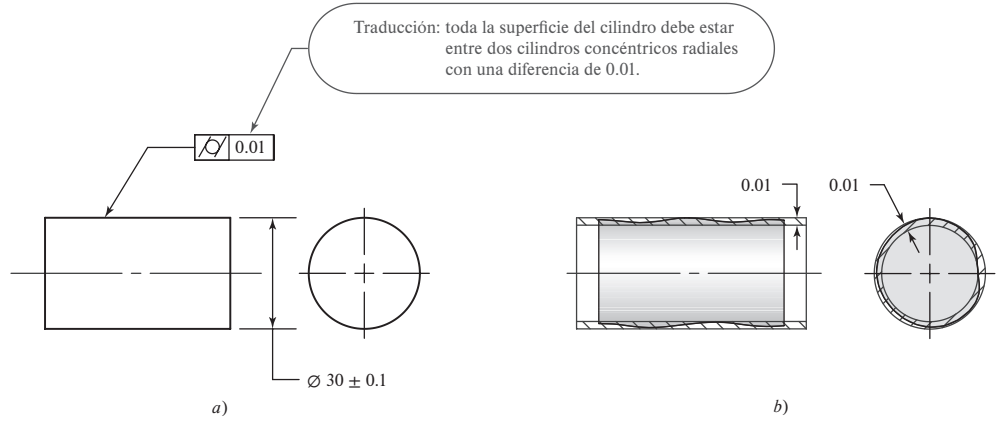


Figura 20-24

Control de angularidad.
 a) Especificación del dibujo;
 b) interpretación.

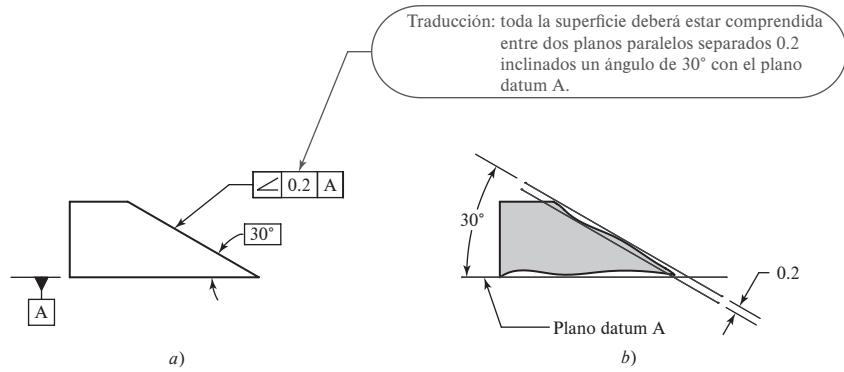


Figura 20-25

Control de perpendicularidad.
 a) Especificación del dibujo;
 b) interpretación.

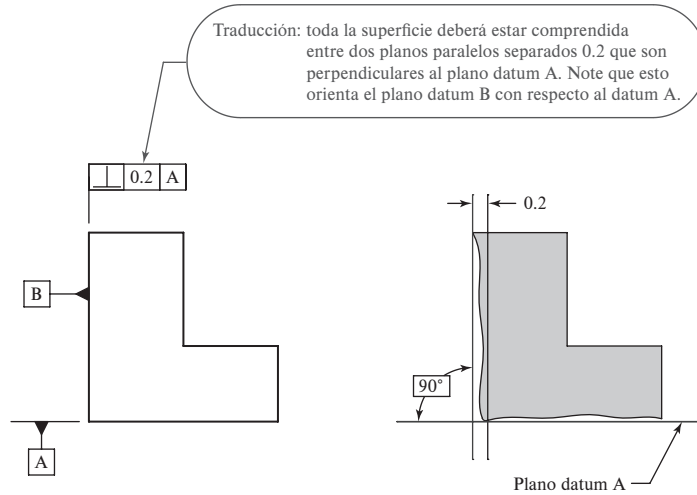
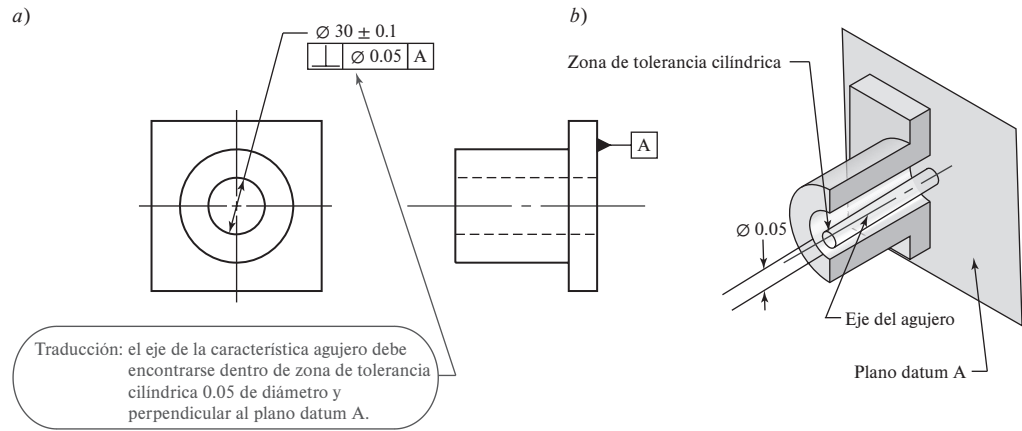


Figura 20-26

Control de orientación aplicado al eje de una característica.
 a) Especificación del dibujo;
 b) interpretación.



Controles del perfil

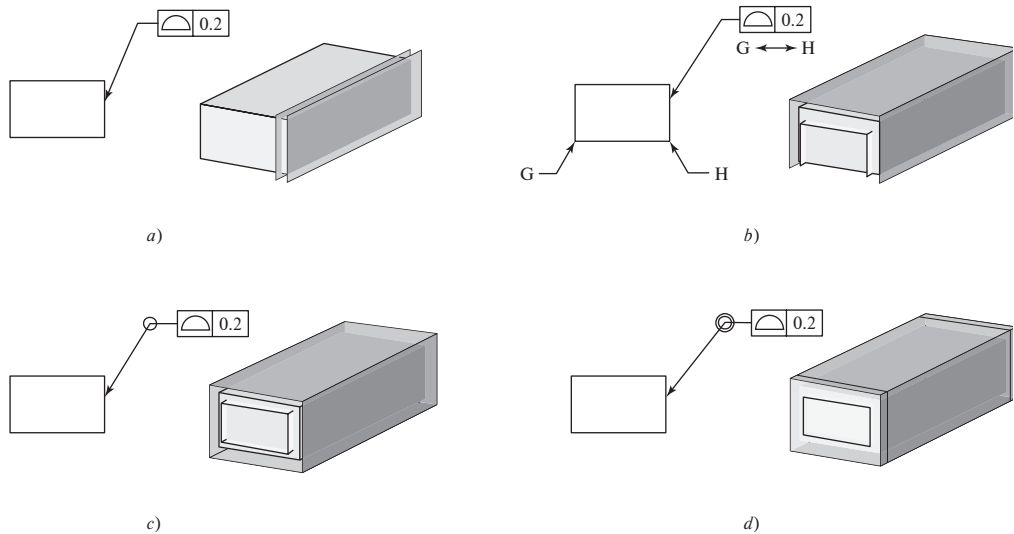
Los controles del *perfil* se utilizan para definir una zona de tolerancia en torno a un auténtico perfil deseado que se define con las dimensiones básicas. Las dos características geométricas que ofrecen el control del perfil son el *perfil de una línea* y el *perfil de una superficie*. El perfil de una línea es una zona de tolerancia bidimensional que controla cada línea dentro la superficie de la característica, similar a los controles de rectitud y circularidad. El perfil de una superficie aplica a un control tridimensional, similar al de planicidad o al de cilíndricidad. Los controles de perfil se utilizan a menudo para características de forma irregular y para piezas de fundición, forjadas o estampadas donde se desea proporcionar una zona de tolerancia para el conjunto de la superficie de la pieza.

Un perfil de tolerancia va implícito a una tolerancia global que está centrada en el verdadero perfil. Se puede especificar una zona de tolerancia no simétrica siguiendo el valor de tolerancia general con el modificador de *perfil desigualmente dispuesto* (una mayúscula U en un círculo), seguido por la cantidad de tolerancia en el sentido en el que se permitiría el material adicional que se añade al verdadero perfil.

El marco de control de características está conectado con una línea maestra en una vista del dibujo donde aparece el verdadero perfil. La tolerancia del perfil solo se aplica a la superficie de característica individual, a menos que se modifique con los símbolos de “en medio”, “todo” o “alrededor”, como se muestra en la figura 20-27.

Figura 20-27

Aplicación del control de perfil.
 a) Aplicado a una sola superficie;
 b) se aplica entre dos puntos designados; c) aplicado al todo;
 d) aplicado alrededor.



Los controles de perfil son las únicas características geométricas que tienen la opción de incluir o no incluir un datum de referencia. Si la tolerancia del perfil no se refiere a un datum, entonces la zona de tolerancia “flota” alrededor del verdadero perfil, proporcionando un control de forma de la superficie, pero no un control de posición. Esta opción debe usarse con moderación, ya que normalmente hace que la inspección de la pieza sea más difícil.

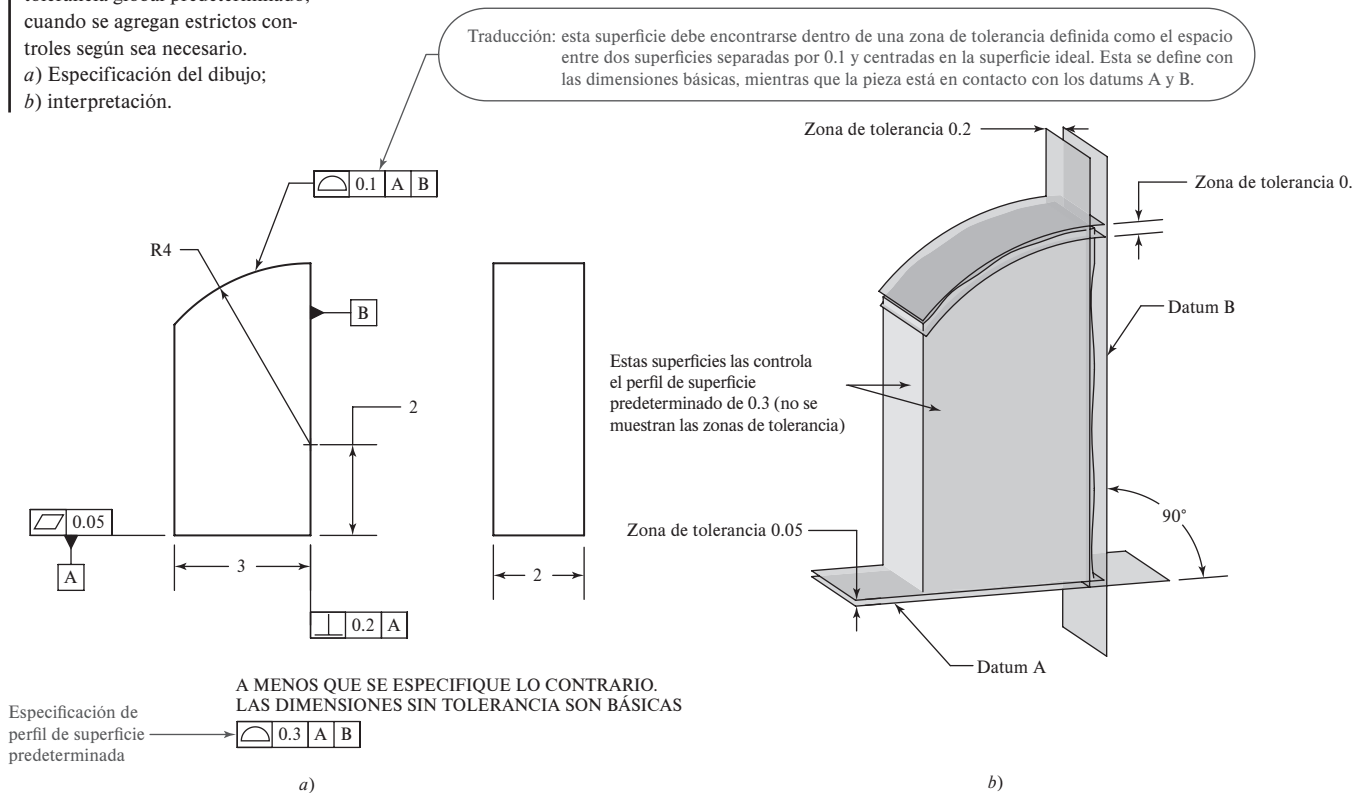
Si se hace referencia a un datum, entonces la tolerancia del perfil puede controlar simultáneamente el tamaño, la forma, la orientación y la posición de una característica. Esta capacidad general hace que este control sea extremadamente útil como control total de tolerancia predeterminado. Cuando el marco de control de características de tolerancia de perfil se coloca en una nota general en el dibujo, la tolerancia se aplica a todas las características del dibujo, a menos que se especifique lo contrario. Con esta nota general, solo se necesitan otros controles (por ejemplo, planicidad, perpendicularidad, etc.) si se desea un control más estricto a los proporcionados por la tolerancia general de perfil.

Considere el ejemplo de la figura 20-28. La superficie inferior es la característica datum que define al datum A. El control de planicidad establece que cuando esta superficie está en contacto con un plano datum A, todos los puntos de la superficie debe estar dentro de la zona tolerancia de 0.05. El plano datum B se define para ser exactamente perpendicular al plano datum A, pero la característica datum B (la superficie real) puede variar en forma y orientación siempre que se mantenga dentro de la zona de tolerancia de 0.2. El control de perfil de la superficie curva indica que la pieza primero se coloca en contacto con un plano datum y, a continuación, en contacto con el plano datum B. Entonces la superficie curva ideal se define con las dimensiones básicas. A continuación, se define una zona de tolerancia como el espacio entre dos superficies curvas centradas alrededor de la superficie real con un espacio de 0.1 entre ellas. Además, debido a la tolerancia de perfil 0.3 en la nota general en la parte inferior del dibujo, todas las demás superficies que no tengan una tolerancia más estrecha especificada estarán dentro de una zona de tolerancia de perfil de 0.3 centrada en la forma básica (ideal). Se admite cualquier desviación de tamaño, forma, orientación y posición siempre que las superficies permanezcan dentro de estas zonas de tolerancia.

Figura 20-28

Ejemplo usando una nota de control de perfil como control de tolerancia global predeterminado, cuando se agregan estrictos controles según sea necesario.

- a) Especificación del dibujo;
- b) interpretación.



Controles de ubicación

Hay tres controles de *ubicación*: *posición*, *concentricidad* y *simetría*. Se especifican para el control de la ubicación de una *característica de tamaño*, como un agujero, una ranura, un reborde o un saliente, con respecto a un datum u otra característica.

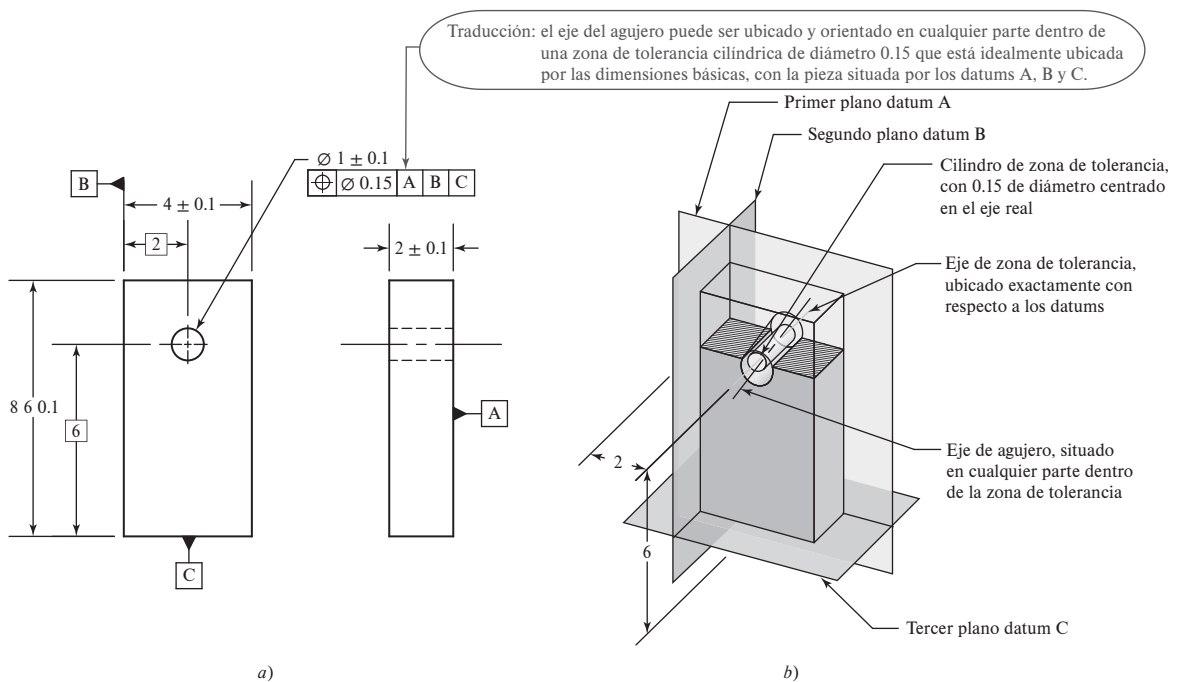
Posición \oplus

El control de *posición* es uno de los controles más eficaces y utilizados más a menudo, ya que incorpora la mayoría de las ventajas de DG&T. El control de posición define la ubicación permitida (y la orientación) del eje, de la línea central o del plano centrado de una característica de tamaño. No controla el tamaño o la forma de la característica.

La aplicación del control de posición se interpreta en la figura 20-29. La posición real de una característica de tamaño se ubica en primer lugar con respecto a los datums especificando las dimensiones básicas del eje, de la línea central o del plano centrado de la característica de tamaño. A continuación, el tamaño de la característica de tamaño se acota directamente, junto con una tolerancia de más/menos. Por último, el control de posición se aplica con un marco de control de características colocado debajo de la dimensión de la característica. El control de posición especifica una zona de tolerancia centrada alrededor de la ubicación teóricamente exacta de la característica del eje, de la línea central o del plano centrado. La zona de tolerancia es cilíndrica si el símbolo de diámetro precede a la tolerancia; de lo contrario, es el espacio entre dos planos paralelos. La especificación de la pieza que se muestra en el dibujo de la figura 20-29a) conduce a la interpretación que se muestra en la figura 20-29b). Tenga en cuenta que el diámetro del agujero puede variar dentro de su tolerancia dimensional especificada, mientras que el agujero del eje puede estar en cualquier posición y orientación dentro de la zona de tolerancia cilíndrica.

Figura 20-29

Control de posición.
 a) Especificación del dibujo;
 b) interpretación.



El control de posición también proporciona un excelente medio de controlar la ubicación de un grupo de características de tamaño. Se indica que un grupo de características comparte la misma dimensión, tolerancia dimensional y control de posición incluyendo el número de características que precede a la especificación de la dimensión de tamaño, como se muestra por el 3× en la figura 20-30.

La figura 20-30 también muestra el uso de un marco de control compuesto donde hay dos filas asociadas con la especificación del control de posición. Esto permite distintas especificaciones de tolerancia de la ubicación general y la interrelación de las funciones dentro del patrón. Generalmente se necesita cuando el patrón de característica debe igualarse con características de espacio similares de otra pieza.

La primera fila del marco de control compuesto se denomina *marco de la zona de tolerancia ubicación-patrón* (PLTZF, por sus siglas en inglés), pronunciado plahtz. Se aplica a la ubicación general del patrón como un grupo con respecto a los datums. La PLTZF define zonas de tolerancia para la línea central de cada característica, al igual que anteriormente se describió para el control de posición.

La segunda fila del marco de control compuesto añade otro obstáculo a la relación característica a característica dentro del marco, y es lo que se denomina el *marco de la zona de tolerancia de la característica asociada* (FRTZF, por sus siglas en inglés), pronunciado fritz. Es aplicable a las dimensiones básicas entre características, pero no a las dimensiones básicas para localizar las características con respecto a los datums. La FRTZF define otra zona de tolerancia más pequeña para cada característica, centrada alrededor de las ubicaciones exactas, como se definió para las dimensiones básicas entre las características. Las zonas de tolerancia FRTZF puede flotar en cualquier parte dentro de las zonas de tolerancia PLTZF, mientras mantengan sus posiciones relativas entre ellas. La característica real de las líneas de centro debe encontrarse dentro de las zonas de tolerancia de FRTZF, cuyas líneas centrales deben, a su vez, encontrarse dentro de las zonas de tolerancia PLTZF.

Considere el ejemplo especificado en la figura 20-30, donde las especificaciones de tolerancia son mayores de lo habitual a fin de permitir que las zonas de tolerancia se puedan

Figura 20-30

Especificación de dibujo del control de posición aplicada a un grupo de características. La interpretación se muestra en la figura 20-31.

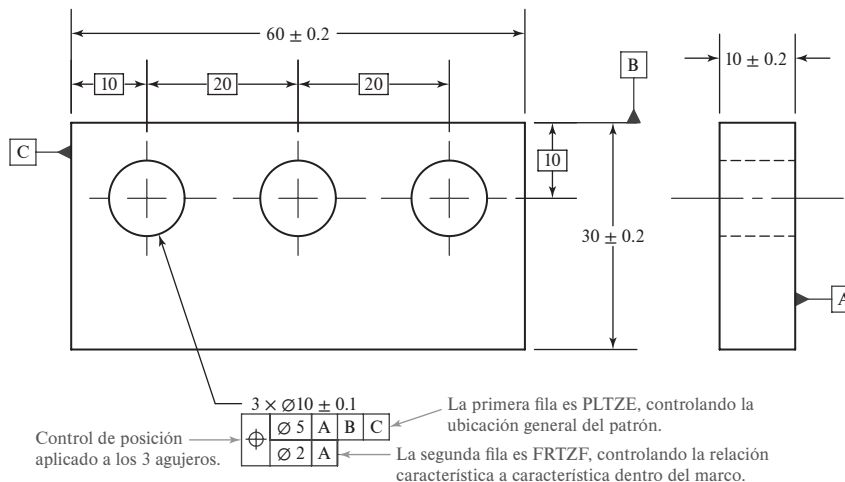
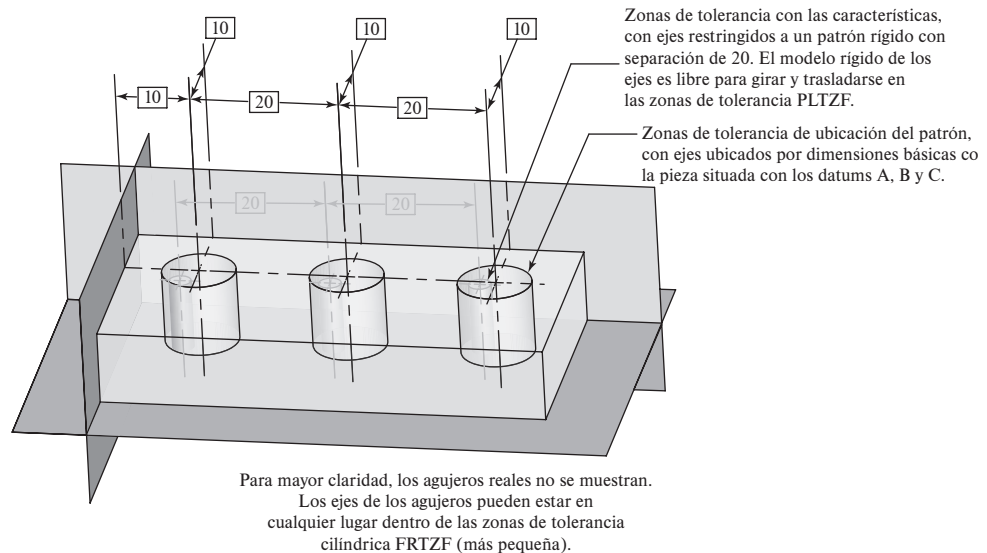


Figura 20-31

Interpretación de PLTZF y FRTZF para un patrón de características ubicadas con un marco de control compuesto, como se especificó en la figura 20-30.



visualizar más fácilmente. La figura 20-31 muestra las zonas de tolerancia, sin mostrar los agujeros reales, para minimizar el desorden. La primera fila del marco de control compuesto especifica una PLTZF compuesta de zonas de tolerancia cilíndricas, cada una con un diámetro de 5, centradas en torno a ejes ubicados a través de las dimensiones básicas de los datum. Estos se muestran en la figura 20-31 como los cilindros más grandes. La segunda línea especifica una FRTZF compuesta de zonas de tolerancia cilíndricas, cada una con un diámetro de 2. Las zonas de tolerancia FRTZF conforman un patrón rígido que debe mantener unas distancias relativas de 20 con respecto a cada uno de las demás, pero que es libre para girar y trasladarse dentro de las zonas definidas por la PLTZF cilíndrica. Piense que las zonas de tolerancia FRTZF están rígidamente conectadas entre sí a través de una trama que mantiene las dimensiones básicas entre ellas. Toda la trama se puede trasladar y girar a cualquier posición que mantenga todas las líneas centrales de FRTZF dentro de las zonas de tolerancia PLTZF.

Cuando se incluyen los datum en la especificación de FRTZF, solo rigen la rotación de FRTZF relativa a los datum especificados. En el ejemplo de la figura 20-30, dado que la segunda fila hace referencia al datum A, FRTZF debe estar alineado con el plano del datum A, es decir, los ejes de la zona de tolerancia serán perpendiculares al plano del datum A. Asimismo, si se ha especificado el datum B, los ejes de la zona de tolerancia estarían obligados a apoyarse en un plano paralelo al plano del datum B.

Concentricidad \odot

Nominalmente, la *concentricidad* es la condición del eje central de una superficie de revolución, como un cilindro, siendo congruente con un eje de datum. La norma Y14.5 la define con más precisión como la condición donde los puntos medios de todos los elementos diametralmente opuestos a una superficie de revolución están dentro de una zona de tolerancia cilíndrica centrada alrededor de un eje datum. Esto significa que el centro de la característica no está determinado como una sola línea recta, sino como una colección de todos los puntos obtenidos al calcular las medias de todas las medidas de los diámetros en la superficie. Esto es extremadamente difícil y caro de medir, por lo que se recomienda utilizar el control de concentricidad en contadas ocasiones. Las opciones preferidas para controlar las características concéntricas son la posición, el perfil y el alabeo. El control de concentricidad podría estar justificado en casos donde es crítico controlar el eje en lugar de la superficie de una característica, como en el balanceo dinámico de una pieza giratoria de alta velocidad.

Simetría

La *simetría* es la condición por la que una característica tiene el mismo perfil a ambos lados del plano central de una característica datum. En la norma Y14.5 se define del mismo modo que concentricidad, excepto que se aplica al plano central de una característica de tamaño en lugar de al eje central de una superficie de revolución. Dado que se basa en el control del conjunto de todos los puntos medio medidos de una característica, en lugar de un único plano central de la misma, la simetría padece las mismas dificultades de medición que la concentricidad. Por lo tanto, la simetría control debería usar raramente. En la mayoría de los casos, las características simétricas se controlan mejor con la posición o los controles de perfil.

Controles de alabeo

El *alabeo* controla la variación de una característica según rota alrededor de un eje datum. Un ejemplo sencillo es la superficie de un eje giratorio. Hay dos controles de alabeo: el circular y el total. El *alabeo circular* mide la variación radial de cada sección circular de una característica de forma independiente una de otra. El *alabeo total* mide la oscilación de la superficie completa de una característica cilíndrica simultáneamente.

Ambos tipos de alabeo se muestran en la figura 20-32. El cilindro de la izquierda se define como característica datum A. Las mordazas sujetadas a la superficie de esta característica datum sirven como simulador de la característica datum para definir la línea central como datum real. Así, cuando la mordaza gira, la pieza necesariamente gira alrededor de la línea central datum. La especificación del alabeo circular de la característica cónica requiere que un indicador, en cualquier ubicación a lo largo de la característica, no se mueva más de 0.01 unidades durante una rotación completa de la pieza. Cada punto donde se encuentra el indicador debe satisfacer de forma independiente el control de tolerancia de alabeo. La especificación de alabeo total de la característica cilíndrica derecha requiere que un indicador no debe moverse más de 0.02 para todas las ubicaciones a lo largo del cilindro, medido en una instalación. Otra forma de decir esto es que toda la superficie de la característica controlada debe encontrarse dentro de la zona específica de dos cilindros concéntricos que están separados radialmente por la tolerancia declarada de 0.02.

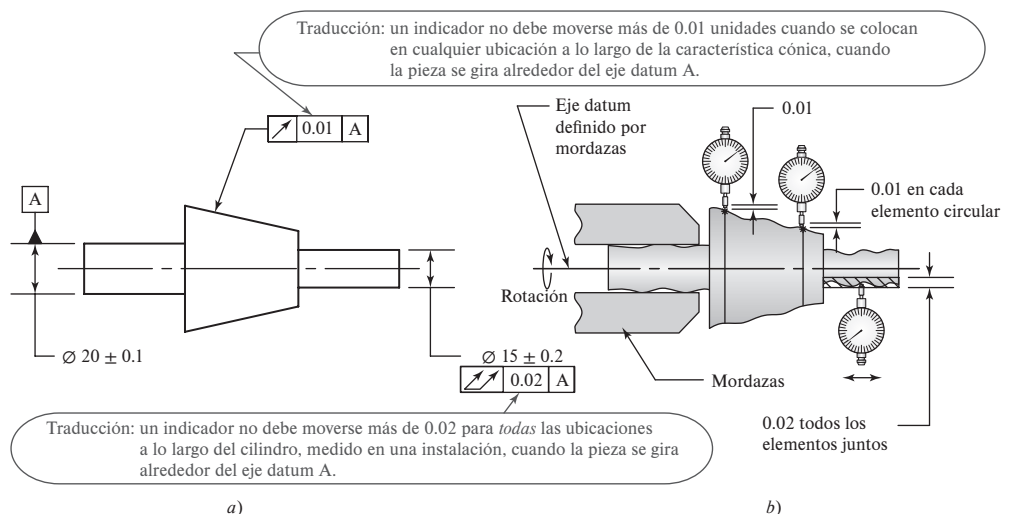
El alabeo circular se puede aplicar a cualquier superficie de revolución ya que las mediciones se realizan de manera independiente en cada sección transversal. Inherentemente se controlan tanto concentricidad como circularidad. El alabeo total solo se aplica a las características cilíndricas, dado que el diámetro de cada sección transversal debe caber dentro de la misma zona de tolerancia. Inherentemente se controlan cilíndricidad, circularidad, rectitud y perfil de superficie. El alabeo total es un control particularmente útil para los ejes giratorios

Figura 20-32

Alabeo circular y alabeo total.

a) Especificación del dibujo;

b) interpretación.



que llevan rodamientos o engranajes y que son sensibles a la desalineación. El alabeo total también pueden utilizarse eficazmente para el control de coaxialidad de varias superficies cilíndricas relacionando cada cilindro a la misma línea central datum.

Los controles de alabeo también se pueden aplicar a las características construidas en ángulos rectos con respecto a un eje datum, como el extremo de un cilindro. En este caso, las variaciones de los controles de alabeo de perpendicularidad (como oscilante) y de planicidad, medidos mientras la característica gira alrededor del eje datum.

20-6 Modificadores de las condiciones de materiales

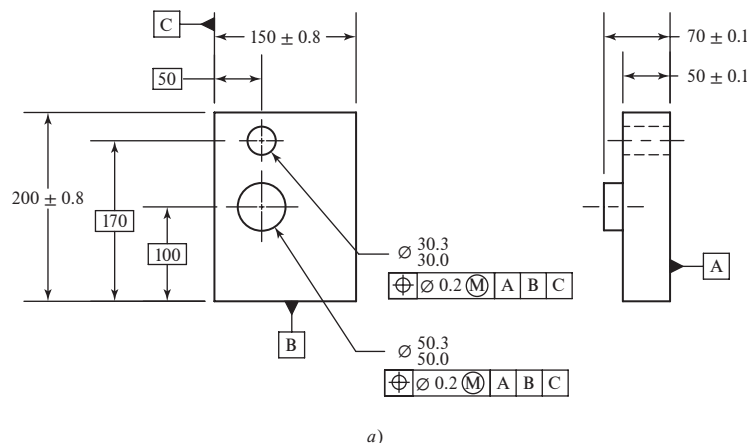
La condición de máximo material (CMM) y la de mínimo material (CmM) se pueden aplicar como modificadores de la mayoría de los controles geométricos que tratan con una característica de tamaño. Los símbolos de los modificadores, \textcircled{M} y \textcircled{L} , se pueden incluir en un marco de control de características geométricas directamente a continuación del valor de la tolerancia, y/o inmediatamente después de un datum de referencia.

Cuando se modifica una tolerancia geométrica con el modificador de condición de máximo material, indica que dicho valor de tolerancia se aplica cuando la característica se produce en su CMM. Si se produce en un tamaño con menos material que su CMM, la desviación de la CMM se agrega al valor de tolerancia geométrica permitida. La implicación es que el valor de la tolerancia geométrica no es constante, ya que depende del tamaño de la pieza producida.

Como ejemplo, considérese la pieza en la figura 20-33a), la cual contiene tanto una característica externa de tamaño (un cilindro saliente) como una interna (un agujero), cada una de las cuales se encuentra con una posición de control en su CMM. El control de posición en la característica externa se interpreta como sigue: “El eje central de esta característica cilíndrica externa debe estar dentro de una zona de tolerancia cilíndrica de 0.2 de diámetro si la característica está producida en su condición de máximo material de 50.3, donde la posición especificada por las dimensiones básicas con respecto al datum de referencia establecido por las características datum A, B y C”. Si el cilindro se produce con un diámetro inferior a su CMM de 50.3, digamos 50.2, entonces la desviación de la CMM, 0.1, se añade a la tolerancia geométrica especificada, proporcionando una tolerancia real de 0.3. Este aumento de la tolerancia se denomina tradicionalmente tolerancia “extra”. La tabla de la figura 20-33b) muestra cómo esta tolerancia extra se acumula igual que se reduce la del diámetro del cilindro en su CMM de 50.3 a su CmM de 50.0. Tenga en cuenta que la bonificación de tolerancia se aplicará a la tolerancia asociada con el control geométrico (de posición en este ejemplo), y no directamente a la tolerancia del tamaño de la característica.

Figura 20-33

Aplicación de CMM a una tolerancia de posición.
 a) Especificación del dibujo;
 b) resumen de la tolerancia extra para la característica externa; c) resumen de la tolerancia extra para la característica interna.



(continúa)

Característica externa ϕ	Tolerancia adicional (extra)	Zona de tolerancia Cilindro ϕ	Característica interna ϕ	Tolerancia adicional (extra)	Zona de tolerancia Cilindro ϕ
50.0 (CMM)	0.0	0.2	30.3 (CmM)	0.3	0.5
50.2	0.1	0.3	30.2	0.2	0.4
50.1	0.2	0.4	30.1	0.1	0.3
50.0 (CmM)	0.3	0.5	30.0 (CMM)	0.0	0.2

Figura 20-33

(continuación)

b)

c)

Esta tolerancia extra es una de las principales ventajas ofrecidas por DG&T con respecto a las tolerancias fijas proporcionadas por el dimensionamiento de coordenadas tradicional. Es particularmente útil para aplicaciones donde las piezas de acoplamiento deben encajar entre sí con una separación para su montaje. Se garantiza una tolerancia mínima, pero está disponible una tolerancia bono para que el fabricante pueda reducir costos. Este modificador no sería apropiado para una aplicación donde el ajuste entre las piezas de acoplamiento es importante, como un ajuste de presión entre el cojinete y el eje.

El mismo concepto de tolerancia extra es aplicable para el agujero en la figura 20-33, salvo que la condición de CMM para la característica interna es el *menor* tamaño del agujero. La tabla de la figura 20-33c) muestra cómo se añade la tolerancia extra a la tolerancia CMM declarada ya que el tamaño del agujero es mayor, moviéndose de la CMM a la CmM.

La *condición de mínimo material* funciona de manera similar al modificador CMM, pero en dirección opuesta. Cuando se modifica una tolerancia geométrica con el modificador CmM, indica que dicho valor de tolerancia se aplica cuando la característica se produce a su CmM. Si la característica se produce en un tamaño con más material que la CmM, la desviación de la CmM se añade al valor de tolerancia geométrica permitido. El modificador CmM se usa típicamente para aplicaciones en las que es esencial mantener una cantidad mínima de material. Los ejemplos incluyen el material entre un agujero y el borde de una pieza, o el grosor de la pared. La CmM es también útil para especificar las características de una fundición que posteriormente será rectificadas, para asegurarse de que se deja suficiente material en el molde para el acabado mecanizado.

Los modificadores de las condiciones de material CMM y CmM pueden aplicarse igualmente a la mayoría de las tolerancias geométricas, en particular a aquellos que controlan características de tamaño con un eje o plano central. Si no se especifica ningún modificador de condición de material, la condición de material predeterminada es *independiente del tamaño de la característica (ITC)*. La ITC significa que la tolerancia declarada es aplicable independientemente del tamaño de la característica. En otras palabras, sin importar el tamaño con el que se produzca la característica (dentro de su tolerancia), la tolerancia geométrica se fija en el valor indicado. Esto es mucho más restrictivo en la fabricación. Se garantiza en aplicaciones donde no se desean variaciones entre las piezas de acoplamiento, como el ajuste entre un eje y componentes como rodamientos y engranajes.

Un buen detalle a destacar es que en todo el debate anterior, el diámetro de la característica producida está determinada por la envolvente de acoplamiento real, como se definen en la sección 20-3, ya que es la única manera práctica de determinar un valor único para el diámetro de una característica imperfecta.

Los símbolos \textcircled{L} y \textcircled{M} también se pueden aplicar siguiendo a una referencia de datum en el marco de control de características, en particular cuando el datum se basa en una característica de tamaño. Cuando se aplica a un sistema de referencia, los símbolos se conocen como *límite de máximo material (LMM)* y *límite de mínimo material (LmM)*. Una explicación completa del efecto de la aplicación de LMM o LmM a un datum está más allá del alcance de este capítulo. En esencia, esto permite que la pieza flote o se desplace con relación a la trama de referencia del datum, al igual que la característica datum de tamaño desvía de su condición de máximo o mínimo material. Por consiguiente, no cambia la tolerancia de la característica considerada, sino la posición relativa de la característica con respecto al marco de referencia datum.

20-7 Aplicación práctica

El concepto básico de DG&T es el de definir la pieza ideal y, a continuación, especificar la cantidad de variación que es aceptable. La variación admisible incluye todos y cada uno de los cuatro atributos geométricos: tamaño, ubicación, orientación y forma. El tamaño de una característica de tamaño se acota directamente con una dimensión y una tolerancia más/menos. Los otros tres atributos geométricos, desglosados en características geométricas más específicas, se controlan con controles geométricos (tabla 20-1). Algunos de los controles geométricos son amplios e inherentemente proporcionan control de diversas características. Cada vez que se define un límite con *cualquier* control geométrico, restringe *todas* las variaciones geométricas de la forma y tamaño ideal para colocar dentro de la envolvente. Por ejemplo, aplicando el perfil de una superficie a una característica, la envolvente delimitadora que define la variación admisible del perfil ideal también controla automáticamente las características de orientación (por ejemplo, paralelismo y perpendicularidad) y las de forma (por ejemplo, planicidad y cilindridad). Por consiguiente, la mayoría de las características geométricas se pueden controlar con unos pocos controles, y los refinamientos solo se añaden si es necesario.

Se sugiere un marco general para la aplicación de la DG&T que comprende los cinco pasos siguientes:

1. Seleccionar las características datum.
2. Controlar las características datum.
3. Ubicar las características.
4. Acotar y localizar las características de tamaño.
5. Afinar la orientación y la forma de las características, si es necesario.

Cada paso se explica en las siguientes secciones.

1. Seleccionar las características datum.

Las características datum deberían seleccionarse basándose, en primer lugar, en el uso funcional de la pieza, en lugar del método de fabricación. El datum primario es generalmente lo más crítico para la función de la pieza, y con un tamaño de la superficie suficiente para asegurar una configuración estable para definir el resto de los datums. Para las piezas de acoplamiento, se seleccionan las correspondientes características de interconexión como características datum. Recuerde que las características datum identificadas con el símbolo datum solo se utilizan cuando se nombran en el marco de control de características de una característica controlada. Aunque no es raro que cada característica de una pieza haga referencia al mismo conjunto de datums, no es un requisito que lo hagan.

2. Controlar las características datum.

Aunque se considere un datum como teóricamente perfecto, la característica datum física no lo es. Por consiguiente, las características datum imperfectas necesitan ser controladas geométricamente, al igual que cualquier otra característica. A veces los controles predeterminados son suficientes. Sin embargo, dado que las características datum se utilizan para estabilizar la pieza para su fabricación e inspección, se pueden justificar consideraciones adicionales para ese propósito, más allá de lo necesario para la funcionalidad de la pieza. Si la característica datum primaria es una superficie plana, puede ser útil considerar una planicidad o perfil de control de la superficie. Las características datum secundaria y terciaria establecen los planos perpendiculares al plano datum primario. Por consiguiente, puede ser útil usar un control de orientación (como la perpendicularidad) en las características datum secundaria y terciaria con respecto al datum primaria. Para ello, podría ser suficiente un perfil de superficie predeterminado aplicado a una nota general a toda la pieza.

Cuando una característica de tamaño se usa como característica datum, el tamaño de la tolerancia proporciona automáticamente el control de forma con la Regla #1 (véase la sección 20-4). Además, cuando el control de posición se utiliza para ubicar una característica datum de tamaño, se le proporcionará automáticamente el control de orientación del datum.

3. Ubicar las características.

Todas las características tienen superficies que necesitan ser ubicadas con respecto a los datums apropiados. La mejor estrategia para la mayoría de las situaciones es utilizar dimen-

siones básicas para ubicar la posición real de cada característica, acompañadas por uno o más controles geométricos apropiados. Se puede establecer un control de perfil de superficie predeterminado con una nota general.

4. Acotar y localizar las características de tamaño.

Las características de tamaño deben estar acotadas y ubicadas. Los tres pasos siguientes son típicos: 1) Ubicar la posición real del eje central o del plano central de cada característica de tamaño con las dimensiones básicas. 2) Dimensionar directamente el tamaño de la característica, incluyendo una tolerancia más/menos. 3) Fijar un control de posición al tamaño de la característica en cuestión para establecer los límites para la ubicación y la orientación. Para características de tamaño cilíndricas que son coaxiales a un eje datum, el control de alabeo o el perfil de la superficie se pueden utilizar en lugar del control de posición. La tolerancia de tamaño de la característica de tamaño automáticamente proporciona control de forma a través de la Regla #1.

5. Afinar la orientación y la forma de las características, si es necesario.

Si alguna característica necesita un control más estricto, en orientación o forma, que el proporcionado por los pasos anteriores, se pueden añadir controles adicionales.

En el ejemplo siguiente se muestra este proceso.

EJEMPLO 20-1

Solución

Interpretar y explicar la notación DG&T para la pieza mostrada en la figura. 20-3.

Dado que esta pieza ya se ha dibujado, se utilizarán los cinco pasos para organizar la explicación, en vez de para tomar decisiones.

1. Seleccionar las características datum.

Las características datum que se han identificado con los símbolos datum son la cara posterior y los bordes izquierdo e inferior. No se especifican las necesidades funcionales de la pieza, pero la elección de estos datums es bastante común para este tipo de placa rectangular simple. Observe que la llamada para el datum B no se coloca en línea con la dimensión, lo que indica que el datum está en el borde de la pieza en vez de en el plano central de la pieza. Puesto que las características se colocan con respecto al datum, la elección de este indica que es más importante mantener la distancia del agujero al borde que asegurarse de que está centrado. La cara posterior es un buen datum primario (como se indica en el control de posición del agujero), ya que tiene el tamaño suficiente para estabilizar la pieza con respecto a tres grados de libertad, mientras se fijan los demás datums. También es probable que la superficie posterior esté en contacto con una pieza de acoplamiento.

2. Controlar las características datum.

Una especificación de planicidad asegura que la superficie de la característica datum A no varía más de 0.003. Este es un control común para un datum primario que es una superficie plana, especialmente si se debe colocar con una superficie de acoplamiento. La característica datum B, la superficie izquierda de la pieza, ha de ser perpendicular a la cara posterior, dentro de una zona de tolerancia entre dos planos paralelos separados por una distancia de 0.005. Tenga en cuenta que la envolvente generada por este control de orientación también restringe la forma de esta superficie (p. ej., la planicidad y la rectitud). La característica datum C debe ser perpendicular a las características datum A y B, dentro de una zona de tolerancia de 0.005.

3. Ubicar las características.

Todas las características de esta pieza son características de tamaño, que se manejan en el siguiente paso.

4. Acotar y localizar las características de tamaño.

Existen cuatro características de tamaño: el agujero, y la altura, el ancho y el espesor de la placa. Las características de la placa no necesitan ser ubicadas debido a que cada dimensión comienza en una de las características datum. En consecuencia, las tres dimensiones de la placa solo necesitan una dimensión de tolerancia directa.

La característica agujero está situada en función de las dimensiones básicas de los datum B y C. El diámetro del agujero se especifica para estar dentro del rango de 1.000 a 1.002. El control de posición del agujero indica que el eje central de este debe encontrarse dentro de una zona de tolerancia cilíndrica que tiene un diámetro de 0.003 si el agujero se fabrica a su CMM de 1.000. La zona de tolerancia podría aumentar hasta 0.005 según aumenta el diámetro del agujero de 1.000 a 1.002. La zona de tolerancia se determina con la pieza inmovilizada con respecto a los tres datums, aplicando primero el datum A de la superficie posterior, luego el borde lateral correspondiente al datum B, y por último el borde inferior del datum C. El cambio en este orden podría modificar la posición y orientación de la zona de tolerancia del agujero. Tenga en cuenta que la dicha zona, además de proporcionar una tolerancia para la posición del eje, también limita la orientación del eje del agujero. Se podría haber definido otro control de orientación si la misma zona de tolerancia no fuera adecuada para la posición y para la orientación.

5. Afinar la orientación y la forma de las características, si fuera necesario.

No se especifican controles adicionales, por lo que aparentemente no es necesario seguir afinando. Siempre es bueno hacerse una idea de lo lejos que se podría estar de la geometría real de la pieza producida aún estando dentro de las especificaciones. Por ejemplo, piense lo plana que podría ser la cara frontal (la opuesta al datum A). Dado que el espesor de la placa es una característica de tamaño, la cara frontal se controla con la Regla #1, es decir, el tamaño de la tolerancia también establece una envolvente para controlar la forma. La tolerancia de tamaño permite que el espesor varíe entre 1.9 y 2.1. Dado que el datum de la cara posterior puede variar solo 0.003, la mayoría de las tolerancias de tamaño pueden realizarse con una cara frontal curvada, doblada u ondulada. La placa puede tener un espesor de 1.9 en uno de los bordes y 2.1 en el otro. Si esto no es aceptable, el control de la Regla #1 se debería revocar por otro refinamiento más específico.

Hay muchos conceptos de DG&T que no han sido abordados en este breve capítulo introductorio. Es necesaria una gran formación para adquirir la competencia en la definición de controles geométricos apropiados para lograr la función deseada. Sin embargo, las capacidades básicas para “leer” un dibujo no deben estar fuera de nuestro alcance. En el siguiente ejemplo se ofrece una oportunidad para practicar.

EJEMPLO 20-2

Interpretar y explicar la notación DG&T para la pieza mostrada en la figura 20-34.

Solución

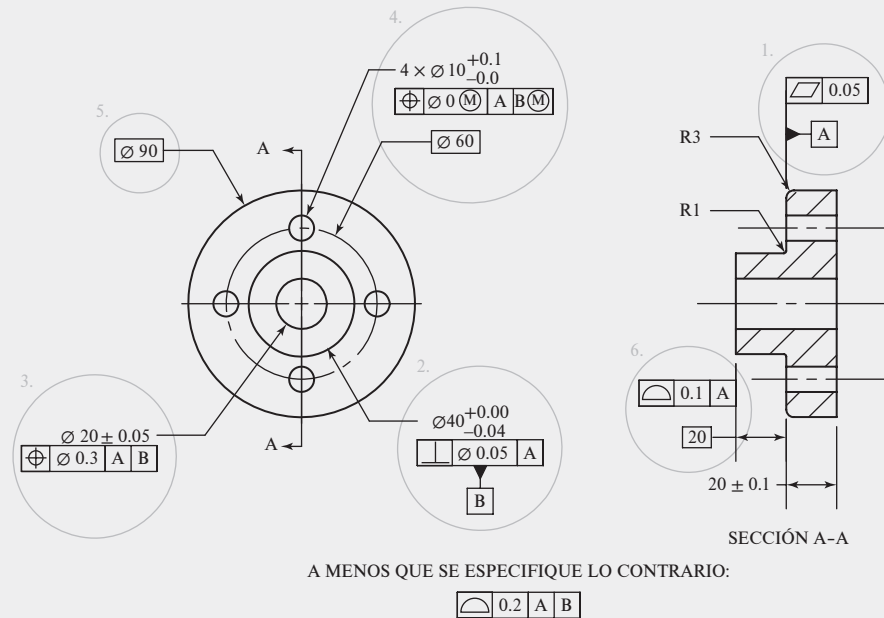
Los diversos aspectos del dibujo están rodeados y marcados con números de nota que se relacionan con las explicaciones incluidas a continuación.

Nota 1. La cara frontal se define como una característica datum y se utiliza como datum primario para varios controles geométricos en el dibujo. Dado que se selecciona la cara frontal como datum, en lugar de la cara posterior, es probable que esta superficie se ajuste con una superficie de acoplamiento. Funcionalmente, este ajuste es, aparentemente, más importante que la cara posterior.

El control de planicidad es común para una superficie que es un datum primario. Toda la superficie debe caber dentro de una zona de tolerancia definida por dos planos paralelos separados por una distancia de 0.05.

Nota 2. Examine la superficie exterior del cilindro que sobresale, que se identificó como una característica datum. Dado que es una característica de tamaño, el datum es el eje central. Para ser más precisos, el datum es el eje central teóricamente perfecto de la imperfecta superficie exterior, determinada por la envolvente de acoplamiento real no asociada. Tenga en cuenta que si la cavidad que atraviesa el centro de la pieza ha sido

Figura 20-34



elegida como característica datum, este también sería un eje central, pero no precisamente el mismo. El hecho de que se haya seleccionado la superficie exterior indica que puede haber un mayor precedente funcional de la cavidad. Quizá la cara cilíndrica exterior encaje con otra cavidad de una pieza de acoplamiento. Aunque no se especifica la función de la pieza, los requisitos geométricos de las necesidades funcionales son claras, y la pieza se debe fabricar e inspeccionar en consecuencia.

Cada característica de tamaño se debe controlar con los cuatro atributos geométricos: tamaño, posición, orientación y forma. Considere cada uno por separado para la superficie exterior del cilindro que sobresale.

El tamaño del cilindro se especifica directamente. El diámetro en cualquier sección transversal debe estar dentro del rango establecido de 39.06 a 40.00.

El eje central de una característica de tamaño se debe ubicar, generalmente, por medio de dimensiones básicas. En este caso, ya que se trata de una característica datum, su propio eje central pasa a formar parte de la definición del origen de la trama de referencia de los datum. La posición de la característica está en el origen, por lo que no son necesarias nuevas dimensiones básicas para ubicarlo.

La orientación de esta característica cilindro se controla con el control de perpendicularidad. Este requiere que el eje central de la característica se encuentre dentro de una zona de tolerancia cilíndrica cuyo diámetro es 0.05. La zona de tolerancia es exactamente perpendicular al plano datum A; se permite que el eje central de la característica llegue hasta el tope de la zona de tolerancia.

Para esta característica no se han especificado controles de forma. La forma de su superficie está controlada, de forma predeterminada, a través de la Regla #1 para características de tamaño. La Regla #1 requiere que la superficie del cilindro se encuentre dentro de la envolvente cilíndrica perfecta con diámetro CMM de 40.00.

Esta característica de tamaño está controlado en todos los aspectos: tamaño, posición, orientación y forma.

Nota 3. Ahora considere la cavidad central. Esta es una característica de tamaño, por lo que su tamaño y tolerancia se especifican directamente. Su forma se controla con la Regla #1. En consecuencia se sitúa, ya que no se dan las dimensiones básicas, en el origen del marco de referencia del datum. Su orientación y posición se controlan con el control de posición. Este define una zona de tolerancia cilíndrica, que se colocó por primera vez

perpendicular al plano datum A y, a continuación, se centró en el eje datum definido a partir de característica datum B. Ya no se ha especificado ningún modificador material en la tolerancia, se aplica la condición predeterminada de independencia del *tamaño de la característica (RFS)*. Por lo tanto, el diámetro de la zona de tolerancia es una constante 0.3, independiente del tamaño al que se produzca realmente la característica.

Nota 4. Los cuatro agujeros se definen colectivamente como un patrón. Son características de tamaño, por lo que las dimensiones y tolerancias de sus diámetros se definen directamente, y sus superficies no deben exceder la envolvente perfecta con diámetro CMM de 10 (Regla #1). Su posición se especifica con la dimensión básica 60 para el círculo de pernos, así como por el hecho de que están espaciados en 90 grados alrededor del círculo de pernos.

El control de posición indica también el control de orientación y la posición. Específicamente, el control de posición requiere que el eje central de cada agujero se encuentre dentro de una zona de tolerancia cilíndrica. Las llamadas al datum requieren que esta zona de tolerancia sea primero perpendicular al datum A, y se centre, a continuación, en la posición real, medida con respecto al eje datum B. El modificador (M) que acompaña al datum B permite un poco más de margen sobre el total del patrón del agujero si la característica datum B se produce con un diámetro menor que su CMM.

El valor de tolerancia cero en el control de posición no significa que no se permite tolerancia, ya que va acompañado del modificador (M). Esto es lo que se conoce como *tolerancia cero* en CMM. El significado es que el diámetro de la zona de tolerancia es cero si el agujero se produce con su diámetro CMM de 10, pero crece en un diámetro de 0.1 según aumenta el diámetro CMM de 10.1. Por lo tanto, el eje del agujero tendrá que estar perfectamente ubicado y orientado si el agujero se produce con su CMM de 10, pero puede desviarse de la perfección si el agujero se produce con un tamaño más grande.

Nota 5. Esta característica cilíndrica es de tamaño, y se podría haber dimensionado y definido su tolerancia directamente. En su lugar, se especifica con una dimensión básica de 90 sin tolerancia ni control geométrico a la vista. Esto no significa que tenga que ser perfecta. Significa que está controlada con el perfil de tolerancia predeterminado que se indica en la parte inferior del dibujo. La superficie cilíndrica ideal se dimensiona primero con un diámetro básico de 90, y se coloca con respecto a los datums A y B. A continuación, se centra una zona de tolerancia alrededor de esta superficie ideal con una tolerancia total de 0.2. En este caso, la zona de tolerancia es el espacio entre dos cilindros concéntricos con diámetros de 89.8 y 90.2 (una diferencia radial de 0.2). Esta zona de tolerancia controla todos los atributos geométricos: tamaño, posición, orientación y forma.

Nota 6. La dimensión básica de 20 localiza la superficie ideal de la cara delantera del cilindro que sobresale. El control del perfil de la superficie requiere que la cara frontal se encuentre dentro de una zona de tolerancia consistente en el espacio de 0.1 existente entre dos planos centrados alrededor de la superficie ideal, donde cada plano es paralelo al datum A. Esto efectivamente establece la posición de la cara (una distancia de 19.95 a 20.05 del datum A), así como la planicidad de la cara, y el paralelismo de la cara con respecto al datum A.

20-8

DG&T en los modelos CAD

Muchas industrias utilizan el diseño asistido por ordenador 3D (CAD) para algunas o para todas las fases de la ingeniería, la fabricación y la inspección del ciclo de vida del producto. La normativa que lo regula es ASME Y14.41-2003, Digital Production Definition Data Practices. La norma se ocupa de muchos aspectos de los requisitos prácticos y de la interpretación de datos CAD. Define el uso de DG&T en un entorno digital donde las especificaciones están incrustadas directamente en el conjunto de datos, no solo visual, sino también funcionalmente.

La mayoría de los conceptos de DG&T se aplican directamente a los modelos digitales. La diferencia significativa en los modelos CAD frente a los 2D es que el modelo CAD representa el ideal de la geometría de la pieza. Cualquier dimensión se puede consultar en el modelo y se puede obtener la dimensión exacta (ideal). En efecto, se pueden utilizar directamente los datos ideales en operaciones de fabricación asistidas por computadora. Esto conduce a la idea errónea de que una pieza fabricada directamente a partir del modelo en una máquina controlada por un control numérico computarizado (CNC) sería perfecta. De hecho, la fabricación con CNC tiene los mismos requisitos que los métodos de fabricación manual en lo que se refiere a la necesidad de especificar e inspeccionar las tolerancias geométricas.

La norma Y14.41-2003 permite que *todos* los datos de geometría se consideren *fundamentales*, salvo que sea reemplazada por una dimensión con tolerancia o se defina como una dimensión de referencia. Los controles geométricos se aplican a los modelos de datos 3D para controlar las características de la misma manera que en los dibujos 2D. La tolerancia directa solo se recomienda para características de tamaño. Básicamente, DG&T funciona igual en los modelos 3D que en los dibujos 2D, excepto que en los modelos 3D las dimensiones básicas no se tienen que mostrar, ya que se sobreentiende que todas las dimensiones son básicas. La figura 20-35 muestra el modelo sólido en 3D de la pieza utilizada en el ejemplo 20-2, con los elementos DG&T correspondientes incrustados en los datos CAD.

El proceso en marcha de transición a la representación digital en 3D trae consigo la posibilidad de una mayor integración de los distintos procesos de diseño, análisis y fabricación. Por ejemplo, se puede acceder directamente a la información de dimensionamiento geométrico y de tolerancia incrustada para la planeación de procesos y el análisis de tolerancias.

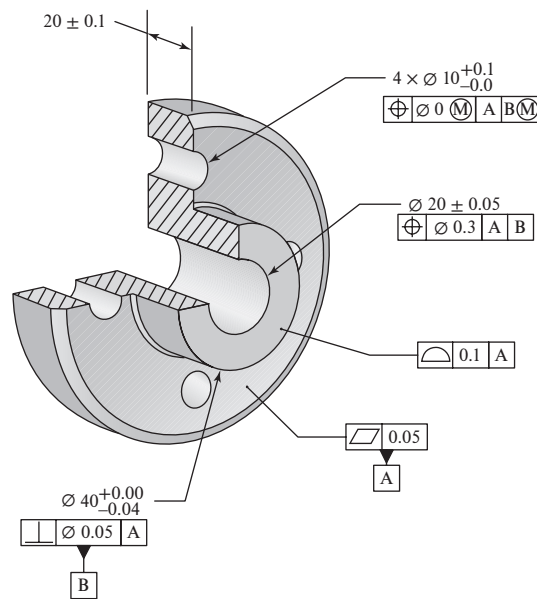
20-9

Glosario de términos de DG&T

La mayoría de los conceptos en DG&T son sencillos, pero el vocabulario para describirlos puede parecer abrumador al principio. La razón es que debe ser lo suficientemente preciso para ser coherente e inequívoco. Para facilitar la consulta, en esta sección se resumen algunos de los términos más comúnmente utilizados en DG&T.

Figura 20-35

Ejemplo de DG&T aplicado a un modelo CAD 3D.



- Atributos geométricos:** los cuatro grandes atributos (tamaño, posición, orientación y forma) que se deben considerar para definir geoméricamente una característica. Este término no está definido estrictamente por DG&T.
- Característica:** término general que hace referencia a una porción física de una pieza claramente identificable, como un agujero, un perno, una ranura, una superficie o un cilindro.
- Característica datum:** superficie física real de la pieza que se especifica con el fin de establecer un datum teóricamente exacto.
- Característica de tamaño, irregular:** característica con la tolerancia definida directamente o colección de características que pueden contener o ser contenidas en una envolvente de acoplamiento real.
- Característica de tamaño, regular:** superficie cilíndrica, superficie esférica, elemento circular o conjunto de dos elementos o superficies paralelos opuestos asociado con una dimensión tolerancia definida directamente. Una característica de tamaño regular tiene un tamaño que se puede medir entre dos puntos opuestos, y tiene un punto central, eje o plano central reproducible.
- Características geométricas:** las 14 características definidas en la tabla 20-1 que están disponibles para controlar algún aspecto de una tolerancia geométrica de una característica. Un símbolo de características geométricas es el primer elemento en cualquier marco de control de características.
- Condición de máximo material (CMM):** condición por la cual una característica de tamaño contiene la mayor cantidad de material dentro de los límites indicados de tamaño (por ejemplo, el mínimo diámetro de un agujero o el máximo diámetro de un eje). Se puede especificar como un modificador de la tolerancia en un marco de control de características con el símbolo \textcircled{M} .
- Condición de mínimo material (CmM):** condición por la cual una característica de tamaño contiene la menor cantidad de material dentro de los límites indicados de tamaño (p. ej., el máximo diámetro de un agujero o el mínimo diámetro de un eje). Se puede especificar como un modificador de la tolerancia en un marco de control de características con el símbolo \textcircled{L} .
- Condición virtual:** constante límite del “caso peor” definida por los efectos conjuntos de las condiciones de tamaño, de la tolerancia geométrica y del material de una característica.
- Datum:** teóricamente un punto, un eje, una línea o un plano exacto derivado de un simulador de características datum, usado como origen para mediciones repetibles.
- Datum de tamaño:** característica datum que es una función de su tamaño y, por lo tanto, sujeta a variaciones de tamaño basadas en tolerancias más/menos.
- Dimensión básica:** dimensión teóricamente exacta que idealmente ubica y/u orienta la zona de tolerancia de una característica. No tiene una tolerancia asociada directamente con ella, sino que está asociada con un control geométrico de una zona de tolerancia. Las dimensiones básicas se marcan con un cuadro alrededor de la dimensión, o con una nota general.
- Eje:** línea que define el centro de una característica cilíndrica, establecida a partir del eje teórico de la envolvente de acoplamiento real de las extremidades de la característica cilíndrica.
- Eje datum:** eje teórico de una característica datum cilíndrica, fijado a partir de una envolvente de acoplamiento real no asociada de las extremidades de la característica cilíndrica.
- Envolvente de acoplamiento real:** una contraparte perfectamente formada de una característica de tamaño imperfecta, que se pueden superponer sobre una característica externa, o ampliarse dentro de una característica interna, de modo que toque los puntos más extremos de la superficie de la característica.
- Envolvente de acoplamiento real, asociada:** envolvente de acoplamiento real que se ajusta al tamaño de la característica manteniendo ciertas restricciones en la orientación o posición con respecto a un datum.
- Envolvente de acoplamiento real, no asociada:** envolvente de acoplamiento real que se ajusta al tamaño de la característica sin ninguna restricción a cualquier datum.

- Independencia del límite de material (RMB):** indica que un simulador de características datum cambia de LMM a LmM, hasta que logra el máximo contacto con las extremidades de una(s) característica(s). Es la condición predeterminada para una referencia datum sin símbolo modificador (es decir, \textcircled{L} o \textcircled{M}).
- Independencia del tamaño de la característica (RFS):** indica que se aplica la tolerancia indicada, independientemente del tamaño real al que se fabrique la característica. Es la condición predeterminada para una tolerancia sin símbolo modificador (es decir, \textcircled{L} o \textcircled{M}).
- Límite de máximo material (LMM):** límite definido por una tolerancia o combinación de tolerancias que existe en o fuera del material de una(s) característica(s). Cuando se aplica como un modificador a una referencia datum en un marco de control de características con el símbolo \textcircled{M} , fija el simulador de característica datum en un límite determinado por los efectos combinados de tamaño (máximo material) y todas las tolerancias geométricas aplicables.
- Límite de mínimo material (LmM):** límite definido por una tolerancia o combinación de tolerancias que existe dentro o sobre el material de una(s) característica(s). Cuando se aplica como un modificador a una referencia datum en un marco de control de características con el símbolo \textcircled{L} , fija el simulador de característica datum en un límite determinado por los efectos combinados de tamaño (mínimo material) y todas las tolerancias geométricas aplicables.
- Línea media derivada:** “línea” imperfecta formada por los puntos centrales de todas las secciones transversales de una característica, donde las secciones transversales son normales al eje de la envolvente de acoplamiento real no asociada de la característica.
- Marco de control de características:** caja rectangular adjunta a una característica de un dibujo, que contiene la información necesaria para definir la zona de tolerancia de la característica especificada.
- Marco de control de características combinado:** marco de control de características de dos o más marcos de control de características, cada una con un símbolo de característica geométrica. Los controles geométricos se aplican a la característica, en orden de arriba a abajo.
- Marco de control de características compuesto:** marco de control de características de dos o más marcos de control de características que comparten un símbolo de característica geométrica común.
- Marco de la zona de tolerancia relacionada con la característica (FRTZF):** marco de la zona de tolerancia que rige la relación posicional de una característica a otra dentro de un patrón de características. Se especifica en la fila inferior de un marco de control de características compuesta.
- Marco de la zona de tolerancia ubicación-patrón (PLTZF):** marco de la zona de tolerancia que rige la relación posicional entre un patrón de características y las características datum. Se especifica en la fila superior de un marco de control de características compuesta.
- Marco de referencia datum:** conjunto de hasta tres planos perpendiculares entre sí que se definen como el origen de la medición para localizar las características de una pieza.
- Modificador de condición de material:** símbolo de modificador, \textcircled{L} o \textcircled{M} , aplicado a una tolerancia geométrica para indicar que esta se aplica a la condición de máximo o mínimo material, respectivamente. La ausencia de un modificador de condición de material indica que la tolerancia se aplica a todas las condiciones de material, es decir, independientemente del tamaño de la característica (RFS).
- Plano central:** plano teóricamente situado en el centro de una característica no cilíndrica de tamaño, fijado a partir del plano central de una envolvente de acoplamiento real de las extremidades de la característica.
- Plano medio derivado:** “plano” imperfecto formado por los puntos centrales de todos los segmentos lineales limitados por una característica, donde los segmentos lineales son normales al plano central de la envolvente de acoplamiento real no asociada de la característica.
- Principio de la envolvente:** véase la definición de la Regla #1, a continuación.
- Regla #1:** cuando solo se especifica una tolerancia de tamaño (es decir, una tolerancia más/menos) para una característica de tamaño, los límites de tamaño prescriben la medida en

la que se permite la variación de su forma geométrica, así como de su tamaño. La superficie de una característica de tamaño no puede extenderse más allá de una envolvente de forma perfecta en CMM. Esta regla también se conoce como el principio de la envolvente.

Simulador de característica datum: representación precisa, como una placa de superficie, un calibre o una máquina herramienta, del datum descrito por una característica datum imperfecta.

Tolerancia: cantidad total que se permite variar a una dimensión concreta, entre los límites máximo y mínimo.

Tolerancia extra: tolerancia adicional que se aplica a una característica cuando su tamaño cambia de una condición material declarada de CMM o CmM.

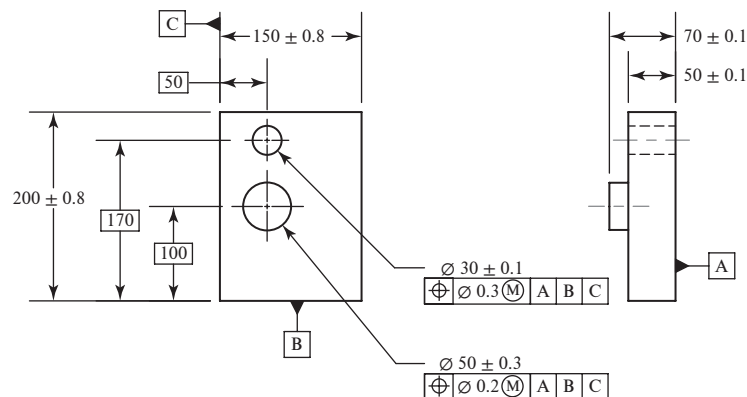
Zona de tolerancia: límite dentro del cual se debe contener la característica real.

PROBLEMAS

- 20-1** En el sistema tradicional de dimensionamiento de coordenadas, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera? (Seleccione una).
- Solo las “características de tamaño” deben incluir una tolerancia.
 - Solo las dimensiones que son importantes deben incluir una tolerancia.
 - Solo las dimensiones que necesitan ser controladas estrictamente deben incluir una tolerancia.
 - Todas las dimensiones deben incluir una tolerancia.
- 20-2** En DG&T, ¿qué tipo de dimensión debe marcarse con una tolerancia más/menos?
- 20-3** ¿Qué propósito subyacente enfatiza la norma *ASME Y14.5-2009* en el dimensionamiento y la tolerancia de una pieza? (Seleccione uno).
- El método de fabricación.
 - El propósito del diseño.
 - El proceso de inspección.
 - Igual atención a todas las anteriores.
- 20-4** ¿Cuál es el término que denota a una característica cuyo tamaño se puede medir desde dos puntos opuestos?
- 20-5** ¿Cuáles son los cuatro atributos geométricos que se deben considerar para definir la geometría de una característica de una pieza?
- 20-6** ¿Cuáles son las cuatro características geométricas que proporcionan control de forma?
- 20-7** ¿Cuáles son las tres características geométricas que proporcionan control de orientación?
- 20-8** ¿Cuáles son las tres características geométricas que proporcionan control de posición? ¿Cuál de los tres es el que más se usa?
- 20-9** ¿Cómo es una dimensión básica con tolerancia? (Seleccione uno).
- Las dimensiones básicas reciben la tolerancia predeterminada especificada en el bloque de título.
 - Las dimensiones básicas no tienen tolerancia.
 - Las dimensiones básicas reciben la tolerancia desde un marco de control de características asociadas.

20-10 Para la pieza mostrada, identificar todas las características de tamaño.

Problemas 20-10 a 20-14



20-11 Para la pieza indicada, identificar claramente cada uno de los siguientes, con etiquetas y bocetos en el dibujo.

- Características datum A, B y C.
- Datums A, B y C.
- Marco de referencia datum sobre la base de características datum A, B y C.

20-12 Para la pieza mostrada, la posición ideal del cilindro saliente se ubica con la dimensiones básicas 100 y 50. ¿A partir de cuál de los siguientes se miden estas dimensiones básicas? (Seleccione uno).

- Los límites físicos de la pieza.
- Los puntos superiores de los límites físicos de la pieza.
- Los puntos inferiores de los límites físicos de la pieza.
- Los planos datum teóricos B y C.

¿A cuál de los siguientes ubica las dimensiones básicas? (Seleccione uno).

- La posición física del eje central del cilindro saliente.
- El eje central del cilindro saliente como viene determinado por la envolvente del acoplamiento real del botón.
- La posición ideal del eje central de la zona de tolerancia especificada por el control de posición.

Si la pieza se fabrica e inspecciona, ¿a partir de cuál de los siguientes se medirá la posición del cilindro saliente? (Seleccione uno).

- Los límites físicos de la pieza.
- Los puntos superiores de los límites físicos de la pieza.
- Los puntos inferiores de los límites físicos de la pieza.
- Los datums teóricos B y C.
- Los simuladores de la característica datum de las características datum B y C.

20-13 Para la pieza mostrada, conteste las siguientes preguntas relativas al cilindro saliente.

- ¿Cuáles son los diámetros mínimo y máximo permitidos para el cilindro saliente?
- ¿Cuál es el efecto de la tolerancia de posición de 0.2 en los diámetros especificados en la pieza a)?
- El control de posición define una zona de tolerancia. Concretamente, ¿qué debe permanecer dentro de esa zona de tolerancia?
- ¿Cuál es el diámetro de la zona de tolerancia si el cilindro saliente se fabrica con un diámetro de 50.3?
- ¿Cuál es el diámetro de la zona de tolerancia si el cilindro saliente se fabrica con un diámetro de 49.7?
- Describa la importancia de las referencias datum en la determinación de la zona de tolerancia de la posición.
- ¿Cuál es la tolerancia de perpendicularidad con respecto al datum A? (Seleccione uno).
 - No definido.
 - Controlado por la tolerancia de posición: 0.2 para CMM y 0.5 para CmM.
 - Controlado por la tolerancia de tamaño: 0.3.
 - Deben estar perfectamente perpendiculares: 0.

- h) ¿Qué controla la cilindridad? (Seleccione uno).
- No hay control sobre la cilindridad.
 - De la Regla #1, la envolvente de un cilindro perfecto con diámetro de 50.
 - De la Regla #1, la envolvente de un cilindro perfecto con diámetro de 50.3.
 - Desde el control de posición, el eje central de cada sección transversal debe estar dentro de la zona de tolerancia cilíndrica de 0.2.

20-14 Para la pieza mostrada, conteste las siguientes preguntas con respecto al agujero.

- ¿Cuáles son los diámetros mínimo y máximo permitidos para el agujero?
- ¿Cuál es el efecto de la tolerancia de posición de 0.3 en los diámetros especificados en la pieza a)?
- El control de posición define una zona de tolerancia. Concretamente, ¿qué debe permanecer dentro de esa zona de tolerancia?
- ¿Cuál es el diámetro de la zona de tolerancia si el agujero se fabrica con un diámetro de 30.1?
- ¿Cuál es el diámetro de la zona de tolerancia si el agujero se fabrica con un diámetro de 29.9?
- Describa la importancia de las referencias datum en la determinación de la zona de tolerancia de la posición.
- ¿Cuál es la tolerancia de perpendicularidad con respecto al datum A? (Seleccione uno).
 - No definido.
 - Controlado por la tolerancia de posición: 0.3.
 - Controlado por la tolerancia de tamaño: 0.1.
 - Deben estar perfectamente perpendiculares: 0.
- ¿Qué controla la cilindridad? (Seleccione uno).
 - No hay control sobre la cilindridad.
 - De la Regla #1, la envolvente de un cilindro perfecto con diámetro de 30.
 - De la Regla #1, la envolvente de un cilindro perfecto con diámetro de 29.9.
 - Desde el control de posición, el eje central de cada sección transversal debe estar dentro de la zona de tolerancia cilíndrica de 0.2.

20-15 Describir cómo un eje central está determinada por un agujero físico que no está perfectamente formado.

20-16 Según el principio de la envolvente (Regla #1), la tolerancia de tamaño aplicada a una característica de tamaño controla tamaño y _____ de la característica. (Seleccione uno).

- ubicación
- orientación
- forma
- alabeo
- todo lo anterior.

20-17 Si el diámetro de un eje se dimensiona a 20 ± 0.2 , determinar el diámetro del eje en la CMM y en la CmM.

20-18 Si el diámetro de un agujero se dimensiona a 20 ± 0.2 , determinar el diámetro del agujero en la CMM y en la CmM.

20-19 El diámetro de un agujero se dimensiona a 20 ± 0.2 . De acuerdo con el control de forma proporcionado por el principio de la envolvente (Regla #1), ¿es la envolvente limitante un cilindro perfecto con diámetro de 19.8, de 20.2, o ambos? Explique su respuesta.

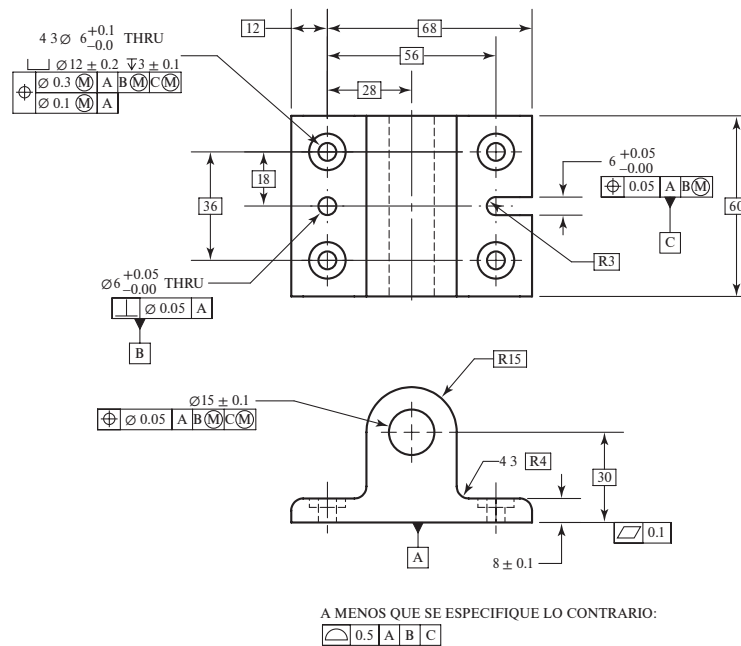
20-20 El diámetro de un eje se dimensiona a 20 ± 0.2 . De acuerdo con el control de forma proporcionado por el principio de la envolvente (Regla #1), ¿es la envolvente limitante un cilindro perfecto con diámetro de 19.8, 20.2, o ambos? Explique su respuesta.

20-21 El diámetro de un botón cilíndrico se dimensiona a 25 ± 0.2 . Se utiliza un control de posición para controlar la ubicación básica del cilindro saliente. Especifique los diámetros permitidos para la zona de tolerancia de posición si el cilindro saliente se fabrica con diámetros de 24.8, 25.0 y 25.2, para cada una de las siguientes especificaciones de tolerancia de posición:

- $\varnothing 0.1$
- $\varnothing 0.1 \text{ (M)}$
- $\varnothing 0.1 \text{ (L)}$

- 20-22** El diámetro de un agujero se dimensiona a $32_{-0.0}^{+0.4}$. Se utiliza un control de posición para controlar la ubicación básica del agujero. Especifique los diámetros permitidos para la zona de tolerancia de posición si el agujero se fabrica con diámetros de 32.0, 32.2 y 32.4, para cada una de las siguientes especificaciones de tolerancia de posición:
- a) $\varnothing 0.3$ b) $\varnothing 0.3(M)$ c) $\varnothing 0.3(L)$
- 20-23** ¿Cuál es el nombre de la característica geométrica que controla efectivamente una combinación de circularidad y rectitud de un cilindro?
- 20-24** ¿Cuál es el nombre de la característica geométrica que pueden especificarse en una nota para proporcionar una zona de tolerancia predeterminado para controlar el tamaño, la forma, la orientación y la posición de todas las características que no están controladas?
- 20-25** ¿Qué características geométricas nunca hacen referencia a los datums? ¿Por qué?
- 20-26** Responda a las siguientes preguntas sobre los modificadores de la condición de material.
- a) ¿Cuáles son los tres modificadores de la condición de material?
- b) ¿Cuál es el valor predeterminado si no se especifica nada?
- c) ¿Cuál puede proporcionar una tolerancia “extra”?
- d) ¿Cuál de las siguientes opciones aumenta por una tolerancia “extra”? (Seleccione uno).
- Una dimensión de tamaño.
 - Una tolerancia más/menos de una dimensión de tamaño.
 - Una dimensión básica que ubique una característica.
 - El tamaño de una zona de tolerancia que controle una característica.
- e) ¿A cuál de las siguientes se puede aplicar un símbolo de modificador de condición de material? (Seleccione uno).
- Una dimensión de tamaño.
 - Una tolerancia más/menos de una dimensión de tamaño.
 - Una tolerancia de una característica geométrica que controle una característica de tamaño.
 - Una tolerancia de una característica geométrica que controle cualquier función.
- f) ¿Qué modificador de condición de material debe considerarse si el objetivo es garantizar un espacio mínimo para colocar un tornillo en un agujero, dando una mayor flexibilidad a la fabricación si el agujero se fabrica con una mayor holgura?
- g) ¿Qué modificador de condición de material debe considerarse si el objetivo es proporcionar un ajuste con apriete consistente entre piezas intercambiables?
- h) ¿Qué modificador de condición de material debe considerarse si el objetivo es asegurar un espesor de pared mínimo para una fundición, dando una mayor flexibilidad a la fabricación si la pared se fabrica con un mayor grosor?
- 20-27** El dibujo que se muestra es de un dispositivo de montaje para ubicar y orientar una barra (que no se muestra) a través de la cavidad grande. El soporte se fija a un bastidor por medio de los cuatro agujeros que se avellan para ajustar las cabezas de los tornillos. Los agujeros del perno tienen demasiada holgura para alinear correctamente la varilla, por lo que el soporte se alineará con dos pasadores de centrado en el bastidor que encajará en el agujero y ranura de $\varnothing 6$.
- a) Determine el diámetro mínimo permitido para el avellanado.
- b) Determine la profundidad máxima permitida para el avellanado.
- c) Determine el diámetro de los agujeros del perno para la CMM.
- d) Identifique cada característica calificada como característica de tamaño.
- e) La anchura de la base se especifica con una dimensión básica de 60, sin tolerancia. (Tenga en cuenta que como característica de tamaño podría haber tenido una tolerancia especificada directamente). ¿Cuáles son las dimensiones mínimas y máximas permitidas para el ancho de la base? Explique cómo se determinan.
- f) Describa las características datum A, B y C. Describa sus correspondientes datums. Describa el marco de referencia datum que se define aplicando A, B y C, en ese orden. Describa cómo se estabiliza la pieza con estos datums. Explique por qué esto es más adecuado para esta aplicación que usar los bordes de la base para los datums B y C. (Observe que las dimensiones básicas se miden desde, o centradas en, los datums del marco de referencia datum).

Problemas 20-27



- g) Si la característica datum B se fabrica con un diámetro de $\varnothing 6.00$, ¿cuál es el diámetro de la zona de tolerancia en el que debe estar su eje? ¿Qué pasa si se fabrica con $\varnothing 6.05$?
- h) Si los agujeros de los pernos se fabrican con $\varnothing 6.0$, ¿cuál es el diámetro de las zonas de tolerancia que sitúa el patrón del agujero del tornillo con respecto a la posición real especificada por las dimensiones básicas? ¿Qué ocurre si los agujeros de los pernos se fabrican con $\varnothing 6.1$?
- i) Si los agujeros de los pernos se fabrican con $\varnothing 6.0$, ¿cuál es el diámetro de las zonas de tolerancia que sitúa la posición de los agujeros del perno, unos con respecto a otros? ¿Qué pasa si los agujeros del perno se fabrican con $\varnothing 6.1$?
- j) Explicar por qué el modificador (M) es apropiado para la tolerancia de la posición del agujero del perno.
- k) Para la cavidad grande, explicar qué proporciona el control de cada una de las siguientes características: orientación, rectitud de su eje central y cilindricidad de su superficie.
- l) Asuma que la pieza es de fundición, y que la operación de fundición puede proporcionar un perfil de superficie con tolerancia inferior a 0.5. ¿Qué superficies probablemente se puedan dejar en el estado de fundición sin comprometer ninguno de los requisitos del dibujo? ¿Cómo cambiaría si se modificase el dibujo para utilizar los bordes de la base como características datum B y C, mientras que se mantienen aún las metas funcionales para la alineación de la barra?