

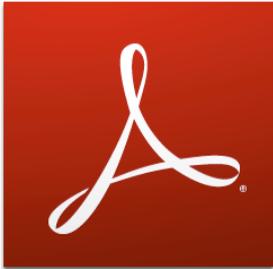
INTRODUCCIÓN AL SISTEMA ISO GPS. TOLERANCIAS DIMENSIONALES.



Grupo de Innovación Educativa Ingeniería de Fabricación



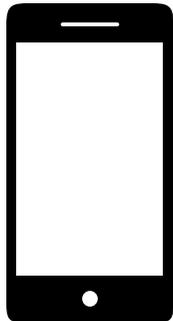
Pedro Manuel Hernández Castellano
 Eduardo Alberto Taboada Margalejo
 Juan Isidro Rodríguez Perdomo
 María Dolores Marrero Alemán
 Fernando Ortega García
 Pedro Socorro Perdomo
 Rubén Paz Hernández
 Pablo Bordón Pérez
 Luis Suárez García



Para un correcto aprovechamiento de todos los recursos contenidos en esta obra, es necesario utilizar el programa Adobe Reader versión X o superior.

Puede descargar, gratuitamente, la última versión de Adobe Reader en el siguiente URL:

<http://get.adobe.com/es/reader/>



El uso de esta obra en dispositivos electrónicos, móviles y tabletas está supeditado al desarrollo que realice Adobe Reader para este tipo de dispositivos



INTRODUCCIÓN



TOLERANCIAS
DIMENSIONALES



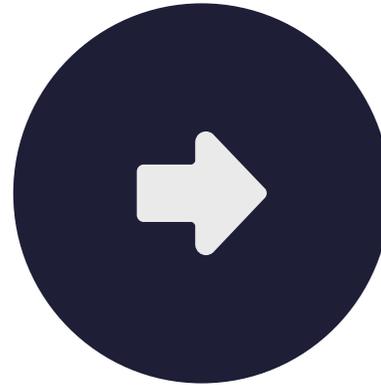
APLICACIONES



USABILIDAD



ANEXOS



INTRODUCCIÓN

Definiciones

Según la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO) la normalización es la actividad que tiene por objeto establecer, ante problemas reales o potenciales, disposiciones destinadas a usos comunes y repetidos, con el fin de obtener un nivel de ordenamiento óptimo en un contexto dado, que puede ser tecnológico, político o económico.

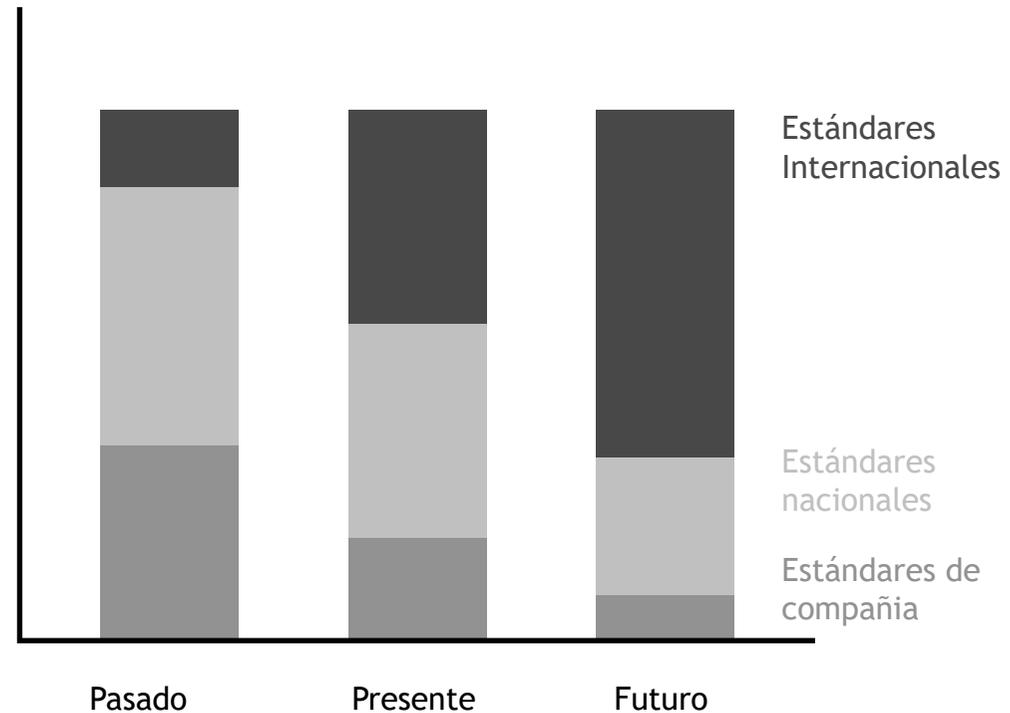
La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) establece que las normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empresa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica.



Objetivos

Disminuir el número de componentes diferentes, facilitando su diseño y fabricación, evitando duplicidades, incrementando su calidad, simplificando las necesidades de almacenamiento, suministro, y servicio post-ventas.

En la generación de las normas se trata de involucrar a los diferentes sectores implicados, como fabricantes, administración, usuarios o consumidores, laboratorios. Surgen como acuerdos de algunos fabricantes, que fueron ampliándose a grupos cada vez más amplios incluso de diferentes sectores productivos y a Organismos de ámbito nacional dedicados a la normalización.





La normalización es un proceso que trata de:

- Homogeneizar
- Unificar criterios
- Racionalizar el diseño
- Facilitar la intercambiabilidad

Se inicia con la industrialización en Gran Bretaña en el siglo XVIII. Supuso un avance notable pues cualquier producto requería de una fabricación artesanal y específica para cada uno de sus componentes. La división del trabajo y la especialización conllevó que se unificaran ciertos criterios, de modo que elementos que se fabrican de forma independiente, pudieran ensamblarse con otros componentes que fabricaban otras personas.

La racionalización del diseño, consiste en la simplificación del producto mediante soluciones de modularización de sistemas y componentes. Con ello se consigue facilitar el diseño, la fabricación, la operación, mantenimiento y fin de vida de ese producto.

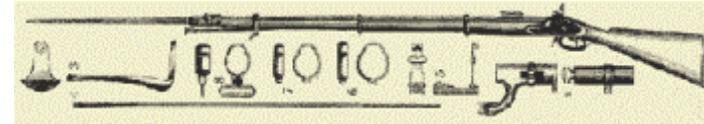
Conceptos básicos de la normalización

Consenso
Apertura
Relevancia
Transparencia
Imparcialidad
Coherencia
Efectividad

La intercambiabilidad

Este concepto surge a finales del siglo XVIII con la fabricación de armamento y municiones, con el objeto de mantener operativos estos equipos, y resultó en un factor decisivo en algunas contiendas bélicas. Se define como la posibilidad de tomar al azar de un lote de piezas semejantes, terminadas y verificadas; una cualquiera de ellas para realizar un ensamblaje, sin que haya necesidad de realizar ningún trabajo de ajuste, y a la vez estar seguro de que al terminar el conjunto funcione correctamente.

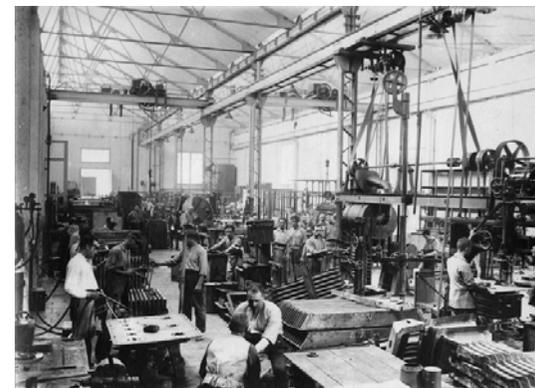
El requisito de intercambiabilidad entre las piezas obtenidas en serie y la inexactitud inherente al proceso de fabricación ha dado lugar a la necesidad de límites y ajustes para dichas piezas. Además la exactitud en la dimensión no es necesaria para la mayoría de los elementos geométricos de las piezas. Se ha demostrado que es suficiente fabricar una pieza dada de tal manera que su dimensión esté entre dos valores permitidos, la zona de tolerancia. Se define como la variación en dimensión aceptable en la fabricación, que asegure los requisitos funcionales del producto.



Revolución francesa (finales siglo XVIII)



Revolución industrial (finales siglo XIX)



En los procesos de fabricación nunca se obtienen piezas perfectas, apareciendo siempre desviaciones respecto a los valores óptimos, y entre las propias piezas de un mismo lote de fabricación.

Las especificaciones geométricas de productos, se ocupan de definir sus características a lo largo de las diferentes etapas de su ciclo de vida. Contemplan la forma o geometría, dimensiones y características superficiales de una pieza, con objeto de garantizar un funcionamiento óptimo de ésta. Entre estas especificaciones se encuentran las tolerancias de fabricación.

Las piezas fabricadas deben ser medidas con objeto de comprobar el cumplimiento o no de sus especificaciones. Se obtiene una información condicionada por el proceso de medición y por el equipo de medida empleado.

Es necesario pues establecer la relación existente entre:

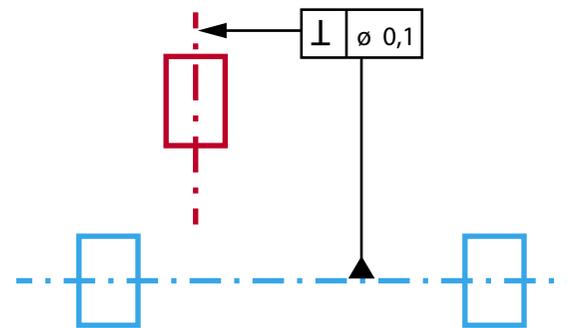
- la pieza creada por el diseñador
- la pieza real fabricada
- y la pieza efectivamente medida



El sistema ISO GPS (GEOMETRICAL PRODUCT SPECIFICATIONS) es el lenguaje internacional de símbolos que se emplean para expresar tolerancias en documentación técnica. Es el único lenguaje disponible mundialmente para comunicar requisitos geométricos de los productos.

El sistema GPS se desarrolla a través de la cooperación de más de 60 países y se documenta en las normas ISO publicadas por la Organización Internacional de Normalización. GPS es un desarrollo natural del sistema de tolerancias tradicional (Geometrical Dimensioning and Tolerancing, GD&T), que tiene sus orígenes en la primera mitad del siglo XX.

Se han agregado definiciones con mucho mayor detalle para la caracterización de productos, sin ambigüedades de las exigencias funcionales, con una base teórica robusta y coherencia global. Se han redefinido muchos conceptos y reditado antiguas normas de uso clásico en muchos sectores industriales. El Comité de Normalización ISO/TC 213: "Geometrical Product Specification and Verification", es el encargado de desarrollar la normalización relativa a las tolerancias dimensionales, geométricas y de acabado superficial, entre otras.



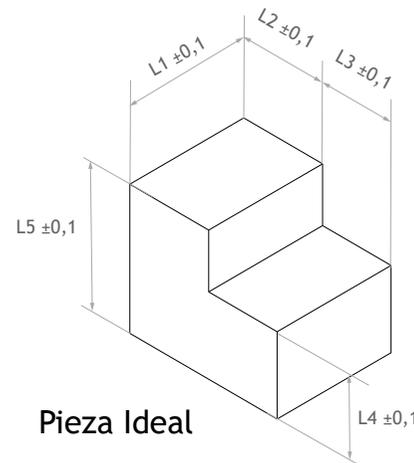
GD
&T



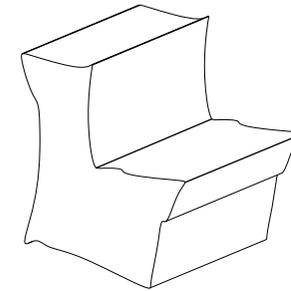
Una gran cantidad de documentación gráfica empleada en la Industria hoy presenta ambigüedades y no expresan realmente los requisitos funcionales de las piezas.

- Especificación inadecuada
- Tolerancias muy exigentes y muy caras

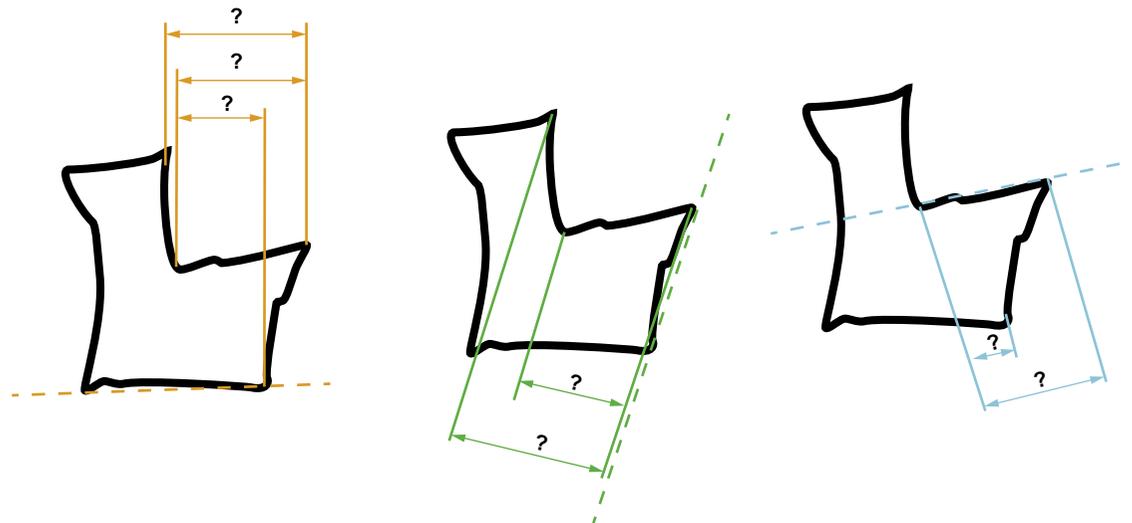
Estos dibujos imponen restricciones artificiales en la fabricación y en algunos casos permiten que piezas no funcionales sean aceptadas. Esto encarece la fabricación y puede producir problemas muy graves en la fase producción, que pudieran ser evitados con el empleo del sistema GPS. Se trata de una caja de herramientas que permite conseguir un lenguaje Universal y especificaciones precisas.



Pieza Ideal

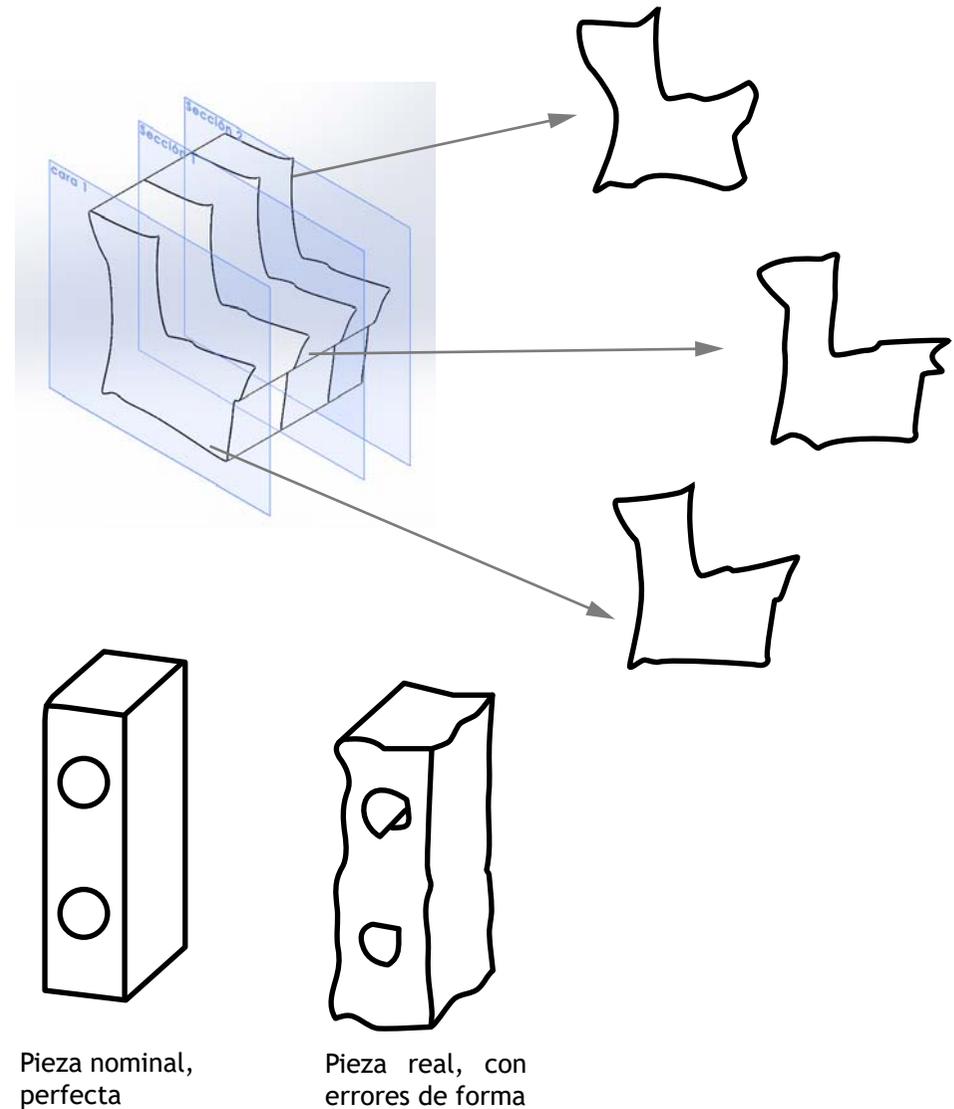


Pieza Real con errores de forma



Con el sistema GPS se logra una comunicación notablemente mejor, más detallada y precisa, entre el personal de diseño, fabricación y metrología. Estos beneficios se obtienen de interpretaciones menos ambiguas y de poder lograr hacerlo bien a la primera.

Un término clave para entender la ventaja del sistema GPS es la incertidumbre de especificación. Esta cuantifica la ambigüedad en un requisito de tolerancia cuando éste se aplica a una pieza real con errores de forma. Esta incertidumbre de la especificación puede plantear problemas legales y económicos si se hace subcontratación de servicios.



Según las normas fundamentales UNE-EN ISO 8015 e ISO 14638:2015 el sistema normas GPS se fundamenta en los siguientes pilares:

- Cubrir varios tipos de normas: Las GPS fundamentales se ocupan de reglas básicas de las especificaciones y recogen los principios y definiciones globales. Las GPS generales y complementarias se ocupan directamente de las características geométricas
- Cubrir todo tipo de características geométricas mediante las normas GPS generales, tales como dimensión o tamaño, distancia, ángulo, forma, situación, orientación, rugosidad, etc. Estudiar las características de las piezas como resultado de diferentes procesos de fabricación, y de las características de componentes específicos, a través de las normas GPS complementarias.
- Intervenir en las diversas etapas de desarrollo de un producto y en su ciclo de vida: diseño, fabricación, metrología, aseguramiento de la calidad, y otras. Las diferentes tipos de normas GPS forman lo que se denomina matriz GPS. Esta matriz permite una clasificación rápida de la normativa y un acceso a la información muy sencillo y directo.

NORMAS GPS FUNDAMENTALES

MATRIZ GPS GENERAL

Cadena de normas GPS generales

- 1.- Tamaño
- 2.- Distancia
- 3.- Forma
- 4.- Orientación
- 5.- Posición
- 6.- Alabeo
- 7.- Perfil de acabado superficial
- 8.- Área o zona de acabado superficial
- 9.- Defectos superficiales

MATRIZ GPS COMPLEMENTARIA

Cadena de normas GPS complementarias

- A. Normas sobre tolerancias en procesos específicos
 - A.1 Mecanizado
 - A.2 Fundición
 - A.3 Soldadura
 - A.4 Corte térmico
 - A.5 Moldeado plástico
 - A.6 Recubrimiento metálico y no orgánico
 - A.7 Pintura
- B. Normas sobre geometría de productos o componentes particulares
 - B.1 Roscas
 - B.2 Engranajes
 - B.3 Acanaladuras y chaveteros

En el sistema ISO GPS se han introducido 9 características geométricas, aunque es posible que se incluya alguna adicional en el futuro.

Cada una de estas características tienen asociadas un conjunto de normas relativas a la misma, que se define como cadena de normas.

Unas indican cómo definir la especificación, otras sobre cómo se miden esas características, y otras sobre como comparar las medidas con las especificaciones. Cada una de estas cadenas de normas están formadas por hasta 7 elementos o eslabones diferentes.

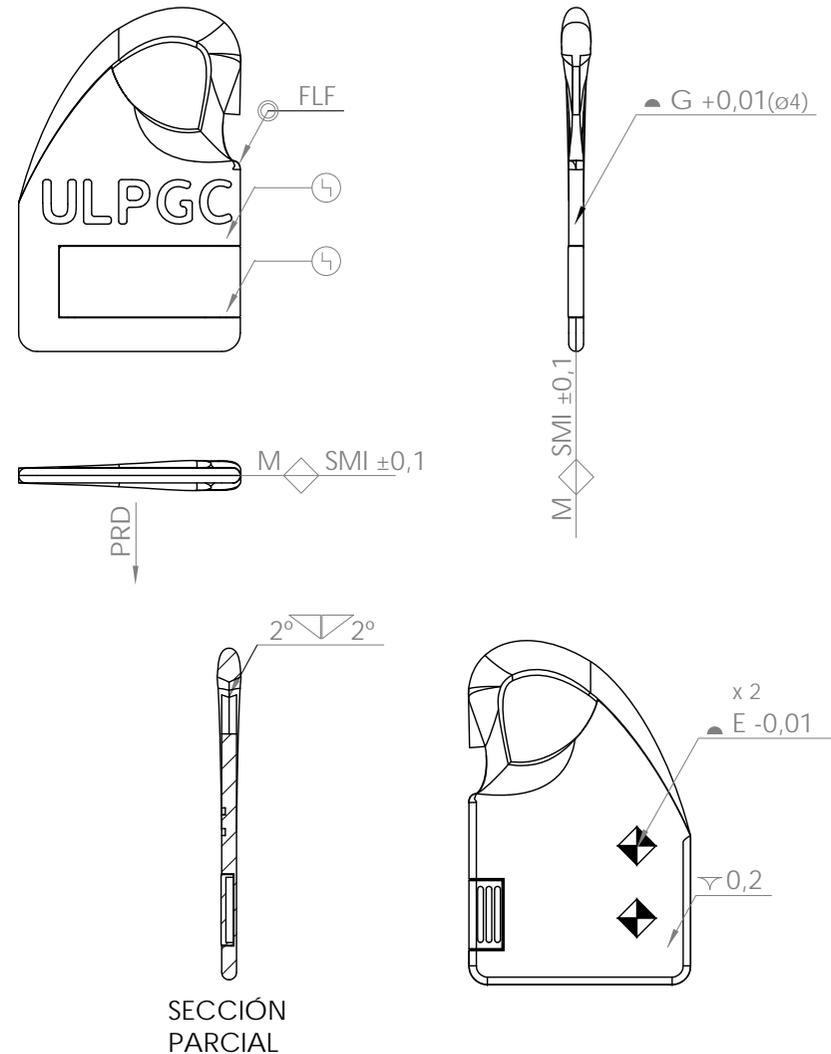
Modelo de matriz ISO GPS

	Elementos de las cadenas de normas						
	A	B	C	D	E	F	G
	Símbolos e indicaciones	Definición de tolerancias	Definición de características	Conformidad y no conformidad	Proceso de medición	Equipos de medida	Calibración
Tamaño							
Distancia							
Forma							
Orientación							
Posición							
Alabeo							
Perfil de acabado superficial							
Área de acabado superficial							
Defectos superficiales							

En esta imagen se muestran algunas especificaciones de una pieza fabricada por inyección de plástico según la norma complementaria UNE-EN ISO 10135:2009 GPS

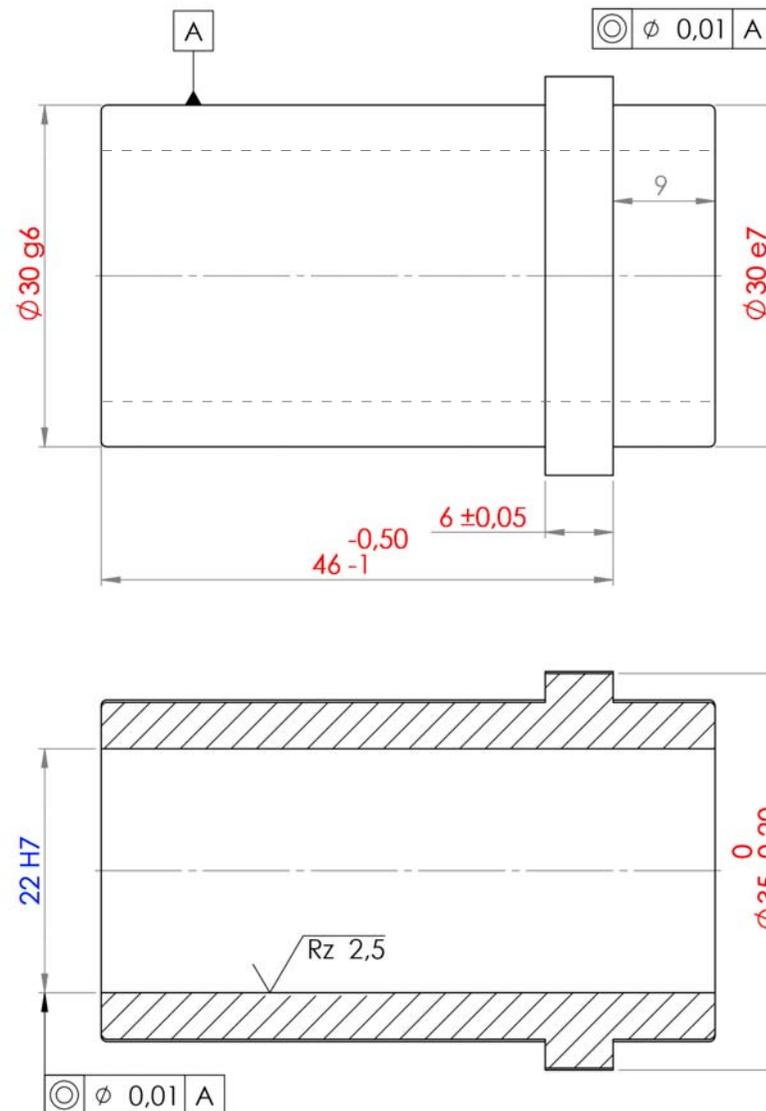
“Indicaciones para las piezas moldeadas en los dibujos técnicos de la documentación técnica del producto”. Con estas indicaciones se establecen:

- Las superficies que deben estar libre de rebabas
- Las superficies que no deben ser alterables por el utillaje
- Las superficies de unión de las placas del molde
- La desalineación máxima permitida para la pieza
- Posición y marcas admisibles del utillaje como bebedero, expulsores, otros
- La dirección de desmoldeado de la pieza
- Dimensión y orientación de los ángulos de salida
- Rechupes máximos permitidos



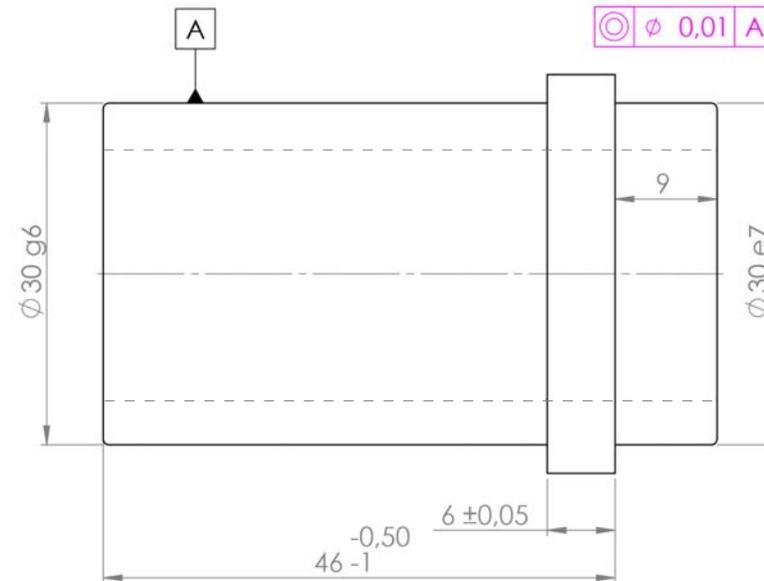
Tolerancias dimensionales

Las establece el diseñador con el objetivo de garantizar la funcionalidad del producto. Son los límites de variación admisible para cualquier forma geométrica definida por una dimensión lineal o angular que caracteriza su magnitud. Controlan únicamente la distancia entre dos puntos o la orientación general de elementos lineales, y en ningún caso las desviaciones de forma. Se usan en las magnitudes críticas de la geometría de las piezas que las requieran, mientras que para el resto de magnitudes no críticas del diseño se deberían emplear las denominadas tolerancias generales. Para ello se requiere que se especifique en el documento gráfico que se acoge a las normas que las regulan.



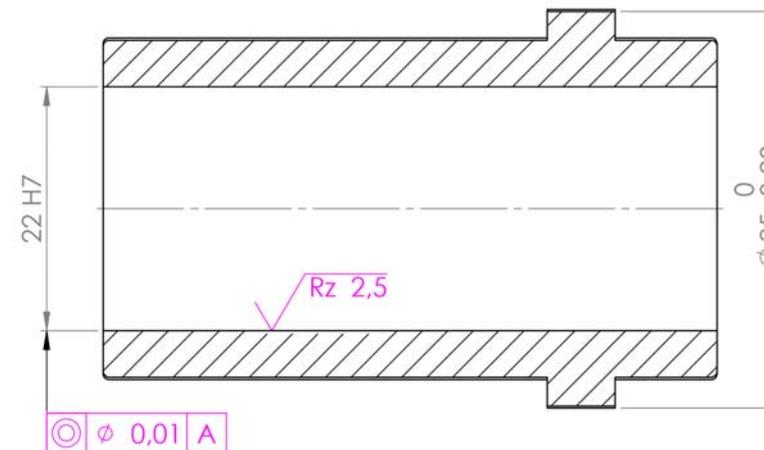
Tolerancias geométricas

En función del nivel de precisión requerida en la fabricación de un producto, puede ser necesario incorporar tolerancias geométricas. Estas marcan la forma, orientación y posición de los todos los elementos de una pieza. Gracias a una simbología específica para las diferentes características geométricas, aportan el control global y completo de su geometría. También existen tolerancias geométricas generales, que se pueden utilizar para el conjunto de geometrías no funcionales de una pieza.



Tolerancias de acabado superficial

Los acabados superficiales de una producción de piezas no son totalmente iguales, como sucede con la forma y dimensiones. La calidad superficial de un producto puede ser crítico en su funcionalidad como en casos de aplicación de recubiertos, lubricación o requisitos ópticos, entre otros. En esos casos es necesario establecer límites a los diferentes parámetros de evaluación del acabado de una superficie, siendo el más importante de ellos la rugosidad superficial.



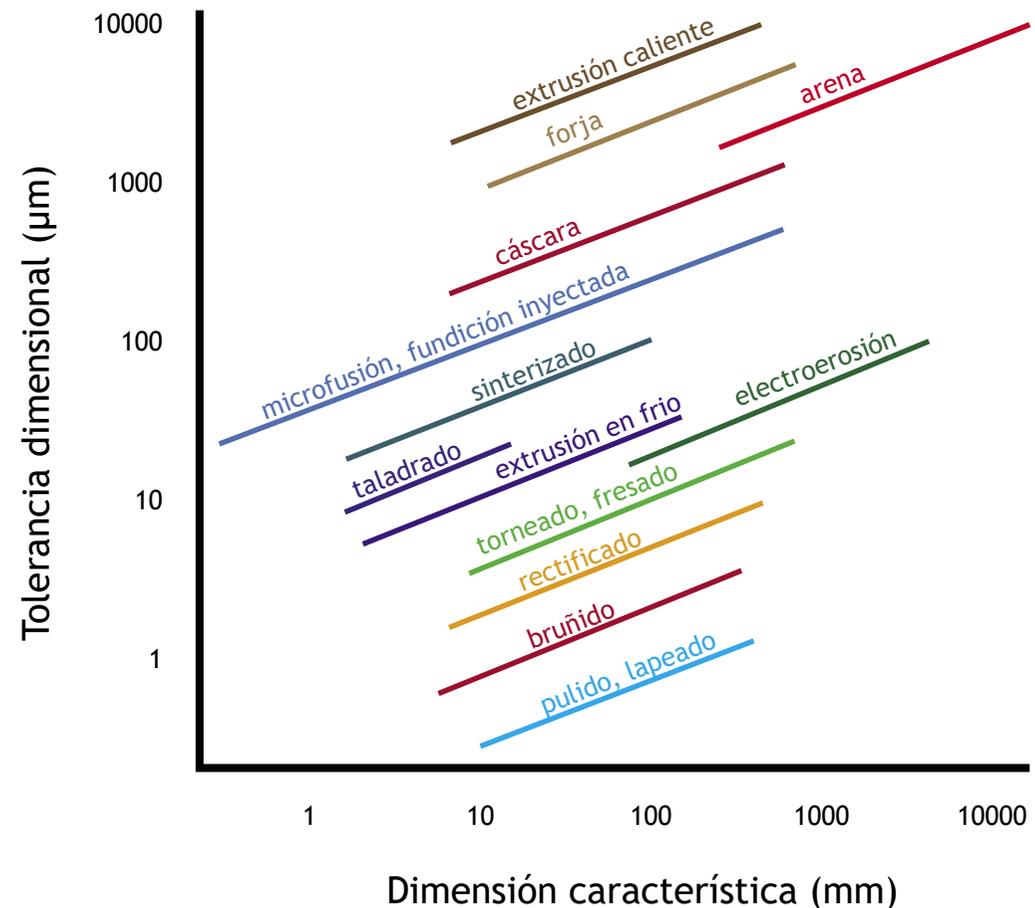


TOLERANCIAS DIMENSIONALES

Las dimensiones teóricas de cualquier elemento geométrico no siempre se cumplen. Dependiendo del proceso de fabricación que se emplee se puede conseguir una mayor o menor aproximación a la dimensión que se especifica teóricamente. Cuanto mayor sea la proximidad que se requiera a esa dimensión teórica, más costoso será el proceso de fabricación, y también el de verificación del cumplimiento de esas especificaciones.

En el año 2010 se han salido las nuevas normas generales UNE-EN ISO 14405 y UNE-EN ISO 286, que recogen toda la información necesaria para el buen uso y aplicación de las tolerancias dimensionales en las cotas de piezas. Estas normas se basan en lo que se ha venido haciendo habitualmente en la industria, aunque introduce algunas modificaciones relevantes. Se admiten tres formas de expresar las tolerancias mediante:

- desviaciones a la dimensión nominal
- límites superior y/o inferior de la dimensión
- codificación ISO

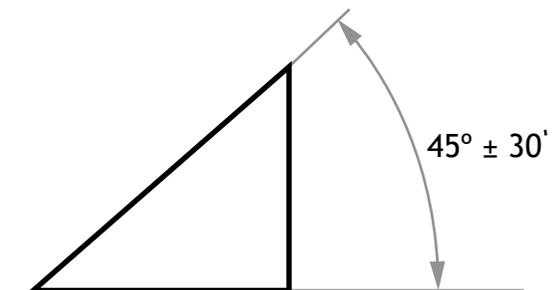
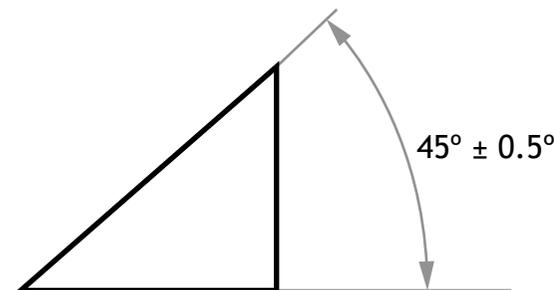
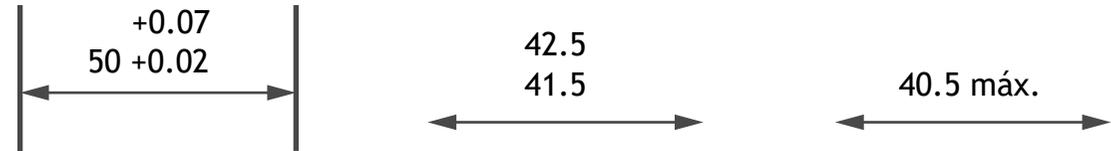


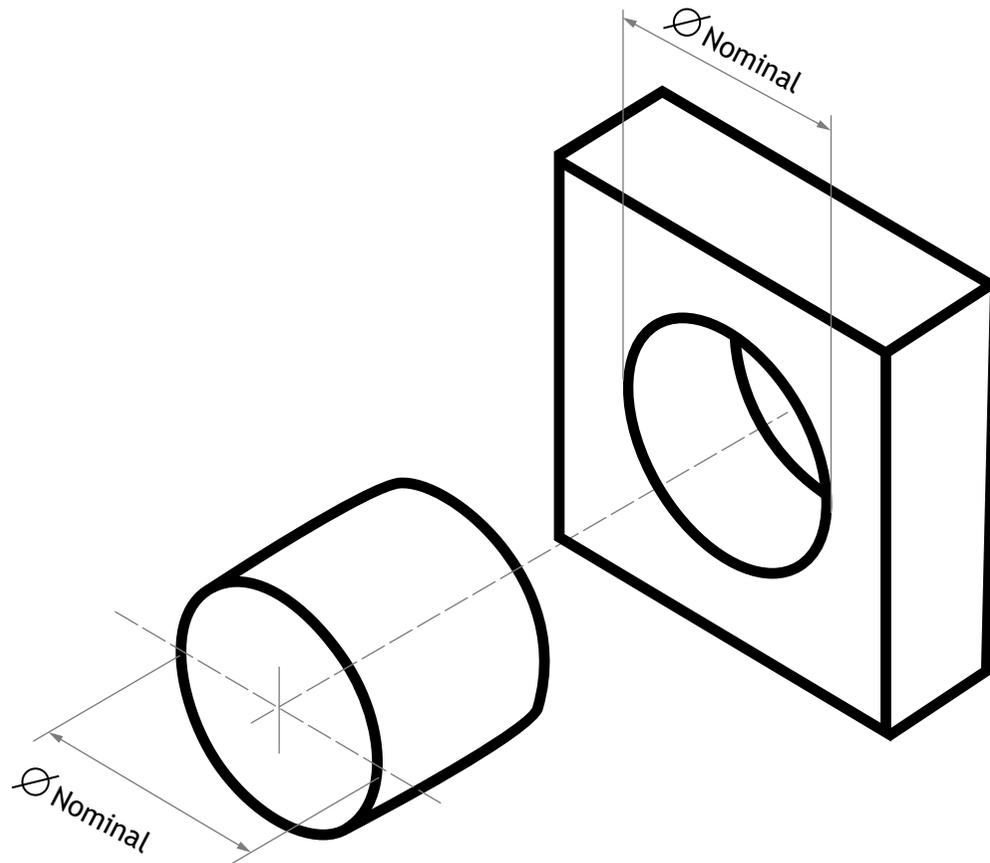
Unidades de medida

Según la norma UNE-EN ISO 14405 se deben utilizar por defecto el milímetro (mm) en las dimensiones lineales y en los límites de tolerancias asociados. No es necesaria una indicación explícita de esta unidad por defecto, ya que se da por sobreentendida.

Se emplea el grado (°) para las dimensiones angulares, y sus límites de tolerancias asociados. Se puede emplear la notación decimal o en grados, minutos y segundos. Para estas dimensiones si es necesario indicar explícitamente la unidad, tanto para el valor nominal como para la tolerancia.

Si se emplea cualquier otra unidad distinta a la usada por defecto, se debe indicar en o cerca del cajetín del plano o dibujo.





Se considera que una pieza está formada por un conjunto de elementos geométricos que la separan del entorno que la rodea.

Entidad dimensional: Forma geométrica definida por una dimensión lineal o angular que caracteriza su magnitud.

Dimensión: Característica intrínseca de una entidad dimensional. Puede ser local, global o calculada.

Dimensión lineal: Dimensión definida en unidades de longitud que describe una característica de tamaño.

Dimensión angular: Dimensión definida en unidades de ángulo que describe una característica de tamaño.

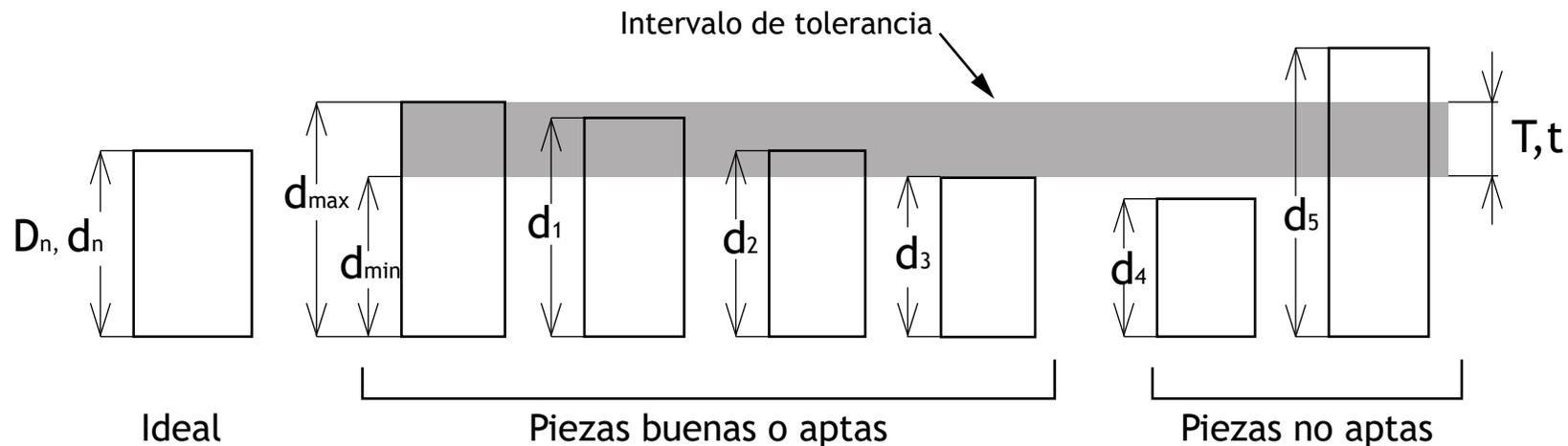
Dimensión nominal (D_n , d_n): Dimensión de un elemento geométrico de forma perfecta, tal y como define la especificación del dibujo.

Dimensión real: Dimensión de un elemento geométrico integral. Se obtiene tras la fabricación y se determina en el proceso de medición.

Cuando se añade una tolerancia a una cota significa que se establecen un intervalo en el que está permitido que varíe esa dimensión. Las piezas que están dentro de ese intervalo, incluyendo sus límites, son consideradas piezas buenas o aptas. Las que están fuera de ese intervalo son consideradas piezas no aptas o malas, y solo en ocasiones pueden ser recuperadas.

Tolerancia (T, t): Diferencia entre el límite dimensional superior e inferior. Es un valor absoluto sin signo.

Intervalo de tolerancia: Valores variables de la dimensión incluyendo los límites de tolerancia. No tiene que incluir necesariamente el valor nominal, y se puede situar a ambos lados del mismo.



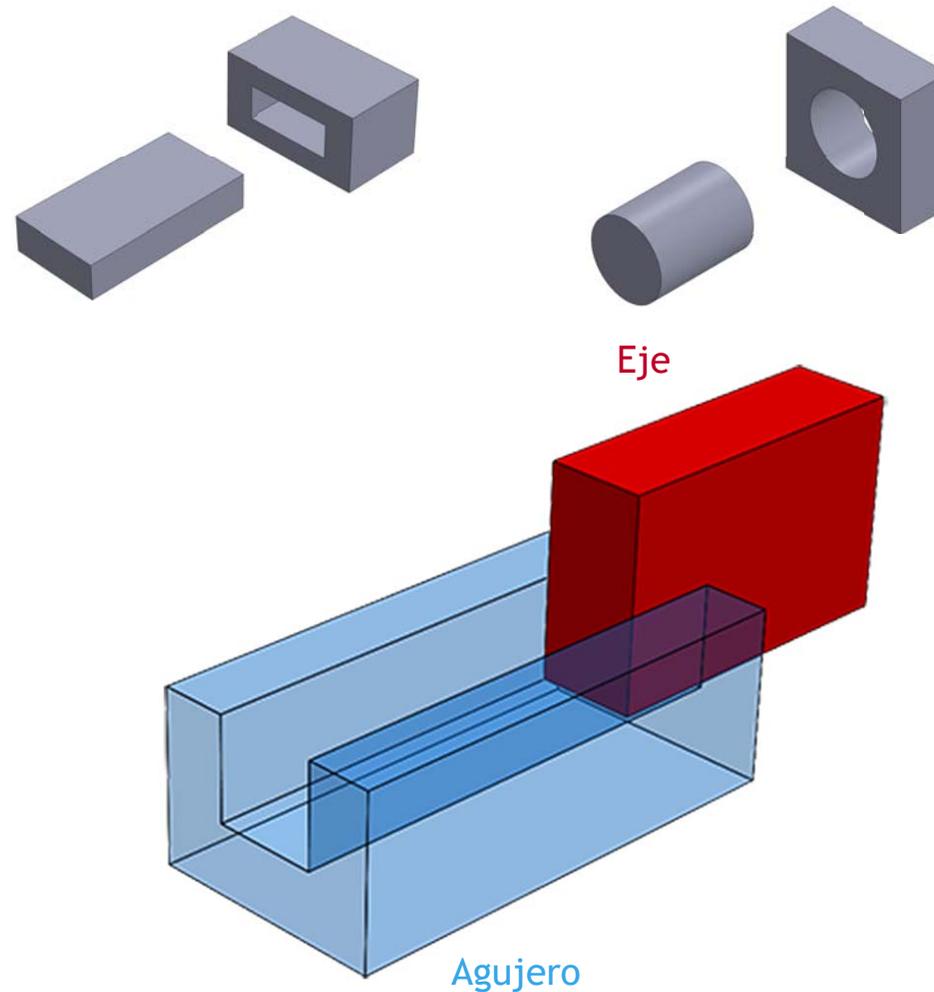
Sistema de codificación ISO

La norma ISO 286 establece el sistema de codificación ISO para las tolerancias en las dimensiones lineales. Estas son de aplicación tanto para elementos geométricos tipo cilindro o formados por superficies opuestas y paralelas.

Agujero: Entidad dimensional interna de una pieza, incluyendo elementos geométricos internos dimensionales que no sean cilíndricos. Se adopta como criterio asignar letras en mayúsculas a todos los parámetros necesarios para definir este tipo de piezas.

Eje: Entidad dimensional externa de una pieza, incluyendo elementos geométricos externas dimensionales que no sean cilíndricos.

Se adopta como criterio asignar letras en minúsculas a todos los parámetros necesarios para definir este tipo de piezas.



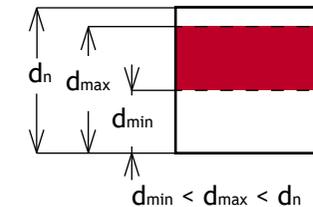
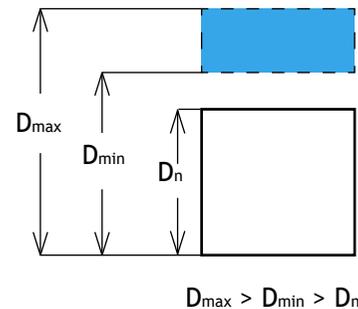
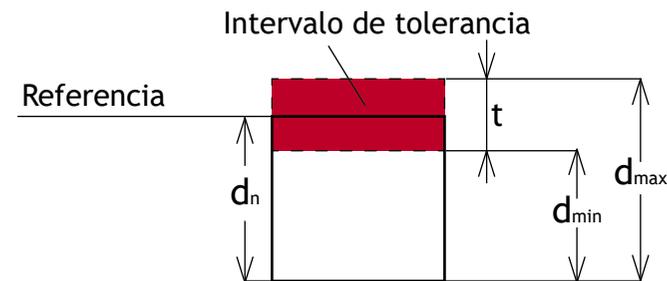
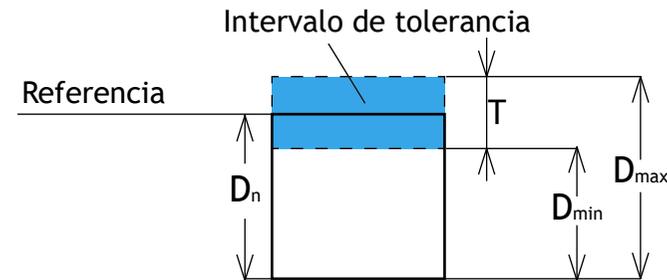
La dimensión nominal, D_n , establece la referencia para posicionar las tolerancias.

Límites dimensionales: Dimensiones extremas permitidas de una entidad dimensional.

Límite dimensional superior, ULS (D_{max} , d_{max}): Dimensión máxima permitida de una entidad dimensional.

Límite dimensional inferior, LLS (D_{min} , d_{min}): Dimensión mínima permitida de una entidad dimensional.

Tolerancia normalizada: Cualquier tolerancia que pertenezca al sistema de codificación ISO para tolerancias dimensionales lineales.



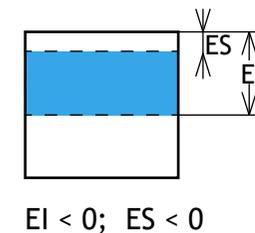
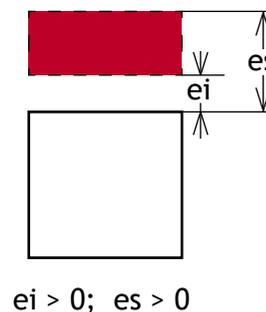
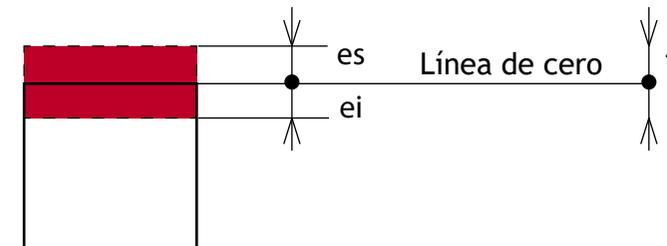
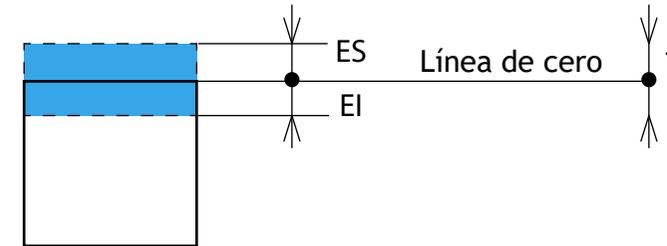
La dimensión nominal, D_n , establece la línea cero para las desviaciones.

Desviación: Valor menos su referencia. Para desviaciones dimensionales, la referencia es la dimensión nominal y el valor la dimensión real.

Desviación límite superior: Límite dimensional superior menos la dimensión nominal. "ES" para agujeros, y "es" para ejes.

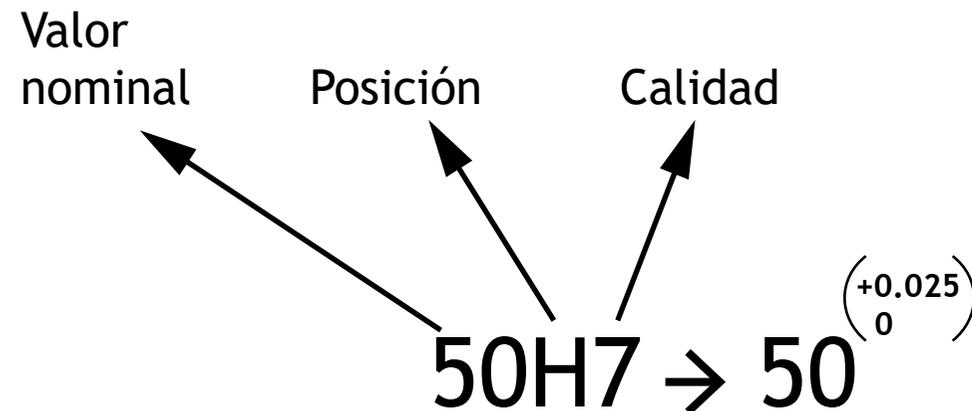
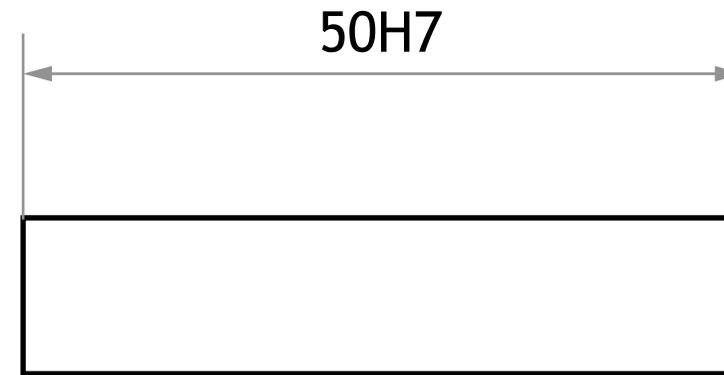
Desviación límite inferior: Límite dimensional inferior menos la dimensión nominal. "EI" para agujeros, y "ei" para ejes.

Desviación fundamental: Desviación límite que define la posición del intervalo de tolerancia en relación con la dimensión nominal. De las dos desviaciones límites, es la más próxima al valor nominal, y se identifica mediante una o dos letras.



En el sistema de codificación ISO, la indicación de la magnitud lineal con tolerancia se expresa con la dimensión nominal en la línea de cota seguida de la clase de tolerancia.

Clase de tolerancia: Contiene información sobre la magnitud de la tolerancia y la posición del intervalo de tolerancia respecto a la dimensión nominal del elemento geométrico. Se designan mediante unas letras identificadoras de la desviación fundamental que fija la posición del intervalo de tolerancia, y de unos números identificadores del grado de tolerancia.



Grado del intervalo de tolerancia: Grupo de tolerancias para dimensiones lineales caracterizadas por un identificador común, siglas IT (International Tolerance) seguidas de un número.

La magnitud de la tolerancia es función del grado de tolerancia y de la dimensión nominal del elemento geométrico, y se puede encontrar en la tabla 1. En ella los 20 grados de tolerancias normalizados se encuentran en columnas, mientras en filas se establecen rangos de dimensiones para la dimensión nominal.

Las unidades de estas tolerancias normalizadas están en micras (μm) para los grados del 01 al 11, y en milímetros (mm) para los grados del 12 al 18.



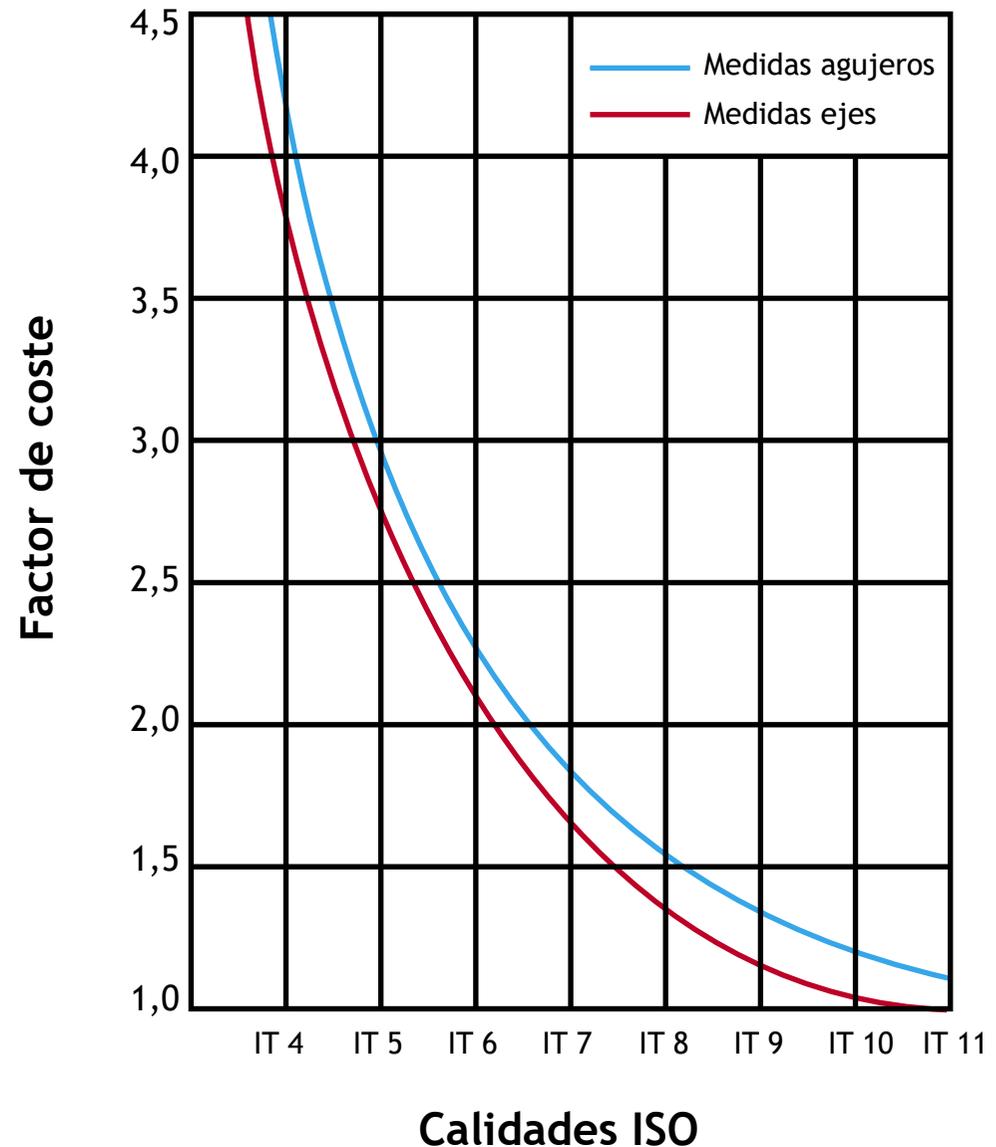
Tabla 1 – Valores para los grados de tolerancia normalizados para dimensiones nominales por encima de 3 150 mm

Dimensión nominal mm		Grados de tolerancia normalizados																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Desde	Hasta e incluido	Valores de tolerancia normalizados																			
		μm										mm									
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Los 20 grados de calidad se agrupan de la siguiente manera:

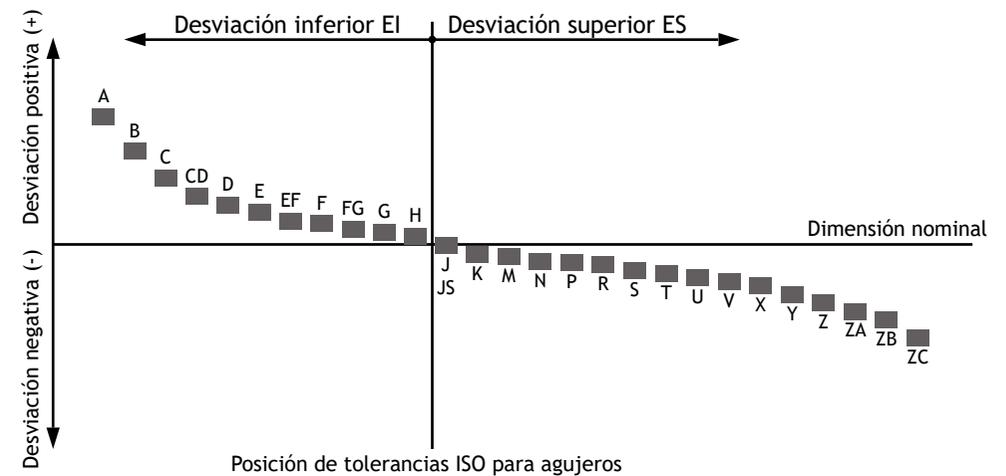
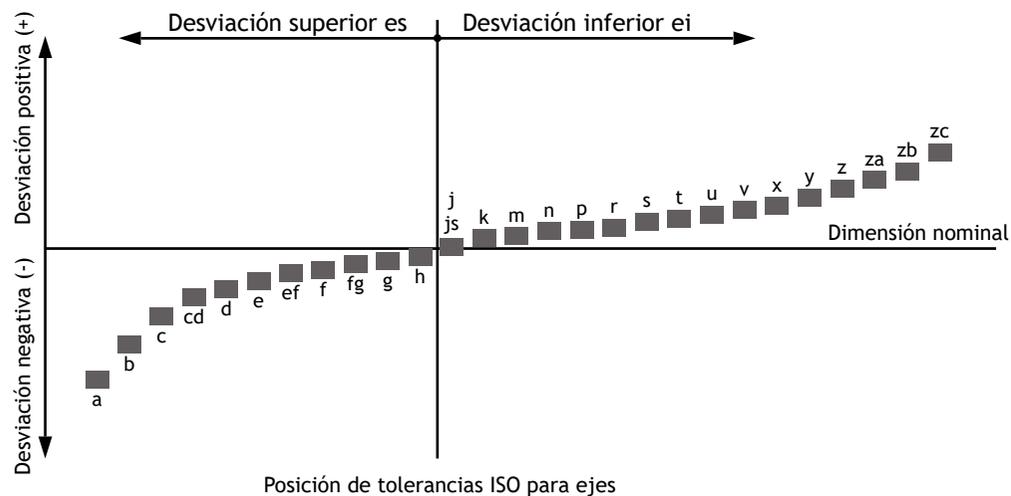
- IT01 - IT0 Calidades de ultraprecisión
- IT1 - IT3 Calidades empleadas para la fabricación de equipos de medida
- IT4 - IT11 Calidades de piezas en general que necesitan precisión
- IT12 - IT18 Calidades para piezas que no requieren precisión

Los grados de tolerancia con el número de identificación más elevado, corresponden con magnitudes de tolerancias más amplias. Estas serán más fáciles de conseguir con procesos de fabricación habituales, y también de verificar con equipos de medida más sencillos, por lo que serán más económicas. Por el contrario los grados de tolerancia con el número de identificación más bajo, corresponden con tolerancias más exigentes. Requieren de procesos de fabricación y procesos de medición también más exigentes, y por esta razón son mucho más caros. La relación entre los costes y los grados de tolerancia es de tipo exponencial. Para un mismo grado es más caro de conseguir una entidad dimensional interna, agujero, que una entidad dimensional externa, eje.



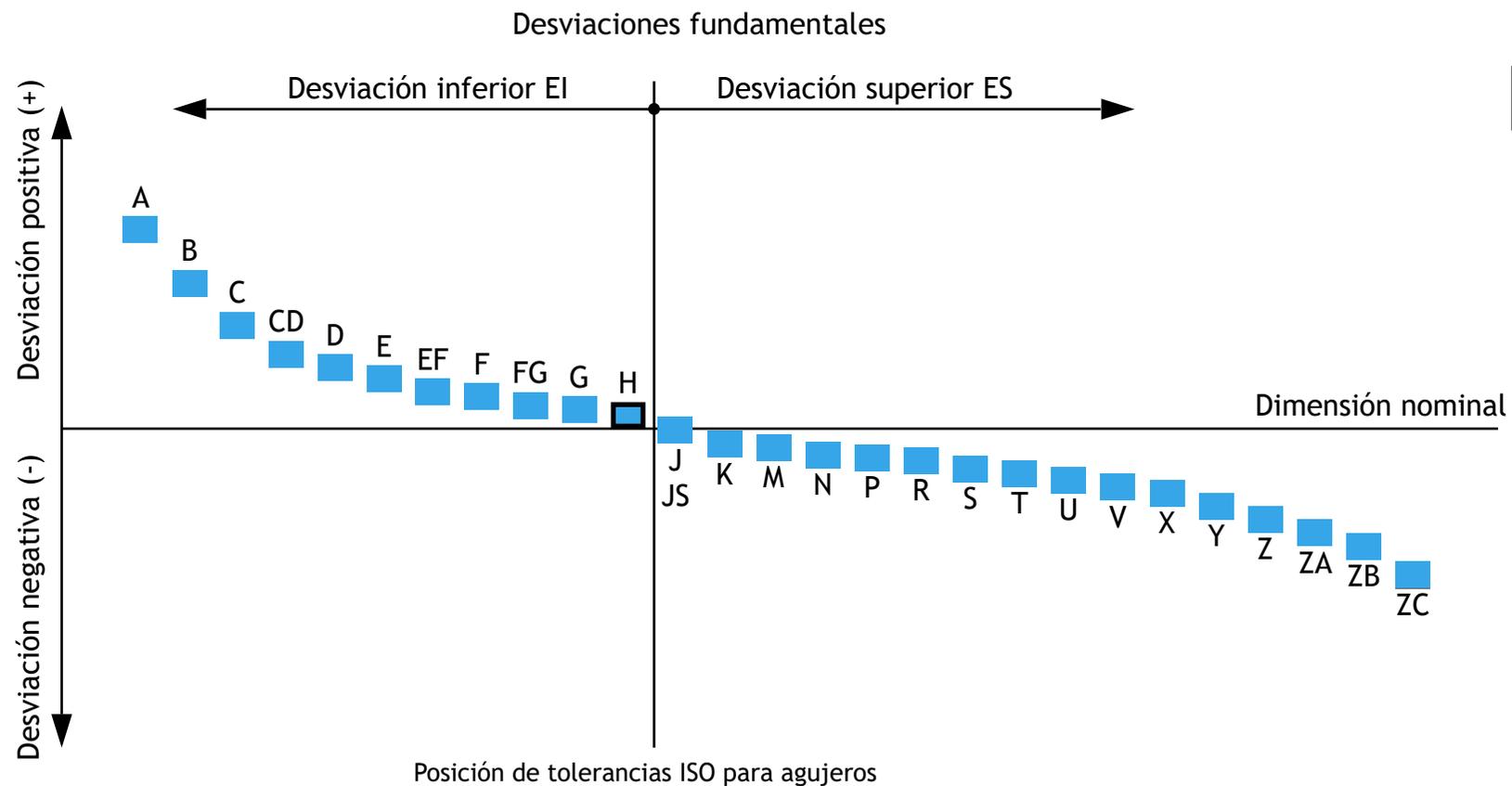
La posición del intervalo de tolerancia respecto a la dimensión nominal se establece mediante la desviación fundamental.

Se identifican mediante una o varias letras, distribuidas en orden alfabético. que serán mayúsculas para las pieza tipo agujero y minúsculas para piezas de tipo eje.



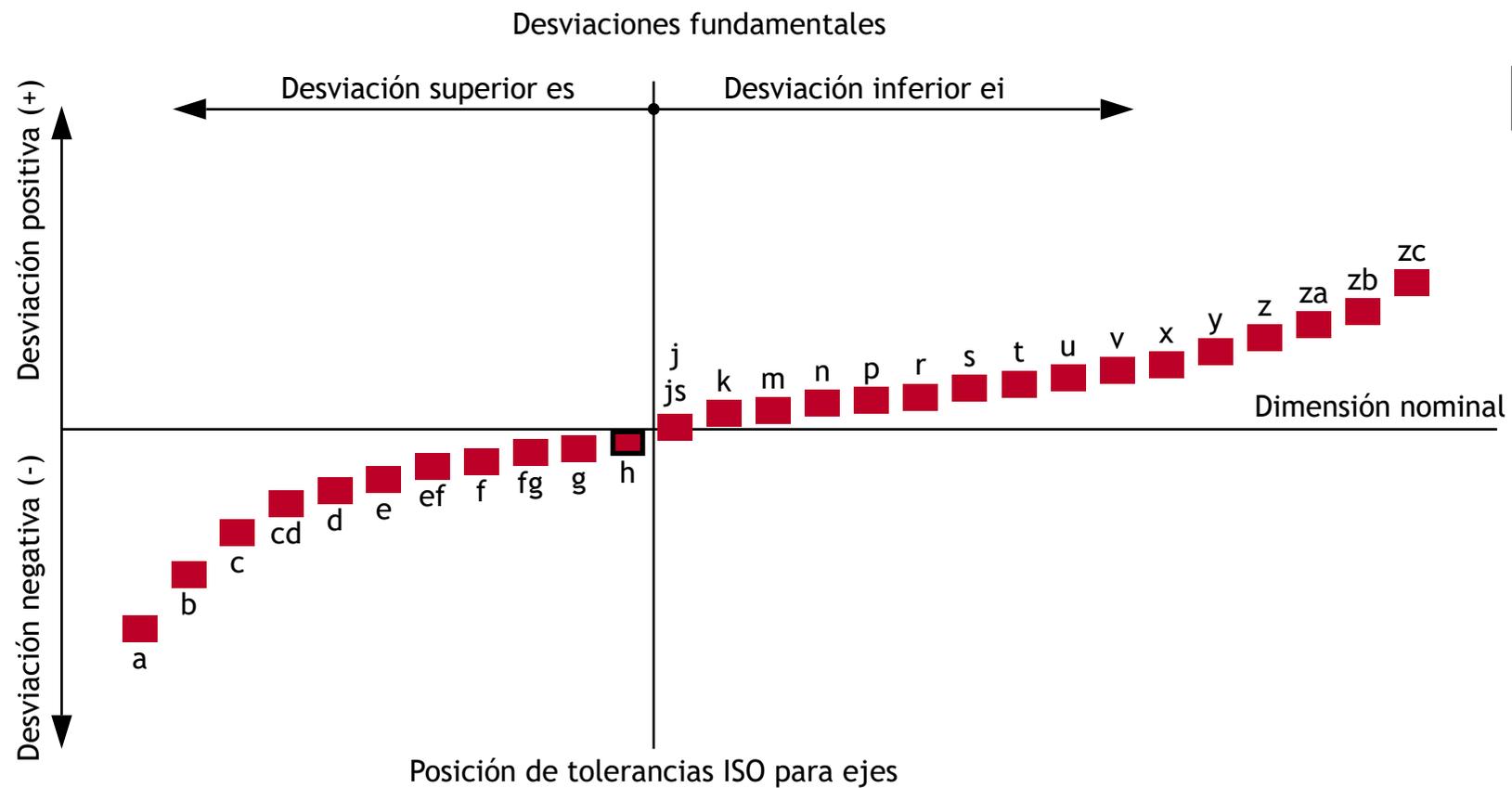
Las desviaciones fundamentales para las piezas de tipo agujero se identifican mediante una o dos letras mayúsculas, en función de su posición respecto a la línea de referencia establecida por la dimensión nominal.

Las tablas 2 y 3 contienen los valores en micras (μm) y con signo para las desviaciones fundamentales para las piezas de tipo agujero. En estas tablas aparecen en columnas los identificadores de la posición y en filas los rangos para las dimensiones nominales.



Las desviaciones fundamentales para las piezas de tipo eje se identifican mediante una o dos letras minúsculas, en función de su posición respecto a la línea de referencia establecida por la dimensión nominal.

Las tablas 4 y 5 contienen los valores en micras (μm) y con signo para las desviaciones fundamentales para las piezas de tipo eje. En todas estas tablas aparecen en columnas los identificadores de la posición y en filas los rangos para las dimensiones nominales

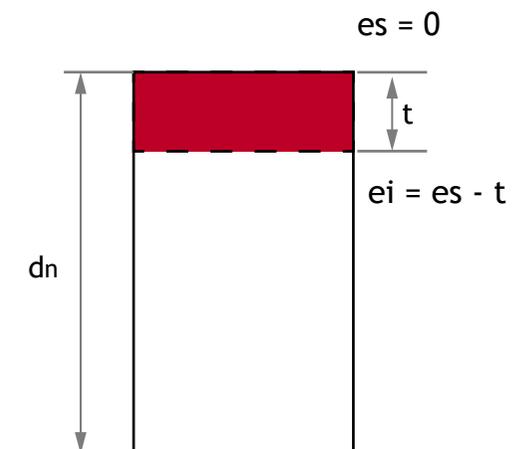
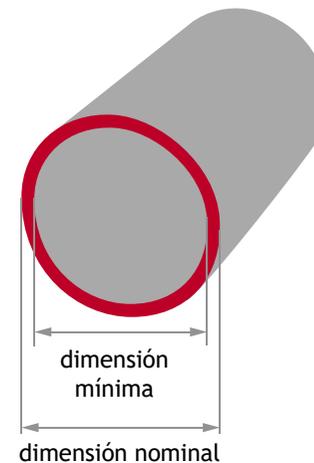
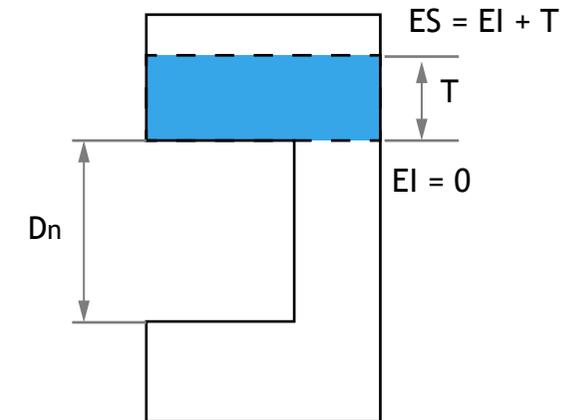
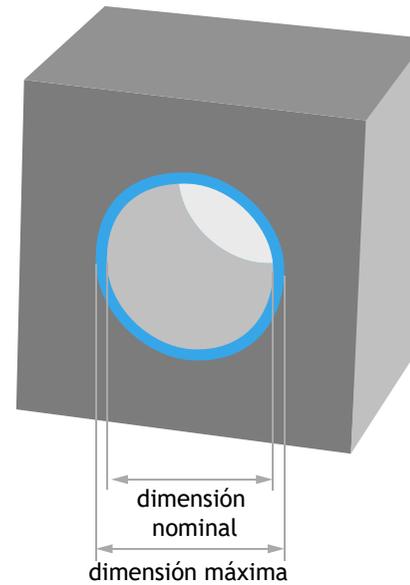


Posiciones singulares

En el caso de que un límite de la tolerancia esté a un lado, y el otro coincide con el valor nominal, se establece un caso especial de indicación.

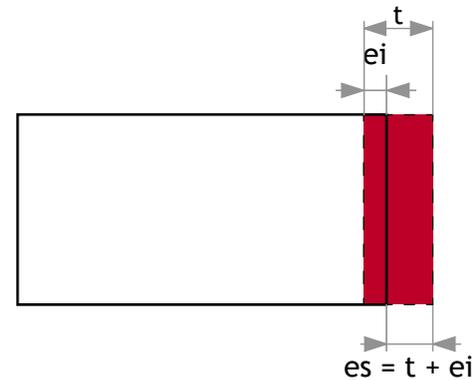
El indicador "H" para las piezas de tipo agujero se establece por definición mediante una desviación fundamental que es la inferior y con valor cero.

El indicador "h" para las piezas de tipo eje se establece por definición mediante una desviación fundamental que es la superior y con valor cero.

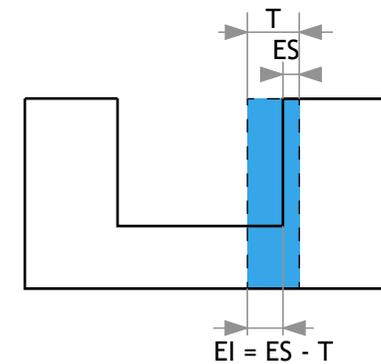


Posiciones singulares

Las posiciones "J" para agujeros y "j" para los ejes, siempre incluyen la dimensión nominal entre el límite superior y el inferior, aunque no de forma simétrica. Igual que para el resto de posiciones es necesario determinar el valor de su desviación fundamental para fijar los límites del intervalo de tolerancia.

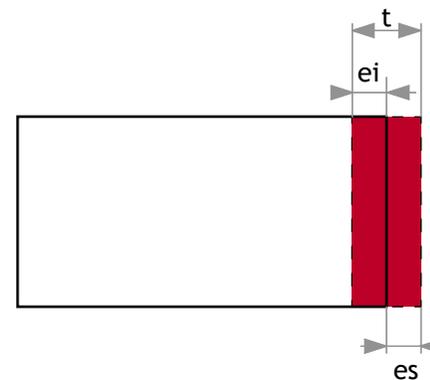
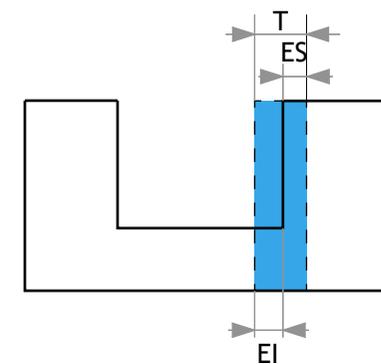


Posición j



Posición J

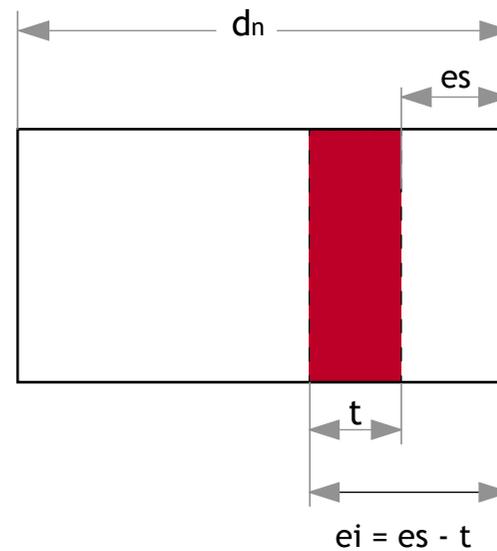
Las posiciones "JS" para agujeros y "js" para los ejes, por definición son tolerancias simétricas. En ellas las dos desviaciones son del mismo valor, mitad de la magnitud del intervalo de tolerancia, pero distinto signo.

Posición js
 $es = ei = t/2$ Posición JS
 $ES = EI = T/2$

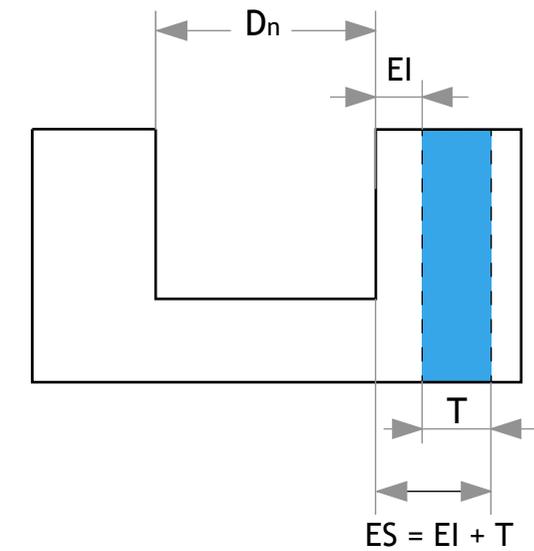
Posición de j y js (simétrica)

En las posiciones de los ejes identificadas con letras anteriores a la "h" en el orden alfabético, el intervalo de tolerancia siempre va a estar por debajo del valor nominal. Esto significa que las dimensiones reales de piezas aptas son siempre menores que la dimensión nominal.

En las posiciones de los agujeros identificadas con letras anteriores a la "H" en el orden alfabético, el intervalo de tolerancia siempre va a estar por encima del valor nominal. Esto significa que las dimensiones reales de piezas aptas son siempre mayores que la dimensión nominal.

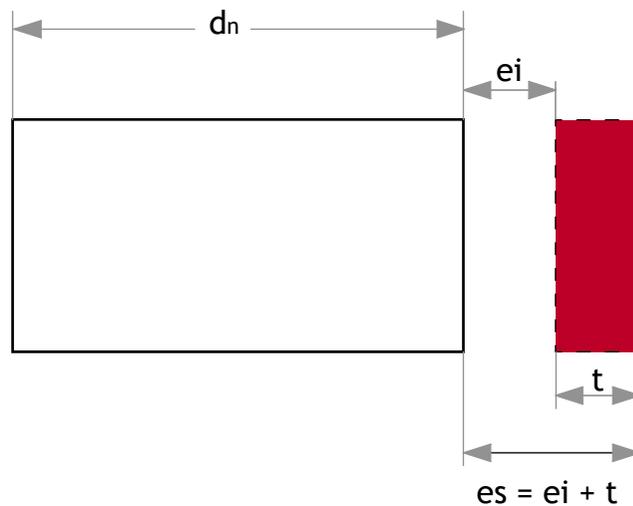


Posiciones: a, b, c, cd, d,
e, ef, fg, g



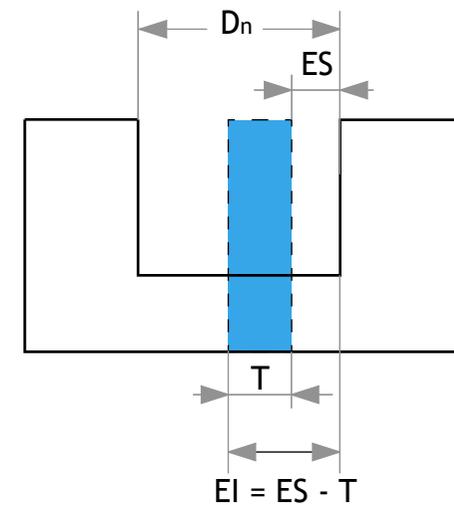
Posiciones: A, B, C, CD, D,
E, EF, F, FG, G

En las posiciones de los ejes identificadas con letras posteriores a la "k" en el orden alfabético, con carácter general pero no en todos los casos, los intervalos de tolerancia están por encima de la dimensión nominal. Esto significa que las dimensiones reales de piezas aptas son siempre mayores que la dimensión nominal. Para las piezas de tipo eje no es necesario hacer ningún tipo de corrección de las desviaciones fundamentales.



Posiciones: k, m, n, p, q, r, s, t, u, v,
x, y, z, za, zb, zc

En las posiciones de los agujeros identificadas con letras posteriores a la "K" en el orden alfabético, con carácter general pero no en todos los casos, los intervalos de tolerancia están por debajo de la dimensión nominal. Esto significa que las dimensiones reales de piezas aptas son siempre menores que la dimensión nominal. En algunas de estas posiciones la desviación fundamental tiene que ser corregida con un incremento que aparece a la derecha de la tabla 3.



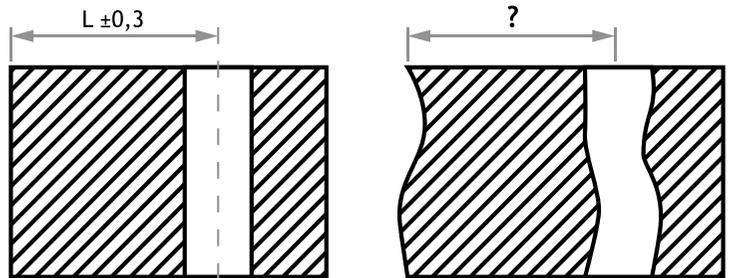
Posiciones: K, M, N, P, R, S, T, U, V,
X, Y, Z, ZA, ZB, ZC

En el caso de dimensiones diferentes a las dimensiones lineales de una característica de tamaño, cuando se trata de piezas reales con desviaciones de forma, es muy complicado no generar ambigüedad en las especificaciones. En estos casos se debe recurrir al uso de tolerancias geométricas para una definición completa e inequívoca de las especificaciones.

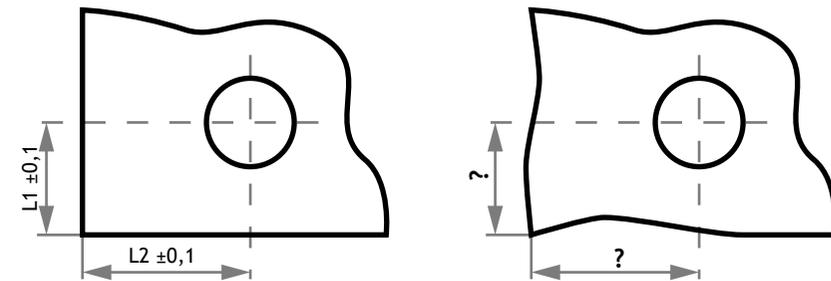
Distancia: Dimensión entre dos elementos geométricos que no se considera una característica de tamaño.

Distancia lineal: Distancia definida en unidades de longitud.

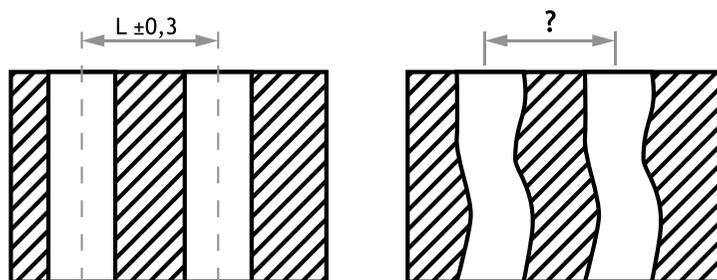
Distancia angular: Distancia definida en unidades de ángulo.



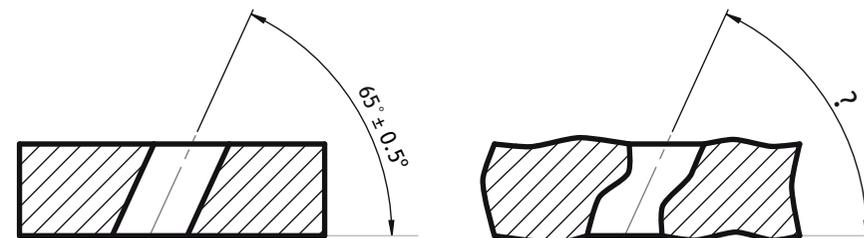
Distancia lineal entre una característica integral y una característica derivada



Distancia lineal entre dos direcciones



Distancia lineal entre dos características derivadas

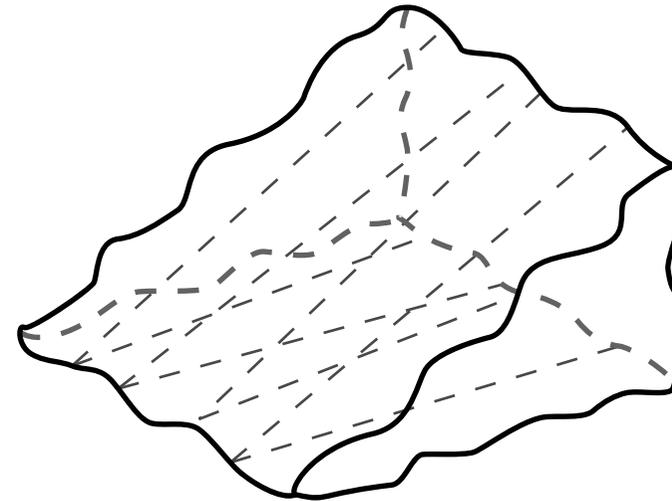
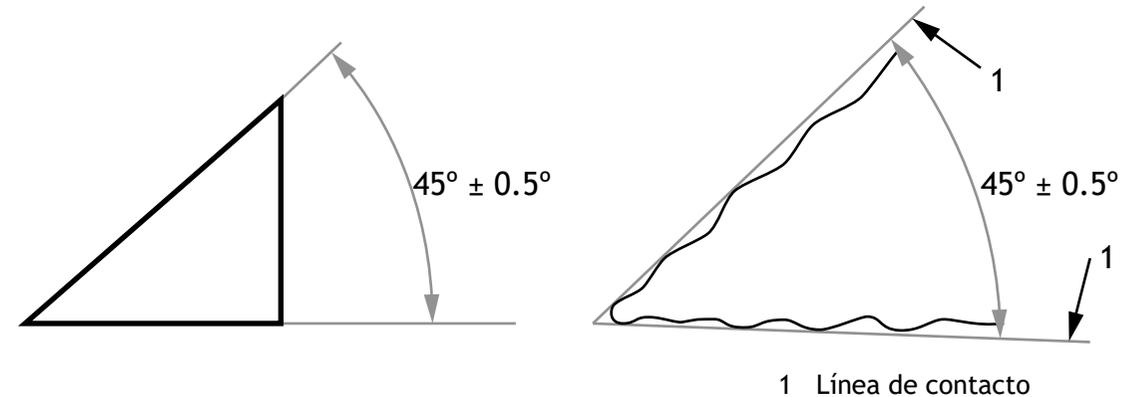


Distancia angular

Tolerancias angulares

Las tolerancias angulares controlan únicamente la orientación general relativa entre dos líneas integrales, pero no sus desviaciones de forma. Se aplican a todas las secciones transversales en las que existe el ángulo a lo largo de las dos superficies integrales reales, y todos estos ángulos deben estar contenidos en el intervalo de tolerancia. La orientación de cada sección transversal se define maximizando el ángulo entre las dos líneas rectas de contacto, que deben ser externas y que sea mínima la distancia entre ellas.

Para eliminar la ambigüedad de estas especificaciones, se recomienda complementarla con tolerancias geométricas.

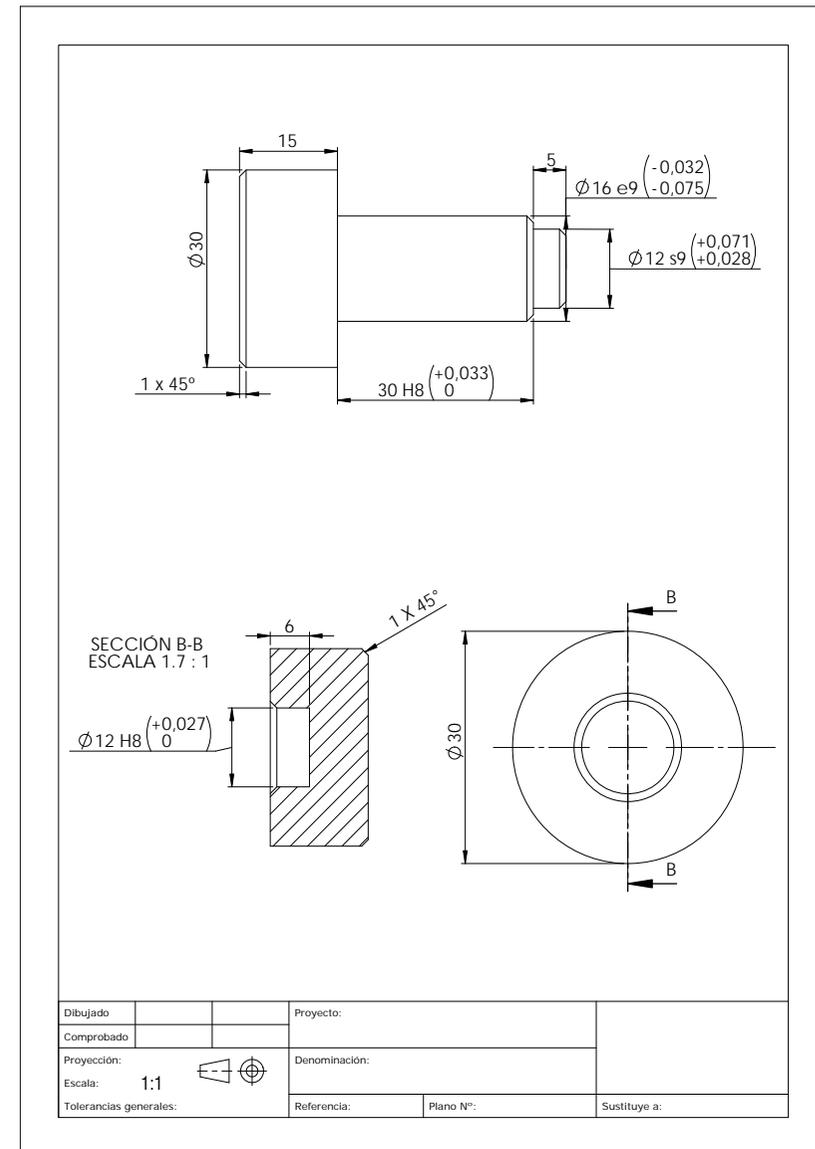


Tolerancias dimensionales generales

El establecimiento de tolerancias en el diseño de un producto debería ser completo, para que no sea necesario sobreentender ninguna especificación, ni dejar a la apreciación personal de otros, decisiones que afecten al producto. ¿Qué sucede con las dimensiones que no tienen una tolerancia específica? ¿Sería aceptable cualquier valor de la dimensión real de las piezas fabricadas?

Las tolerancias generales son de aplicación para dimensiones lineales y angulares que no disponen de una indicación específica de tolerancia. Las ventajas de su aplicación son:

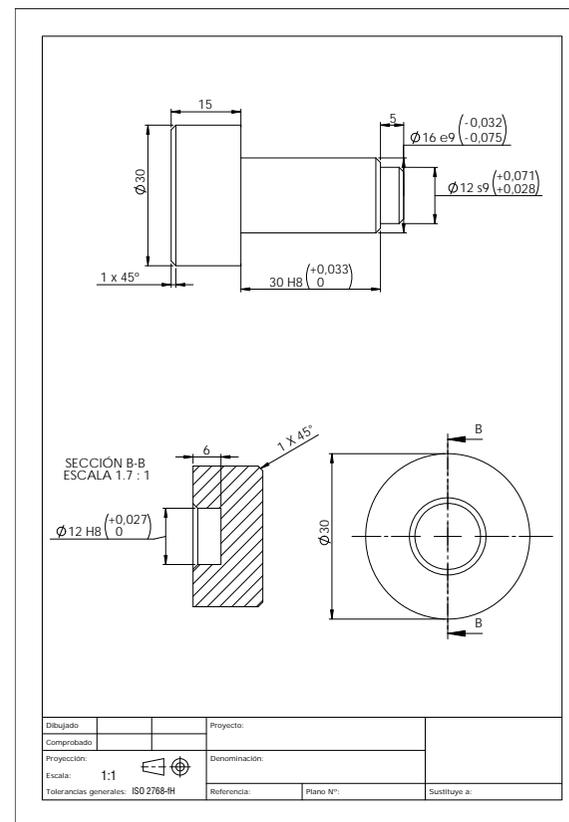
- 1.- La documentación gráfica es más fácil de leer y entender.
- 2.- El diseñador ahorra tiempo al eliminar cálculos detallados.
- 3.- Se identifica fácilmente las especificaciones críticas del diseño, facilitando y agilizando la producción.



Tolerancias dimensionales generales

Solo se aplican estas tolerancias generales cuando se hace referencia explícita a la Norma ISO 2768 en los documentos gráficos. En caso contrario no son de aplicación.

Junto con el resto de tolerancias permiten asegurar la correcta definición de un producto. Tratan de simplificar los diseños técnicos, evitando tener que incorporar tolerancias dimensionales para todos y cada uno de los elementos geométricos de una pieza.



Dibujado		Proyecto:
Comprobado		
Proyección:		Denominación:
Escala:	1:1	
Tolerancias generales:	ISO 2768-fH	Referencia:

Tolerancias dimensionales generales

Al seleccionar la clase general de tolerancia, se ha de considerar la precisión general de los procesos de fabricación que se van a aplicar y los requerimientos funcionales del componente. Si se necesitaran tolerancias más exigentes en algún elemento, o pudiera aceptarse en algún otro una tolerancia más amplia y por ello más económica, se debe indicar como una tolerancia específica.

La tolerancia general depende de la dimensión nominal del elemento geométrico, y de la clase de tolerancia. Estas tolerancias generales lineales y angulares, se dividen en cuatro clases diferentes, en función del nivel de precisión general requerido.

Tabla 1. Tolerancias para dimensiones lineales, excepto aristas matadas.

Clase de Tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal d (en mm.)							
	Descripción	0,5 <d≤ 3	3 <d≤ 6	6 <d≤ 30	30 <d≤ 120	120 <d≤ 400	400 <d≤ 1000	1000 <d≤ 2000	2000 <d≤ 4000
f	fina	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	media	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	grosera	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	muy grosera	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

Tabla 3. Tolerancias para dimensiones angulares.

Clase de Tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado d (en mm.)				
	Descripción	d≤10	10<d≤50	50<d≤120	120<d≤400	400<d
f	fina	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	media					
c	grosera	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	muy grosera	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

Un ajuste se puede requerir en el ensamblaje de dos piezas, una de tipo agujero y otra de tipo eje que, necesariamente, deben tener la misma dimensión nominal. En la selección de un ajuste se ha de tener en cuenta las holguras e interferencias derivadas de los requisitos funcionales, y de las capacidades de fabricación de las piezas a ensamblar. La experiencia juega un papel fundamental en la elección del ajuste adecuado.

Se han de tener en cuenta las diferentes variables de influencia como: materiales de las piezas, temperaturas de trabajo, tratamientos térmicos o superficiales, entre otras. Las desviaciones de forma, orientación y localización, así como la calidad superficial, pueden influir de manera notable. Por esta razón puede ser necesario establecer tolerancias geométricas y de acabado superficial compatibles con las dimensionales que permitan conseguir un ajuste funcional requerido.



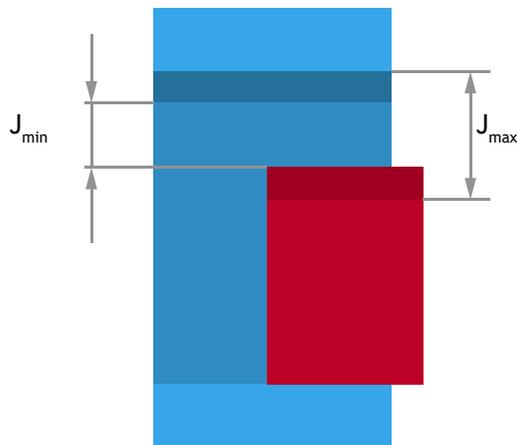
Ajuste: Relación entre una entidad dimensional externa y una interna (el agujero y eje del mismo tipo) que se ensamblarán.

Amplitud de un ajuste (AJ): Suma aritmética de las tolerancias dimensionales de las dos entidades dimensionales, agujero y eje, que conforman el ajuste. Es un valor absoluto sin signo, y expresa la variación nominal posible del ajuste.

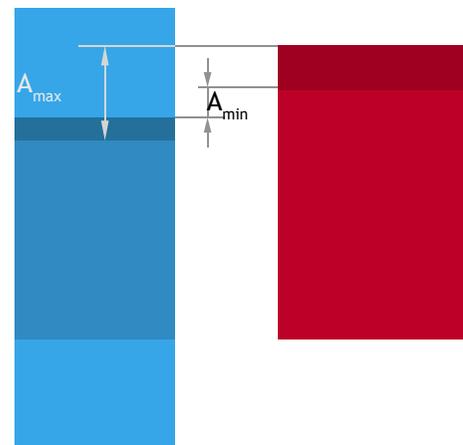
Ajuste con Holgura o con Juego, se da cuando el agujero es en todos los casos mayor que el eje.

Ajuste con Interferencia o con Apriete, se da cuando el agujero es en todos los casos menor que el eje.

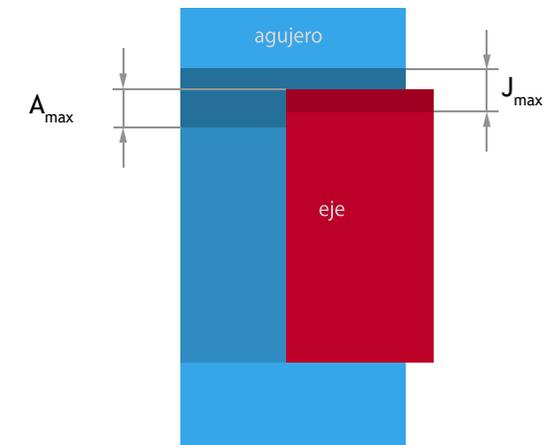
Ajuste Incierto o Indeterminado, se da cuando es posible que se den situaciones de juego o apriete en un ajuste.



Ajuste con Holgura o con Juego



Ajuste con Interferencia o con Apriete



Ajuste Incierto o Indeterminado

Ajustes con Holgura

Se da cuando el límite inferior dimensional del agujero es o más grande o, en casos extremos, igual que el límite superior dimensional del eje.

Holgura o Juego: Diferencia entre la dimensión real del agujero y la del eje cuando la dimensión real del eje es menor que el del agujero.

Holgura máxima o Juego máximo (J_{\max}): Diferencia entre el límite superior dimensional del agujero y el límite inferior dimensional del eje.

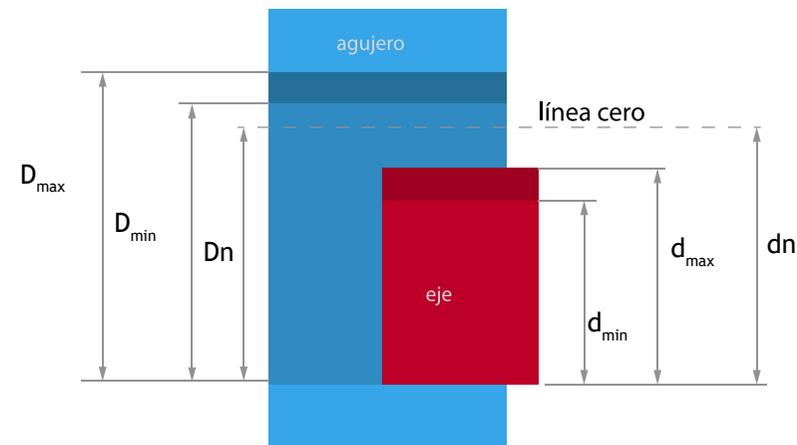
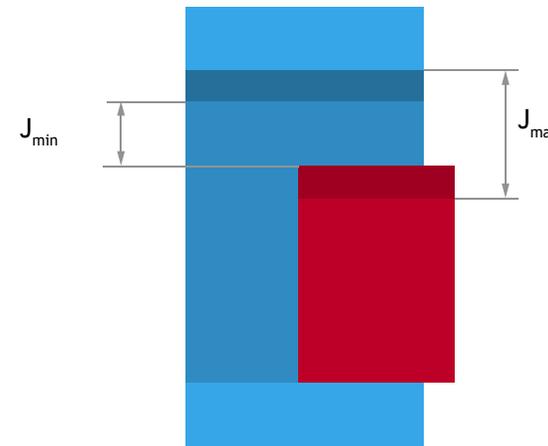
Holgura mínima o Juego mínimo (J_{\min}): Diferencia entre el límite inferior dimensional del agujero y el límite superior dimensional del eje.

Amplitud de un ajuste (AJ): Suma de la tolerancia del agujero y del eje. En ajustes con holgura también es la diferencia entre las holguras máximas y mínimas.

$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$J_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

$$AJ = J_{\max} - J_{\min} = T + t$$



Ajustes con Interferencia

Se da cuando el límite superior dimensional del agujero es menor o, en casos extremos, igual que el límite inferior dimensional del eje.

Interferencia o Apriete: Diferencia antes del ajuste entre la dimensión del agujero y la del eje cuando la dimensión del eje es mayor que el del agujero.

Interferencia máxima o Apriete máximo (A_{\max}): Diferencia entre el límite inferior dimensional del agujero y el límite superior dimensional del eje.

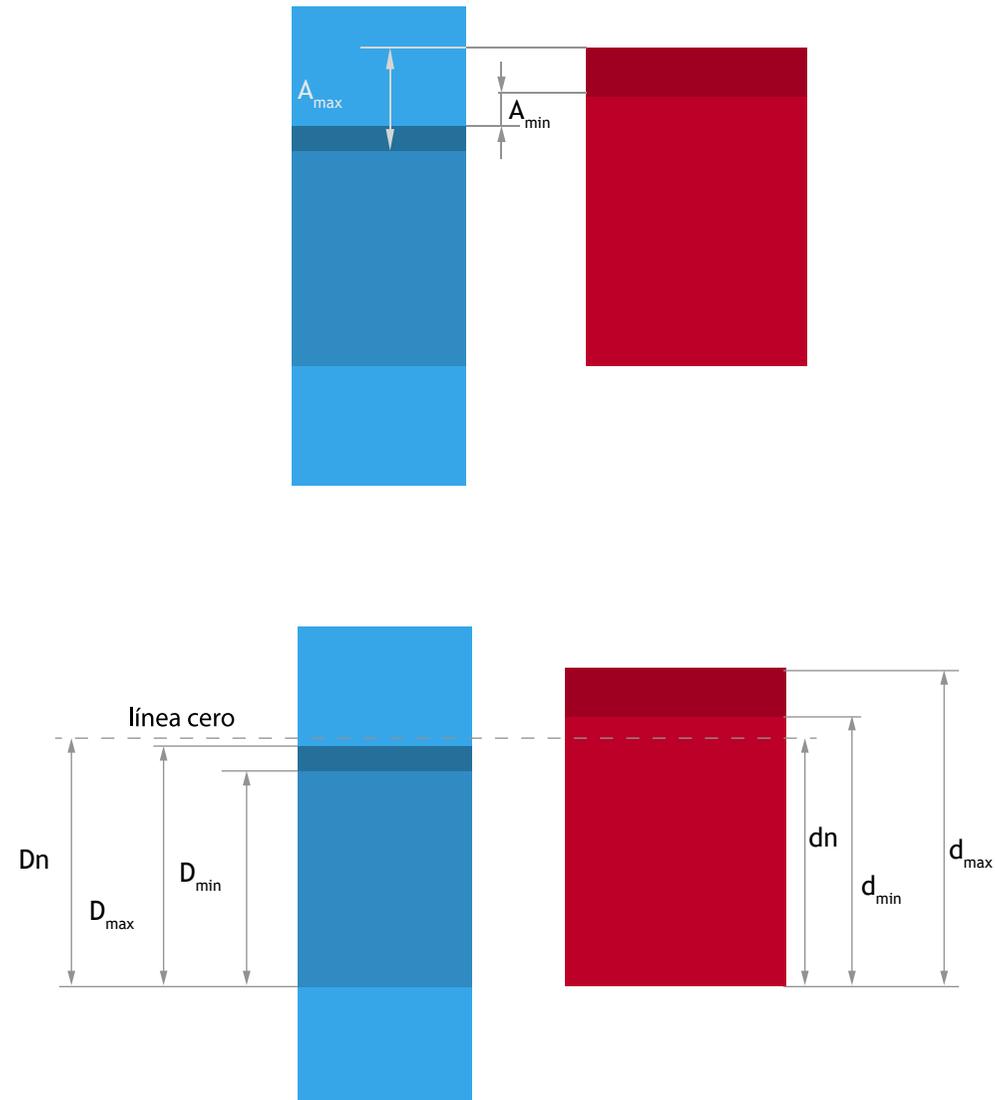
Interferencia mínima o Apriete mínimo (A_{\min}): Diferencia entre el límite superior dimensional del agujero y el límite inferior dimensional del eje.

Amplitud de un ajuste (AJ): Suma de la tolerancia del agujero y del eje. En ajustes con interferencia también es la diferencia entre las interferencias máximas y mínimas.

$$A_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$$

$$A_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$$

$$AJ = A_{\max} - A_{\min} = T + t$$



Ajuste incierto o indeterminado

Ajuste que podrá ser con holgura o con interferencia entre el agujero y el eje cuando se ensamblan. Se podrá determinar, por tanto, una holgura máxima y una interferencia máxima.

Holgura máxima o Juego máximo (J_{\max}): Diferencia entre el límite superior dimensional del agujero y el límite inferior dimensional del eje.

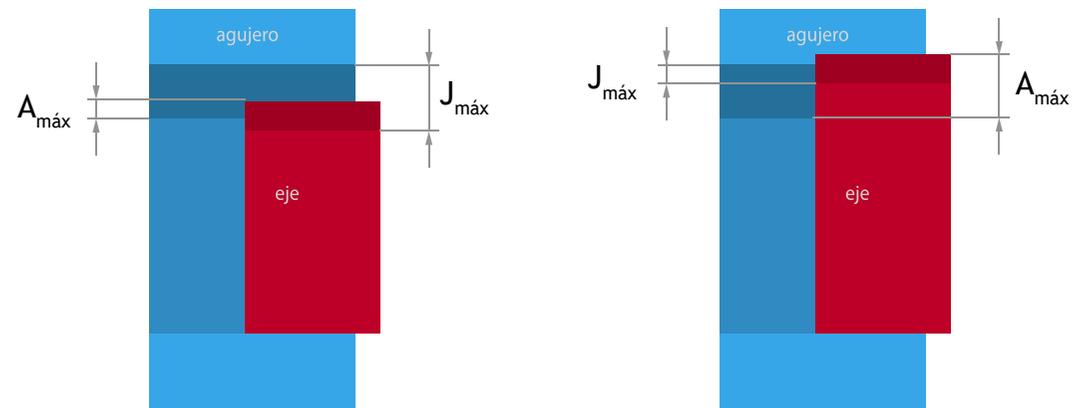
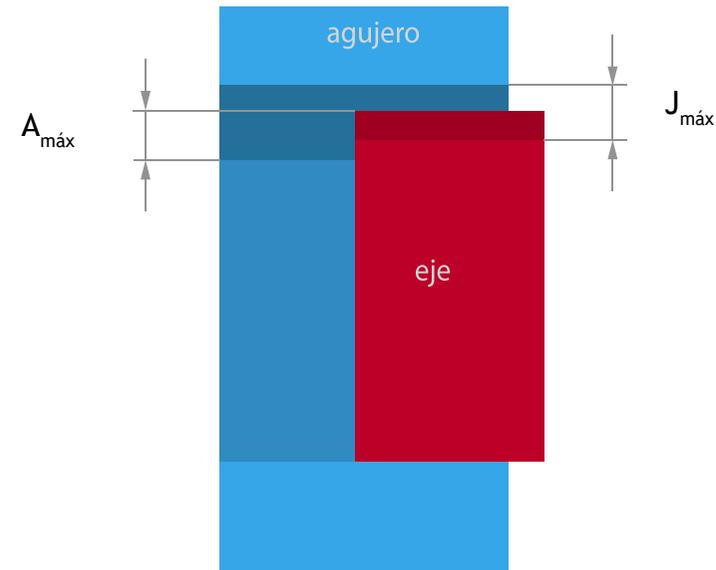
Interferencia máxima o Apriete máximo (A_{\max}): Diferencia entre el límite inferior dimensional del agujero y el límite superior dimensional del eje.

Amplitud de un ajuste (AJ): Suma de la tolerancia del agujero y del eje. En ajustes inciertos también es la suma entre la holgura máxima y interferencia máxima.

$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$A_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$$

$$AJ = J_{\max} + A_{\max} = T + t$$

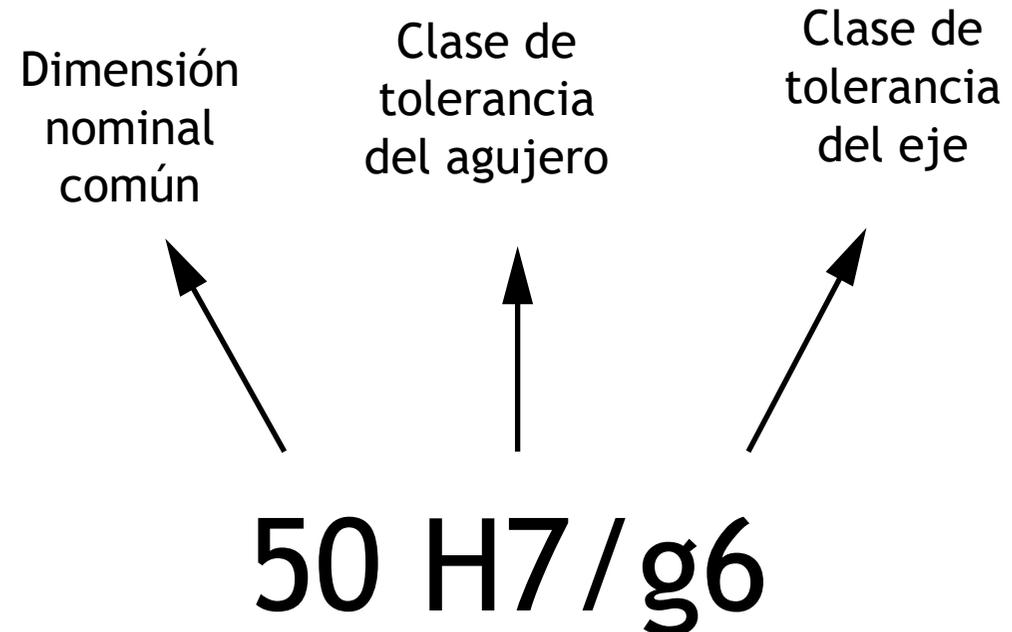


Sistemas de ajustes

Son conjuntos sistemáticos de ajustes entre ejes y agujeros pertenecientes a un sistema de tolerancias. Tenemos un sistema de ajustes ISO cuando sus tolerancias están en el sistema de codificación ISO.

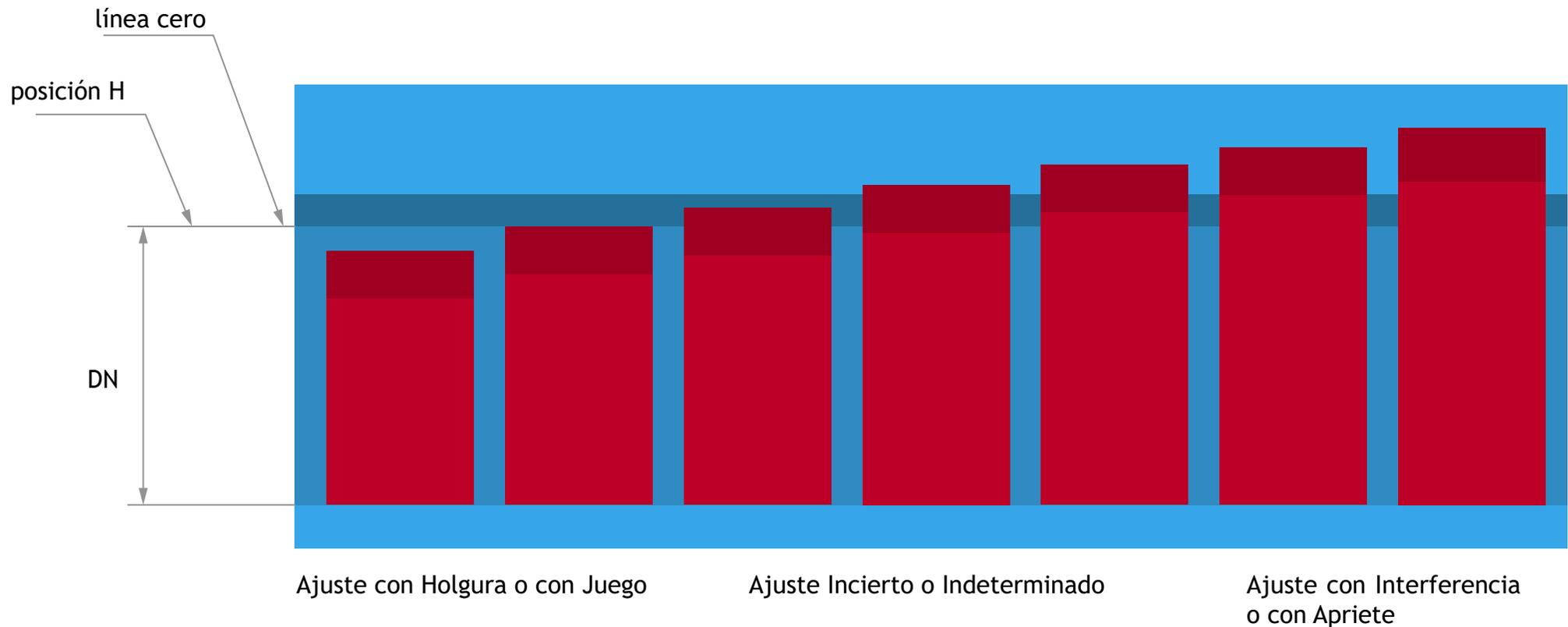
En el sistema de ajustes ISO la designación de estos ajustes se realiza mediante:

- dimensión nominal común a ambas piezas
- la clase de tolerancia del agujero
- la clase de tolerancia del eje



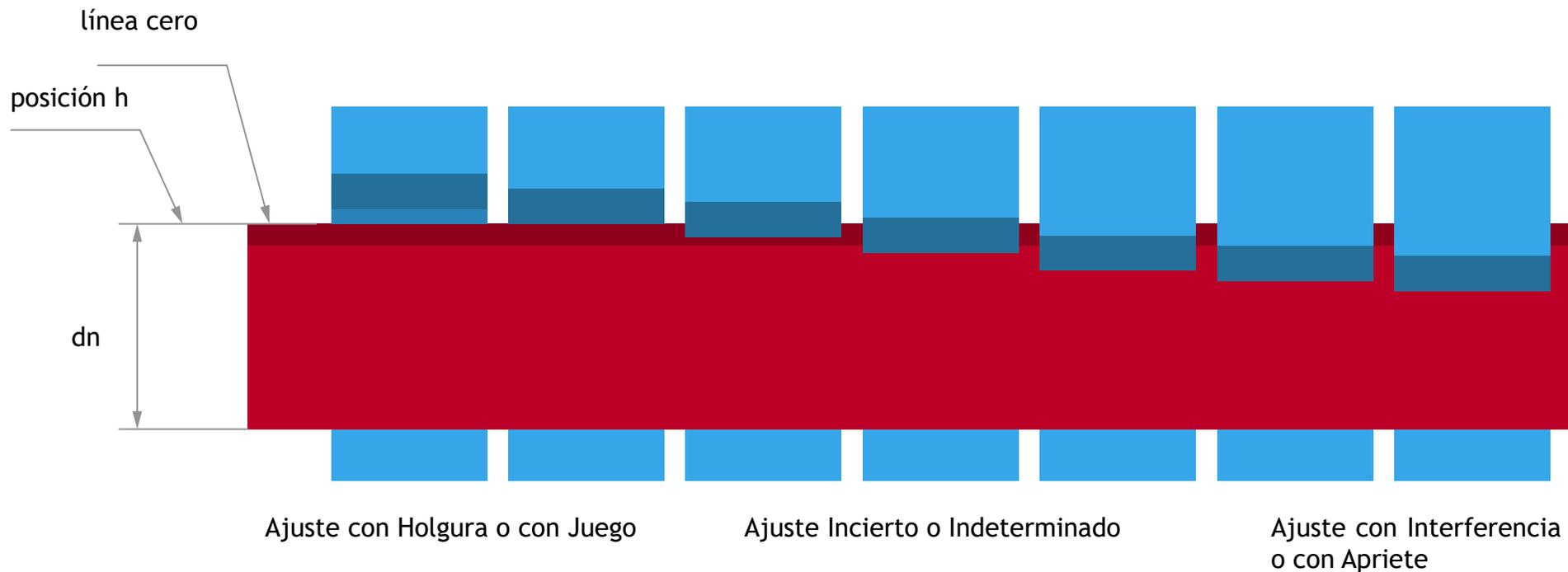
Sistema de ajuste agujero base: Ajustes donde la pieza de tipo agujero tiene una tolerancia cuya desviación límite inferior es cero, posición "H". Por tanto el límite inferior de la dimensión del agujero coincide con el valor nominal.

En este sistema y para piezas de tipo eje con tolerancias entre las posiciones "a" y "h", se darán ajustes con holgura. Para ejes con tolerancias entre las posiciones "js" y "n" se darán ajustes inciertos, y para el resto de posiciones se darán ajustes con interferencia.



Sistema de ajuste eje base: Ajustes donde la pieza de tipo eje tiene una tolerancia cuya desviación límite superior es cero, posición "h". Por tanto el límite superior de la dimensión del eje coincide con la dimensión nominal.

En este sistema y para piezas de tipo agujero con tolerancias entre las posiciones "A" y "H", se darán ajustes con holgura. Para ejes con tolerancias entre las posiciones "JS" y "N" se darán ajustes inciertos, y para el resto de posiciones se darán ajustes con interferencia.



Ajustes recomendados

La elección del sistema de ajuste suele estar condicionado principalmente por razones económicas, más que técnicas. Con carácter general se recomienda el sistema de agujero base para evitar el uso de múltiples herramientas y equipos de medida en los procesos de fabricación. El sistema de eje base debe usarse en aquellos casos en los que esté claramente justificada las ventajas económicas. En situaciones muy específicas y justificadas pueden ser usados otros tipos de ajustes.

En base a la experiencia, solo se requiere un pequeño número de ajustes que cubren las necesidades de funcionalidad.

Agujero base	Clases de tolerancia para ejes																	
	Ajustes con holgura				Ajustes indeterminados				Ajustes con interferencia									
H 6					g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5							
H 7						f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	x6
H 8						e7	f7		h7	js7	k7	m7			s7		u7	
H 9					d8	e8	f8		h8									
H 10					d8	e8	f8		h8									
H 11	b9	e9	d9	e9					h9									
H 11	b11	e11	d10					h10										

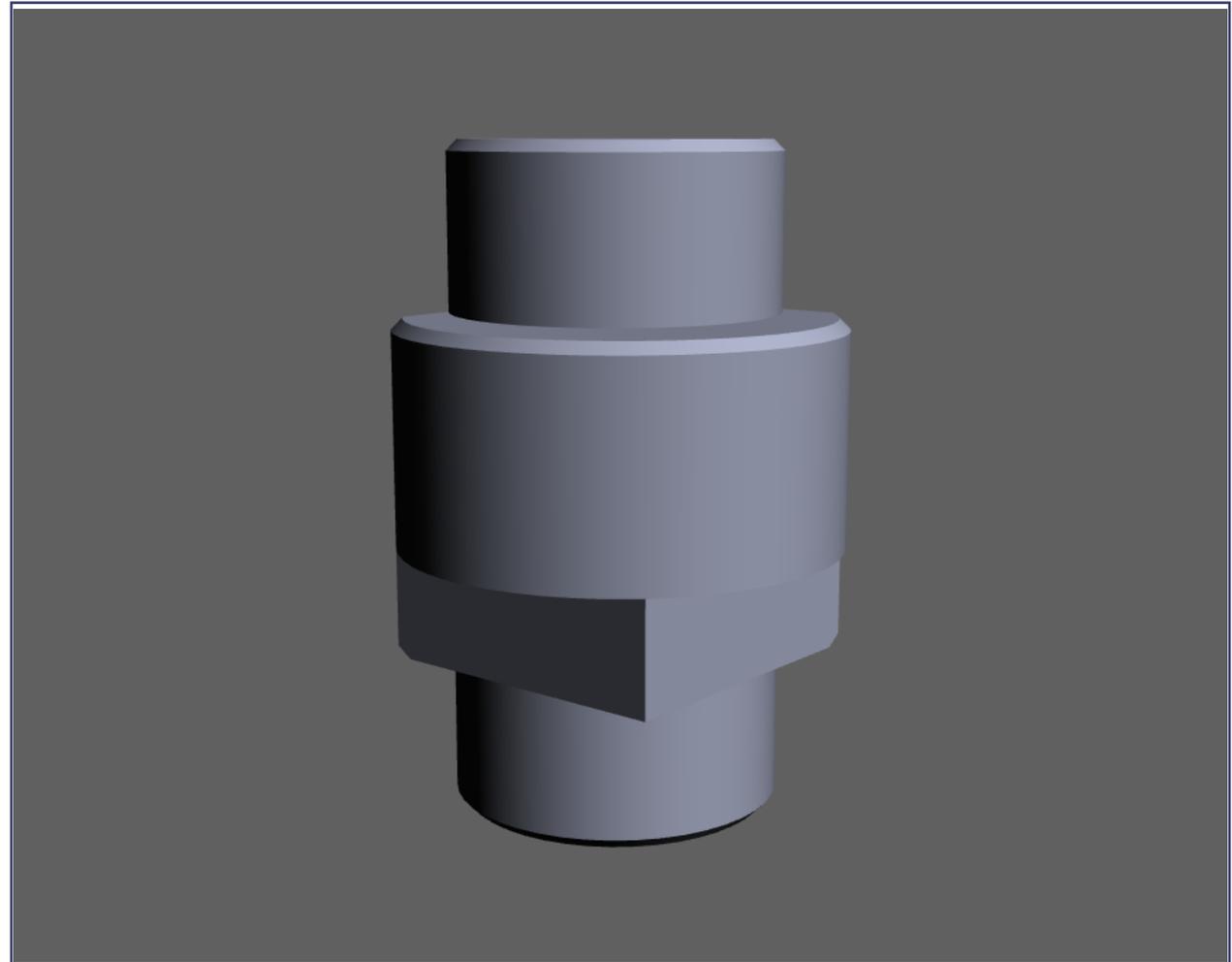
Eje base	Clases de tolerancias para agujeros																	
	Ajustes con holgura				Ajustes indeterminados				Ajustes con interferencia									
h 5						G6	H6	JS6	K6	M6	N6	P6						
h 6						F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7	X7
h 7						E8	F8		H8									
h 8					D9	E9	F9		H9									
h 9						E8	F8		H8									
h 9					D9	E9	F9		H9									
h 9	B11	C10	D10					H10										



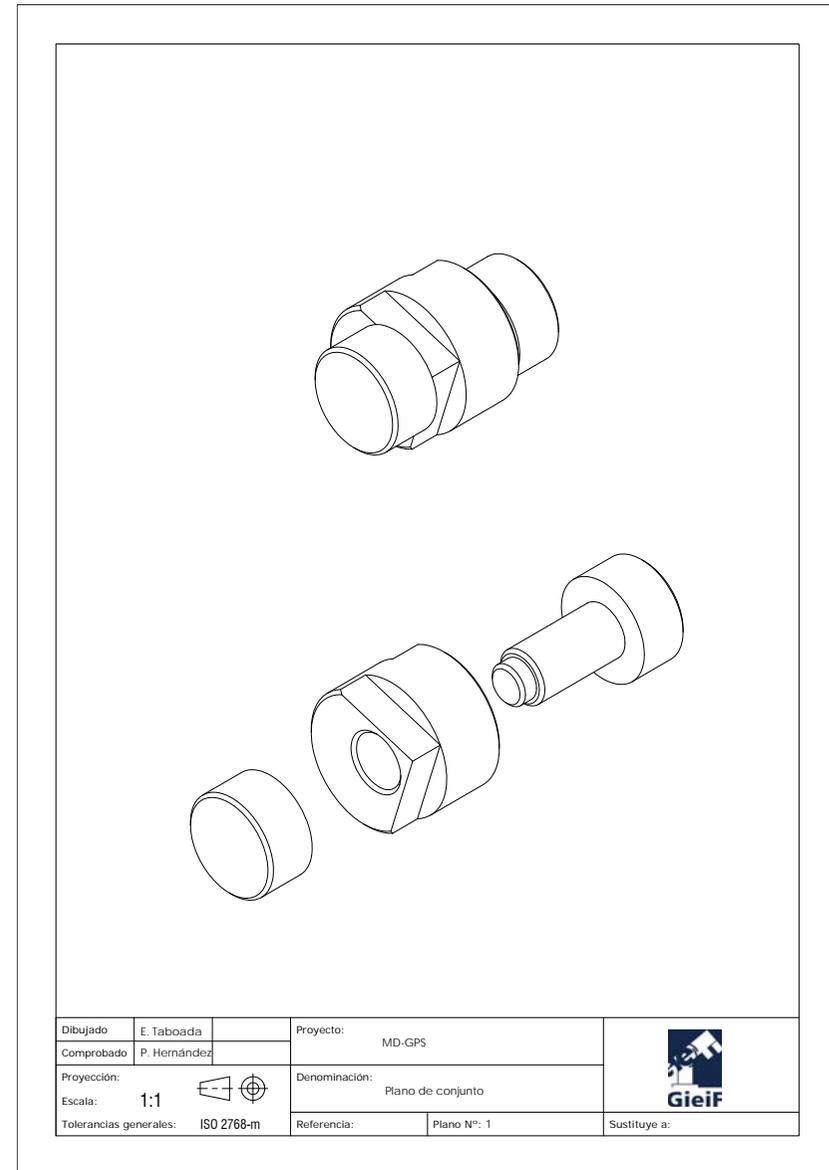
APLICACIONES

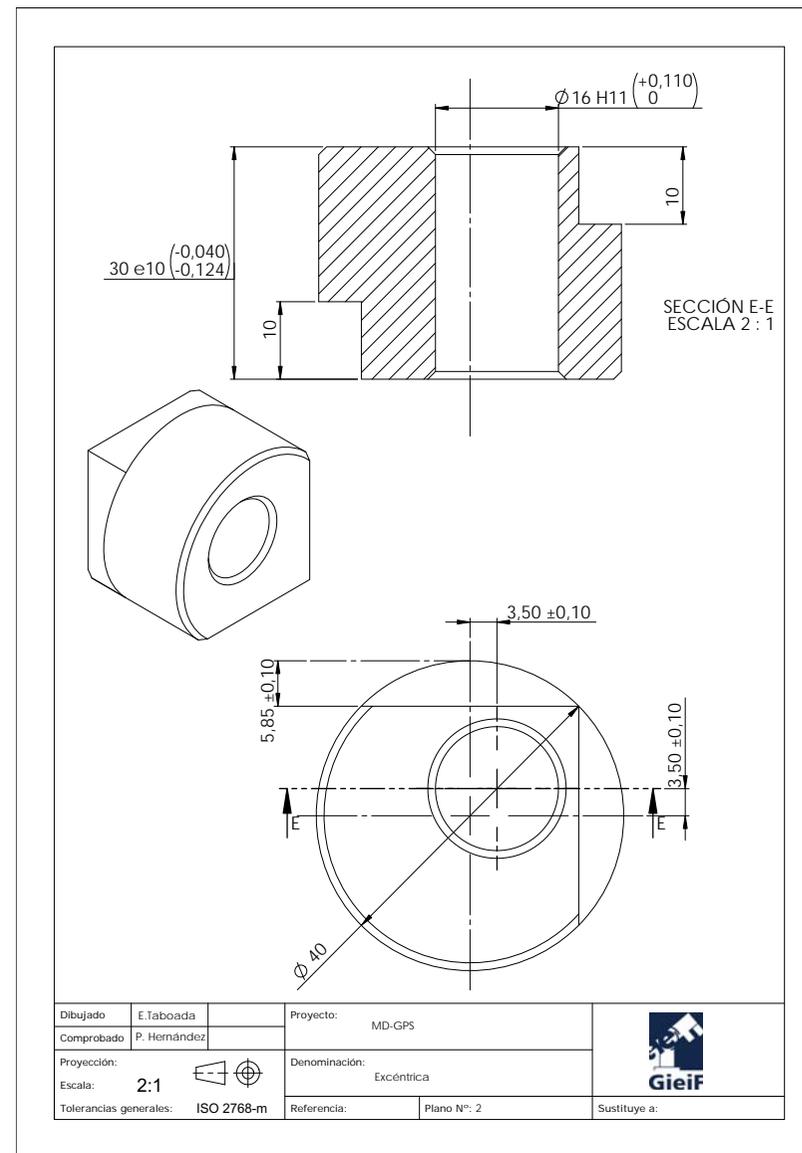
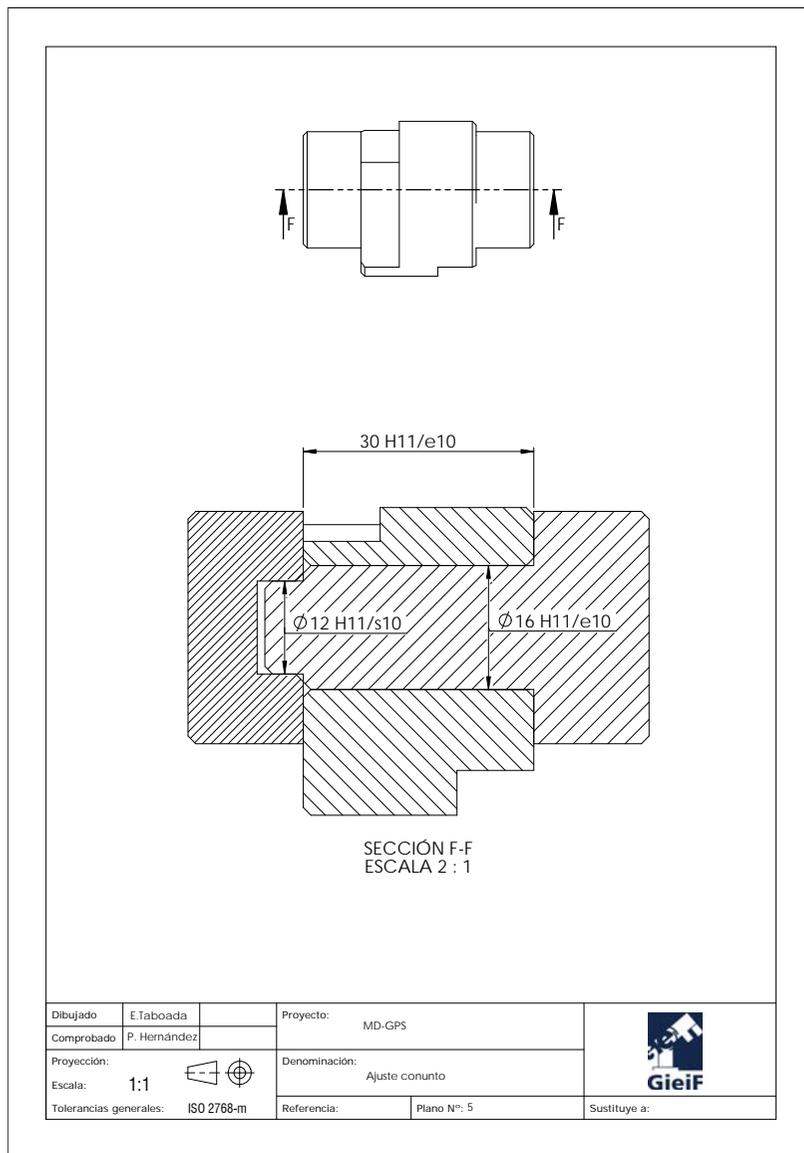
En esta ventana gráfica interactiva se puede interactuar con un conjunto de piezas desarrolladas para prácticas de laboratorio de mecanizado por arranque de material. Se han diseñado para incluir características geométricas de concentricidad, excentricidad, tangencialidad, perpendicularidad, cilindridad, entre otras. Se pretende también que se puedan asimilar con más facilidad conceptos como; los requisitos necesarios para conseguir cierta precisión en el mecanizado, y para el cumplimiento de unas especificaciones de diseño.

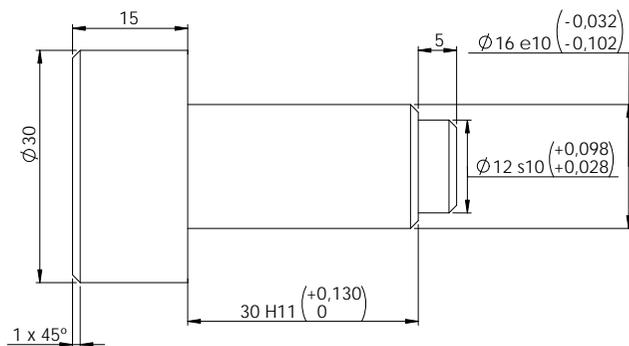
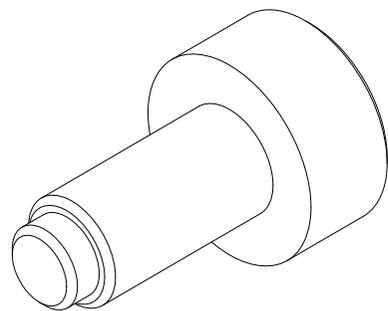
Este conjunto está formado por el ensamblaje de 3 piezas que requiere un ajuste con interferencia para mantenerlas todas unidas. Además se requieren dos ajustes con holgura, uno para permitir el giro de la pieza intermedia y otro para permitir pequeño juego de deslizamiento de esa misma pieza intermedia.



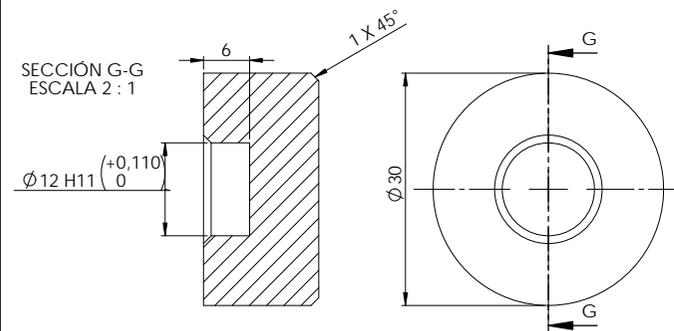
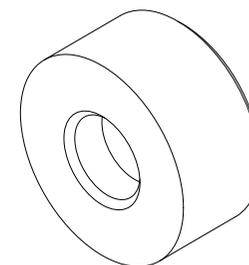
En el video se puede ver como se realiza el ensamblaje de las piezas, consiguiendo la unión del conjunto mediante la interferencia de la geometría de las piezas. También se puede observar los movimientos relativos permitidos entre los componentes del conjunto.







Dibujado	E. Taboada	Proyecto:	MD-GPS	
Comprobado	P. Hernández	Denominación:	Eje	
Proyección:		Referencia:	Plano N°: 3	
Escala:	2:1	Tolerancias generales:	ISO 2768-m	Sustituye a:



Dibujado	E. Taboada	Proyecto:	MD-GPS	
Comprobado	P. Hernández	Denominación:	Tapa	
Proyección:		Referencia:	Plano N°: 4	
Escala:	2:1	Tolerancias generales:	ISO 2768-m	Sustituye a:

Problema 1

Se requiere fabricar una pieza tipo agujero en acero inoxidable AISI-316 que tenga un ajuste con apriete forzado duro con un eje de tolerancia 45h6.

Se busca en los ajustes recomendados para el sistema eje base y se determina una clase de tolerancia para el agujero que se corresponda a un apriete forzado duro pudiera ser R7. Por tanto el ajuste ISO normalizado que se recomienda es 45R7/h6.

Para calcular las interferencias o aprietes límites, A_{\max} y A_{\min} , se debe determinar las dimensiones máximas y mínimas del agujero y del eje. Para esto es necesario buscar en la tabla 1 de grados de tolerancias, las magnitudes que se corresponden con las tolerancias normalizadas para la dimensión nominal de 45 mm.

Dimensión nominal $D_n = 45 \text{ mm}$

Dimensión Nominal (mm)		Grados de tolerancia normalizados												
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT4	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
Desde	Hasta e incluido	Valores de tolerancia normalizados μm												
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160

Agujero $IT7, T = 25 \mu\text{m}$

$$AJ = T + t = 25 + 16 = 41 \mu\text{m}$$

La amplitud del ajuste es igual a $41 \mu\text{m}$

Eje $IT6, t = 16 \mu\text{m}$

Por otro lado es necesario saber cuál es el valor de la desviación fundamental del agujero, que en este caso se trata de la desviación superior, ES, por tratarse de la posición R. Sabemos que el valor de la desviación fundamental para el eje se corresponde con la desviación superior, es=0, al usar la posición h.

En la tabla 3, aparecen las desviaciones fundamentales para piezas de tipo agujero desde las posiciones N a la ZC. Para el grado de

tolerancia normalizado IT7, la posición R se ha de determinar a partir del valor de la desviación fundamental para los grados superiores aumentándolo en un valor Δ . Para el grupo dimensional de mayor de 30 mm hasta 50 mm inclusive, se extrae que la desviación fundamental debe de ser $-34 + \Delta \mu\text{m}$, donde este incremento tiene un valor de $9 \mu\text{m}$ como se puede observar a la derecha de esa misma tabla. Por tanto el valor de la desviación fundamental, que corresponde a la desviación superior, tiene un valor de $-25 \mu\text{m}$.

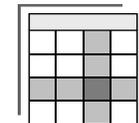


Tabla 3 - Valores para la desviación fundamental en agujeros desde N a ZC

Valores de las desviaciones fundamentales y valores Δ en micrómetros

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental Límite superior de la desviación, ES															Valores para Δ					
Desde	Hasta e incluido	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT7	Grados de tolerancia normalizados por encima de IT7												Grados de tolerancia normalizados					
		N ^{a,b}		P a ZC ^a	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
30	40	-17 + Δ	0		-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14
40	50					-41	-53	-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325						
50	65	-20 + Δ	0		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
65	80					-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480						

Una vez que se han determinado las magnitudes de las tolerancias y sus desviaciones fundamentales, se calculan

las dimensiones máximas y mínimas del agujero y del eje:

Agujero 45R7

Dimensión máxima $D_{\max} = D_n + ES (R)$

Dimensión mínima $D_{\min} = D_{\max} - Magnitud (IT7)$

$$D_{\max} = 45,000 + (-0,025) = 44,975 \text{ mm}$$

$$D_{\min} = 44,975 - 0,025 = 44,950 \text{ mm}$$

Eje 45h6

Dimensión máxima $d_{\max} = D_n + es (h)$

Dimensión mínima $d_{\min} = d_{\max} - Amplitud (IT6)$

$$d_{\max} = 45,000 + 0 = 45,000 \text{ mm}$$

$$d_{\min} = 45,000 - 0,016 = 44,984 \text{ mm}$$

Una vez tenemos las dimensiones del agujero y del eje pasamos a calcular las interferencias o aprietes máximos y mínimos, A_{\max} y el A_{\min} , de las piezas que conforman este ajuste.

$$\text{Apretete máximo } A_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$$

$$\text{Apretete mínimo } A_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$$

$$A_{\max} = 45,000 - 44,950 = 0,050 \text{ mm}$$

$$A_{\min} = 45,000 - 44,975 = 0,009 \text{ mm}$$

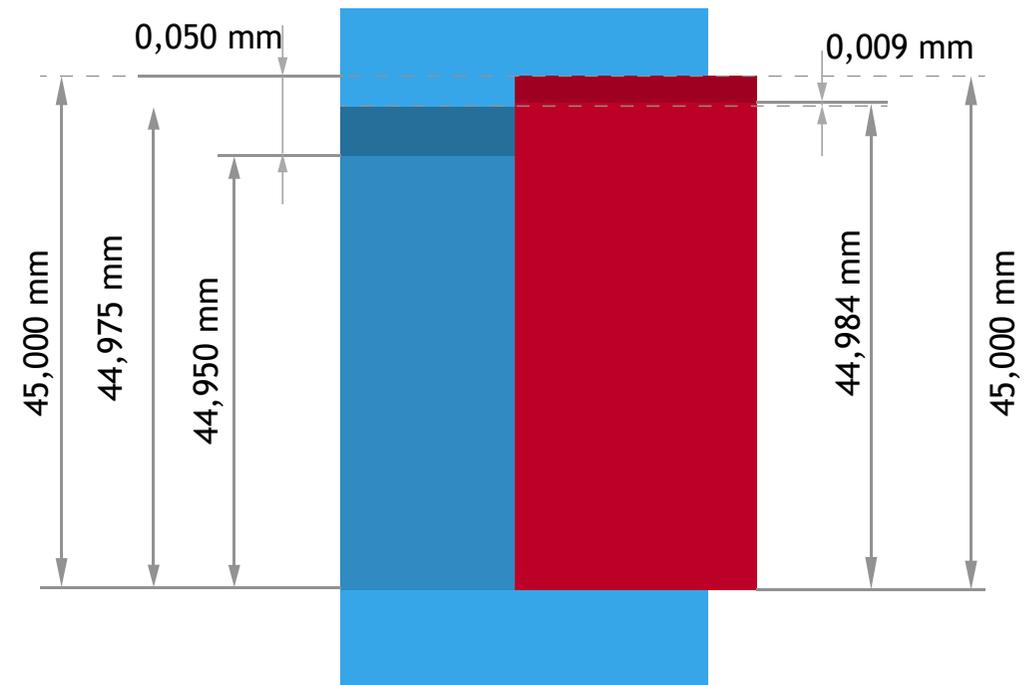
$$A_{\max} = 50 \text{ } \mu\text{m} \quad A_{\min} = 9 \text{ } \mu\text{m}$$

Ahora calcularemos la amplitud del ajuste (AJ) y se comprueba que coincide con la suma de las magnitudes de los intervalos de tolerancia de las piezas eje y agujero.

$$\text{Amplitud del ajuste } AJ = A_{\max} - A_{\min} = 50 \text{ } \mu\text{m} - 9 \text{ } \mu\text{m} = 41 \text{ } \mu\text{m}$$

$$AJ = T(\text{IT7}) + t(\text{IT6})$$

$$AJ = 25 \text{ } \mu\text{m} + 16 \text{ } \mu\text{m} = 41 \text{ } \mu\text{m}$$



Problema 2

Se han de conseguir un ajuste entre dos piezas de 25 mm de dimensión nominal, que cumplan con las restricciones de lograr una holgura máxima de 75 μm y una holgura mínima de 25 μm .

Dimensión nominal $D_n = 25 \text{ mm}$

Juego máximo $J_{\text{max}} = 75 \mu\text{m}$

Juego mínimo $J_{\text{min}} = 25 \mu\text{m}$

Es importante tener en cuenta que la amplitud del ajuste se ha de repartir entre las magnitudes de las tolerancias de las piezas de tipo eje y de tipo agujero

$$AJ = T + t$$

Amplitud del ajuste limite $AJ = J_{\text{max}} - J_{\text{min}}$

$$AJ = 75 \mu\text{m} - 25 \mu\text{m} = 50 \mu\text{m}$$

Una vez se ha calculado la amplitud del ajuste se busca en la tabla 1 para determinar que grados de tolerancia se adecúan mejor, teniendo en cuenta que la dimensión nominal es 25 mm.



En este caso podremos elegir combinaciones entre los grados IT6, IT7 e IT8, como los de mayor magnitud que cumplirían el requisito de que la suma de ambas sea menor o igual a $50\mu\text{m}$. A continuación se muestran dos combinaciones viables de esos grados que más se acercan a la amplitud del ajuste límite que se ha determinado previamente. Se ha tenido en cuenta que los grados de tolerancia

del eje y del agujero no deben variar más de dos unidades, para evitar ensamblar piezas con niveles de calidad muy diferentes. Para un agujero con un grado de tolerancia concreto, se le debe asociar un eje con un índice de grado igual o inferior, ya que este tipo de piezas es más fácil de fabricar.

Opción 1

IT6 = $13\mu\text{m}$
IT8 = $33\mu\text{m}$

$$46\mu\text{m} \leq 50\mu\text{m}$$

Opción 2

IT7 = $21\mu\text{m}$
IT7 = $21\mu\text{m}$

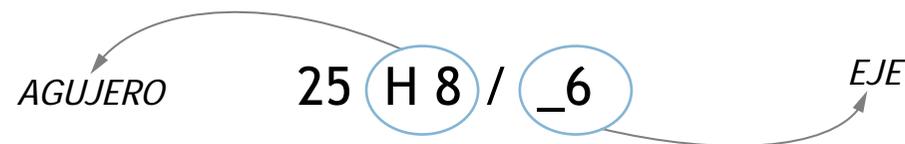
$$42\mu\text{m} \leq 50\mu\text{m}$$

Dimensión Nominal (mm)		Grados de tolerancia normalizados												
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
Desde	Hasta e incluido	Valores de tolerancia normalizados												
		μm												
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130

Opción 1

Se tiene en cuenta que las piezas de tipo agujero necesitan mayor tolerancia por presentar mayor complejidad en sus procesos de fabricación. En este caso se asigna el mayor grado de tolerancia a la pieza de tipo

agujero, y también se establece el sistema de ajuste normalizado en agujero base, por tanto la clase de tolerancias para el agujero será H8.



Agujero 25H8

Dimensión mínima $D_{min} = D_n + EI (H)$

Dimensión máxima $D_{max} = D_{min} + \text{magnitud } (IT8)$

$$D_{min} = 25,000 + 0 = 25,000 \text{ mm}$$

$$D_{max} = 25,000 + 0,033 = 25,033 \text{ mm}$$

Con los valores que se han obtenido de D_{min} y D_{max} , junto con J_{max} y J_{min} , se calculan unas dimensiones d_{max} y d_{min} aproximadas para la tolerancia tipo eje que se necesita.

$$\text{Juego máximo } J_{max} = D_{max} - d_{min}$$

$$d_{min} = D_{max} - J_{max}$$

$$d_{min} = 25,033 - 0,075 = 24,958 \text{ mm}$$

$$\text{Juego mínimo } J_{min} = D_{min} - d_{max}$$

$$d_{max} = D_{min} - J_{min}$$

$$d_{max} = 25,000 - 0,025 = 24,975 \text{ mm}$$

Con los valores d_{min} y d_{max} se calculan unas desviaciones aproximadas de la pieza tipo eje:

$$\text{Desviación superior } e_s = d_{max} - D_n \quad e_s = 24,975 - 25,000 = -0,025 \text{ mm}$$

$$\text{Desviación inferior } e_i = d_{min} - D_n \quad e_i = 24,958 - 25,000 = -0,042 \text{ mm}$$

La desviación fundamental es normalmente la que está más próxima a la línea de cero o de referencia, es decir, al valor de la dimensión nominal. En este caso se trataría de la desviación superior, que se observa tiene un valor negativo, por lo que se trataría de una posición del intervalo de tolerancia identificado con las letras de la “a” a la “g”.

$$25 \begin{matrix} -25 \\ -42 \end{matrix} \longrightarrow \text{Desviación fundamental}$$

Se busca en las tablas 4 y 5, entrando en la fila del grupo dimensional correspondiente, el valor de la desviación fundamental más próximo al valor calculado previamente.

Este valor corresponde a la posición de la tolerancia normalizada identificada con la letra que encabeza esa columna.

Dimensión Nominal (mm)		Valores de las desviaciones fundamentales										
		Límite superior de la desviación, es										
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados										
		a ^a	b ^a	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h
24	30	-300	-160	-110	-85	-65	-40	-25	-20	-12	-7	0

Se observa que hay un valor exacto de $-25 \mu\text{m}$, perteneciente a la posición **ef**. A continuación se han de hacer los cálculos con la tolerancia normalizada

seleccionada, para verificar el cumplimiento de las restricciones del problema. Primero de las dimensiones límites para la pieza tipo eje.

Eje 25ef6

Dimensión máxima $d_{max} = D_n + es (ef)$

$$d_{max} = 25,000 + (-0,025) = 24,975 \text{ mm}$$

Dimensión mínima $d_{min} = d_{max} - magnitud (IT6)$

$$d_{min} = 24,975 - 0,013 = 24,962 \text{ mm}$$

A continuación las holguras existentes:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Juego máximo } J_{max} = D_{max} - d_{min} \\ \text{Juego mínimo } J_{min} = D_{max} - d_{max} \end{array} \right\} \begin{array}{l} J_{max} = 25,033 - 24,962 = 0,071 \text{ mm} \\ J_{min} = 25,000 - 24,975 = 0,025 \text{ mm} \end{array}$$

$$J_{max} = 71 \mu\text{m} \leq 75 \mu\text{m} \quad \checkmark$$

$$J_{min} = 25 \mu\text{m} \geq 25 \mu\text{m} \quad \checkmark$$

Se observa que la holgura o juego máximo está ligeramente por debajo del límite máximo permitido, mientras que la holgura mínima está justo en el límite mínimo permitido. Por estas razones esta

tolerancia normalizada cumple con las restricciones. Se determina finalmente la amplitud del ajuste, y se comprueba que coincide con la suma de las magnitudes de las tolerancias de ambas piezas.

$$\text{Amplitud del ajuste } AJ = J_{max} - J_{min} = 71 - 25 = 46 \mu\text{m}$$

$$AJ = T (\text{IT8}) + t (\text{IT6})$$

$$AJ = 33 \mu\text{m} + 13 \mu\text{m} = 46 \mu\text{m} \quad \checkmark$$

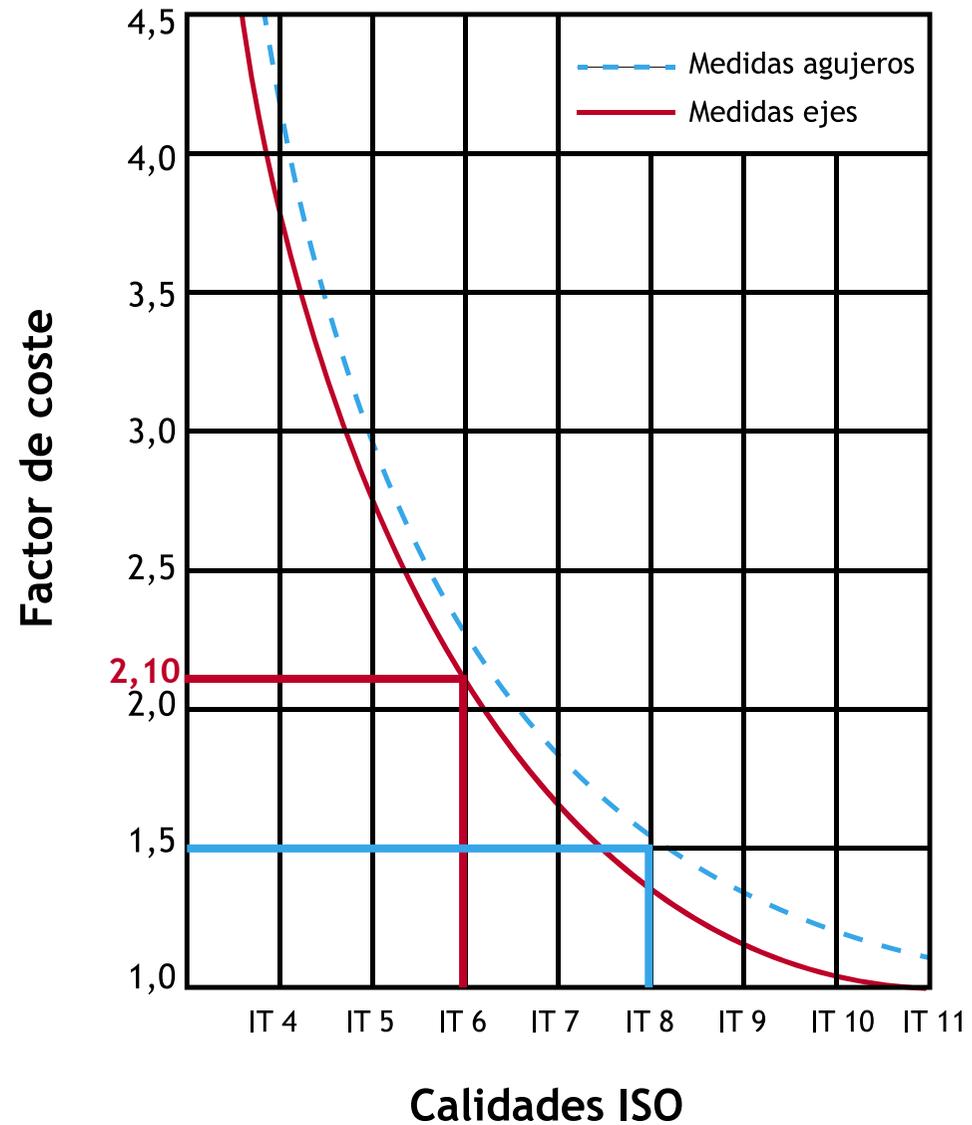
Finalmente se determina los factores de costes de ambas piezas y el global del ajuste como suma de los individuales.

Resultado: 25 H8 / ef6

Factor de coste agujero = 1,50

Factor de coste eje = 2,10

Factor de coste global = 3,60



Opción 2

Para esta segunda opción se mantienen los mismos criterios que para la opción anterior, por lo que se establece una clase de tolerancia H7 para la pieza de tipo

agujero y una ef7 para la pieza de tipo eje. Las desviaciones límites para ambas piezas se calculan a continuación.

Agujero 25H7

Dimensión mínima $D_{min} = D_n + EI (H)$

Dimensión máxima $D_{max} = D_{min} + magnitud (IT7)$

$$D_{min} = 25,000 + 0 = 25,000 \text{ mm}$$

$$D_{max} = 25,000 + 0,021 = 25,021 \text{ mm}$$

Eje 25ef7

Dimensión máxima $d_{max} = D_n + es (ef)$

Dimensión mínima $d_{min} = d_{max} - magnitud (IT7)$

$$d_{max} = 25,000 + (-0,025) = 24,975 \text{ mm}$$

$$d_{min} = 24,975 - 0,021 = 24,954 \text{ mm}$$

Con estos valores se determinan las holguras máximas y mínimas para verificar el cumplimiento de las restricciones del problema. También se

determina la amplitud del ajuste, y se comprueba que es igual a la suma de las magnitudes de los intervalos de tolerancia de ambas piezas.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Juego máximo } J_{max} = D_{max} - d_{min} \\ \text{Juego mínimo } J_{min} = D_{max} - d_{max} \end{array} \right\} \begin{array}{l} J_{max} = 25,021 - 24,954 = 0,067 \text{ mm} \\ J_{min} = 25,000 - 24,975 = 0,025 \text{ mm} \end{array}$$

$$J_{max} = 67\mu\text{m} \leq 75\mu\text{m} \quad \checkmark$$

$$J_{min} = 25\mu\text{m} \geq 25\mu\text{m} \quad \checkmark$$

$$\text{Amplitud del ajuste } AJ = J_{max} - J_{min} = 67 - 25 = 42 \mu\text{m}$$

$$AJ = T (IT7) + t (IT7)$$

$$AJ = 21 \mu\text{m} + 21 \mu\text{m} = 42 \mu\text{m} \quad \checkmark$$

Finalmente se determina los factores de costes de ambas piezas y el global del ajuste como suma de los individuales.

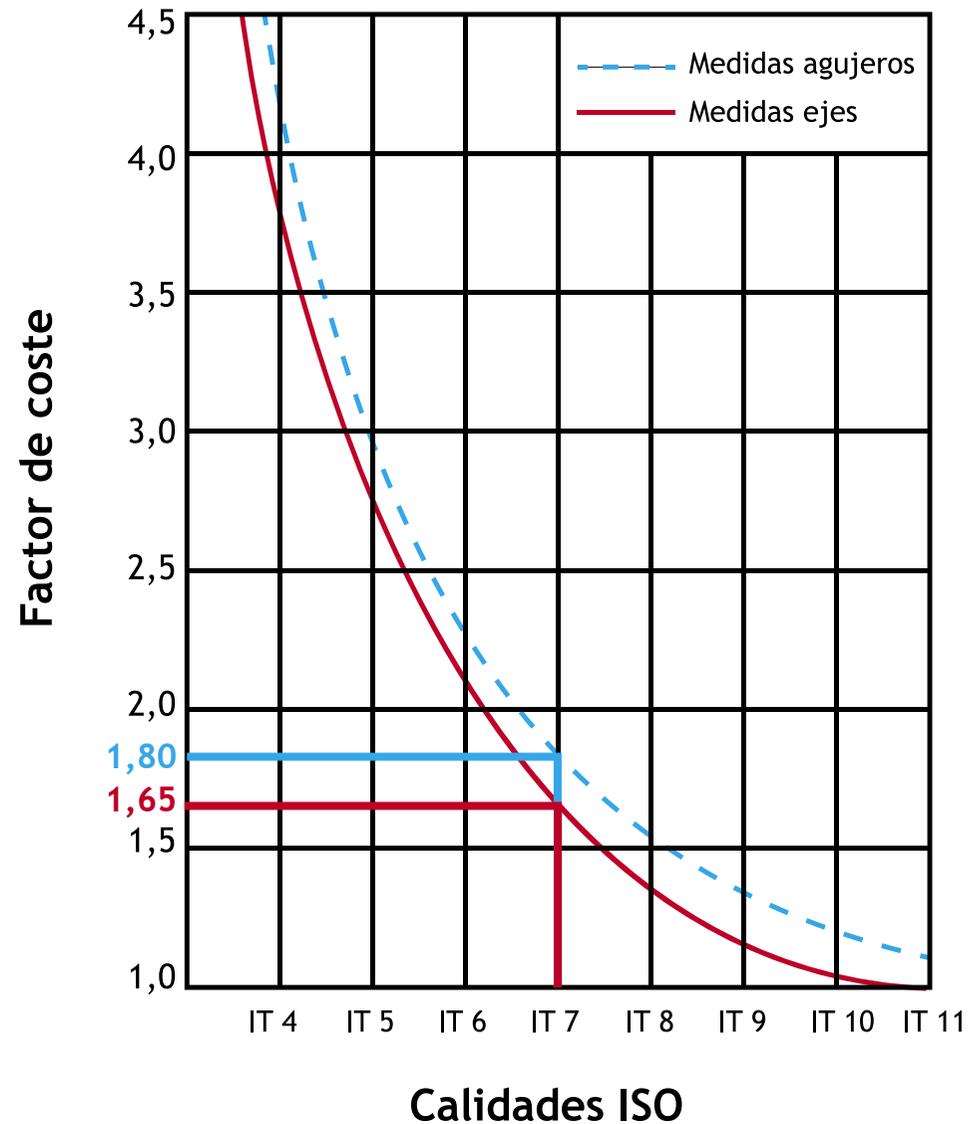
Resultado: 25 H7 / ef7

Factor de coste agujero = 1,80

Factor de coste eje = 1,65

Factor de coste global = 3,45

Se observa que para esta segunda opción el factor de coste global es ligeramente inferior al de la primera opción. Ello se debe a que la disminución de coste en bajar el nivel de calidad de la pieza eje del grado IT6 al IT7, es en magnitud mayor que el incremento de coste de subir la calidad de la pieza de tipo agujero de la calidad IT8 a IT7.



Se ha fabricado un juego de piezas de tipo eje y de tipo agujero para experimentar con diferentes tipos de ajuste. Este juego se ha distribuido en 5 lotes para piezas de tipo eje y otros 5 lotes para piezas de tipo agujero. Todos tienen en común una dimensión nominal de 20 mm. Cada uno de los lotes se diferencian por la tolerancia asignada para su fabricación, que se distribuyen a ambos lados del valor nominal de referencia. En función de la combinación de piezas escogidas se pueden identificar diferentes tipos de ajustes que van desde holguras amplias, juegos muy finos, pequeñas interferencias y aprietes muy duros. Permite también analizar la variabilidad del proceso de fabricación empleado, así como del proceso de medición realizado. Se pueden identificar desviaciones geométricas en la pieza real, respecto a la geometría teórica ideal.



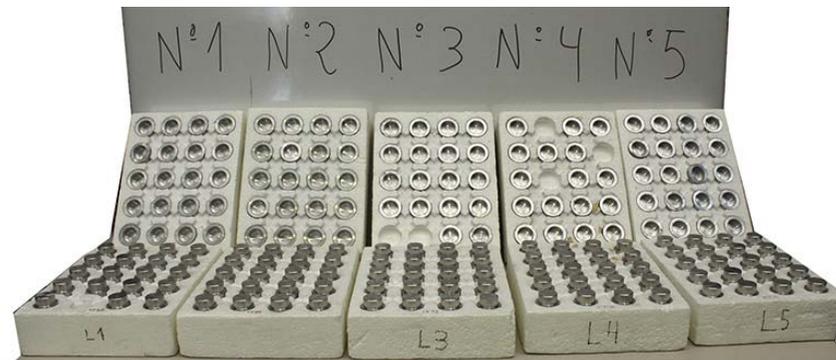
Se ha realizado un proceso de medición de todas las piezas del juego.

Las piezas de tipo eje han sido medidas con un micrómetro de exteriores digital, con una incertidumbre de medida de 0,005 mm.

Las piezas de tipo agujero han sido medidas con un pie de rey analógico, con una incertidumbre de medida de 0,030 mm.

De los resultados obtenidos, que se pueden consultar en el anexo, se puede analizar la variabilidad dimensional del proceso de fabricación empleado, torneado en máquina de control numérico.

Este juego permite realizar un proceso de verificación del cumplimiento de las tolerancias dimensionales de los diferentes lotes de fabricación mediante el uso de calibres pasa-no pasa.





ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

DATOS CASO PRÁCTICO

TABLAS NORMA

Ángel de Andrés Martínez, Eduardo García Sánchez, María Ana Sáenz Nuño. (2011). ANALES ICAI. Nueva normativa sobre tolerancias dimensionales. Un diseño nuevo. Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de http://www.revista-anales.es/web/n_6/seccion_4.html

Institute for Geometrical Product Specifications. GPS 100 - Introduction to Geometrical Product Specifications. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://iso-gps.com/courses/gps-100>

Nielsen, H. S. ek, & Standard, D. (2012). The ISO Geometrical Product Specifications Handbook: Find Your Way in GPS. Danish Standards.

Per Bennich y Henrik Nielsen. (2005). Institute for Geometrical Product Specifications. Una Visión Global de GPS. Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.ifgps.com/resources.htm>

Normas consultadas

AENOR: Norma EN ISO 14638:2015. Especificación geométrica de productos (GPS). Modelo de matriz. (ISO 14638:2015). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0054403&PDF=Si#.Vp-IEOfDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN 22768-1:1994. Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia. Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0010984&PDF=Si#.Vp-i-ufDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN 22768-2:1994. Tolerancias generales. Parte 2: tolerancias para cotas geométricas sin indicación individual de tolerancia. (ISO 2768-2:1989). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0010985&PDF=Si#.Vp-jGOfDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 286-1:2011. Especificación geométrica de productos (GPS). Sistema de codificación ISO para las tolerancias en dimensiones lineales. Parte 1: Base de tolerancias, desviaciones y ajustes. (ISO 286-1:2010). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046845&PDF=Si#.Vp-oBOfDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 286-2:2011. Especificación geométrica de productos (GPS). Sistema de codificación ISO para las tolerancias en dimensiones lineales. Parte 2: Tablas de las clases de tolerancia normalizadas y de las desviaciones límite para agujeros y ejes. (ISO 286-2:2010). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046880&PDF=Si#.Vp-oQufDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 8015:2012. Especificación geométrica de productos (GPS). Fundamentos. Conceptos, principios y reglas. (ISO 8015:2011). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0049572&PDF=Si#.Vp-jaOfDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 10135:2009. Especificación geométrica de producto (GPS). Indicaciones para las piezas moldeadas en los dibujos técnicos de la documentación técnica de producto (ISO 10135:2007). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0044241&PDF=Si#.Vp-kM-fDWRs>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 14405-1:2012. Especificación geométrica de productos (GPS). Tolerancia dimensional. Parte 1: Dimensiones lineales. (ISO 14405-1:2010). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0048807&PDF=Si#.Vp-m_OfDWRs

AENOR: Norma UNE-EN ISO 14405-2:2015. Especificación geométrica de productos (GPS). Tolerancia dimensional. Parte 2: Dimensiones diferentes a las dimensiones lineales. (ISO 14405-2:2011). Recuperado 20 de enero de 2016, a partir de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0055114&PDF=Si#.Vp-nRefDWRs>

Datos obtenidos del lote 1 de piezas tipo AGUJERO y tipo EJE

EJ1	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A02	19,645	19,645	19,646	19,645
A04	19,648	19,646	19,646	19,647
A01	19,650	19,647	19,649	19,649
A03	19,650	19,648	19,653	19,650
B01	19,644	19,644	19,644	19,644
B03	19,648	19,646	19,648	19,647
B02	19,652	19,654	19,652	19,653
B04	19,654	19,656	19,657	19,656
C02	19,628	19,660	19,642	19,643
C01	19,648	19,648	19,648	19,648
C03	19,648	19,651	19,649	19,649
C04	19,660	19,665	19,666	19,664
D03	19,646	19,646	19,650	19,647
D02	19,650	19,653	19,648	19,650
D04	19,663	19,666	19,670	19,666
D01	19,672	19,677	19,673	19,674
E03	19,642	19,644	19,642	19,643
E02	19,646	19,649	19,642	19,646
E04	19,649	19,650	19,648	19,649
E01	19,649	19,652	19,649	19,650

AG1	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
B17	19,84	19,84	19,86	19,85
A12	19,85	19,85	19,85	19,85
C16	19,85	19,85	19,85	19,85
A11	19,85	19,86	19,85	19,85
B19	19,85	19,86	19,85	19,85
C15	19,85	19,85	19,86	19,85
A09	19,86	19,85	19,86	19,86
B20	19,85	19,86	19,86	19,86
D17	19,85	19,86	19,86	19,86
E20	19,86	19,85	19,86	19,86
B18	19,85	19,87	19,86	19,86
E19	19,86	19,86	19,86	19,86
D19	19,86	19,86	19,87	19,86
C14	19,87	19,86	19,87	19,87
D20	19,86	19,87	19,87	19,87
E18	19,88	19,85	19,87	19,87
A10	19,88	19,87	19,86	19,87
E17	19,88	19,85	19,88	19,87
D18	19,87	19,88	19,87	19,87
C13	19,87	19,88	19,88	19,88

Datos obtenidos del lote 2 de piezas tipo AGUJERO y tipo EJE

EJ2	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A05	19,842	19,844	19,840	19,842
A08	19,847	19,849	19,846	19,847
A07	19,850	19,848	19,847	19,848
A06	19,851	19,850	19,853	19,851
B07	19,846	19,850	19,849	19,848
B05	19,852	19,850	19,850	19,851
B06	19,852	19,853	19,854	19,853
B08	19,860	19,855	19,857	19,857
C07	19,844	19,845	19,844	19,844
C08	19,848	19,851	19,846	19,848
C06	19,849	19,850	19,848	19,849
C05	19,851	19,851	19,854	19,852
D07	19,844	19,844	19,842	19,843
D05	19,846	19,847	19,845	19,846
D06	19,844	19,848	19,848	19,847
D08	19,850	19,852	19,849	19,850
E06	19,837	19,838	19,838	19,838
E07	19,839	19,842	19,842	19,841
E05	19,841	19,842	19,842	19,842
E08	19,844	19,846	19,845	19,845

AG2	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
B15	19,96	19,97	19,97	19,97
B14	19,97	19,97	19,97	19,97
A18	19,97	19,97	19,98	19,97
A20	19,97	19,98	19,97	19,97
B16	19,97	19,97	19,98	19,97
B13	19,97	19,99	19,99	19,98
C01	19,98	19,99	19,98	19,98
A19	19,97	20,00	19,99	19,99
C02	19,99	19,99	19,99	19,99
E10	20,00	19,99	19,99	19,99
A17	20,00	19,99	20,00	20,00
C03	20,00	20,00	19,99	20,00
D14	20,00	20,00	19,99	20,00
E11	19,99	20,00	20,00	20,00
D13	20,00	20,00	20,00	20,00
D15	20,00	20,00	20,00	20,00
E12	20,00	20,00	20,00	20,00
E09	20,00	20,00	20,01	20,00
C04	20,01	20,01	20,00	20,01
D16	20,01	20,01	20,00	20,01

Datos obtenidos del lote 3 de piezas tipo AGUJERO y tipo EJE

EJ3	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A15	19,900	19,948	19,920	19,923
A16	19,940	19,942	19,940	19,941
A13	19,942	19,940	19,942	19,941
A14	19,948	19,951	19,948	19,949
B14	19,939	19,938	19,939	19,939
B16	19,940	19,942	19,942	19,941
B15	19,940	19,944	19,944	19,943
B13	19,945	19,970	19,951	19,955
C15	19,937	19,938	19,940	19,938
C14	19,938	19,942	19,940	19,940
C16	19,942	19,944	19,940	19,942
C13	19,942	19,946	19,945	19,944
D15	19,938	19,938	19,938	19,938
D13	19,943	19,942	19,940	19,942
D16	19,942	19,944	19,942	19,943
D14	19,942	19,943	19,943	19,943
E15	19,938	19,940	19,942	19,940
E14	19,940	19,942	19,940	19,941
E13	19,940	19,942	19,942	19,941
E16	19,944	19,945	19,947	19,945

AG3	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
D09	20,06	20,07	20,07	20,07
D10	20,06	20,07	20,07	20,07
D12	20,06	20,07	20,07	20,07
E02	20,07	20,07	20,06	20,07
C07	20,08	20,07	20,07	20,07
E01	20,07	20,08	20,08	20,08
D11	20,08	20,07	20,09	20,08
E03	20,08	20,08	20,08	20,08
C08	20,09	20,08	20,09	20,09
E04	20,08	20,09	20,09	20,09
B05	20,09	20,10	20,10	20,10
A03	20,10	20,10	20,10	20,10
B06	20,10	20,10	20,10	20,10
C05	20,10	20,10	20,10	20,10
A01	20,11	20,10	20,10	20,10
C06	20,10	20,11	20,10	20,10
A02	20,11	20,10	20,11	20,11
A04	20,11	20,11	20,12	20,11
B08	20,11	20,12	20,12	20,12
B07	20,13	20,11	20,12	20,12

Datos obtenidos del lote 4 de piezas tipo AGUJERO y tipo EJE

EJ4	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A12	20,046	20,043	20,045	20,045
A11	20,046	20,046	20,046	20,046
A09	20,048	20,046	20,046	20,047
A10	20,049	20,049	20,051	20,050
B12	20,048	20,046	20,044	20,046
B09	20,052	20,049	20,050	20,050
B11	20,052	20,053	20,050	20,052
B10	20,056	20,056	20,054	20,055
C09	20,047	20,046	20,044	20,046
C12	20,050	20,047	20,048	20,048
C11	20,048	20,048	20,051	20,049
C10	20,050	20,051	20,049	20,050
D12	20,046	20,046	20,044	20,045
D09	20,046	20,044	20,046	20,045
D11	20,050	20,048	20,049	20,049
D10	20,052	20,054	20,054	20,053
E12	20,045	20,047	20,046	20,046
E09	20,050	20,048	20,049	20,049
E11	20,052	20,051	20,052	20,052
E10	20,052	20,051	20,054	20,052

AG4	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A05	20,19	20,19	20,19	20,19
B03	20,19	20,19	20,19	20,19
A08	20,20	20,19	20,19	20,19
C17	20,19	20,19	20,20	20,19
C19	20,20	20,19	20,19	20,19
A06	20,20	20,19	20,20	20,20
B01	20,20	20,19	20,20	20,20
C18	20,20	20,19	20,20	20,20
E06	20,20	20,19	20,20	20,20
E07	20,19	20,20	20,20	20,20
E08	20,20	20,19	20,20	20,20
A07	20,20	20,20	20,20	20,20
B02	20,20	20,20	20,20	20,20
B04	20,20	20,19	20,21	20,20
C20	20,20	20,20	20,20	20,20
D05	20,20	20,20	20,20	20,20
D08	20,20	20,20	20,20	20,20
E05	20,20	20,20	20,20	20,20
D06	20,20	20,21	20,20	20,20
D07	20,21	20,20	20,20	20,20

Datos obtenidos del lote 5 de piezas tipo AGUJERO y tipo EJE

EJ5	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A19	20,141	20,142	20,142	20,142
A20	20,143	20,144	20,142	20,143
A18	20,145	20,147	20,146	20,146
A17	20,148	20,148	20,150	20,149
B19	20,141	20,142	20,143	20,142
B20	20,140	20,144	20,143	20,142
B17	20,142	20,144	20,142	20,143
B18	20,148	20,150	20,149	20,149
C17	20,142	20,145	20,142	20,143
C18	20,143	20,144	20,144	20,144
C19	20,146	20,144	20,145	20,145
C20	20,147	20,148	20,148	20,148
D20	20,139	20,138	20,138	20,138
D17	20,143	20,141	20,140	20,141
D19	20,140	20,144	20,142	20,142
D18	20,143	20,140	20,146	20,143
E20	20,140	20,139	20,140	20,140
E19	20,149	20,146	20,146	20,147
E17	20,148	20,148	20,146	20,147
E18	20,157	20,157	20,158	20,157

AG5	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Media
A15	20,37	20,37	20,37	20,37
A13	20,38	20,38	20,37	20,38
A16	20,38	20,37	20,38	20,38
B12	20,37	20,38	20,38	20,38
C12	20,38	20,38	20,37	20,38
E16	20,38	20,37	20,38	20,38
B10	20,38	20,38	20,38	20,38
C11	20,38	20,38	20,38	20,38
D01	20,38	20,38	20,38	20,38
E14	20,38	20,38	20,38	20,38
E15	20,38	20,38	20,38	20,38
A14	20,39	20,38	20,38	20,38
B11	20,38	20,38	20,39	20,38
C10	20,38	20,39	20,39	20,39
D04	20,39	20,39	20,39	20,39
B09	20,40	20,40	20,39	20,40
C09	20,40	20,40	20,40	20,40
D02	20,40	20,40	20,40	20,40
E13	20,40	20,40	20,40	20,40
D03	20,40	20,40	20,41	20,40

Tabla 1 - Valores para los grados de tolerancia normalizados para dimensiones nominales por encima de 3 150 mm

Dimensión nominal mm		Grados de tolerancia normalizados																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Desde	Hasta e incluido	Valores de tolerancia normalizados																			
		µm													mm						
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7

Tabla 1 (continuación) - Valores para los grados de tolerancia normalizados para dimensiones nominales por encima de 3 150 mm

Dimensión nominal mm		Grados de tolerancia normalizados																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Desde	Hasta e incluido	Valores de tolerancia normalizados																			
		µm										mm									
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Tabla 2 - Valores de las desviaciones fundamentales A a M para agujeros

Valores de las desviaciones fundamentales en micrómetros

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental																		
		Límite inferior de la desviación, <i>EI</i>											Límite superior de la desviación, <i>ES</i>							
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados											IT6	IT7	IT8	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	
		A ^a	B ^a	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H								JS
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	Desviaciones = ± ITn/2, donde n es el número del grado de tolerancia normalizado	+2	+4	+6	0	0	-2	-2
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1 + Δ		-4 + Δ	-4
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1 + Δ		-6 + Δ	-6
10	14	+290	+150	+95	+70	+50	+32	+23	+16	+10	+6	0		+6	+10	+15	-1 + Δ		-7 + Δ	-7
14	18																			
18	24	+300	+160	+110	+85	+65	+40	+28	+20	+12	+7	0		+8	+12	+20	-2 + Δ		-8 + Δ	-8
24	30																			
30	40	+310	+170	+120	+100	+80	+50	+35	+25	+15	+9	0		+10	+14	+24	-2 + Δ		-9 + Δ	-9
40	50	+320	+180	+130																
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+13	+18	+28	-2 + Δ		-11 + Δ	-11
65	80	+360	+200	+150										+16	+22	+34	-3 + Δ		-13 + Δ	-13
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+18	+26	+41	-3 + Δ		-15 + Δ	-15
100	120	+410	+240	+180																
120	140	+460	+260	+200																
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0								
160	180	+580	+310	+230																
180	200	+660	+340	+240																

Tabla 2 (continuación) - Valores de las desviaciones fundamentales A a M para agujeros

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental																			
		Límite inferior de la desviación, <i>EI</i>													Límite superior de la desviación, <i>ES</i>						
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados													IT6	IT7	IT8	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT8	Desde IT8
		A ^a	B ^a	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J							
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0	Desviaciones = ± IT _n /2, donde n es el número del grado de tolerancia normalizado	+22	+30	+47	-4 + Δ		-17 + Δ	-17	
225	250	+820	+420	+280										+25	+36	+55	-4 + Δ		-20 + Δ	-20	
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0		+29	+39	+60	-4 + Δ		-21 + Δ	-21	
280	315	+1 050	+540	+330		+210	+125		+62		+18	0		+33	+43	+66	-5 + Δ		-23 + Δ	-23	
315	355	+1 200	+600	+360																	
355	400	+1 350	+680	+400		+260	+145		+76		+22	0						0		-26	
400	450	+1 500	+760	+440		+290	+160		+80		+24	0						0		-30	
450	500	+1 650	+840	+480		+320	+170		+86		+26	0						0		-34	
500	560																	0		-40	
560	630																				
630	710																				
710	800																				
800	900																				
900	1 000																				
1 000	1 120																				
1 120	1 250																				

Tabla 2 (continuación) - Valores de las desviaciones fundamentales A a M para agujeros

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental																		
		Límite inferior de la desviación, <i>EI</i>												Límite superior de la desviación, <i>ES</i>						
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados												IT6	IT7	IT8	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT8	Desde IT8
		A ^a	B ^a	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J		K ^{c,d}		M ^{b,c,d}		
1 250	1 400					+390	+220		+110		+30	0					0		-48	
1 400	1 600																			
1 600	1 800					+430	+240		+120		+32	0					0		-58	
1 800	2 000																			
2 000	2 240					+480	+260		+130		+34	0					0		-68	
2 240	2 500																			
2 500	2 800					+520	+290		+145		+38	0					0		-76	
2 800	3 150																			

^a Las desviaciones fundamentales A y B no deben usarse para dimensiones nominales ≤ 1 mm.

^b Caso especial: para la clase de tolerancia M6 en el rango por encima de 250 mm y hasta 315 mm inclusive, *ES* = -9 μm (en lugar de -11 μm de acuerdo con el cálculo).

^c Véase el apartado 4.3.2.5 para determinar los valores de K y M.

^d Véase la tabla 3 para los valores de Δ.

Tabla 3 - Valores para la desviación fundamental en agujeros desde N a ZC

Valores de las desviaciones fundamentales y valores Δ en micrómetros

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental Límite superior de la desviación, ES															Valores para Δ						
Desde	Hasta e incluido	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT7	Grados de tolerancia normalizados por encima de IT7												Grados de tolerancia normalizados						
		N ^{a,b}		P a ZC ^a	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	
—	3	-4	-4	Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT7 aumentados en Δ	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0	
3	6	$-8 + \Delta$	0		-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6	
6	10	$-10 + \Delta$	0		-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7	
10	14	$-12 + \Delta$	0		-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9	
14	18							-39		-45	-60	-77	-108	-150									
18	24	$-15 + \Delta$	0		-22	-28	-35		-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218	1,5	2	3	4	8	12
24	30																						
30	40	$-17 + \Delta$	0		-26	-34	-43		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14
40	50							-54															
50	65	$-20 + \Delta$	0		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16	
65	80																						-43
80	100	$-23 + \Delta$	0		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19	
100	120																						-54
120	140	$-27 + \Delta$	0			-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800							
140	160				-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23	
160	180				-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1 000								

Tabla 3 (continuación) - Valores para la desviación fundamental en agujeros desde N a ZC

Valores de las desviaciones fundamentales y valores Δ en micrómetros

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental Límite superior de la desviación, ES															Valores para Δ						
Desde	Hasta e incluido	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT7	Grados de tolerancia normalizados por encima de IT7												Grados de tolerancia normalizados						
		N ^{a,b}		P a ZC ^a	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	
180	200	-31 + Δ	0	Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT7 aumentados en Δ		-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1 150							
200	225				-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1 250	-1 350	3	4	6	9	17	26
225	250				-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1 050	-1 350								
250	280	-34 + Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1 200	-1 550							
280	315				-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1 000	-1 300	-1 700	4	4	7	9	20	29		
315	355	-37 + Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1 150	-1 500	-1 900							
355	400				-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1 000	-1 300	-1 650	-2 100	4	5	7	11	21	32		
400	450	-40 + Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1 100	-1 450	-1 850	-2 400							
450	500				-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1 000	-1 250	-1 600	-2 100	-2 600	5	5	7	13	23	34		
500	560	-44			-78	-150	-280	-400	-600														
560	630				-155	-310	-450	-660															

Tabla 3 (continuación) - Valores para la desviación fundamental en agujeros desde N a ZC

Dimensión nominal mm		Valores de la desviación fundamental Límite superior de la desviación, ES															Valores para Δ										
Desde	Hasta e incluido	Hasta e incluido IT8	Desde IT8	Hasta e incluido IT7	Grados de tolerancia normalizados por encima de IT7												Grados de tolerancia normalizados										
		N ^{a,b}		P a ZC ^a	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8					
630	710	-50		Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ	-88	-175	-340	-500	-740																		
710	800					-185	-380	-560	-840																		
800	900	-56			Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ	-100	-210	-430	-620	-940																	
900	1 000						-220	-470	-680	-1 050																	
1 000	1 120	-66				Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ	-120	-250	-520	-780	-1 150																
1 120	1 250							-260	-580	-840	-1 300																
1 250	1 400	-78					Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ	-140	-300	-640	-960	-1 450															
1 400	1 600								-330	-720	-1 050	-1 600															
1 600	1 800	-92						Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ	-170	-370	-820	-1 200	-1 850														
1 800	2 000									-400	-920	-1 350	-2 000														
2 000	2 240	-110							Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ	-195	-440	-1 000	-1 500	-2 300													
2 240	2 500										-460	-1 100	-1 650	-2 500													
2 500	2 800	-135		Valores para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT 7 aumentados en Δ						-240	-550	-1 250	-1 900	-2 900													
2 800	3 150										-580	-1 400	-2 100	-3 200													

^a Véase el apartado 4.3.2.5 para determinar los valores N y P a ZC.

^b No deben usarse las desviaciones fundamentales N para los grados de tolerancia normalizados por encima de IT8 con dimensiones nominales ≤ 1 mm.

Tabla 4 - Valores de las desviaciones fundamentales por los ejes a a j

Valores de las desviaciones fundamentales en micrómetros

Dimensión nominal mm		Valores de las desviaciones fundamentales														
		Límite superior de la desviación, <i>es</i>												Límite inferior, <i>ei</i>		
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados												IT5 y IT6	IT7	IT8
		a ^a	b ^a	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	Desviaciones = ± ITn/2, donde n es el número del grado de tolerancia normalizado	-2	-4	
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	
10	14	-290	-150	-95	-70	-50	-32	-23	-16	-10	-6	0		-3	-6	
14	18													-4	-8	
18	24	-300	-160	-110	-85	-65	-40	-25	-20	-12	-7	0		-5	-10	
24	30													-100	-80	-50
30	40	-310	-170	-120	-100	-80	-50	-35	-25	-15	-9	0		-7	-12	
40	50	-320	-180	-130										-100	-60	-30
50	65	-340	-190	-140	-120	-72	-50	-35	-25	-15	-9	0		-9	-15	
65	80	-360	-200	-150										-120	-72	-50
80	100	-380	-220	-170	-145	-85	-50	-35	-25	-15	-9	0		-11	-18	
100	120	-410	-240	-180										-145	-85	-50
120	140	-460	-260	-200	-145	-85	-50	-35	-25	-15	-9	0		-11	-18	
140	160	-520	-280	-210										-145	-85	-50
160	180	-580	-310	-230	-145	-85	-50	-35	-25	-15	-9	0		-11	-18	

Tabla 4 (continuación) - Valores de las desviaciones fundamentales por los ejes a a j

Dimensión nominal mm		Valores de las desviaciones fundamentales															
		Límite superior de la desviación, <i>es</i>											Límite inferior, <i>ei</i>				
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados											IT5 y IT6	IT7	IT8		
		a ^a	b ^a	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h				js	j
180	200	-660	-340	-240													
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0			-13	-21	
225	250	-820	-420	-280													
250	280	-920	-480	-300													
280	315	-1 050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0			-16	-26	
315	355	-1 200	-600	-360													
355	400	-1 350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0			-18	-28	
400	450	-1 500	-760	-440													
450	500	-1 650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0			-20	-32	
500	560																
560	630					-260	-145		-76		-22	0					
630	710																
710	800					-290	-160		-80		-24	0					
800	900																
900	1 000					-320	-170		-86		-26	0					
1 000	1 120																
1 120	1 250					-350	-195		-98		-28	0					

Desviaciones = ± ITn/2, donde n es el número del grado de tolerancia normalizado

Tabla 4 (continuación) - Valores de las desviaciones fundamentales por los ejes a a j

Dimensión nominal mm		Valores de las desviaciones fundamentales															
		Límite superior de la desviación, <i>es</i>											Límite inferior, <i>ei</i>				
Desde	Hasta e incluido	Todos los grados de tolerancia normalizados											IT5 y IT6	IT7	IT8		
		<i>a</i> ^a	<i>b</i> ^a	<i>c</i>	<i>cd</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>ef</i>	<i>f</i>	<i>fg</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>js</i>	<i>j</i>			
1 250	1 400					-390	-220		-110		-30	0	Desviaciones = ± ITn/2, donde n es el número del grado de tolerancia normalizado				
1 400	1 600																
1 600	1 800					-430	-240		-120		-32	0					
1 800	2 000																
2 000	2 240					-480	-260		-130		-34	0					
2 240	2 500																
2 500	2 800					-520	-290		-145		-38	0					
2 800	3 150																

^a No deben usarse las desviaciones fundamentales a y b con dimensiones nominales ≤ 1 mm.

Tabla 5 - Valores de las desviaciones fundamentales para ejes k a zc

Valores de las desviaciones fundamentales en micrómetros

Dimensión nominal mm		Valores de las desviaciones fundamentales Límite inferior de la desviación, <i>e_i</i>															
Desde	Hacia e incluido	IT4 a IT7	Hasta e incluido IT3 y desde IT7	Todos los grados de tolerancia normalizados													
				k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb
—	3	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60
3	6	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80
6	10	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97
10	14	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130
14	18										+39	+45		+60	+77	+108	+150
18	24	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30								+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50								+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80						+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120						+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690

Tabla 5 (continuación) - Valores de las desviaciones fundamentales para ejes k a zc

Dimensión nominal mm		Valores de las desviaciones fundamentales Límite inferior de la desviación, <i>ei</i>															
Desde	Hacia e incluido	IT4 a IT7	Hasta e incluido IT3 y desde IT7	Todos los grados de tolerancia normalizados													
				k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb
120	140	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160						+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180						+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1 000
180	200	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1 150
200	225						+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1 250
225	250						+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1 050	+1 350
250	280	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1 200	+1 550
280	315						+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1 000	+1 300	+1 700
315	355	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1 150	+1 500	+1 900
355	400						+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1 000	+1 300	+1 650	+2 100
400	450	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1 100	+1 450	+1 850	+2 400
450	500						+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1 000	+1 250	+1 600	+2 100	+2 600
500	560	0	0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600							
560	630						+155	+310	+450	+660							

Tabla 5 (continuación) - Valores de las desviaciones fundamentales para ejes k a zc

Dimensión nominal mm		Valores de las desviaciones fundamentales Límite inferior de la desviación, <i>ei</i>															
Desde	Hacia e incluido	IT4 a IT7	Hasta e incluido IT3 y desde IT7	Todos los grados de tolerancia normalizados													
				k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb
630	710	0	0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740							
710	800						+185	+380	+560	+840							
800	900	0	0	+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940							
900	1 000						+220	+470	+680	+1 050							
1 000	1 120	0	0	+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1 150							
1 120	1 250						+260	+580	+840	+1 300							
1 250	1 400	0	0	+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1 450							
1 400	1 600						+330	+720	+1 050	+1 600							
1 600	1 800	0	0	+58	+92	+170	+370	+820	+1 200	+1 850							
1 800	2 000						+400	+920	+1 350	+2 000							
2 000	2 240	0	0	+68	+110	+195	+440	+1 000	+1 500	+2 300							
2 240	2 500						+460	+1 100	+1 650	+2 500							
2 500	2 800	0	0	+76	+135	+240	+550	+1 250	+1 900	+2 900							
2 800	3 150						+580	+1 400	+2 100	+3 200							

ATAJO DE TECLADO

Pulsando

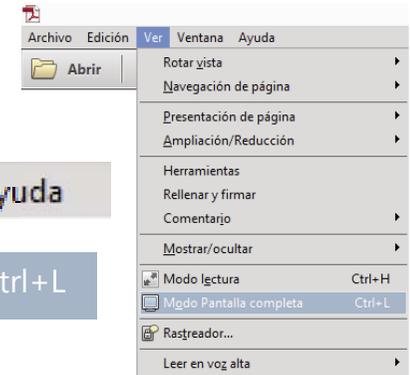


BARRA DE MENÚ

Ver > Modo pantalla completa

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Modo Pantalla completa Ctrl+L



MENÚ

PRESENTACIÓN CLÁSICA

Puede seguir la presentación utilizando las flechas de

anterior y siguiente que harán que pase las páginas de una

en una. O si lo desea, volver al inicio pulsando en el icono

PRESENTACIÓN INTERACTIVA



Puede pulsar sobre el menú y submenú deseado, que se le

marcará, **MENÚ** y **SUBMENÚ** para indicarle en que

punto de la presentación se encuentra en cada momento.

IR AL MENÚ INSTRUCCIONES

En el transcurso de la presentación, se podrá volver a este menú pinchando sobre  situado en la parte inferior derecha.

VOLVER A LA PRESENTACIÓN

Para volver a la presentación, debemos pinchar  y nos llevara al mismo punto desde donde salimos hasta este menú.

VÍDEO

IDENTIFICAR VÍDEO



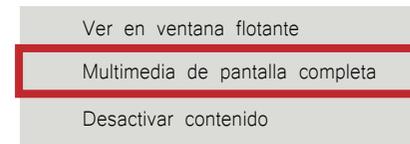
Aparecerá  en la parte superior izquierda de la imagen.

INICIAR VÍDEO



Para iniciar el vídeo picar  sobre 

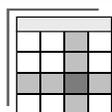
PANTALLA COMPLETA



Hacemos click  sobre él una vez iniciado y seleccionamos multimedia de pantalla completa.

TABLAS

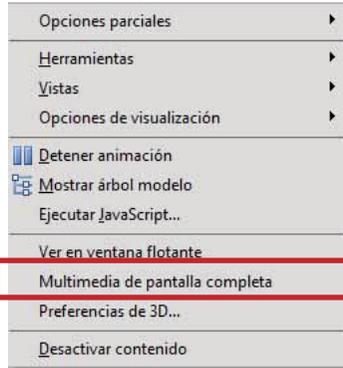
IDENTIFICAR TABLAS



Aparecerá  al lado de las tablas que tengan enlaces al anexo



PANTALLA COMPLETA



Hacemos click  y seleccionamos multimedia de pantalla completa.

GIRAR Y ZOOM

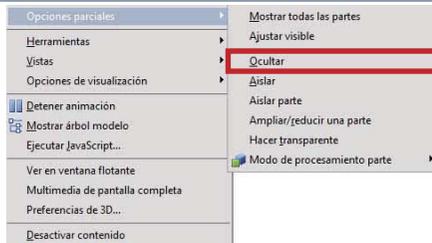
Manteniendo pulsado  podemos hacer girar el modelo.

Y si hacemos rodar  podemos hacer zoom.

SELECCIONAR PIEZA

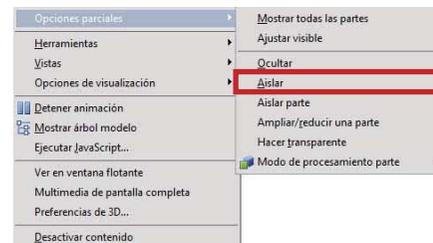
Podemos seleccionar cualquier pieza del modelo haciendo  click sobre ellas.

OCULTAR PIEZA



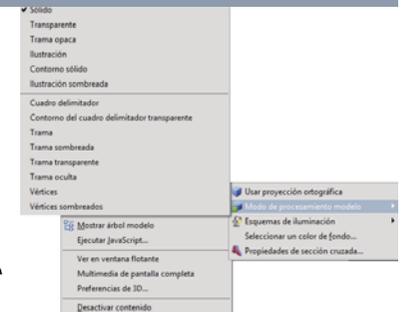
Con una pieza seleccionada, abrimos menú  y dentro de opciones parciales podemos ocultar la pieza.

AISLAR PIEZA



Con una pieza seleccionada, abrimos menú  y dentro de opciones parciales podemos aislar la pieza.

VISTA TRANSPARENTE



Abrimos menú,  opciones de visualización, modo de procesamiento de modelo, aquí podemos hacerlo transparente y volver a ponerlo opaco.