

INTRODUCCIÓN AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA PARA LA INGENIERÍA: UNA EXIGENCIA EN LA GLOBALIDAD

Edwin Rodolfo Pozo Safla
Luis Santiago Choto Chariguaman
Eduardo Harry Medina Quintero
Miguel Ángel Escobar Guachambala



© Autores

Edwin Rodolfo Pozo Safla
Docente de la Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Luis Santiago Choto Chariguaman
Docente de la Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Eduardo Harry Medina Quintero
Docente de la Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Miguel Ángel Escobar Guachambala
Docente de la Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo, Riobamba, Ecuador



Casa Editora del Polo - CASEDELPO CIA. LTDA.

Departamento de Edición

Editado y distribuido por:

Editorial: Casa Editora del Polo

Sello Editorial: 978-9942-816

Manta, Manabí, Ecuador. 2019

Teléfono: (05) 6051775 / 0991871420

Web: www.casadelpo.com

ISBN: 978-9942-621-41-2

© Primera edición

© Mayo - 2023

Impreso en Ecuador

Revisión, Ortografía y Redacción:

Lic. Jessica Mero Vélez

Diseño de Portada:

Michael Josué Suárez-Espinar

Diagramación:

Ing. Edwin Alejandro Delgado-Veliz

Director Editorial:

Dra. Tibisay Milene Lamus-García

Todos los libros publicados por la Casa Editora del Polo, son sometidos previamente a un proceso de evaluación realizado por árbitros calificados. Este es un libro digital y físico, destinado únicamente al uso personal y colectivo en trabajos académicos de investigación, docencia y difusión del Conocimiento, donde se debe brindar crédito de manera adecuada a los autores.

© **Reservados todos los derechos.** Queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de este contenido, por cualquier medio o procedimiento, parcial o total de este contenido, por cualquier medio o procedimiento.

Comité Científico Académico

Dr. Lucio Noriero-Escalante
Universidad Autónoma de Chapingo, México

Dra. Yorkanda Masó-Dominico
Instituto Tecnológico de la Construcción, México

Dr. Juan Pedro Machado-Castillo
Universidad de Granma, Bayamo, M.N. Cuba

Dra. Fanny Miriam Sanabria-Boudri
Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle, Perú

Dra. Jennifer Quintero-Medina
Universidad Privada Dr. Rafael Bellosó Chacín, Venezuela

Dr. Félix Colina-Ysea
Universidad SISE, Lima, Perú

Dr. Reinaldo Velasco
Universidad Bolivariana de Venezuela, Venezuela

Dra. Lenys Piña-Ferrer
Universidad Rafael Bellosó Chacín, Maracaibo, Venezuela

Dr. José Javier Nuñez-Castillo
Universidad Cooperativa de Colombia, Santa Marta,
Colombia

Constancia de Arbitraje

La Casa Editora del Polo, hace constar que este libro proviene de una investigación realizada por los autores, siendo sometido a un arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review), de contenido y forma por jurados especialistas. Además, se realizó una revisión del enfoque, paradigma y método investigativo; desde la matriz epistémica asumida por los autores, aplicándose las normas APA, Sexta Edición, proceso de anti plagio en línea Plagiarisma, garantizándose así la científicidad de la obra.

Comité Editorial

Abg. Néstor D. Suárez-Montes
Casa Editora del Polo (CASEDELPO)

Dra. Juana Cecilia-Ojeda
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

Dra. Maritza Berenguer-Gouarnaluses
Universidad Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Cuba

Dr. Víctor Reinaldo Jama-Zambrano
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ext. Chone

INDICE DE CONTENIDO

PRÓLOGO.....	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I.....	15
EL DIBUJO TÉCNICO ACTUAL	15
1.1.- El Dibujo Técnico en la Globalidad	16
1.2.- El Dibujo Técnico Para Satisfacer Necesidades y Exigencias Actuales..	18
1.3.- El dibujo Técnico Para la Competitividad.....	21
1.4.- CAD's Vigentes	23
CAPITULO II	29
EL DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS	29
2.1.- Diseño	29
2.2- Fabricación.....	31
2.3.- Calidad	33
2.4.1.- Normas ISO	36
2.4.2.- Normas UNE	38
2.4.3.- Normas ANSI	40
CAPÍTULO III	43
Tolerancias de fabricación	43

3.1.1 Consideraciones generales	43
3.1.2 Estructura del sistema de tolerancias ISO	46
3.1.3.Valores de las tolerancias para calidad de fabricación	47
3.1.4. Diferencias fundamentales para los ejes	48
3.5. Diferencias fundamentales para agujero.....	49
3.2. Tolerancias geométricas	51
3.2.1. Significado de las tolerancias geométricas	53
3.2.2. Símbolos complementarios	55
3.2.3. Relación entre tolerancias dimensionales y geométricas	56
Principio de independencia	56
Principio de la envolvente	57
Principio del máximo material	57
3.3. Tolerancias Generales	59
3.4. Elección De Tolerancias	60
Sistema de agujero base o agujero único.....	61
Sistema de eje base o eje única.....	61
Sistema mixto.....	61
3.5. Elección de las tolerancias	62
3.6. Determinación de tolerancias de ajuste	68
3.7. Conceptos generales	69
3.7.1. Conceptos básicos	69
3.7.2. Análisis funcional.....	69
3.7.3. Superficies terminales y de unión	70

3.7.4 Elección de tolerancias.....	72
3.7.5 Representación de cadenas mediante vectores	73
3.7.6. Funcionalidad de las tolerancias geométricas	80
Cotas de útil	84
3.7.8. Tolerancias de roscas	86
3.7.9. Tolerancias de roscas ANSI	88
CAPITULO IV.....	90
Modelación Asistidas por Computadora	90
4.1.- Aplicaciones de Modelación Asistidas por Computadora	90
4.2.- Técnicas de trabajo más habituales en el ámbito CAD	91
4.3.- Herramientas de Diseño 3D	92
4.4.- Herramientas de modelado de superficies	92
CAPITULO V.....	95
Software Dibujo Asistido por Computadora	95
5.1.- AutoCAD.....	95
Planificación arquitectónica	96
Herramienta en Ingeniería	97
Diseño Gráfico	97
Impresión 3D	98
Industria de la moda	98
Diseño industrial	98
5.2.- Siemens NX.....	99
5.3.- Catia.....	99

5.4.- Inventor	100
5.5.- Software SOLIDWORKS	100
5.6.- Modelado geométrico en SolidWorks	102
<i>Superficie limitante:</i>	<i>103</i>
Extruir superficie.	104
Revolución de superficie.	104
Superficie barrida.	105
Recubrir superficie.....	105
Equidistanciar superficie.....	106
Radiar superficie.	106
Cortar con superficie.	107
Controles de superficies.	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proyecciones de Presentación del Dibujo Técnico	17
Ilustración 2. Necesidades desde el punto de vista del diseño	19
Ilustración 3. Proceso del Dibujo	20
Ilustración 4. Fases de la Ingeniería Asistida por Computadora	24
Ilustración 5. Dibujo Mecánico-Ingeniería Asistida-Simulaciones-CAD-CAM	26
Ilustración 6. Pasos Típicos del Proceso Clásico de Diseño.....	29
Ilustración 7. El Proceso de Diseño Empleando Herramientas CAD	31
Ilustración 8. Dibujo Para Manufactura.....	33
Ilustración 9. Dibujo Normalizado	36
Ilustración 10. Representación de una pieza con agujeros distribuidos circunferencialmente	39
Ilustración 1.....	101
Ilustración 2.....	102
Ilustración 3.....	103
Ilustración 4.....	104
Ilustración 5	104
Ilustración 6.....	105
Ilustración 7	105
Ilustración 8.....	106
Ilustración 9	107
Ilustración 10.....	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Software CAD en Diversos Sectores de la Ingeniería y Arquitectura	26
Tabla 2 . La 12 Partes de la ISO 128 Estándar	37
Tabla 3. Normas ANSI/ASME. Documentos aplicados	40

PRÓLOGO

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño.

La incorporación de la computada es en la producción el elemento puente que está permitiendo lograr la automatización integral de los procesos industriales así como una integración tecnológica de sus áreas. Es así que los software profesionales están tendiendo a integrarse bajo un gran sistema CAD/ CAM/CAE que ha puesto de relieve la importancia de automatizar informáticamente cualquier proceso industrial desde el diseño hasta la fabricación.

La aplicación del software CAD en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc

El modelado es el proceso de representación de ideas abstractas, palabras y formas a través del empleo ordenado de texto e imágenes simplificadas con el objeto de generar un prototipo digital

Ahora bien, la complejidad y constante evolución de la ingeniería ha hecho necesario que las responsabilidades profesionales sean realizadas por gente altamente calificada, con entrenamiento especializado y con diferente formación profesional, por lo que esta obra contribuirá a tener nociones sobre esta temática puesto que no se pretende que sea una obra que pretenda contener ideas concebidas como la única verdad.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de la innovación constante debido al fenómeno de la globalización, la internacionalización de los mercados, y la competitividad, ha permeado las áreas del conocimiento donde el diseño es una piedra angular para la creación de productos orientados a satisfacer las nuevas necesidades y demandas de usuarios cada vez más informados y exigentes.

Todo esto hace que se precisen profesionales del diseño más capaces, formados, preparados y actualizados para enfrentar esta complejidad y que sus respuestas se conviertan en una realidad tangible económica y social.

En el desarrollo de las actividades profesionales como la ingeniería o la arquitectura que se relacionan con el diseño, el dibujo técnico ha constituido un apoyo fundamental, la cual en los años que nos han precedido requería de la dedicación de un tiempo considerable para la consecución de un proyecto de gran envergadura donde el trazado de líneas uniformes se llevaba a cabo a mano.

El surgimiento de herramientas tecnológicas para asistir el trabajo del diseñador, ha permitido obtener resultados más eficientes, en menos tiempo y más económicos, pues mediante el software apropiado ayuda directamente efectuando diversas operaciones como asistiendo en el cálculo, descargando valiosa información, corrigiendo errores, realizando una animación o fabricando una pieza, según sea el caso, optimizando la calidad del proceso y propiciando mejores resultados.

El diseño asistido por computadora ha evolucionado la ideación de proyectos diversos por las innumerables posibilidades que brinda en la elaboración de dibujos técnicos, modelos y proyecciones bidimensionales y tridimensionales, y en conjunto con la fabricación de piezas por computadoras ofrece una base sólida para la competitividad de las empresas contemporáneas, pues facilita el trabajo, propicia la innovación, y se crean productos de alta calidad.

La estructura del presente texto se organiza en cinco capítulos. En el primer capítulo se abordan los tópicos siguientes; el dibujo técnico en la globalidad; el dibujo técnico para satisfacer necesidades y exigencias actuales; el dibujo técnico para la competitividad y las CAD's vigentes. En el segundo capítulo se abarcan

los temas sobre; el diseño y producción de productos y aspecto como diseño, fabricación, calidad, normativa internacional ISO,

UNE y ANSI.

El capítulo tercero, muestra información relativa a las tolerancias de fabricación; conceptos de tolerancias de medidas; tipos de tolerancias; tolerancias geométricas; tolerancias dimensionales; relación entre tolerancias dimensionales y geométricas; elección de tolerancias; tolerancias generales; tolerancias de roscas; sistemas de tolerancias según la normativa internacional; sistema de tolerancias ISO; sistema de tolerancia NSA; tolerancias de roscas ANSI; entre otros.

El cuarto capítulo está dedicado a la modelación asistidas por computadora; aplicaciones de modelación asistidas por computadora; técnicas de trabajo más habituales en el ámbito CAD; herramientas de diseño 3D; herramientas de modelado de superficies y habilidades de modelado de superficies. Finalmente el capítulo quinto se encuentra dispuesto para el abordaje del Software de Dibujo Asistido por Computadora; AutoCAD; NX Siemens; Catia; Inventor; Solidworks y elementos relativo a las habilidades de modelado de SolidWorks y modelado geométrico en SolidWorks

CAPÍTULO I

EL DIBUJO TÉCNICO ACTUAL

CAPÍTULO I

EL DIBUJO TÉCNICO ACTUAL

Introducción

En el desarrollo de las actividades profesionales que se relacionan con el Dibujo Técnico, cada vez cobra más fuerza el uso de las nuevas tecnologías. El dibujo técnico, ha sido parte fundamental del estudio de la ingeniería o la arquitectura, en décadas pasadas esta disciplina requería de la dedicación de un tiempo considerable en la configuración a mano de líneas uniformes en trazo y color, sin descuidar el tamaño y los puntos de intersección, para la ejecución de bocetos hasta la obtención del plano para construir edificios, plazas, viviendas y otros lugares similares, y en el caso de la ingeniería proporciona las técnicas y métodos gráficos, que intervienen en la construcción de máquinas y estructuras o bien para dar a conocer la forma y dimensiones exactas de dichas máquinas y estructuras.

El dibujo técnico, debe entenderse como un dibujo instrumental aplicado a una determinada profesión. Está normalmente servicio de profesiones como la arquitectura, la ingeniería o el diseño, en las que utiliza en procesos de realización de obras, desde las primeras fases de ideación, en la concreción de las formas y en las etapas de construcción y fabricación para dar instrucciones a los operarios (Font Andreu, 1991)

El Dibujo Técnico surge como un medio de expresión y comunicación indispensable, tanto para el desarrollo de procesos de investigación sobre las formas y diseños, como para la comprensión gráfica de bocetos y proyectos tecnológicos, cuyo último fin es la creación de productos que pueden tener un valor utilitario y la comprensión e interpretación de aplicaciones técnico prácticas, intrínsecamente unido al desarrollo del hombre, perfeccionándose con una doble finalidad: artística y técnica (Barberán, Leyva, Mendoza, & Zambrano, 2020).

La incursión de las herramientas tecnológicas a este campo del conocimiento innovó la forma de dibujar, disminuyó el tiempo dedicado para la

ejecución del proyecto, y mejoró considerablemente la calidad del diseño en dibujos matemáticamente perfectos, con fracciones de milímetros de precisión.

Si algo tiene hoy en día la tecnología digital es su carácter homogeneizador y global que abarca a todo el planeta por igual (Oliva Santos, 2015).

1.1.- El Dibujo Técnico en la Globalidad

La globalización de la economía permite que los productos se diseñen en países como Alemania, Japón, Estados Unidos de Norteamérica, Francia, entre otros, y que se produzcan en países como India, Brasil, México, Rumania, etcétera. Por tanto, la información que se intercambia debe ser comprendida en cualquier lugar del planeta sin tener que hacer adaptaciones por causa de los diferentes idiomas (Watanave, 2019)

Esto es así porque se asume que el dibujo técnico normalizado es el lenguaje o el medio de comunicación que usan las empresas a nivel internacional para intercambiar información del producto. La correcta interpretación de los dibujos es fundamental en cualquier empresa manufacturera (Watanave, 2019).

El advenimiento de los grandes avances en el campo digital, manifestadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) apoyan con una gran cantidad de ventajas el proceso del dibujo técnico a partir de programas de software asistido por computador. Hoy día; aplicaciones móviles, tabletas digitales y un gran número de paquetes informáticos, ofrecen a estudiantes y profesionales múltiples herramientas para el diseño y la expresión gráfica en diversos campos del conocimiento (Suárez Pinilla, 2019).

El dibujo técnico ha dado pasos importantes a partir del desarrollo tecnológico de software que permiten la creación de gráficos especializados en la rama de la ingeniería y arquitectura, sin olvidar los principios básicos del dibujo realizados a mano (Orellana Acevedo, 2020).

El papel de los medios informáticos en el dibujo técnico añade precisión y rigor al grafismo, sin embargo, como es obvio las computadoras reciben órdenes

La práctica ingenieril no ha sido ajena a esta cadena de avance y aplicaciones en el campo de la representación gráfica (Suárez Pinilla, 2019).

de sus usuarios para la ejecución de las representaciones gráficas, lo que exige del profesional el conocimiento necesario para el exacto diseño del objeto (Otxotorena, 1996).

El dibujo técnico se clasifica en dos proyecciones que han sido la base para el desarrollo de software de especialidades que permite gestionar procesos tecnológicos para mejorar el rendimiento de las actividades en el campo laboral (Orellana Acevedo, 2020).



Ilustración 1. Proyecciones de Presentación del Dibujo Técnico
Fuente: (Orellana Acevedo, 2020)

Proyección bidimensional: se comprende como la representación geométrica plana sin una profundidad lo que se conoce como área (ancho y largo).

Proyección tridimensional: se define como la longitud, altura y profundidad. Conformándose un objeto de tres dimensiones que forman la representación tridimensional y, por tanto, están presentes en cualquier proyecto de animación 3D.

Estas dos dimensiones han permitido en el mundo moderno crear programas informáticos que simulan la realidad de un proyecto y, por medio del

cual se logra visualizar una perspectiva del producto final (Orellana Acevedo, 2020).

La importancia de la geometría, con la intención de simplificar la construcción del objeto, nos dirige a la experimentación con las técnicas, recursos y procedimientos propios del dibujo, permitiendo comunicar las ideas a través de las reglas del dibujo técnico; por tanto, los contenidos del dibujo constructivo lo clasificamos desde los conceptos «proyección» y «proyectual» (Aguilar Moreno, 2022).

El método proyectual consiste simplemente en una serie de operaciones necesarias, dispuestas en un orden lógico dictado por la experiencia. Su finalidad, como expresión de cualquier proceso natural, es la de conseguir el máximo resultado con el mínimo esfuerzo, realizando las operaciones necesarias siguiendo un método para proyectar. Propone buscar las ideas después de realizar un estudio previo acerca de lo ya realizado en el campo del diseño que se quiere abordar; que materiales serán necesarios para su construcción, precisando exactamente su función (Aguilar Moreno, 2022).

1.2.- El Dibujo Técnico Para Satisfacer Necesidades y Exigencias Actuales

El desarrollo de nuevos productos se ha convertido en un factor decisivo para lograr el éxito organizacional, los cuales deben plantearse para satisfacer los requerimientos de calidad del consumidor, de ahí que estos aspectos deben ser tenidos en cuenta desde las primeras etapas del proceso de diseño.

En este sentido, International Council of Societies of industrial Design (ICSID), citado por (Camacho, Arenas, & Duque, 2012) define el diseño como el arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades.

El diseño se define como el proceso previo de configuración mental, «prefiguración», en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Se aplica habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas que requieren creatividad (Molleja, 2010)

Buena parte de todo esto es ingeniería, son productos del diseño de la ingeniería capaz de crear un mundo artificial que responda a las necesidades humanas más diversas en un marco de desarrollo sostenible. La solución de problemas centrales de la sociedad está en manos de la ingeniería (Camacho, Arenas, & Duque, 2012).

Desde el punto de vista del diseño las necesidades se entienden dentro en dos vertientes, según expone (Papanek, 1985):

Uno de los objetivos más importantes del diseño en la actualidad es el satisfacer necesidades demandadas por los consumidores (Victoria Uribe & García Albarrán, 2019).

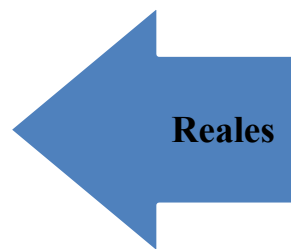


Ilustración 2. Necesidades desde el punto de vista del diseño
Fuente: (Papanek, 1985)

Son reales, necesarias para el bienestar físico y/o mental de la persona.

Creadas, para vender un producto nuevo que puede o no ser útil, pero que para ser vendido apela a ciertas necesidades subjetivas, emocionales del consumidor, que el producto no resuelve, pero da la apariencia de hacerlo.

La labor creativa del diseño debe ser metodológica y responsable con su entorno, tanto ambiental como social, pues ambos repercuten entre sí (Victoria Uribe & García Albarrán, 2019).

El diseño forma parte muy importante del proceso de venta de un producto, siendo si no el más importante en su comercialización, pues debido a este el cliente se ve atrapado, un buen diseño de un producto garantiza la captación del cliente, su fidelización, y su compra (Zabala, Peñaherrera, & Ledesma, 2018).

El dibujo técnico es el lenguaje de la industria, por medio de este lenguaje el diseñador comunica sus ideas a otras personas para que las materialicen (Aguilar Moreno, 2022).

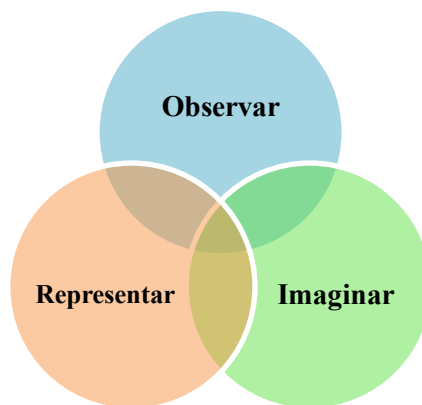


Ilustración 3. Proceso del Dibujo
Fuente: (Aguilar Moreno, 2022)

El proceso del dibujo, implica observar, imaginar y representar, donde nace la idea hasta su realización, se hace un planteamiento referencial con el que aprender a utilizar el dibujo como técnica para pensar el proyecto (Aguilar Moreno, 2022).

Actualmente, la satisfacción de las necesidades del ser humano no sólo se resuelve, sino que también se manifiesta a través de la generación de nuevos productos, servicios y experiencias (Victoria Uribe & García Albarrán, 2019). En términos de diseño, uno de los mejores ejemplos que se puede citar es el teléfono móvil, objeto que responde a una necesidad real, mantenerse comunicado. Los cambios acelerados y repentinos que sufre el mundo constantemente, generan, cada vez más aparatos de comunicación más sofisticados. Por tanto, el diseño que aspire a ser sustentable debe considerar los impactos sociales de los productos que desarrolla. Y la mayor fuente de los impactos sociales se encuentra en qué necesidades se satisfacen y cómo se hace (Victoria Uribe & García Albarrán, 2019).

El diseño y la función están estrechamente vinculados, armados con conocimiento y experiencia en ambos, el diseñador humano se une a los mundos físico/técnico y social/económico. Con la intención de mitigar la creciente complejidad de ambos mundos, los diseñadores confían cada vez más en herramientas computacionales (Molleja, 2010).

Con los sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) se hacen modelos de un determinado producto, que representan sus atributos o características, como tamaño, contorno y formas de cada componente, que son almacenadas en la computadora de forma bi o tridimensional. Una vez que estos datos se introdujeron y se almacenaron en el sistema informático, el diseñador CAD puede manipularlos o modificarlos con facilidad para avanzar en el desarrollo del producto (Schwab, 2011).

1.3.- El dibujo Técnico Para la Competitividad

El éxito de un país en el siglo XXI tiene una fuerte relación con la capacidad de producir productos y servicios de forma competitiva en un mercado cada vez más globalizado (Camacho, Arenas, & Duque, 2012).

El diseño es el factor que generará a la empresa su ventaja competitiva (Kotler, Lane, Cámara, & Mollá, 2006)

El diseño es una gran ventaja competitiva, además de una tendencia que nunca desvanece, al menos entre las empresas y marcas conocidas más por su creatividad tecnológica que su dominio en cosas estéticas (García, 2016).

El diseño es reconocido como un amplificador de los valores de marca y en su mejor forma, el diseño superior refleja una marca a otro nivel y con mejor experiencia de marca - desde los valores de la atención al cliente hasta la innovación (García, 2016).

El diseño debe responder tanto a las demandas del mercado en términos de satisfacer las necesidades y aspiraciones de quienes tomarán las decisiones de compra, como al posicionamiento competitivo de la empresa (Alarcón, Cohan, Cabello, & Barra, 2018).

El diseño introduce mejoras para el conjunto de la sociedad, contribuyendo a elevar el progreso, la calidad de vida y el bienestar de las personas. En esta medida, así como el entorno global competitivo supone constantes cambios en las estrategias que las empresas deben implementar para competir en mercados cada vez más exigentes, los entornos en que el diseño ha sido incorporado, presencian una permanente búsqueda de herramientas que asisten al proceso de diseño (Alarcón, Cohan, Cabello, & Barra, 2018).

La ventaja competitiva pueda constituirse sobre la aplicación eficiente e innovadora de las tecnologías existentes. En la actualidad, no podría hablarse de desarrollo tecnológico ni diseño de nuevos productos sin inmediatamente relacionar estos con las nuevas tecnologías en crecimiento sostenido. La creación de herramientas para el Diseño Asistido por Computadora (CAD) está en constante evolución y la mayoría de las ramas de la tecnología la usan para incrementar la productividad de los diseñadores y para obtener elaboraciones cada día más complejas y precisas (Erazo Arteaga, 2022).

En la época de hoy las empresas requieren diseñar, manufacturar y colocar en el mercado productos innovadores y originales para ser competitivas, para aumentar su participación actual de mercado o al menos permanecer con la misma proporción. Crear rápidamente productos nuevos e innovadores, cuyo rediseño constante desempeñe mejor con la función para el cual fue creado, es una alternativa muy eficiente para obtener esta ventaja frente a sus competidores (Flores , y otros, 2017).

El diseño es una parte integrante de la innovación tecnológica, en una escala que podríamos clasificar primero a las ciencias, las tecnologías y, finalmente, la ingeniería de proyección y el diseño industrial como última fase del proceso innovador centrada en la innovación incremental, mejorando, procesos y

productos. El diseño introduce cambios e innovaciones incrementales en los productos que producen indudables efectos económicos (Salazar, 2006).

El Diseño Asistido por Computadora se ha convertido en una herramienta de suma importancia en el mundo moderno, dadas las posibilidades que brinda para el desarrollo de proyectos de todo tipo, posibilitando la confección de dibujos técnicos, modelados, ensambles, proyecciones en dos y tres dimensiones, todo esto vinculado a la posibilidad de manufactura asistida por ordenador, lo que en conjunto crea las condiciones para la competitividad entre las empresas, al disminuir el tiempo de diseño y corrección de errores y aumentar así mismo la calidad y precisión de la conformación de los productos (Erazo Arteaga, 2022).

1.4.- CAD's Vigentes

El sistema C.A.D (siglas adoptadas para abreviar los términos Computer-Aided Design: diseño o dibujo asistido por ordenador), es un sistema de soporte informático orientado al dibujo técnico de piezas de ingeniería y maquinaria específica. Con el tiempo ha ido versión tras versión adaptándose a los requerimientos más concretos del dibujo arquitectónico, incluso al modelado

La innovación es la transformación de ideas creativas en un producto rentable nuevo o mejorado; que pueda reproducirse a través de un proceso de manufactura (Flores, y otros, 2017)

tridimensional (Oliva Santos, 2015).

La entrada, a finales del milenio anterior de un software muy común en las empresas de arquitectura e ingeniería de nuestro tiempo: el AutoCAD 2D-3D®, puso al servicio de los departamentos de diseño un sinnúmero de herramientas que llevaron al dibujo a unos límites inimaginables (Suárez Pinilla, 2019).

En la industria es donde mayor impacto ha tenido el diseñar por medio de la computadora, ya que aumenta la producción, la perfección y la precisión con la que se fabrican los productos. En el área de la construcción revolucionó completamente el proyecto de edificaciones, ya que es más rápido y preciso en su elaboración de planos bidimensionales y modelos tridimensionales (Mercado Bautista, 2020).

En general, existen tres fases en cualquier tarea de ingeniería asistida por computadora

La plataforma CAD es la base del dibujo técnico actual (Mercado Bautista, 2020)

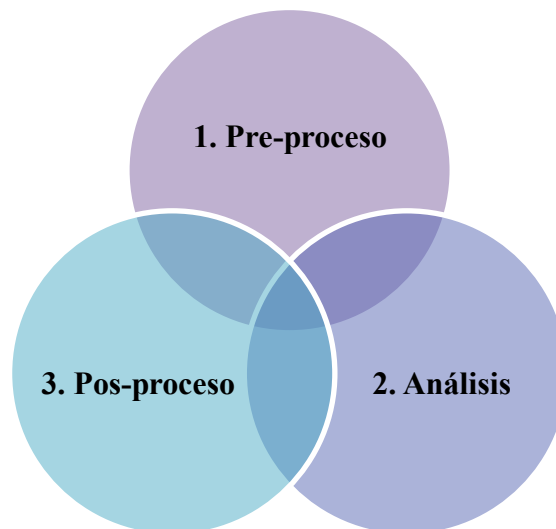


Ilustración 4. Fases de la Ingeniería Asistida por Computadora
Fuente: (Mercado Bautista, 2020)

- ❖ **Pre-proceso:** definir el modelo, así como los factores ambientales que se le aplicarán.
- ❖ **Análisis** orientados a buscar una respuesta o solución de un problema.

❖ *Pos-procesamiento* de resultados.

El diseño asistido por computadoras permite que las empresas exploren sus ideas modeladas antes de llevar a cabo un prototipo físico. Sobre todo, estos programas son usados por ingenieros ya que son los más activos con los diseños (Mercado Bautista, 2020).

Para apoyar las actividades de diseño asistidas por herramientas digitales, se han desarrollado muchas opciones de paquetes tipo CAD, algunos de los cuales ofrecen versiones especializadas para los diferentes tipos de aplicaciones en ingeniería.

De acuerdo con el documento de la (Universitat de Valencia, 2019), si el proceso de diseño se apoya en herramientas informáticas que permiten la fabricación de las piezas diseñadas, se habla entonces de CAM (Computer Aided Manufacturing). Cuando las herramientas informáticas se utilizan para ayudar (o sustituir) a las tareas de análisis de algunos procesos de ingeniería, se habla de CAE (Computer Aided Engineering). Ejemplos de CAE serían las herramientas capaces de calcular estructuras, analizar la durabilidad de piezas, o calcular la resistencia aerodinámica o hidrodinámica de un objeto.

Los sistemas CAD/CAM/CAE se pueden emplear en prácticamente todos los campos de la ingeniería. El ejemplo más conocido es el del dibujo técnico y la arquitectura, donde destaca el programa AutoCAD, pero también podemos ver sistemas CAD/CAM/CAE en ingeniería civil, en el diseño y fabricación industrial (CATIA, PRO/ENGINEERING), entre otros (Universitat de Valencia, 2019).

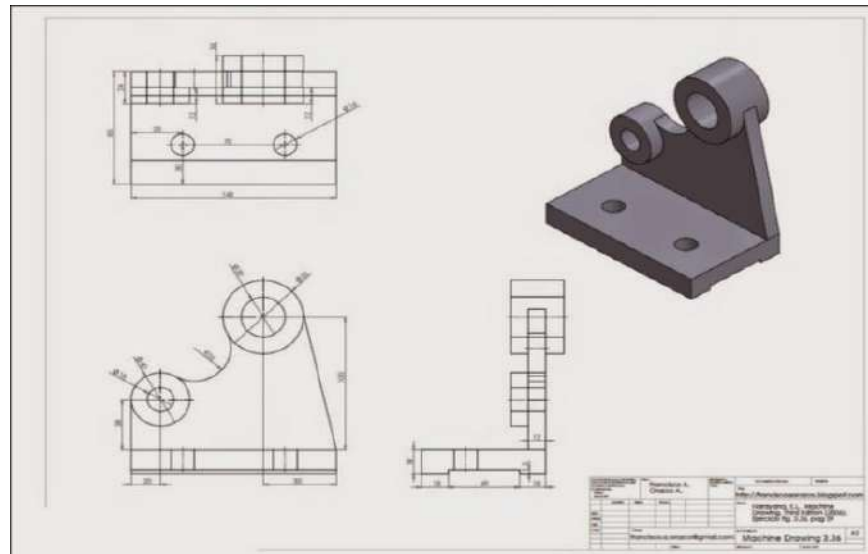


Ilustración 5. Dibujo Mecánico-Ingeniería Asistida-Simulaciones-CAD-CAM
Fuente: (Orozco, 2011)

El software CAD puede ser especializado para usos y aplicaciones específicas. El software CAD está en continua evolución, adaptándose cada vez más a los nuevos tiempos y requerimientos de los usuarios. El uso de las tres dimensiones es cada vez más frecuente, y por ello ese es un aspecto que se mejora en cada versión de los programas, ganando estabilidad, velocidad y prestaciones (Soto, 2017). A modo de ilustración se presenta un resumen de los diversos sectores y el software CAD que eligen:

Tabla 1. Software CAD en Diversos Sectores de la Ingeniería y Arquitectura

Sector	Software
Sector automovilístico	CATIA, Siemens NX, Alias, Creo, Rhinoceros
Arquitectura	AutoCAD, Revit, ArchiCAD, Microstation, SketchUp, Rhinoceros+Grasshopper
Ingeniería y diseño de productos	SolidWorks, Onshape, Creo, Siemens NX
Fabrication	Inventor, SolidEdge, SolidWorks

Fuente: (Formlabs)

El avance de la informática gráfica, ha hecho posible dotar a los programas CAD de mucha mayor resolución, realismo e interactividad, permitiendo representar y almacenar piezas en 3D de forma rápida. Paquetes CAD como CATIA, 3D Studio, Solid Works, Solid Edge, SketchUp, etc. son de uso

habitual y de conocimiento imprescindible para los ingenieros actuales, dado que hoy en día la manera de modelizar y representar información en la ingeniería es, en casi todas las especialidades, mediante el uso de programas CAD (Universitat de Valencia, 2019).

La importancia de los sistemas CAD en la actualidad es tal, que sin la ayuda de estas aplicaciones, los masivos niveles producción industrial actuales serían imposibles, y los procesos de diseño se detendrían (Universitat de Valencia, 2019).

CAPITULO II

EL DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS

CAPITULO II EL DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS

2.1.- Diseño

El concepto de diseño suele utilizarse en el contexto de las artes, la arquitectura, la ingeniería y otras disciplinas. El momento del diseño implica una representación mental y la posterior plasmación de dicha idea en algún formato gráfico (visual) para exhibir cómo será la obra que se planea realizar. El diseño, por lo tanto, puede incluir un dibujo o trazado que anticipe las características de la obra (Molleja, 2010).

De acuerdo con el texto emanado de la (Universitat de Valencia, 2019), los pasos típicos del proceso clásico de diseño son los siguientes:

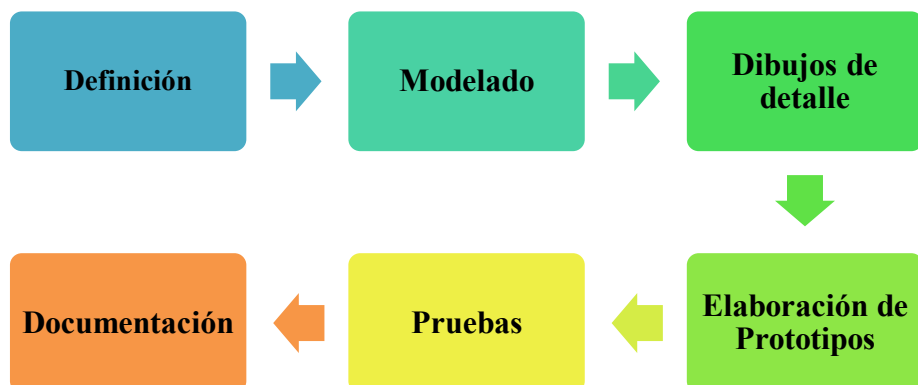


Ilustración 6. Pasos Típicos del Proceso Clásico de Diseño
Fuente: (Universitat de Valencia, 2019)

Definición. Consiste en especificar las propiedades y características relevantes del sistema que se desea diseñar.

Modelado. Es probablemente el paso más relevante del proceso de diseño. Consiste en crear un modelo del sistema/elemento/proceso a diseñar, que represente y satisfaga las necesidades y especificaciones requeridas. Es el

ingeniero el que debe realizar la modelización, utilizando modelos existentes o basándose en técnicas de modelado conocidas para crear un nuevo modelo.

Dibujos de detalle. En la mayor parte de casos, es posible representar los objetos o estructuras que se desean fabricar mediante algún tipo de representación gráfica, que se emplea como descripción del elemento a construir. Estos planos deben poseer el detalle suficiente como para que su construcción sea realizable y no se presenten ambigüedades. Por ese motivo, antes de pasar al proceso de construcción, se debe generar una cantidad importante de planos (o descripciones gráficas en general) que sirvan para describir el modelo con el suficiente detalle como para permitir la fabricación de prototipos con los que validar el diseño. En algunos casos, este paso puede suponer un porcentaje importante del esfuerzo de diseño.

Elaboración de prototipos. Muchas veces, cuando los objetos diseñados han sido pensados para someterse a un proceso de fabricación en cadena, es habitual construir o fabricar previamente prototipos antes de iniciar la cadena de montaje. Los prototipos proporcionan varias ventajas, ya que permiten detectar errores en el modelo, o visualizar mejoras aplicables al producto final antes de que comience la producción en cadena. Los prototipos no tienen que ser necesariamente un ejemplar completo del elemento a fabricar, pudiendo utilizarse únicamente para validar determinadas partes o propiedades. Algunas veces se utilizan prototipos con elementos que no se fabrican en serie, como en ingeniería civil o arquitectura. En estos casos, los prototipos sirven como demostración visual, para estudiar la resistencia de los materiales o para analizar algunas propiedades físicas como la resistencia aerodinámica.

Pruebas. Tras la construcción de un prototipo, se suelen realizar pruebas sobre él para validar el modelo. Las pruebas pueden ser de muy diverso tipo según el campo de aplicación. Si no se aprecian fallos en el prototipo, se valida el modelo para, dado el caso, construirlo, posiblemente en serie. Por el contrario, si se detectan fallos o elementos mejorables, se suele volver al paso de modelado, o incluso al de definición si el problema es severo.

Documentación. Una vez validado el diseño se pasa a documentarlo. La documentación debe contener la información suficiente como para poder abordar la construcción del sistema sin necesidad de buscar otro tipo de información. La documentación puede estar formada por información muy diversa, como la descripción del sistema y de sus componentes, esquemas de instalación, de montaje, de uso, listas de componentes, etc.

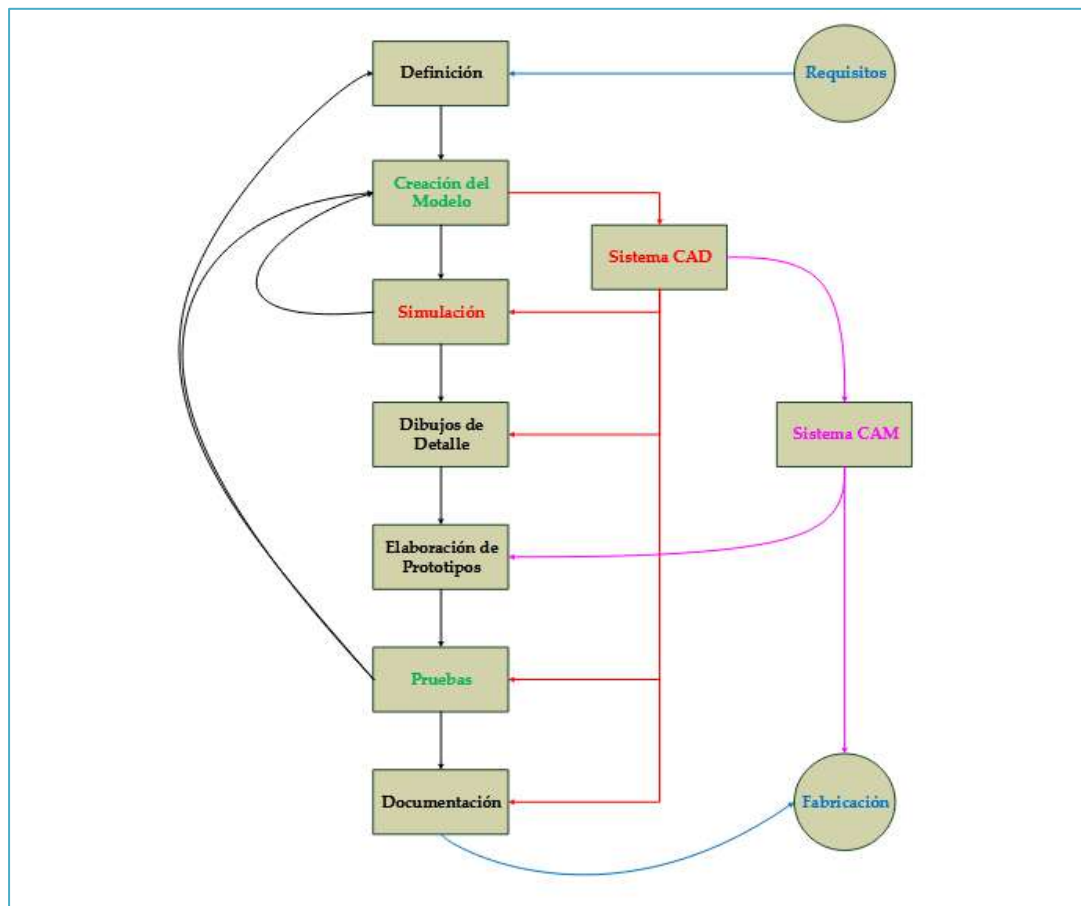


Ilustración 7. El Proceso de Diseño Empleando Herramientas CAD
Fuente: (Universitat de Valencia, 2019)

2.2- Fabricación

La fabricación puede obtener suficiente conocimiento sobre el diseño del producto durante la participación inicial para continuar con el diseño del proceso.

El proceso de diseño y desarrollo de un producto incluye el planteamiento de un sistema de fabricación. En este proceso, el camino que se recorre entre la expresión de los requerimientos funcionales del producto y el proyecto terminado, es posible debido al uso de modelos y simulaciones de muy diversos tipos que representan al producto y sistema de fabricación total o parcialmente (López Soto, Toledo Gandarias, Herrero Bengoechea, & Caro Rodríguez, 2013)

Por lo que respecta a la fabricación, en el mercado existe un gran número de herramientas de fabricación digital, con las que es posible definir células, líneas de fabricación, efectuar sobre éstas análisis y simulaciones ergonómicas, de producción, de contingencias, así como asignación de tiempos por MTM (Methods Time Measurement), teniendo una representación dinámica bajo un modelo gráfico con técnicas de realismo (López Soto, Toledo Gandarias, Herrero Bengoechea, & Caro Rodríguez, 2013).

El nuevo boom de la fabricación digital, uno de los últimos desarrollos en el campo del Asistido por Computadora y la Manufactura Asistida por Computadora (CAD/CAM). La fabricación digital es cualquier proceso que permita que un diseño generado o en el computador sea convertido en un objeto

El proceso de diseño y desarrollo del producto y de su sistema de fabricación con herramientas informáticas, permite obtener modelos virtuales (digitales) del producto y del sistema de fabricación (López Soto, Toledo Gandarias, Herrero Bengoechea, & Caro Rodríguez, 2013)

físico, mediante máquinas apropiadas para dicho fin (Gershenfeld, 2012).

En el proceso de fabricación del producto, se transforma el diseño CAD en información de fabricación, reglas de proceso y fabricación de maquinaria de procesamiento para realizar combinaciones efectivas; y una clasificación según los procedimientos programados, y seleccionando las herramientas, accesorios y tecnologías de medición adecuadas para determinar parámetros tales como; parámetros de corte, y calculando así el tiempo de maniobra y el tiempo auxiliar,

herramientales se necesita para manufacturar la pieza, trayectoria del maquinado y programar tiempos y movimientos del operario como del uso de las maquinas (Hernández Morales, 2016). Las herramientas de ingeniería asistida por computadora pueden ser utilizadas por diferentes industrias y proporcionan beneficios en el desarrollo de productos tales como: Mayor eficiencia y calidad, gracias a que permite prever posibles errores y corregirlos antes de la fase de prototipo y fabricación.

Las empresas con el fin de lograr su propósito buscan siempre estar a la altura de sus mejores competidores, y para ello implementan sistemas que le permitan lograr su objetivo. El diseño asistido por computadora (CAD) es utilizado con el propósito de mejorar los procesos industriales, logrando una mejor ejecución de sus actividades y proceso, disminución de errores, ahorro de costes y de tiempo de ejecución (Cruz, Mena, Solís, & Masaquiza, 2021).

La calidad del producto se refleja finalmente en la cuota del mercado y el precio que los clientes están dispuestos a pagar (Ulrich & Eppinger, 2013).

El Diseño Asistido por Computadora se ha convertido en una herramienta de suma importancia en el mundo moderno, dadas las posibilidades que brinda para el desarrollo de proyectos de todo tipo, posibilitando la confección de dibujos técnicos, modelados, ensambles, proyecciones en dos y tres dimensiones, todo esto vinculado a la posibilidad de manufactura asistida por ordenador, lo que en conjunto crea las condiciones para la competitividad entre las empresas, al disminuir el tiempo de diseño y corrección de errores y aumentar así mismo la calidad y precisión de la conformación de los productos (Erazo Arteaga, 2022).

2.4.- Normativa Internacional

La representación normalizada de elementos industriales y arquitectónicos está regulada por una serie de normas internacionales, publicadas, por la International Organization for Standardization (ISO). Sin embargo, esas normas

también han sido publicadas por las organizaciones de normalización nacionales de los países integrantes de ISO (Prádanos, Sanz, Domínguez, & Espinoza, 2005).

La normalización a nivel internacional juega un papel fundamental para que sea posible que la información técnica contenida en los dibujos sea comprendida en cualquier lugar del mundo. La clave: más uso de simbología y menos uso de textos (Watanave, 2019).

El dibujo técnico normalizado es el lenguaje o el medio de comunicación que usan las empresas a nivel internacional para intercambiar información del producto. Por tanto, la información que se intercambia debe ser comprendida en cualquier lugar del planeta sin tener que hacer adaptaciones por causa de los diferentes idiomas (Watanave, 2019).

Para eliminar la posibilidad de dar diferentes interpretaciones a un mismo dibujo se han adoptado una serie de convencionalismos y normas que unifican criterios. El intercambio de información entre los diversos países, ha obligado a la adopción de una serie de Normas que permitan, al aplicarlas en la ejecución de los dibujos, salvar la enorme dificultad de la barrera idiomática. Precisamente por ello, puede considerarse al Dibujo Técnico como un idioma o lenguaje técnico internacional (UNSJ, 2020).

La Normalización es el conjunto de normas que regulan una actividad con objeto de garantizar el entendimiento común. Es decir que las Normas son las reglas que unifican y ordenan lógicamente una serie de fenómenos, siendo la Normalización una actividad colectiva orientada a establecer solución a problemas repetitivos (UNSJ, 2020).

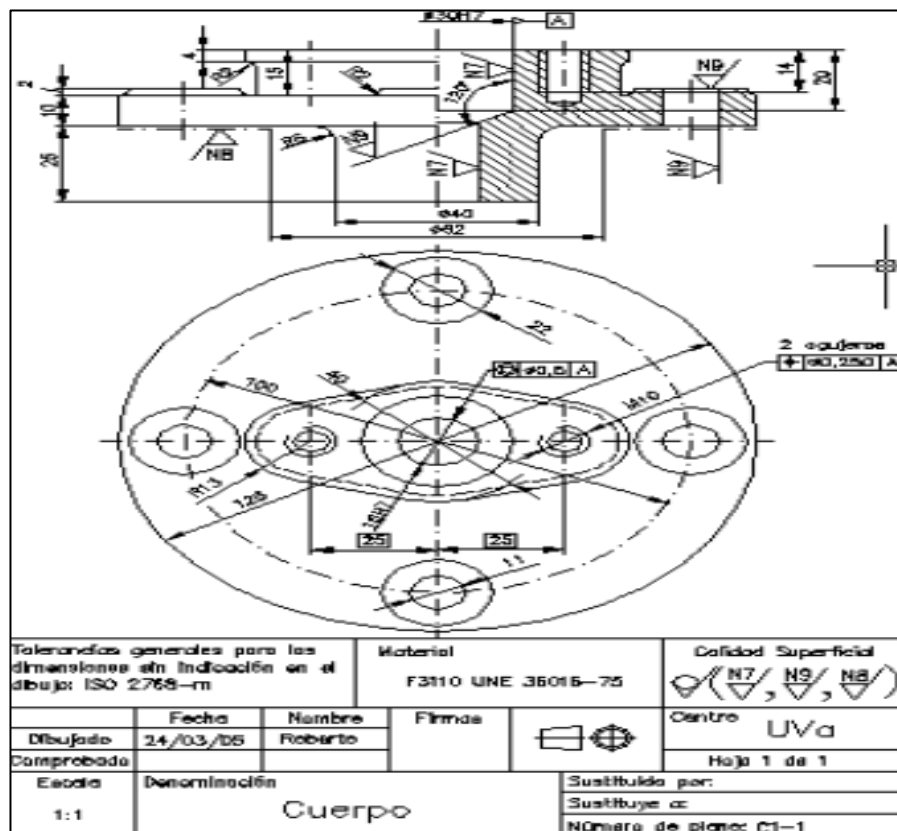


Ilustración 9. Dibujo Normalizado
Fuente: (Prádanos, Sanz, Domínguez, & Espinoza, 2005)

2.4.1.- Normas ISO

En Europa, la International Standarization Organization (ISO) ha establecido las Normas ISO (E) nombre que toma las siglas de la Organización Internacional de Estandarización y la “E” para Europa. En Estados Unidos surgen las normas ISO (A) donde la “A” responde a América (UNSJ, 2020). Las normas que hacen referencia a las características de los estados superficiales de los materiales en los dibujos, técnicos son la UNE 1.037 y la ISO 128. En ellas se recogen la simbología normalizada para indicar las calidades de acabado de las superficies y sus clasificaciones.

Las Normas del Dibujo ISO, abarcan aspectos como el sistema de numeración, notas, tamaño de papel, dimensiones geométricas y tolerancia, símbolos de soldadura, abreviaturas, símbolos de rugosidad y símbolos eléctricos.

Estas normas abarcan las medidas métricas y en pulgadas, así como también los estándares para el dibujo asistido por computadora (Perdomo Rosero, 2014).

La Norma ISO 128 es un estándar internacional, sobre los principios generales de presentación de dibujos técnicos, más específico será la representación gráfica de los objetos en dibujos técnicos. Además describe las convenciones básicas de líneas, vistas, cortes y secciones, de diferentes tipos de planos de ingeniería, como la ingeniería mecánica y de la construcción en arquitectura, ingeniería civil, construcción naval, etc. Es aplicable tanto manual y dibujos basados en computadoras, pero no es aplicable a modelos CAD tridimensionales (Caballero, 2017).

Varias partes de la Norma ISO 128, ha sido actualizada por piezas individuales. Las 12 partes de la ISO 128 estándar son, a decir de (Caballero, 2017), las siguientes:

Tabla 2 . La 12 Partes de la ISO 128 Estándar

Norma ISO 128	Especificación
---------------	----------------

Las Normas ISO responden a casi cualquier pregunta q un dibujante tendrá sobre los dibujos (Perdomo Rosero, 2014).

ISO 128-1:2003	Dibujos técnicos- Principios generales de presentación-Parte 1: Introducción y el índice
ISO128- 20:1996	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 20: Convenciones básicas para líneas
ISO 28-21:1997	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 21: Preparación de líneas por sistemas CAD
ISO 128-22:1999	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 22: Convenciones básicas y aplicaciones para líneas directrices y

	líneas de referencia.
ISO 128-23:1999	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 23: Líneas sobre planos de construcción
ISO 128- 24:1999	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 24: Líneas sobre dibujos de ingeniería mecánica
ISO 128-25:1999 ISO	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 25: Líneas de construcción naval dibujos
ISO 128-30:2001	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 30: Convenciones básicas para vistas
ISO 128-34:2001	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 34: Visitas en dibujos de ingeniería mecánica
ISO128-40:2001	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 40: Convenciones básicas para cortes y secciones
ISO 128- 44:2001	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 44:Secciones sobre dibujos de ingeniería mecánica
ISO 128-50:2001	Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 50: Convenciones básicas para la representación de las áreas en cortes y Secciones
ISO / TS 128-71:2010	Técnica general de los productos, documentación principios de presentación-Parte 71: representación simplificada de los dibujos de ingeniería mecánica

Fuente: (Caballero, 2017)

2.4.2.- Normas UNE

A nivel de España las normas UNE recogen los criterios necesarios para el lenguaje técnico común. Las normas UNE están coordinadas con las ISO y las europeas EN (Moral & Preciado, 2002).

La norma UNE-EN ISO 128-21:2002 “Dibujos técnicos. Principios generales de presentación. Parte 21: Preparación de líneas mediante sistemas de DAO (diseño asistido por ordenador)” que concuerda con la norma ISO 128-21:1997 precisa, que la apariencia de las líneas no continuas en los dibujos

técnicos, preparados mediante sistemas de diseño asistido por ordenador, varían considerablemente dependiendo del sistema utilizado. Por ello, esta norma y la ISO 128-20 están pensadas para contribuir a dar una apariencia consistente a los elementos de línea que se calculan por ordenador y se dibujan con la ayuda de trazadores o impresoras (Prádanos, Sanz, Domínguez, & Espinoza, 2005).

La norma UNE 1-032-82, equivalente a la ISO 128-82. En ella se trata sobre los principios generales de representación en los dibujos técnicos. En la norma UNE 1-032-82, la consideración de los convencionalismos tratados redundaría en una mejor representación de las piezas que poseen elementos distribuidos regularmente, bien de forma circunferencial o “cartesiana”. La representación de cualquier tipo de corte no tendría por qué afectar a dicha representación (Moral & Preciado, 2002).

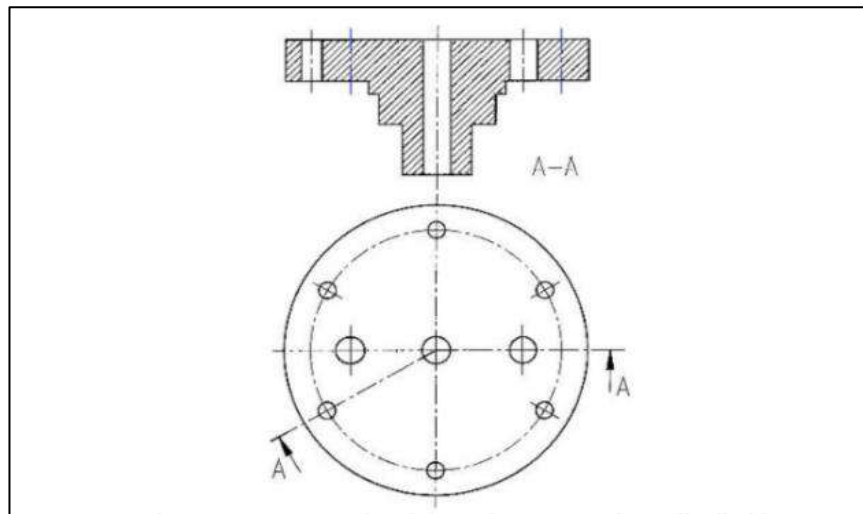


Ilustración 10. Representación de una pieza con agujeros distribuidos circunferencialmente
Fuente: (Moral & Preciado, 2002)

2.4.3.- Normas ANSI

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) es una organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos. ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC). La organización también coordina estándares del país estadounidense con estándares internacionales, de tal modo que los productos de dicho país puedan usarse en todo el mundo (Perdomo Rosero, 2014).

ANSI acredita a organizaciones que realizan certificaciones de productos o de personal de acuerdo con los requisitos definidos en los estándares internacionales. Los programas de acreditación ANSI se rigen de acuerdo a directrices internacionales en cuanto a la verificación gubernamental y a la revisión de las validaciones (Perdomo Rosero, 2014).

El Instituto Nacional Americano de Normalización aprobó la norma ANSI/ASME Y14., que define los tamaños de las hojas en pulgadas decimales y los formatos para los dibujos en ingeniería (Mijares & Rodríguez, 2011).

La estandarización de los tamaños de dibujo y la ubicación uniforme de las características de formato sobre las formas de dibujo ofrecen ventajas claras en la legibilidad, manejo, presentación, y la reproducción. En el uso de dibujos realizados por otras organizaciones, una ventaja que se gana es que la información se encuentra en la misma ubicación en todos los planos. La información sobre la revisión y las fechas de elaboración son de especial importancia para los usuarios de los dibujos y debe ubicarse manera uniforme en todos los planos de ingeniería (Mijares & Rodríguez, 2011).

Tabla 3. Normas ANSI/ASME. Documentos aplicados

Normas ANSI/ASME	Especificaciones
ASME Y14.1M-1995	Formatos y tamaños de hoja en sistema métrico
ASME Y 14.2M-1992	Letras y líneas de convención

ASME Y 14.3M-1994	Dibujos de varias vistas y vistas de sección
ASME Y14.5M-1994	Dimensionamiento y tolerancias

Fuente: (Mijares & Rodríguez, 2011).

Cuando las copias de dibujos CAD se producen, los tamaños de la hoja puede ser incrementada para compensar los requisitos del dispositivo de salida, proporcionando las copias pueden ser ajustados para el tamaño de la hoja que se especifica en esta Norma. Sin embargo, el formato de dibujo y el contenido se ajustará a los requisitos de esta Norma (Mijares & Rodríguez, 2011).

A blue wavy banner with a dark blue outline, spanning horizontally across the middle of the page.

CAPÍTULO III

Tolerancias de fabricación

CAPÍTULO III

Tolerancias de fabricación

3.1.1 Consideraciones generales

Las condiciones de funcionamiento de una pieza obliga a establecer holguras o aprietos entre ella y aquellas sobre las que se monta; por ejemplo, la condición de deslizamiento entre un pistón y el cilindro sobre el que debe moverse implica necesariamente la necesidad de un juego, la magnitud del mismo dependerá de una serie de condiciones funcionales tales como el grado de estanqueidad requerido, del fluido que produce el desplazamiento, del rozamiento esperado, la longitud del pistón y la biela, los materiales utilizados, temperatura máxima de funcionamiento, velocidad de desplazamiento, etc. Siendo por tanto el valor del citado juego es un dato que fijará el proyectista en función de la experiencia y de las consideraciones anteriores.

En la fabricación de un único conjunto, las condiciones funcionales se mantendrán para ese juego (o aprieto) dentro de una relativa amplia gama de variaciones de medida; es decir, en el caso del pistón anterior, si se ha determinado un juego de entre 0,05 y 0,1 mm., el funcionamiento será correcto, siempre que se conserve, independientemente de que el diámetro del pistón mida 49 o 51 mm. ya que a un pistón único corresponde un cilindro único.

Si por el contrario el número de unidades a fabricar es múltiple y queremos hacer que cada pistón pueda montarse en cualquier cilindro con los límites de juego especificados, es decir que exista intercambiabilidad, ya no será admisible la variación de medidas nominales, como anteriormente.

Por otra parte es sabido que los propios procesos de fabricación introducen en las dimensiones de las piezas errores o desviaciones sobre las medidas establecidas en los planos de definición de las mismas.

En razón de todo ello, es necesario establecer límites (tolerancias) sobre todas las dimensiones fundamentales de una pieza.

Para definición y aclaración de los conceptos de tolerancias de medidas se ha editado la norma UNE 4- 026-79, cuyos conceptos principales se indican a

continuación.

- *Medida*: Número que expresa para una determinada longitud su valor numérico en las unidades elegidas.
- *Medida efectiva*: Resultado de una medición
- *Medida nominal*: Medida a la que se definen las medidas límites
- *Medida máxima*: La mayor medida permitida
- *Medida mínima*: la menor de las medidas permitidas
- *Diferencia o desviación superior (Ds ó ds)*: Diferencia algebraica entre la medida máxima y la nominal.
- *Diferencia o desviación inferior (Di ó di)*: Diferencia algebraica entre la medida nominal y la mínima.
- *Línea de referencia o línea cero*: Representación gráfica de la medida nominal a partir de la cual se representan las diferencias; estas pueden ser ambas positivas, ambas negativas o una positiva y la otra negativa.
- *Tolerancia*: Diferencia entre la medida máxima y mínima
- *Zona de tolerancia*: Espacio o zona en representación gráfica delimitado por las líneas que representan los límites de tolerancia respecto a la línea de referencia
- *Desviación o diferencia fundamental*: Una cualquiera de las dos diferencias elegida convencionalmente para definir la posición de la zona de tolerancia con respecto a la línea de referencia.
- *Eje base*: En el sistema ISO de tolerancias se denomina así al eje cuya diferencia superior es nula.
- *Agujero base*: En el sistema ISO de tolerancias se denomina así al agujero cuya diferencia inferior es nula.
- *Ajuste*: Es la relación por diferencia antes de su montaje, entre las medidas de dos piezas que han de montarse la una sobre la otra. *Tolerancia de ajuste*: Es la suma aritmética de las tolerancias de los dos elementos de un ajuste
- *Juego*: Diferencia antes del montaje entre la medida del agujero y de eje cuando es positiva *Juego máximo*: Diferencia en valor absoluto entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje
- *Juego mínimo*: Diferencia en valor absoluto entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje
- *Aprieto*: Diferencia antes de montaje entre la medida del agujero y del eje cuando es negativa *Aprieto máximo*: Diferencia en valor absoluto entre la máxima medida del eje y la mínima del agujero.
- *Aprieto mínimo*: Diferencia en valor absoluto entre la mínima medida del eje y la máxima del agujero
- *Ajuste indeterminado*: Es el ajuste que dependiendo de las medidas obtenidas para el eje y el agujero puede resultar juego o aprieto.
- *Sistema de tolerancias normalizadas*: Conjunto sistemático de tolerancias y diferencias normalizadas
- *Sistemas de ajustes eje base*: Conjunto sistemático de ajustes en el que los

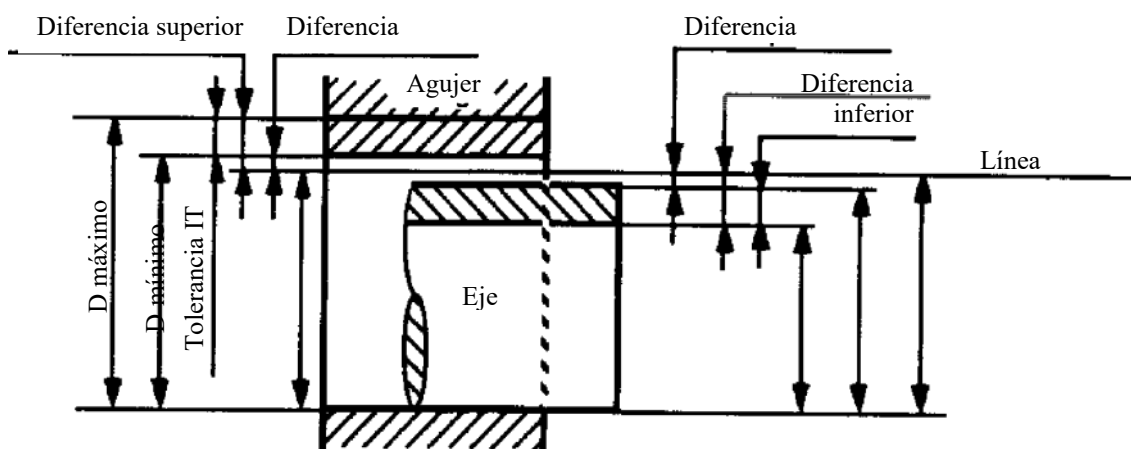
3.6. Determinación de tolerancias de ajuste

Cuando se conocen las condiciones límites de un ajuste: juego máximo y mínimo (JM y Jm) o aprieto máximo y mínimo (AM y Am) que se desean utilizar, determinados bien por cálculo bien por experiencia, para proceder a la elección de ajustes normalizados se actúa como sigue:

diferentes juegos y aprietes se obtienen asociando a un eje con tolerancia constante y límite superior igual a cero, agujeros con diferentes tolerancias.

- *Sistemas de ajustes agujero base:* Conjunto sistemático de ajustes en el que los diferentes juegos y aprietes se obtienen asociando a un agujero con tolerancia constante y límite inferior igual a cero, ejes con diferentes tolerancias.

En la figura y cuadro siguientes se muestran de forma gráfica las definiciones y relaciones entre ellas



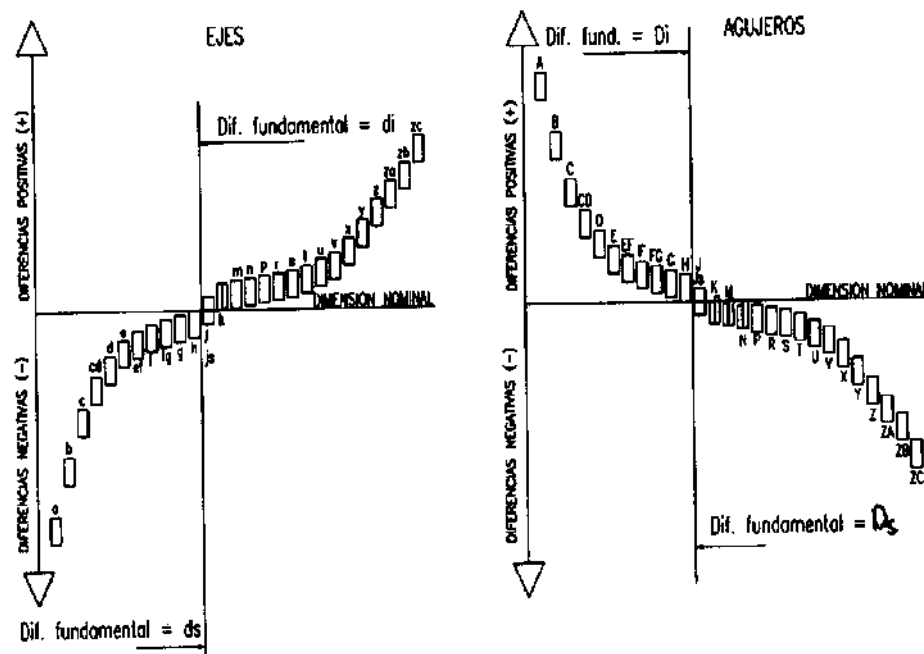
Agujeros	Ejes
Diferencia superior = Diferencia inferior + tol IT Diam. máximo = Diam. menor + tol IT Tol IT = Diam. Máximo - Diam. Mínimo Tol IT = Diferencia superior - diferencia inferior Diam. máximo = Diam. nominal + diferencia superior Diam. mínimo = Diam. nominal + diferencia inferior	Diferencia superior = Diferencia inferior + tol IT diam. máximo = diam. menor + tol IT Tol IT = diam. máximo - diam. mínimo Tol IT = Diferencia superior - Diferencia inferior diam. máximo = diam. nominal + diferencia superior diam. mínimo = diam. nominal + diferencia inferior

Para establecer unos criterios que permitan conjugar las condiciones funcionales con los errores de los procesos de fabricación, manteniendo la intercambiabilidad, es para lo que se han desarrollado los sistemas de tolerancias. En la actualidad el más ampliamente aceptado es el normalizado por ISO recogido

en la norma UNE 4-040-81, con sus variantes de sistemas de eje único o agujero único.

3.1.2 Estructura del sistema de tolerancias ISO

La estructura del sistema de tolerancias ISO está basada en la posición de la zona de tolerancia respecto a la línea cero o de referencia y el valor de la tolerancia se hace depender de la magnitud de la medida nominal. Las posiciones consideradas se designan por letras mayúsculas para agujeros y minúsculas para ejes en la figura se muestran las establecidas.



Las magnitudes de las tolerancias se hacen depender para un mismo grupo de medidas nominales de una escala con 18 escalones denominada calidad IT y designada por los números 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Los valores de las tolerancias IT son función de la magnitud de los diámetros

De esta forma la designación de una tolerancia se realiza con letras y números, correspondiendo las primeras a la posición de la tolerancia y su magnitud por las cifras IT, ejemplo 40 H7 con límites correspondientes a 40,000 y 40,025.

En las páginas siguientes se muestran los valores de las tolerancias IT y los de las diferencias fundamentales para ejes y agujeros

3.1.3. Valores de las tolerancias para calidad de fabricación

Grupos de diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$d \leq 3$	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$3 < d \leq 6$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
$6 < d \leq 10$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
$10 < d \leq 18$	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
$18 < d \leq 30$	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
$30 < d \leq 50$	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
$50 < d \leq 80$	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
$80 < d \leq 120$	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
$120 < d \leq 180$	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
$180 < d \leq 250$	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
$250 < d \leq 315$	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
Ultraprecisión			Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar								Piezas o elementos que no han de ajustar				

3.1.4. Diferencias fundamentales para los ejes

Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Calidad	5 y 6													7													8													9													10													11													12													13													14													15													16													17													18													19													20													21													22													23													24													25													26													27													28													29													30													31													32													33													34													35													36													37													38													39													40													41													42													43													44													45													46													47													48													49													50													51													52													53													54													55													56													57													58													59													60													61													62													63													64													65													66													67													68													69													70													71													72													73													74													75													76													77													78													79													80													81													82													83													84													85													86													87													88													89													90													91													92													93													94													95													96													97													98													99													100													101													102													103													104													105													106													107													108													109													110													111													112													113													114													115													116													117													118													119													120													121													122													123													124													125													126													127													128													129													130													131													132													133													134													135													136													137													138													139													140													141													142													143													144													145													146													147													148													149													150													151													152													153													154													155													156													157													158													159													160													161													162													163													164													165													166													167													168													169													170													171													172													173													174													175													176													177													178													179													180													181													182													183													184													185													186													187													188													189													190													191													192													193													194													195													196													197													198													199													200													201													202													203													204													205													206													207													208													209													210													211													212													213													214													215													216													217													218													219													220													221													222													223													224													225													226													227													228													229													230													231													232													233													234													235													236													237													238													239													240													241													242													243													244													245													246													247													248													249													250													251													252													253													254													255													256													257													258													259													260													261													262													263													264													265													266													267													268													269													270													271													272													273													274													275													276													277													278													279													280													281													282													283													284													285													286													287													288													289													290													291													292													293													294													295													296													297													298													299													300													301													302													303													304													305													306													307													308													309													310													311													312													313													314													315													316													317													318													319													320													321													322													323													324													325													326													327													328													329													330													331													332													333													334													335													336													337													338													339													340													341													342													343													344													345													346													347													348													349													350													351													352													353													354													355													356													357													358													359													360													361													362													363													364													365													366													367													368													369													370													371													372													373													374													375													376													377													378													379													380													381													382													383													384													385													386													387													388													389													390													391													392													393													394													395													396													397													398													399													400													401													402													403													404													405													406													407													408													409													410													411													412													413													414													415													416													417													418													419													420													421													422													423													424													425													426													427													428													429													430													431													432													433													434													435													436													437													438													439													440													441													442													443													444													445													446													447													448													449													450													451													452													453													454													455													456													457													458													459													460													461													462													463													464													465													466													467													468													469													470													471													472													473													474													475													476													477													478													479													480													481													482													483													484													485													486													487													488													489													490													491													492													493													494													495													496													497													498													499													500													501													502													503													504													505													506													507													508													509													510													511													512													513													514													515													516													517													518													519													520													521													522													523													524													525													526													527													528													529													530													531													532													533													534													535													536													537													538													539													540													541													542													543													544													545													546													547													548													549													550													551													552													553													554													555													556													557													558													559													560													561													562													563													564													565													566													567													568													569													570													571													572													573													574													575													576													577													578													579													580													581													582													583													584													585													586													587													588													589													590													591													592													593													594													595													596													597													598													599													600													601													602													603													604													605													606													607													608													609													610													611													612													613													614													615													616													617													618													619													620													621													622													623													624													625													626													627													628													629													630													631													632													633													634													635													636													637													638													639													640													641													642													643													644													645													646													647													648													649													650													651													652													653													654													655													656													657													658													659													660													661													662													663													664													665													666													667													668													669													670													671													672													673													674													675													676													677													678													679													680													681													682													683													684													685													686													687													688													689													690													691													692													693													694													695													696													697													698													699													700													701													702													703													704													705													706													707													708													709													710													711													712													713													714													715													716													717													718													719													720													721													722													723													724													725													726													727													728													729													730													731													732													733													734													735													736													737													738													739													740													741													742													743													744													745													746													747													748													749													750													751													752													753													754													755													756													757													758													759													760													761													762													763													764													765													766													767													768													769													770													771													772													773													774													775													776													777													778													779													780													781													782													783													784													785													786													787													788													789													790													791													792													793													794													795													796													797													798													799													800													801													802													803													804													805													806													807													808													809													810													811													812													813													814													815													816													817													818													819													820													821													822													823													824													825													826													827													828													829													830													831													832													833													834													835													836													837													838													839													840													841													842													843													844													845													846													847													848													849													850													851													852													853													854													855													856													857													858													859													860													861													862													863													864													865													866													867													868													869													870													871													872													873													874													875													876													877													878													879													880													881													882													883													884													885													886													887													888													889													890													891													892													893													894													895													896													897													898													899													900													901													902													903													904													905													906													907													908													909													910													911													912													913													914													915													916													917													918													919													920													921													922													923													924													925													926													927													928													929													930													931													932													933													934													935													936													937													938													939													940													941													942													943													944													945													946													947													948													949													950													951													952													953													954													955													956													957													958													959													960													961													962													963													964													965													966													967													968													969													970													971													972													973													974													975													976													977													978													979													980													981													982													983													984													985													986													987													988													989													990													991													992													993													994													995													996													997													998													999													1000													1001													1002													1003													1004													1005													1006													1007													1008													1009													1010													1011													1012													1013													1014													1015													1016													1017													1018													1019													1020													1021													1022													1023													1024													1025													1026													1027													1028													1												

Para la posición js, di = - IT/2 y ds = IT/2

3.5. Diferencias fundamentales para agujeros

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
$d \leq 3$	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	-IT/2
$3 < d \leq 6$	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
$6 < d \leq 10$	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
$10 < d \leq 18$	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0	
$18 < d \leq 30$	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0	
$30 < d \leq 40$	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0	
$40 < d \leq 50$	+320	+180	+130	-	-	-	-	-	-	-	-	
$50 < d \leq 65$	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0	
$65 < d \leq 80$	+360	+200	+150	-	-	-	-	-	-	-	-	
$80 < d \leq 100$	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0	
$100 < d \leq 120$	+410	+240	+180	-	-	-	-	-	-	-	-	
$120 < d \leq 140$	+460	+260	+200	-	-	-	-	-	-	-	-	
$140 < d \leq 160$	+520	+280	+210	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0	
$160 < d \leq 180$	+580	+310	+230	-	-	-	-	-	-	-	-	
$180 < d \leq 200$	+660	+340	+240	-	-	-	-	-	-	-	-	
$200 < d \leq 225$	+740	+380	+260	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0	
$225 < d \leq 250$	+820	+420	+280	-	-	-	-	-	-	-	-	
$250 < d \leq 280$	+920	+480	+300	-	+190	+110	-	+56	-	+17	0	
$280 < d \leq 315$	+1050	+540	+330	-	-	-	-	-	-	-	-	
$315 < d \leq 335$	+1200	+600	+360	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0	
$335 < d \leq 400$	+1350	+680	+400	-	-	-	-	-	-	-	-	
$400 < d \leq 450$	+1500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0	
$450 < d \leq 500$	+1650	+840	+480	-	-	-	-	-	-	-	-	

Posición	J			K				M					N					P			
Calidad	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	≥9	5	6	7	8	≥9	5	6	7	≥8
Diámetro	Diferencia superior Ds																				
$d \leq 3$	+2	+4	+6	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-6	-6	-6	-6
$3 < d \leq 6$	+5	+6	+10	0	+2	+3	+5	-3	-1	0	+2	-4	-7	-5	-4	-2	0	-11	-9	-8	-12
$6 < d \leq 10$	+5	+8	+12	+1	+2	+5	+6	-4	-3	0	+1	-6	-8	-7	-4	-3	0	-13	-12	-9	-15
$10 < d \leq 18$	+6	+10	+15	+2	+2	+6	+8	-4	-4	0	+2	-7	-9	-9	-5	-3	0	-15	-15	-11	-18
$18 < d \leq 30$	+8	+12	+20	+1	+2	+6	+10	-5	-4	0	+4	-8	-12	-11	-7	-3	0	-19	-18	-14	-22
$30 < d \leq 40$	+10	+14	+24	+2	+3	+7	+12	-5	-4	0	+5	-9	-13	-12	-8	-3	0	-22	-21	-17	-26
$40 < d \leq 50$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$50 < d \leq 65$	+13	+18	+28	+3	+4	+9	+14	-6	-5	0	+5	-11	-15	-14	-9	-4	0	-27	-26	-21	-32
$65 < d \leq 80$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$80 < d \leq 100$	+16	+22	+34	+2	+4	+10	+16	-8	-6	0	+6	-13	-18	-16	-10	-4	0	-32	-30	-24	-37
$100 < d \leq 120$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$120 < d \leq 140$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$140 < d \leq 160$	+18	+26	+41	+3	+4	+12	+20	-9	-8	0	+8	-15	-21	-20	-12	-4	0	-37	-36	-28	-43
$160 < d \leq 180$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$180 < d \leq 200$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$200 < d \leq 225$	+22	+30	+47	+2	+5	+13	+22	-11	-8	0	+9	-17	-25	-22	-14	-5	0	-44	-41	-33	-50
$225 < d \leq 250$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$250 < d \leq 280$	+25	+36	+55	+3	+5	+16	+25	-13	-9	0	+9	-20	-27	-25	-14	-5	0	-49	-47	-36	-56
$280 < d \leq 315$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$315 < d \leq 335$	+29	+39	+60	+3	+7	+17	+28	-14	-10	0	+11	-21	-30	-26	-16	-5	0	-55	-51	-41	-62
$335 < d \leq 400$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$400 < d \leq 450$	+33	+43	+66	+2	+8	+18	+29	-16	-10	0	+11	-23	-33	-27	-17	-6	0	-61	-55	-45	-68
$450 < d \leq 500$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Posición	R				S				T				U			
Calidad	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8
Diámetro	Diferencia superior Ds															
d ≤ 3	-10	-10	-10	-10	-14	-14	-14	-14	-	-	-	-	-18	-18	-18	-18
3 < d ≤ 6	-14	-12	-11	-15	-18	-16	-15	-19	-	-	-	-	-22	-20	-19	-23
6 < d ≤ 10	-17	-16	-13	-19	-21	-20	-17	-23	-	-	-	-	-26	-25	-22	-28
10 < d ≤ 14	-20	-20	-16	-23	-25	-25	-21	-28	-	-	-	-	-30	-30	-26	-33
14 < d ≤ 18																
18 < d ≤ 24	-25	-24	-20	-28	-32	-31	-27	-35	-	-	-	-	-38	-37	-33	-41
24 < d ≤ 30									-38	-37	-33	-41	-45	-44	-40	-48
30 < d ≤ 40	-30	-29	-25	-34	-39	-38	-34	-43	-44	-43	-39	-48	-56	-55	-51	-60
40 < d ≤ 50									-50	-49	-45	-54	-66	-65	-61	-70
50 < d ≤ 65	-36	-35	-30	-41	-48	-47	-42	-53	-61	-60	-55	-66	-82	-81	-76	-87
65 < d ≤ 80	-38	-37	-32	-43	-54	-53	-48	-59	-70	-69	-64	-75	-97	-96	-91	-102
80 < d ≤ 100	-46	-44	-38	-51	-66	-64	-58	-71	-86	-84	-78	-91	-119	-117	-111	-124
100 < d ≤ 120	-49	-47	-41	-54	-74	-72	-66	-79	-99	-97	-91	-104	-139	-137	-131	-144
120 < d ≤ 140	-57	-56	-48	-63	-86	-85	-77	-92	-116	-115	-107	-122	-164	-163	-155	-170
140 < d ≤ 160	-59	-58	-50	-65	-94	-93	-85	-100	-128	-127	-119	-134	-184	-183	-175	-190
160 < d ≤ 180	-62	-61	-53	-68	-102	-101	-93	-108	-140	-139	-131	-146	-204	-203	-195	-210
180 < d ≤ 200	-71	-68	-60	-77	-116	-113	-105	-122	-160	-157	-149	-166	-230	-227	-219	-236
200 < d ≤ 225	-74	-71	-63	-80	-124	-121	-113	-130	-174	-171	-163	-180	-252	-249	-241	-258
225 < d ≤ 250	-78	-75	-67	-84	-134	-131	-123	-140	-190	-187	-179	-196	-278	-275	-267	-284
250 < d ≤ 280	-87	-85	-74	-94	-151	-149	-138	-158	-211	-209	-198	-218	-308	-306	-295	-315
280 < d ≤ 315	-91	-89	-78	-98	-163	-161	-150	-170	-233	-231	-220	-240	-343	-341	-330	-350
315 < d ≤ 355	-101	-97	-87	-108	-183	-179	-169	-190	-261	-257	-247	-268	-383	-379	-369	-390
355 < d ≤ 400	-107	-103	-93	-114	-201	-197	-187	-208	-287	-283	-273	-294	-428	-424	-414	-435
400 < d ≤ 450	-119	-113	-103	-126	-225	-219	-209	-232	-323	-317	-307	-330	-483	-477	-467	-490
450 < d ≤ 500	-125	-119	-109	-132	-245	-239	-229	-252	-353	-347	-337	-360	-533	-527	-517	-540

Posición	V				X				Y			Z			ZA		ZB	ZC
Calidad	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	6	7	≥8	6	7	≥8	7	≥8	≥8	≥8
Diámetro	Diferencia superior Ds																	
d ≤3	-	-	-	-	-20	-20	-20	-20	-	-	-	-26	-26	-26	-32	-32	-40	-60
3 < d ≤6	-	-	-	-	-27	-25	-24	-28	-	-	-	-32	-31	-35	-38	-42	-50	-80
6 < d ≤10	-	-	-	-	-32	-31	-28	-34	-	-	-	-39	-36	-42	-46	-52	-67	-97
10 < d ≤14	-	-	-	-	-37	-37	-33	-40	-	-	-	-47	-43	-50	-57	-64	-90	-130
14 < d ≤18	-36	-36	-32	-39	-42	-42	-38	-45	-	-	-	-57	-53	-60	-70	-77	-108	-150
18 < d ≤24	-44	-43	-39	-47	-51	-50	-46	-54	-59	-55	-63	-69	-65	-73	-90	-98	-136	-188
24 < d ≤30	-52	-51	-47	-55	-61	-60	-56	-64	-71	-67	-75	-84	-80	-88	-110	-118	-160	-218
30 < d ≤40	-64	-63	-59	-68	-76	-75	-71	-80	-89	-85	-94	-107	-103	-112	-139	-148	-200	-274
40 < d ≤50	-77	-76	-72	-81	-93	-92	-88	-97	-109	-105	-114	-131	-127	-136	-171	-180	-242	-325
50 < d ≤65	-97	-96	-91	-102	-117	-116	-111	-122	-138	-133	-144	-166	-161	-172	-215	-226	-300	-405
65 < d ≤80	-115	-114	-109	-120	-141	-140	-135	-146	-168	-163	-174	-204	-199	-210	-263	-274	-360	-480
80 < d ≤100	-141	-139	-133	-146	-173	-171	-165	-178	-207	-201	-214	-251	-245	-258	-322	-335	-445	-585
100 < d ≤120	-167	-165	-159	-172	-205	-203	-197	-210	-247	-241	-254	-303	-297	-310	-387	-400	-525	-690
120 < d ≤140	-196	-195	-187	-202	-242	-241	-233	-248	-293	-285	-300	-358	-350	-365	-455	-470	-620	-800
140 < d ≤160	-222	-221	-213	-228	-274	-273	-265	-280	-333	-325	-340	-408	-400	-415	-520	-535	-700	-900
160 < d ≤180	-246	-245	-237	-252	-304	-303	-295	-310	-373	-365	-380	-458	-450	-465	-585	-600	-780	-1000
180 < d ≤200	-278	-275	-267	-284	-344	-341	-333	-350	-416	-408	-425	-511	-503	-520	-653	-670	-880	-1150
200 < d ≤225	-304	-301	-293	-310	-379	-376	-368	-385	-463	-453	-470	-566	-558	-575	-723	-740	-960	-1250
225 < d ≤250	-334	-331	-323	-340	-419	-416	-408	-425	-511	-503	-520	-631	-623	-640	-803	-820	-1050	-1350
250 < d ≤280	-378	-376	-365	-385	-468	-466	-455	-475	-571	-560	-580	-701	-690	-710	-900	-920	-1200	-1550
280 < d ≤315	-418	-416	-405	-425	-518	-516	-505	-525	-641	-630	-650	-781	-770	-790	-980	-1000	-1300	-1700
315 < d ≤355	-468	-464	-454	-475	-583	-579	-569	-590	-719	-709	-730	-889	-879	-900	-1129	-1150	-1500	-1900
355 < d ≤400	-523	-519	-509	-530	-653	-649	-639	-660	-809	-799	-820	-989	-979	-1000	-1279	-1300	-1650	-2100
400 < d ≤450	-588	-582	-572	-595	-733	-727	-717	-740	-907	-897	-920	-1087	-1077	-1100	-1427	-1450	-1850	-2400
450 < d ≤500	-653	-647	-637	-660	-813	-807	-797	-820	-987	-977	-1000	-1237	-1227	-1250	-1577	-1600	-2100	-2600

Con esta estructura la combinación de posibilidades es excesivamente amplia, en la práctica se limitan a las mostradas en la figura y con preferencia a las resaltadas en negrilla.

Tolerancias preferentes para ejes																
						g5	h5	js 5	k5	m5	n 5	p5	r5	s5	t5	
					f6	g6	h6	js 6	k6	m6	n 6	p6	r6	s6	t6	
				e7	f7		h7	js 7	k7	m7	n 7	p7	r7	s7	t7	u7
			d8	e8	f8		h8									
			d9	e9			h9									
			d10													
a1 1	b1 1	c1 1					h1 1									
Tolerancias preferentes para agujeros																
						G6	H6	Js6	K6	M6	N6	P6	R6	S6	T6	
					F7	G7	H7	Js7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	
				E8	F8		H8	Js8	K8	M8	N8	P8	R8			
			D9	E9	F9		H9									
			D10	E10			H10									
A11	B11	C11	D11				H11									

3.2. Tolerancias geométricas

Los límites de una pieza determinados por las tolerancias dimensionales pueden comportar errores de forma no admisibles para el funcionamiento correcto de las piezas.

Para delimitar los posibles errores de la geometría, se utilizan las tolerancias de forma o geométricas aplicables a los distintos elementos constitutivos de una pieza. La norma UNE 1-191-91 establece las definiciones, símbolos e indicaciones utilizadas para los dibujos y resumidas a continuación.

Zona de tolerancia aplicada a un elemento: Espacio geométrico dentro del cual el elemento debe de estar contenido, de acuerdo con la característica de la tolerancia puede ser una de las siguientes.

Superficie de un círculo

Superficie comprendida entre dos círculos concéntricos

Superficie comprendida entre dos líneas equidistantes o rectas paralelas

Espacio interior a un círculo

Espacio entre dos cilindros coaxiales

Espacio entre dos planos equidistantes o dos planos

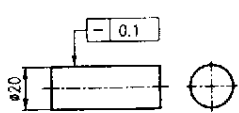
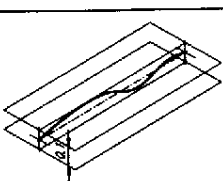
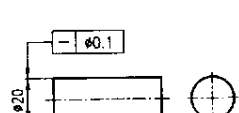
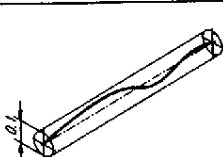
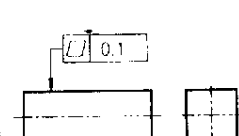
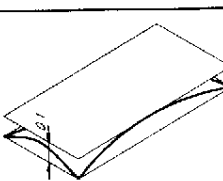
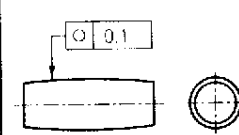
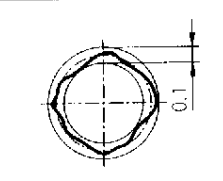
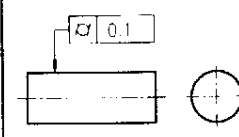
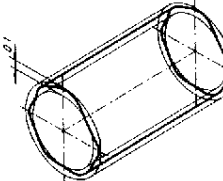
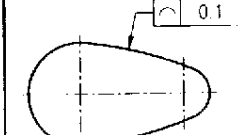
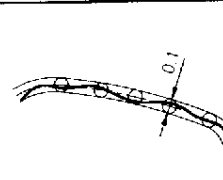
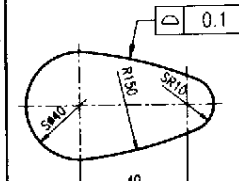
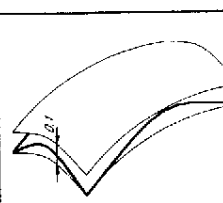
paralelos Espacio interior a un paralelepípedo.

Las tolerancias geométricas pueden aplicarse a elementos simples o asociados Los símbolos utilizados son los indicados en la página siguiente

Símbolos para las características de las tolerancias

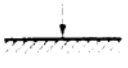
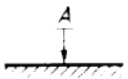
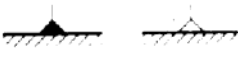
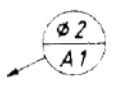
Elementos y Tipo de tolerancia		Características	Símbolo
Elementos simples	Forma	Rectitud	—
		Planicidad	
		Redondez	
		Cilindricidad	
Elementos simples o asociados		Forma de una línea	
		Forma de una superficie	
Elementos asociados	Orientación	Paralelismo	
		Perpendicularidad	
		Inclinación	
	Situación	Posición	
		Concentricidad/ Coaxialidad	
		Simetría	
	Oscilación	Circular	
		Total	

3.2.1. Significado de las tolerancias geométricas

Tolerancia	Ejemplo	Zona de tolerancia	Descripción
Rectitud			Cualquier generatriz del cilindro se considera recta cuando está totalmente incluida entre dos planos paralelos separados entre sí la tolerancia.
			El eje del cilindro se considera recto cuando está totalmente incluido dentro de un cilindro de un diámetro igual a la tolerancia.
Planicidad			La superficie se considera plana cuando está totalmente comprendida entre dos planos paralelos separados entre sí la tolerancia.
Redondez			Una sección recta cualquiera de la figura se considera redonda cuando está totalmente comprendida en una corona circular con una diferencia de radios igual a la tolerancia.
Cilindricidad			La superficie exterior del cilindro se considera cilíndrica cuando está totalmente comprendida entre dos cilindros coaxiales con una diferencia de radios entre sí igual a la tolerancia.
Forma de una línea			El contorno de la pieza tiene la forma nominal cuando está totalmente comprendido entre dos contornos envolventes de círculos con centros situados sobre el contorno nominal y de diámetro la tolerancia.
Forma de una superficie			Una superficie se considera que tiene la forma especificada cuando está totalmente comprendida entre dos superficies envolventes de esferas con centros situados sobre la superficie nominal y de diámetro la tolerancia.

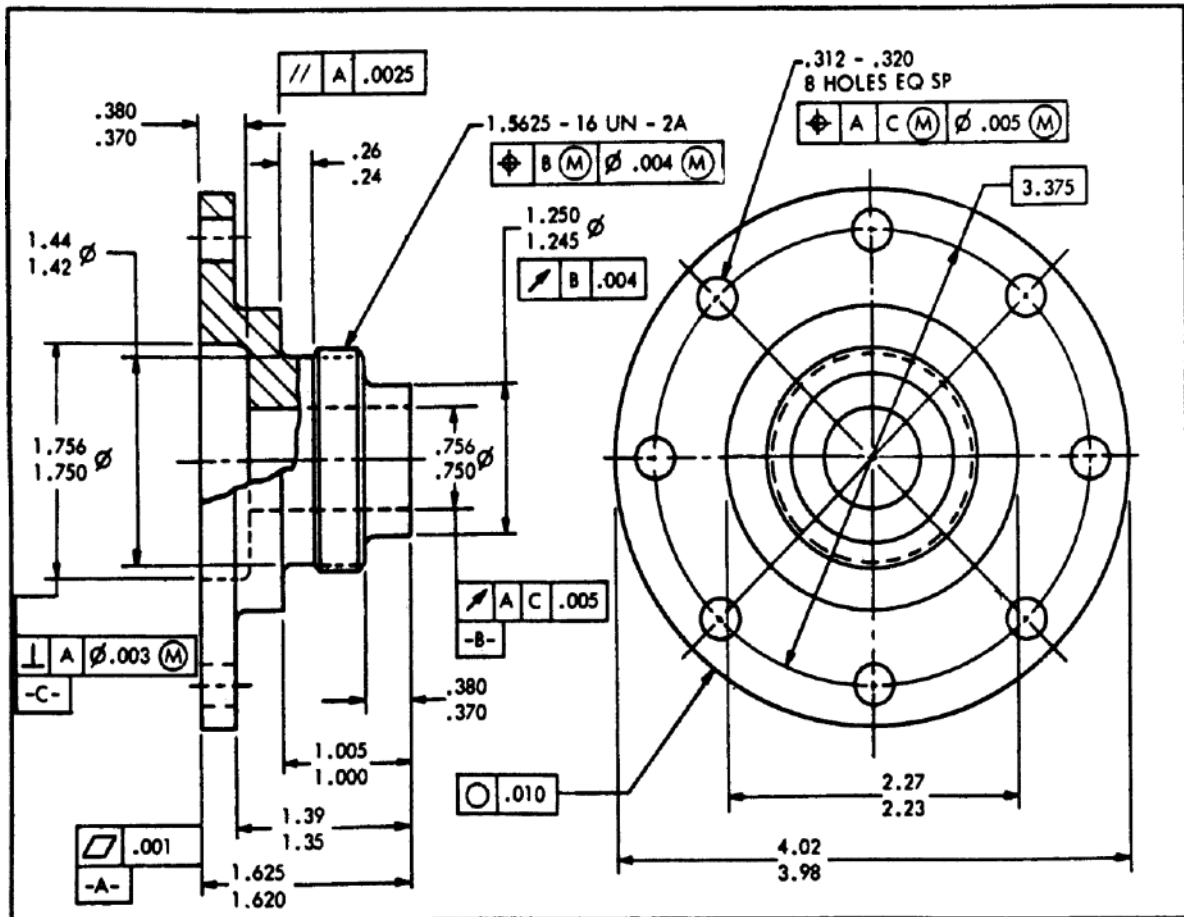
Tolerancia	Ejemplo	Zona de tolerancia	Descripción
Paralelismo			El eje del elemento es paralelo al plano de referencia cuando está situado dentro de un cilindro de eje coincidente con el nominal y diámetro la tolerancia.
Perpendicularidad			El eje del elemento es perpendicular al plano de referencia cuando está situado dentro de un cilindro de eje coincidente con el nominal y diámetro la tolerancia.
Inclinación			El plano debe estar situado entre dos planos paralelos entre sí, separados la tolerancia y que forman un ángulo respecto al eje de referencia igual a la cota recuadrada especificada.
Posición			El eje de cada taladro debe estar situado dentro de un cilindro de diámetro igual a la tolerancia y eje situado en las posiciones "teóricamente exactas".
Coaxialidad			El eje del elemento es coaxial respecto al eje de referencia cuando está dentro de un cilindro de diámetro la tolerancia y eje la referencia.
Simetría			El plano medio de los elementos definidos por la cota es simétrico respecto al plano de referencia cuando está comprendido entre dos planos paralelos, simétricos respecto a la referencia y separados la tolerancia.
Oscilación circular			En cualquier sección recta, la oscilación del radio no debe ser mayor de la tolerancia en una vuelta completa.
Oscilación total			En cualquier punto de la superficie, la oscilación del radio no debe ser mayor de la tolerancia en una vuelta completa.

3.2.2. Símbolos complementarios

Símbolos adicionales		
Descripción		Símbolo
Indicación del elemento controlado	Directamente	
	Con letra	
Indicación de la referencia	Directamente	
	Con letra	
Indicación de referencia parcial		
Cota teóricamente exacta		
Zona de tolerancia proyectada		
Condición de máximo material		

Las indicaciones de las tolerancias se hacen con recuadros divididos como los indicados, y unidos a los elementos a acotar mediante líneas terminadas en flechas. En el primer recuadro se indica el símbolo de la tolerancia, en el segundo su valor y en los posteriores las referencias que se consideran.

Ejemplo indicación tolerancias geométricas según normas ANSI



3.2.3. Relación entre tolerancias dimensionales y geométricas

Para establecer los criterios de relación entre las tolerancias dimensionales (lineales y angulares) y las tolerancias geométricas a efectos de evitar dificultades de interpretación y valoración, en la norma UNE 1-149-90 se establecen las aclaraciones precisas y se resumen con los siguientes principios.

Principio de independencia

Cada requisito dimensional o geométrico especificado en un dibujo *debe ser respetado por si mismo*, salvo que se establezca una relación particular, es decir la tolerancia geométrica se aplica sin tener en cuenta la medida del elemento.

Si se desea establecer una relación entre medida y forma; medida y orientación o medida y posición ésta debe de indicarse sobre el dibujo, pudiendo considerarse

los principios de la *envolvente* o de *máximo material*.

Principio de la envolvente

Establece que la dimensión máxima de un elemento con forma geométrica perfecta no debe de sobrepasarse, es decir que si existe especificación de tolerancia geométrica, su valoración debe de realizarse de manera que en ninguna parte del elemento se rebase la citada dimensión máxima y si existe limite dimensional inferior estará comprendida entre ambos.

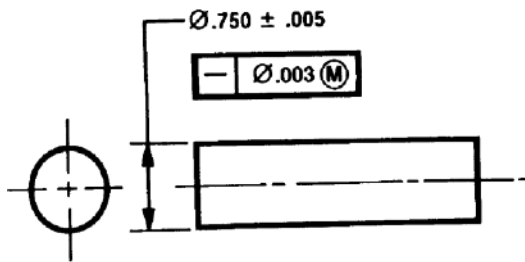
Principio del máximo material

El principio de máximo material establece que las peores condiciones de montaje se tienen para un eje sobre un agujero, cuando la dimensión del eje es máxima y el defecto geométrico también es máximo y el agujero se encuentra en su medida mínima con defecto geométrico máximo, pudiendo éste último considerarse como caso límite la suma de la tolerancia geométrica especificada y la dimensional, cuando la medida dimensional es más favorable, es decir mínima para ejes y máxima para agujeros.

Expresado de otra manera, cuando un eje se encuentra en su medida mínima, la tolerancia geométrica puede verse aumentada en el valor de la tolerancia dimensional sin que por ello cambien las condiciones de montaje. De la misma forma cuando un agujero se encuentre en su medida máxima, el valor de la tolerancia geométrica puede ampliarse en el valor de la dimensional.

En las figuras siguientes se ponen ejemplos del significado de algunas de las simbolizaciones de condición de máximo material

EST

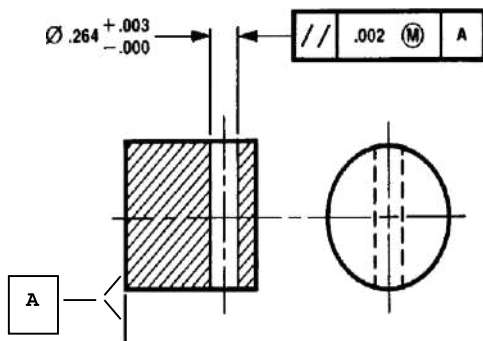


SIGNIFICA

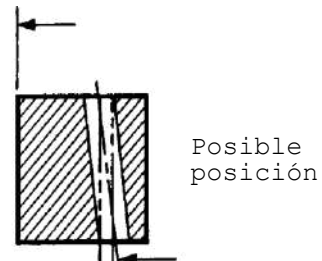


MEDIDA	TOLER. RECTITUD PERMITIDA
.755	.003
.754	.004
.753	.005
↓	↓
.746	.012
.745	.013

ESTO



SIGNIFICA ESTO



MEDIDA	TOL. PARALELISMO PERMITIDA
.264	.002
.265	.003
.266	.004
.267	.005

3.3. Tolerancias Generales

Para las medidas sin indicación de tolerancias, se utilizan las definidas en ISO 2768 –1 y –2, las NSA2110 u otras.

En el sistema ISO se definen cuatro calidades para las dimensionales y tres para las geométricas

Tolerancias generales geométricas

Clase de tolerancia	Tolerancias de rectitud y planitud, por campos de longitudes nominales (en mm)					
Designación	Hasta 10	Más de 10 hasta 30	Más de 30 hasta 100	Más de 100 hasta 300	Más de 300 hasta 1000	Más de 1000 hasta 3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Clase de tolerancia	Tolerancias de simetría, por campos de longitudes nominales (en mm)			
Designación	Hasta 100	Más de 100 hasta 300	Más de 300 hasta 1000	Más de 1000 hasta 3000
H	0,5			
K	0,6		0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Clase de tolerancia	Tolerancias de perpendicularidad, por campos de longitudes nominales (en mm)			
Designación	Hasta 100	Más de 100 hasta 300	Más de 300 hasta 1000	Más de 1000 hasta 3000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Clases de tolerancia	Tolerancias de oscilación circular
H	0,1
K	0,2
L	0,5

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al nominal (en mm)							
Designación	Descripción	0,51 ¹ hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
f	fin	±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

¹ Para valores nominales inferiores a 0,5 mm, las tolerancias han de indicarse siempre junto a la cota nominal correspondiente.

Tolerancias generales para dimensiones lineales, excepto aristas matadas.

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al nominal (en mm)		
Designación	Descripción	más de 0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6
f	fin	±0,2	±0,5	±1
m	media			
c	grosera	±0,4	±1	±2
v	muy grosera			

Tolerancias generales para dimensiones de aristas matadas.

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado (en mm)				
Designación	Descripción	Hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
f	fin	±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'

3.4. Elección De Tolerancias

Al realizar la acotación, el problema que se le presenta al proyectista es el de asignar tolerancias a todas las medidas que afecten al funcionamiento, el objeto de la siguiente exposición es ayudar a ello. El primer paso a dar antes de la elección de las tolerancias a aplicar en el montaje de dos o mas piezas, y dando por hecho la adopción

del sistema ISO, es determinar si es mas conveniente emplear sistema de agujero base, eje base, o mixto, cuyos conceptos se indican a continuación

Sistema de agujero base o agujero único

Se denomina así, dentro del sistema de tolerancias ISO a un sistema de ajustes en el que son nulas las desviaciones o diferencias inferiores para todos los agujeros con posición H.

De esta forma los diferentes ajustes, juegos o aprietos se obtienen para la misma medida nominal, con posiciones y calidades (amplitudes de tolerancia) variables para los ejes, en consecuencia se producen juegos para los ejes en que los límites superiores e inferiores estén por debajo de cero; aprietos, cuando los dos límites están por encima del superior del agujero; y ajustes inciertos (juego o aprieto) cuando alguno de los límites de los ejes es inferior al máximo del agujero.

Sistema de eje base o eje única

Se denomina así dentro del sistema de tolerancias ISO a un sistema de ajustes en el que las diferencias superiores para todos los ejes son nulas para la posición h De esta forma los diferentes ajustes, (juegos o aprietos) se obtienen para la misma medida nominal, con posiciones y calidades (amplitudes de tolerancia) variables para los agujeros, teniéndose en consecuencia: juegos para los agujeros en que los límites superior e inferior estén por encima de cero; aprietos, cuando los dos límites están por debajo del inferior del agujero; y ajustes inciertos (juego o aprieto) cuando alguno de los límites de los agujeros es superior al mínimo del agujero.

Sistema mixto

Se denomina sistema mixto a aquél en que las posiciones de los ejes y agujeros son distintas de las H y h. Este sistema es de aplicación excepcional, es decir, cuando no es posible utilizar alguno de los anteriores.

Si bien se puede decir que, con carácter general, se utiliza con preferencia el sistema de agujero base, en razón de la mayor dificultad existente para medir agujeros que ejes, así como las ventajas económicas derivadas del empleo de menor número de calibres, es necesario resaltar que la elección incluida la de sistemas combinados debe quedar condicionada a la naturaleza de la aplicación a realizar, ya que de la adopción de un sistema u otro puede variar la geometría de una determinada pieza.

3.5. Elección de las tolerancias

Una vez determinada la elección del sistema de tolerancias en función de la aplicación, se debe proceder a la fijación de los juegos y aprietos máximos y mínimos que lleven a un correcto funcionamiento del conjunto para lo que se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Naturaleza del material en que están construidas las piezas. Velocidad de deslizamiento relativo o de funcionamiento.
- Tipo de esfuerzos; considerando su intensidad, dirección, sentido y variación. Sistema de engrase y lubricante utilizado. Desgaste admisible para unas determinadas horas de funcionamiento. Temperatura máxima de funcionamiento y su régimen de variación, por producir dilataciones de las piezas que alteran las condiciones de juego y aprieto iniciales. Especial atención debe de ponerse cuando las piezas son de materiales distintos, y más aún cuando los coeficientes de dilatación son diferentes. Incidencia de las variaciones de posición y forma permitidas por las tolerancias geométricas que afecten a las piezas a acoplar.
- Después de las consideraciones anteriores y siempre que sea posible se tomarán los ajustes recomendados por ISO como preferentes, contenidos en las siguientes tablas y según las siguientes reglas:
- Evitar excesos de precisión (amplitud de tolerancias) inútiles, puesto que las tolerancias pequeñas implican altos gastos de fabricación. El coste crece exponencialmente con la disminución de la magnitud de la tolerancia.
- Siempre que sea posible adoptar menor tolerancia para el eje que para el agujero, como consecuencia de la mayor dificultad existente al trabajar y medir en interiores (hembras) frente a los exteriores (machos).

Elegir las tolerancias de forma que las calidades varíen uno o dos saltos como máximo entre eje y agujero.

Tener en cuenta la experiencia proporcionada por aplicaciones similares.

Considerar en los montajes con aprieto la forma de realizarlos: prensa, mazo, variaciones térmicas relativas entre piezas producidas por nitrógeno líquido o nieve carbónica para enfriamiento, y mediante inducción eléctrica, o baño en aceite para calentamiento. En estos casos y en montajes permanentes la utilización de pegamentos puede sustituir a montajes con grandes aprietos.

Por último y muy importante, no se debe de olvidar realizar un acabado superficial en consonancia con el grado de precisión requerido, pues un acabado basto, en piezas sometidas a deslizamientos relativos con una especificación de tolerancia pequeña, después de pocas horas de funcionamiento produce desgastes que hacen inútiles tales tolerancias

AGUJERO BASE						
TIP O	AGUJER O	EJE	CLASE	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	ACABADO
Fino	H7	s6/r6	Prensado	Montaje a prensa , necesita seguro de giro para pares muy fuertes, gran adherencia sobre hierro fundido	Casquillos y coronas de bronce, acoplamientos de piñones y engranajes en ejes no desmontables, no utilizar sobre piezas de paredes finas	N6/N7
		n6	Forzado duro	Montaje a martillo, de empleo cuando se requieren posicionamientos precisos con interferencia	Casquillos de bronce, manguitos en cubos, fijas para posicionado, casquillos guías de broca	N6/N7
		k6	Forzado medio	Montaje a martillo, posicionado de precisión con un compromiso entre juego e interferencia	Rodamientos de bolas, discos de levas, poleas y volantes, manivelas	N6/N7
		j6	Forzado ligero	Montaje ligero	Rodamientos de bolas, piezas de maquinas desmontables con frecuencia	N6/N7
		h6	Deslizante con lubricación	Proporciona un acoplamiento ajustado para la situación de piezas estacionarias con montaje y desmontaje libre	Engranajes, piezas importantes de maquinas herramientas, ejes de lira	
		g6	Giratorio	Juego pequeño, no para girar con velocidad, pero si para giros libres y deslizamiento con posicionado preciso	Embolos, bridas, anillos de rodamientos	N6/N7
		f7	Holgado	Juego mediano, para giros con velocidad en máquinas de precisión y para posicionamiento preciso con velocidades moderadas y presiones de apoyos de ejes	Cojinetes de bielas, ruedas dentadas, cajas de cambio	N6/N7

Medio	H8	h9	Deslizante		Poleas fijas, manivelas y acoplamientos deslizantes sobre el eje, ejes de contrapuntos	N7/N8
		e8	Giratorio	Juego mediano	Piezas de motores, bombas ventiladores	N7/N8
		d9	Holgado	Juego amplio, no de uso cuando es esencial la precisión pero bueno para grandes de variaciones de temperaturas con gran velocidad de giro y presión de apoyo de los ejes	Soportes de ejes, poleas locas	N7/N8
Basto	H11	h11	Deslizante		Piezas de maquinaria agrícola	N9/N10
		d9	Giratorio	Juego mediano	Ejes de movimiento longitudinal, aros, palancas, manivelas desmontables	N9/N10
		e11	Holgado	Juego amplio	Cojinetes de máquinas domésticas, pasadores, ejes.	N9/N10
		a11	Muy holgado	Ajustes muy amplios para tolerancias de miembros externos	Locomotoras, cojinetes de cajas de freno, alojamientos de cabezas de tornillos	N9/N10

EJE BASE

TIPO	EJE	AGUJERO	CLASE	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	ACABADO
Fino	h6	S7/R7	Prensado	Montaje a prensa , necesita seguro de giro para pares muy fuertes, gran adherencia sobre hierro fundido	Casquillos y coronas de bronce, acoplamientos de piñones y engranajes en ejes no desmontables, no utilizar sobre piezas de paredes finas	N6/N7
		N7	Forzado duro	Montaje a martillo, de empleo cuando se requieren posicionamientos precisos con interferencia	Casquillos de bronce, manguitos en cubos, fijas para posicionado, casquillos guías de broca	N6/N7
		K7	Forzado medio	Montaje a martillo, posicionado de precisión con un compromiso entre juego e interferencia	Rodamientos de bolas, discos de levas, poleas y volantes, manivelas	N6/N7
		J7	Forzado ligero	Montaje ligero	Rodamientos de bolas, piezas de maquinas desmontables con frecuencia	N6/N7
		H7	Deslizante con lubricación	Proporciona un acoplamiento ajustado para la situación de piezas estacionarias con montaje y desmontaje libre	Engranajes, piezas importantes de maquinas herramientas, ejes de lira	
		G7	Giratorio	Juego pequeño, no para girar con velocidad, pero si para giros libres y deslizamiento con posicionado preciso	Embolos, bridas, anillos de rodamientos	N6/N7
		F8	Holgado	Juego mediano, para giros con velocidad en máquinas de precisión y para posicionamiento preciso con velocidades moderadas y presiones de apoyos de ejes	Cojinetes de bielas, ruedas dentadas, cajas de cambio	N6/N7
Medio	h9	H9	Deslizante		<i>Poleas fijas, manivelas y acoplamientos deslizantes sobre el eje, ejes de contrapuntos</i>	N7/N8

		E9	Giratorio	Juego mediano	Piezas de motores, bombas ventiladores	N7/N8
		D10	Holgado	Juego amplio, no de uso cuando es esencial la precisión pero bueno para grandes de variaciones de temperaturas con gran velocidad de giro y presión de apoyo de los ejes	Soportes de ejes, poleas locas	N7/N8
Basto	h11	H11	Deslizante		Piezas de maquinaria agrícola	N9/N10
		D10	Giratorio	Juego mediano	Ejes de movimiento longitudinal, aros, palancas, manivelas desmontables	N9/N10
		E11	Holgado	Juego amplio	Cojinetes de máquinas domésticas, pasadores, ejes.	N9/N10
		A11	Muy holgado	Ajustes muy amplios para tolerancias de miembros externos	Locomotoras, cojinetes de cajas de freno, alojamientos de cabezas de tornillos	N9/N10

- *Aprieto*: Diferencia antes de montaje entre la medida del agujero y cuando es negativa *Aprieto máximo*: Diferencia en valor absoluto máxima medida del eje y la mínima del agujero.
- *Aprieto mínimo*: Diferencia en valor absoluto entre la mínima medida y la máxima del agujero
- *Ajuste indeterminado*: Es el ajuste que dependiendo de las r obtenidas para el eje y el agujero puede resultar juego o aprieto.
- *Sistema de tolerancias*: Conjunto sistemático de tolerancias y dife normalizadas.

3.6. Determinación de tolerancias de ajuste

- *Sistemas de ajustes eje base*: Conjunto sistemático de ajustes en el

Cuando se conocen las condiciones límites de un ajuste: juego máximo y mínimo (JM y Jm) o aprieto máximo y mínimo (AM y Am) que se desean utilizar, determinados bien por calculo bien por experiencia, para proceder a la elección de los ajustes normalizados se actúa como sigue:

44

1. Se determina el valor de la tolerancia del ajuste Tj o Ta, según sea juego o aprieto.

En el caso de un juego:

$$TJ = JM - Jm = (DM - Dm) + (dM - dm) = Tagujero + Teje$$

2. Se reparte la tolerancia TJ entre dos tolerancias normalizadas tratando que las diferencias entre las calidades de ejes y agujeros sea de uno o dos grados de calidad, y que la mayor corresponda al agujero. La suma de las tolerancias de eje y agujero elegidas debe ser lo mas próxima posible a la tolerancia del ajuste TJ y en todo caso inferior a ésta. En el caso de un juego:

$$JM - Jm = Tagujero + teje$$

3. Se elige el sistema de ajuste normalizado (agujero o eje único)
4. Elegir el ajuste normalizado de acuerdo con los datos anteriores

ACOTACION FUNCIONAL

La norma UNE 1.039-75 (1R) relativa a la acotación de dibujos industriales establece, como principio, que la acotación de las piezas debe de ser funcional. Para aclarar los conceptos de acotación funcional, la elección de las cotas y el tratamiento de las tolerancias asociadas, se establecen las definiciones y métodos expuestos a continuación.

3.7. Conceptos generales

La acotación funcional la definiremos como la acotación basada en el análisis de las *misiones a cumplir dentro de una máquina o mecanismo de la pieza a acotar y se deduce directamente de las condiciones de funcionamiento.*

3.7.1. Conceptos básicos

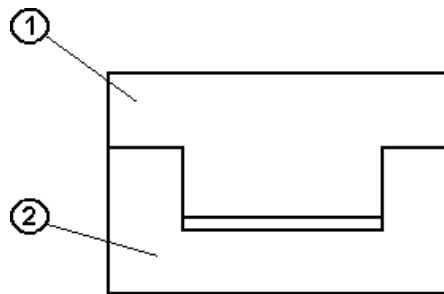
Para hablar de la *función* de una pieza es necesario que ésta pertenezca a un conjunto mecánico, con un mínimo de dos piezas, para que junto a ellas, aquella desarrolle un papel en el funcionamiento. Por tanto, no se puede realizar una acotación funcional de una pieza cuando no se conoce el conjunto del que forma parte y, en consecuencia, la forma en que trabaja. El *objetivo* de una acotación funcional es asegurar el funcionamiento correcto de un mecanismo o conjunto mecánico, con las tolerancias mas amplias posibles (para disminuir el precio de coste) de sus componentes. Para ello, las cotas funcionales deben de expresarse explícitamente (no por deducción de otras) sobre cada pieza, siendo indicadoras de las condiciones necesarias para que la pieza desempeñe su papel en el conjunto a que pertenece. El estudio funcional de un conjunto mecánico debe de realizarse como sigue:

1. Análisis funcional
2. Estudio de las condiciones de funcionamiento
3. Búsqueda de las superficies terminales y de unión
4. Determinación de las condiciones de juegos o aprieto de montaje o funcionamiento
5. Determinación de las cadenas mínimas de cotas
6. Elección de las tolerancias apropiadas

3.7.2. Análisis funcional

Consiste en descomponer el conjunto en sus diferentes partes y estudiar el funcionamiento de cada una de ellas. Por ejemplo, en la figura:

- La pieza corredera 1 ha de desplazarse sobre la guía 2
- El guiado se realiza por un conjunto de ranura y prisma



En este ejemplo para que el funcionamiento sea correcto se requerirá la existencia de uno juego para el deslizamiento, J1 representado en la figura siguiente .

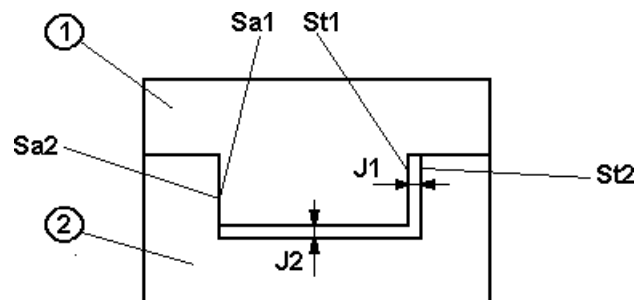
En general, *las condiciones de funcionamiento* son las que se exigen al mecanismo para cumplir sus funciones. En general, estas pueden ser:

- juegos que permitan los deslizamientos, giros, etc.
- juegos necesarios para el montaje
- juegos de seguridad que garanticen la no interferencia con otras partes móviles
- funciones que precisen ajustes con interferencia
- condiciones de resistencia mecánica (longitud que un tornillo que debe de entrar en un agujero roscado; espesor de pared entre el fondo de un agujero y el exterior; etc).

3.7.3. **Superficies terminales y de unión**

Las condiciones funcionales anteriores están determinadas por las *superficies terminales* que son aquéllas que, perteneciendo a dos piezas distintas con contacto en otras superficies, definen el juego o condición funcional; en la figura siguiente, las St1 y St2, definen el juego.

Las superficies comunes o con contacto serán las *superficies de unión*, o de *apoyo*, que también pueden ser denominadas *funcionales*. En la figura, las Sa1 y Sa2

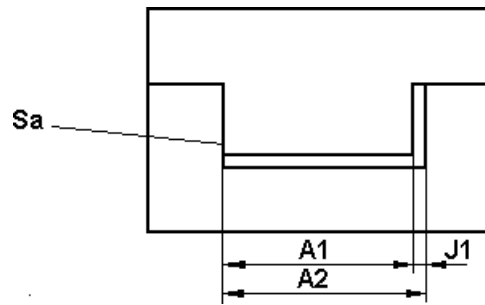


Nota: las superficies terminales pueden ser funcionales o no, según que el contacto sea posible o imposible; así en conjunto representado en la figura anterior, si se desea que la pieza 2 soporte a la 1 mediante su superficie superior, es necesario que exista el juego J2.

Si se desea que 1, deslice sobre 2, se deberá establecer un juego J1, (para facilitar el estudio, este juego se considera a un solo lado y es conveniente representarlo ampliado).

Una *cadena de cotas* es el conjunto de ellas que establecen o expresan una condición funcional (juego o aprieto). En el ejemplo que se está exponiendo, se trata de un juego.

Se denomina *cadena mínima* cuando la condición funcional (juego en el ejemplo), está definida por un número de cotas mínimo. En la figura siguiente, se muestran las cotas de la cadena mínima que establecen J1, las superficies de las que parten las líneas de referencia de la cota J1, son las superficies terminales de las piezas 1 y 2. Las cotas funcionales son las que parten de las superficies de apoyo Sa, comunes a 1 y 2.



En una cadena mínima existen tantas cotas componentes, (*eslabones*) como piezas participan en la función mas la condición, es decir una cota funcional por pieza.

3.7.4 Elección de tolerancias.

En la figura anterior, se comprueba que:

$$J1 = A2 - A1$$

Es decir el juego es la suma algebraica de las cotas componentes de la cadena, sean dos o mas, esta relación es fundamental para la determinación de las tolerancias de A1 y A2, analíticamente comprobamos que: $J1_{max} = A2_{max} - A1_{min}$ $J1_{min} = A2_{min} - A1_{max}$ restando estas ecuaciones $J1_{max} - J1_{min} = A2_{max} - A2_{min} + A1_{max} - A1_{min} = Tol J1 = Tol A2 + Tol A1$

Es decir: *la tolerancia de juego es la suma de las tolerancias de las cotas componentes de la cadena.*

El problema que generalmente se plantea, es el de conocida una condición de funcionamiento (juego en este caso), determinar las tolerancias de las cotas de la cadena mínima que lo determinan.

Sea en el ejemplo anterior $J1 = 0,1 (+ 0; - 0,06)$, es decir: $Tol J1 = 0,06$, y la medida nominal 40, de acuerdo con lo anterior la suma de las tolerancias de las cotas componentes debe ser igual a 0,06, es decir la condición a satisfacer, y que repartiremos de forma que asignaremos 0,03 a cada una de las cotas A1 y A2

$$\text{Tol}J1 = 0,06 = 0,03 + 0,03 = \text{Tol } A1 + \text{Tol } A2$$

Con este criterio, se ha obtenido el valor de las tolerancias pero no el de sus posiciones, para determinar éstas, se fija una cota bien adoptando el criterio de agujero base o eje base con lo que tendremos:

$$A2 = 40 (+0,03)$$

$$A2_{\text{max}} = 40,03 \quad A2_{\text{min}} = 40$$

como:

$$J_{\text{max}} = A2_{\text{max}} - A1_{\text{min}}$$

$$0,1 = 40,03 - A1_{\text{min}}$$

$$A1_{\text{min}} = 40,03 - 0,1 = 39,93$$

$$J_{\text{min}} = A2_{\text{min}} - A1_{\text{max}}$$

$$0,04 = 40 - A1_{\text{max}}$$

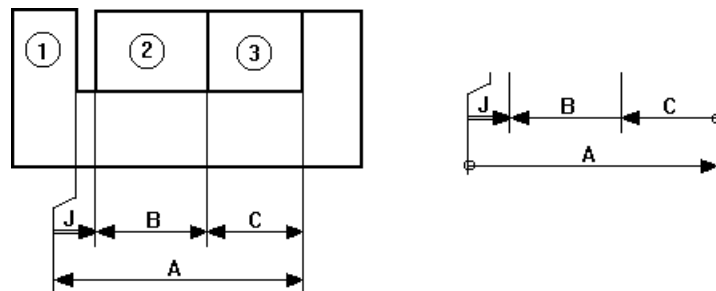
$$A1_{\text{max}} = 40 - 0,04 = 39,96$$

$$A1 = 40 (-0,04; -0,07)$$

Si se desea utilizar valores de tolerancias normalizados de acuerdo con ISO, se eligen de las tablas de valores especificados para las calidades IT, los valores mas próximos por defecto.

3.7.5 Representación de cadenas mediante vectores

Cuando intervienen en un montaje mas de dos piezas, con el fin de facilitar los cálculos resulta muy práctico trabajar con vectores que representen las líneas de cotas En la figura siguiente a la derecha de, se representa en forma vectorial, la cadena de cotas que determina el juego J, función del acoplamiento de las piezas 1, 2 y 3.



Al dibujar la cadena, la condición de funcionamiento se representa en primer lugar con una doble línea, cuyo origen se sitúa en la línea de referencia de una superficie terminal y se orienta en sentido que se corresponda con el positivo (generalmente hacia la derecha).

Seguidamente se representan sucesivamente, desde el origen del vector condición, los vectores positivos que representan las cotas de la cadena. Finalmente, tomando como origen el punto final de los anteriores se representan también sucesivamente, los vectores negativos. El último terminará en el final del vector condición, representación de la otra superficie terminal.

Resumiendo para la determinación de cadenas mínimas, se debe tener en cuenta que:

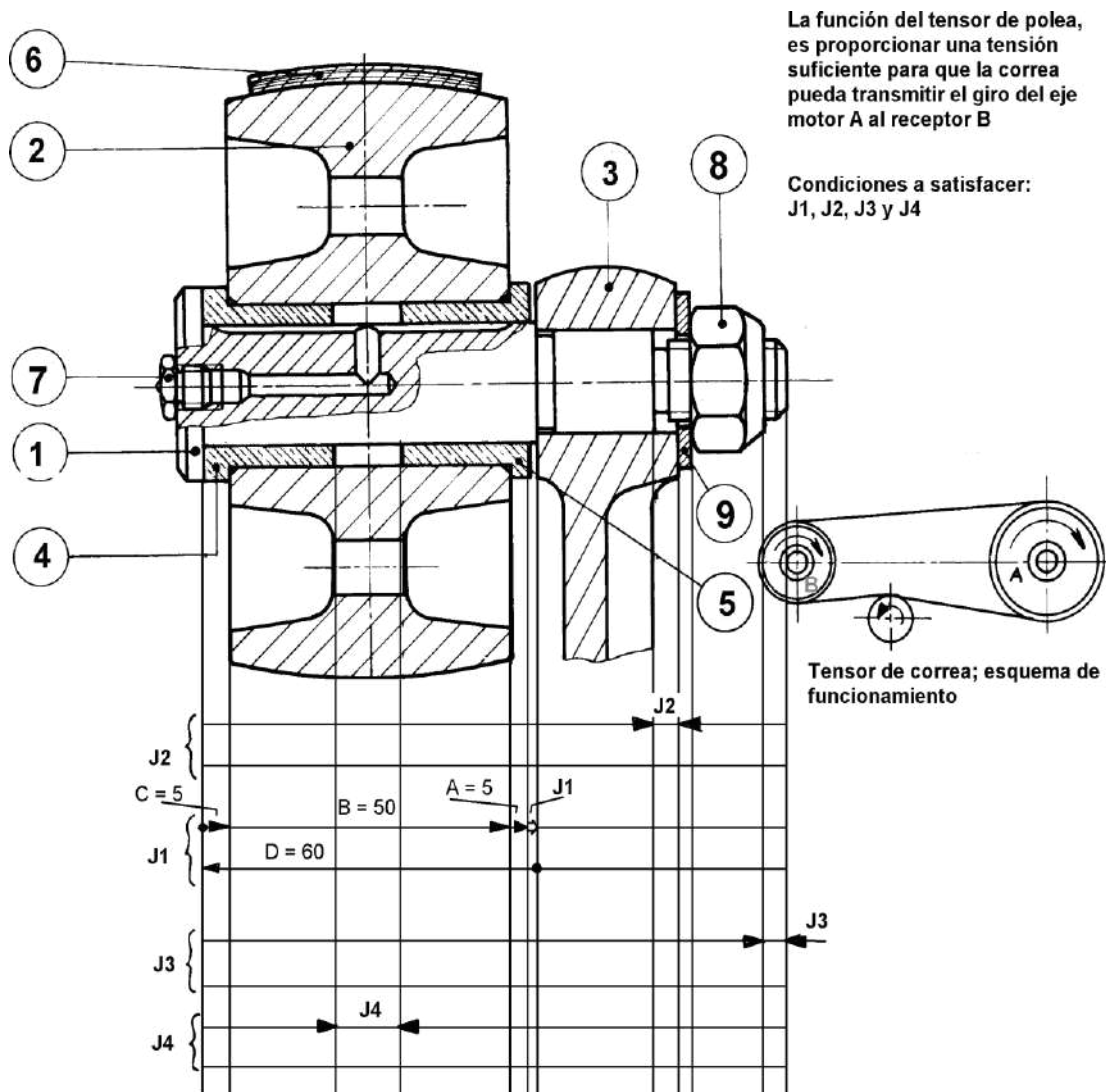
- Cada cota de la cadena se denomina eslabón, y éste no puede afectar mas que a una sola pieza
- Cada cadena incorpora tantos eslabones como número de piezas intervienen, mas la cota condición; cada una de las cadenas de cotas tiene su origen en una superficie terminal y termina en otra superficie terminal, pasando siempre por las superficies de unión.

La condición de funcionamiento es el *eslabón llave* que determina el juego necesario y cierra la cadena de cotas funcionales.

$$N^{\circ} \text{ eslabones cadena mínima} = N^{\circ} \text{ de piezas} \\ \text{intervenientes} + \text{condición Tol condición} = \text{Suma} \\ \text{tolerancias de cotas funcionales}$$

Ejemplo:

En la figura siguiente se representa el montaje de un tensor de correa, así como el esquema funcional del mismo. Las condiciones funcionales son las dadas por los juegos J1, J2, J3 y J4, se pretende determinar las dimensiones nominales y sus correspondientes tolerancias, de cada una de las piezas componentes.



Seguidamente se resuelve la cadena que determina la condición de funcionamiento J1; a título de ejemplo.

Se supone que juego J1 se ha fijado en $J1_{max} = 0,15$ y $J1_{min} = 0,05$, la cadena mínima de cotas será como la indicada y podremos decir:

$$J1_{min} = D_{min} - (C_{max} + B_{max} + A_{max}) \quad \text{restando} \quad \text{estas} \\ \text{ecuaciones}$$

$$J1_{max} - J1_{min} = D_{max} - D_{min} + C_{max} - C_{min} + B_{max}$$

$$- B_{min} + A_{max} - A_{min} \text{ o lo que es lo mismo:}$$

$$\text{Tol } J1 = \text{Tol } D + \text{Tol } C + \text{Tol } B + \text{Tol } A = 0,1$$

Siendo por tanto esta tolerancia de 0,1 la que tendremos que repartir para asignar a cada una de las cotas D, C, B y A, de valores nominales indicados; este reparto debe de hacerse, en general, atendiendo a la dimensión nominal de cada cota, de forma que todas ellas tengan en lo posible una misma calidad de tolerancia y estableciendo los límites de forma sean superiores o mayores que cero los de las piezas continentales y en forma inversa los de las contenidas (siendo esto último irrelevante para el juego)

Con estos criterios y consultando los valores ISO de tolerancias, construimos la siguiente tabla:

Medida nominal	Calidad de tolerancia IT (valores en micras)		
	7	8	9
D = 60	30	46	74
B = 50	25	39	62
C = 5	12	18	30
A = 5	12	18	30
Suma	79	121	96

De donde deducimos que solo la suma de los valores de tolerancia dados para las calidades IT7 es inferior a la tolerancia del juego J1, siendo por tanto éstos los que elegimos como mas conservativos.

$$\text{Tol D} = 0,03 \quad \text{Tol B} = 0,025 \quad \text{Tol C} = 0,012 \quad \text{Tol A} = 0,012$$

$$\square \text{Tol} = 0,079 = \text{Tol J1} = \text{J1max} - \text{J1min}$$

La tolerancia del juego queda por tanto reducida de 0,1 a 0,079 es decir 0,021; esta diferencia la repartimos de forma que se conserve el juego medio, para ello aumentamos el juego mínimo permitido en la mitad y disminuimos el juego máximo en la otra mitad, con lo que tendremos:

$$\text{Jmin} = 0,05 + 0,0105 = 0,0605$$

$$\text{Jmax} = 0,15 - 0,0105 = 0,1395$$

Una vez determinadas los valores absolutos de las tolerancias de cada eslabón debe de procederse a la definición de los límites o lo que es lo mismo al establecimiento de las posiciones de las tolerancias. Un criterio puede ser elegir posiciones para todos los eslabones de cadena excepto uno (en nuestro caso asignamos posiciones “H” a “D”, y “h” a “C”, y “A” y calculamos los límites para “B”), sabiendo que:

$$\begin{aligned} \text{TolJ1} &= \text{Tol A} + \text{Tol B} + \text{Tol C} + \text{Tol D} = \text{J1max} - \text{J1min} \\ \text{J1max} &= \text{Dmax} - \text{Amin} \\ &- \text{Bmin} - \text{Cmin} \\ \text{J1min} &= \text{Dmin} - \text{Amax} - \text{Bmax} - \text{Cmax} \end{aligned}$$

Podremos calcular:

$$\text{Bmax} = \text{Dmin} - \text{J1min} - \text{Amax} - \text{Cmax} \quad \text{Bmin} = \text{Dmax} - \text{J1max} - \text{Amin} - \text{Cmin}$$

$$\text{Tol D} = 0,025$$

$$\text{Dmax} = 60,03$$

$$\text{Dmin} = 60$$

$$\text{Tol C} = 0,012$$

$$\text{Cmax} = 5$$

$$\text{Cmin} = 4,988$$

$$\text{Tol A} = 0,012$$

$$\text{Amax} = 5$$

$$\text{Amin} = 4,988$$

En nuestro ejemplo:

$$B_{\max} = 60 - 0,0605 - 5 - 5 = 49,9395$$

$$B_{\min} = 60,03 - 0,1395 - 4,988 - 4,988 = 49,9145$$

Los valores calculados para “B” normalmente no coincidirán con los límites correspondientes a posiciones de tolerancia normalizadas.

Un análisis de los valores obtenidos nos lleva a las siguientes conclusiones:

- ❑ Cuanto mayor sea el juego, mayor pueden ser las tolerancias asignadas a las piezas que lo determinan.
- ❑ Cuanto mayor sea el número de piezas intervinientes para la determinación del juego, menores serán las tolerancias asignadas a cada pieza.

En el ejemplo anterior se observa que los valores de las tolerancias para las cotas C y A resultan prácticamente ridículos, por lo que cual su fabricación presenta mayores dificultades, y por tanto su costo, se encarecerá innecesariamente, como por otra parte observamos que si para esta medida pasamos a una calidad IT8 se tiene:

$$0,030 + 0,025 + 0,018 + 0,018 = 0,091$$

suma de tolerancias todavía inferior al juego dado de 0,1 podremos considerar por tanto estos nuevos valores como la solución a adoptar.

Podría darse la circunstancia que alguna de las piezas componentes fuese comercial, normalizada o proporcionada por otro proveedor y tuviese una tolerancia superior al juego en cuyo caso para poder asignar tolerancias a las otras piezas será necesario aumentar el juego y si esto no es posible hay que descartar

tal pieza o especificarle al proveedor una tolerancia mas pequeña.

Como hemos visto de forma general podemos poner:

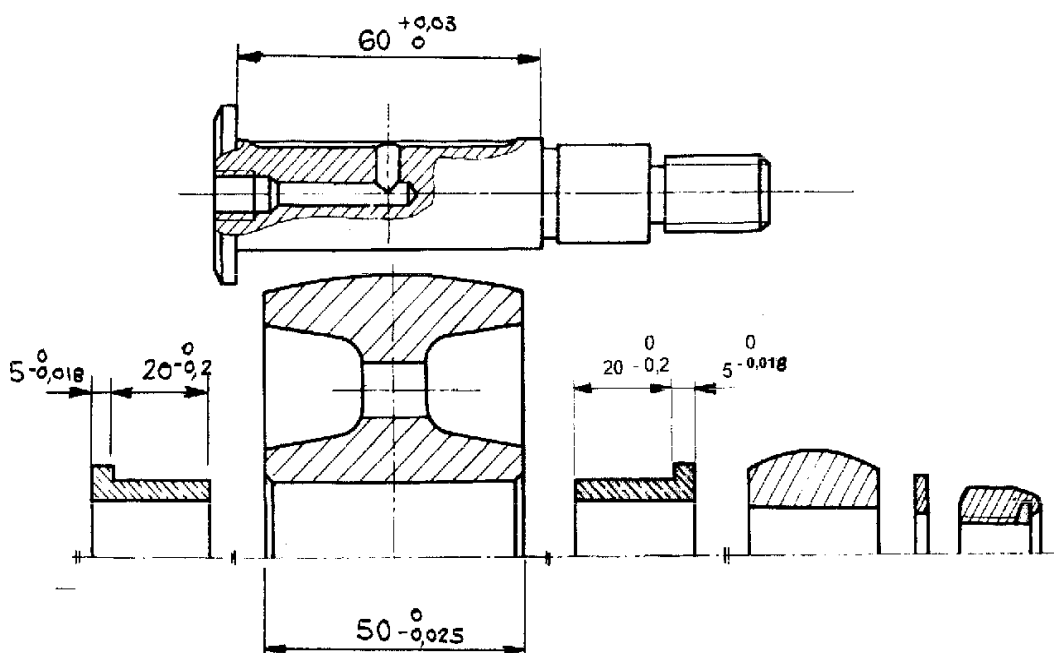
$$\text{Tol J} = \text{TolA} + \text{TolB} + \text{TolC} + \dots \text{TolN}$$

y es claro que aplicando este procedimiento todos los montajes estarán dentro del límite especificado. Por otra parte se demuestra estadísticamente que en aproximadamente el 98% de los casos se tiene que el valor de TolJ resulta:

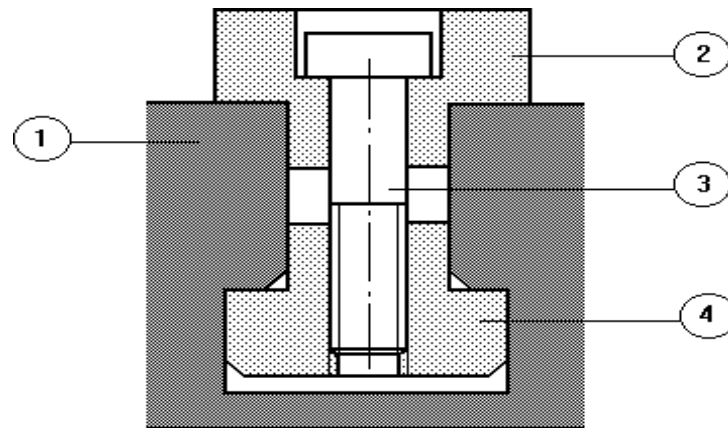
$$\sqrt{(\text{TolA}^2 + \text{TolB}^2 + \text{TolC}^2 + \dots + \text{TolN}^2)}$$

que evidentemente hace que para el mismo valor de TolJ sea posible dar tolerancias para cada uno de los eslabones de la cadena mayores que los obtenidos anteriormente con lo que se reducirá el costo de fabricación pero con el riesgo de algunos rechazos.

La figura siguiente, contiene los dibujos de todas las piezas componentes del tensor de correa con indicación de las cotas calculadas; en el casquillo cojinete, se ha indicado la cota de 20 con la tolerancia supuestamente obtenida en función del juego J4.

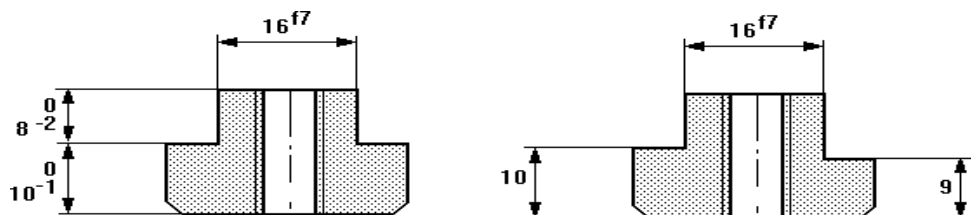


3.7.6. Funcionalidad de las tolerancias geométricas



La acotación y definición de tolerancias dimensionales no satisface totalmente las condiciones de funcionalidad. Veamos un montaje como el representado en la figura siguiente, en la que el taco 4, introducido en la ranura en T, de la mesa de una máquina herramienta, se emplea al actuar como tuerca con el tornillo 3, como elemento de posicionado y fijación de la pieza 2, sobre ésta.

La acotación funcional en principio del taco 4, podría realizarse como se indica en la figura siguiente izquierda, que nos puede llevar a una pieza como la de la derecha, que evidentemente trabajará de forma insatisfactoria al apoyarse sobre solo un lado de la parte inferior de la guía de la máquina.



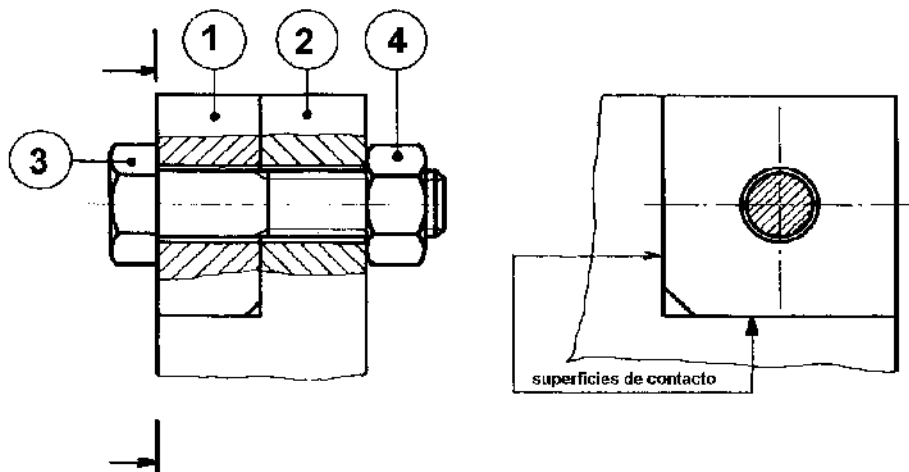
necesidad de apoyo en las dos zonas nos obliga a la definición de una zona común mediante una tolerancia geométrica tal y como se especifica en la figura siguiente, pudiéndose a llegar en este caso a cuestionar la necesidad de la cota de 16 f7

Combinación de tolerancias dimensionales y de posición

Uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia en el montaje de mecanismos, es el de hacer pasar un eje por los agujeros de dos o mas piezas fabricadas separadamente. En estos casos el problema que ha de resolver el proyectista es el de definir las tolerancias de los diámetros de los componentes mas las tolerancias de posición de sus centros a fin de que el montaje sea posible.

Con el ejemplo de la figura siguiente, trataremos de ilustrar la resolución del problema.

Tengamos un subconjunto parcial en el que cada una de las piezas ha de ser fabricada separadamente y se requieren condiciones de intercambiabilidad total.



B =

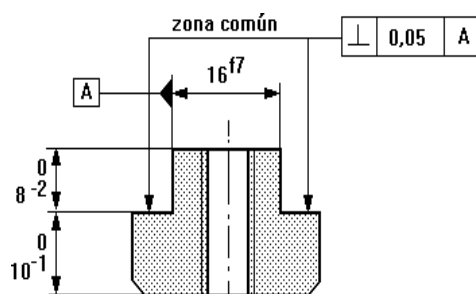
C - A

$B_{max} = C_{max} - A_{min}$

$B_{min} = C_{min} - A_{max}$

la tolerancia de B será: $Tol B = B_{max} - B_{min} = (C_{max} - A_{min}) - (C_{min} - A_{max})$

como:



L

a

$$\begin{aligned}\text{Tol A} &= \text{Amax} - \text{Amin} \quad \text{Tol C} = \text{Cmax} - \text{Cmin} \\ \text{Tol B} &= \text{Tol A} + \text{Tol C}\end{aligned}$$

vemos

en este caso de cálculo de la tolerancia de una cota diferencia de otras, que al igual que en el supuesto anterior, es la suma de las tolerancias intervinientes, pudiendo por tanto generalizar de la forma siguiente:

para una cota tal que: $A = B + C + D - E... + N$

la tolerancia será $\text{Tol A} = \text{Tol B} + \text{Tol C} + \text{Tol D} + \text{Tol E} + \text{Tol N}$

Cuando una cota funcional no se identifique con una cota de mecanizado, será necesario calcular ésta de acuerdo con los criterios anteriores.

Supongamos que la pieza de la figura siguiente (izquierda), está acotada de forma funcional, es decir que A y C son medidas funcionales y por tanto afectadas de tolerancias a respetar con preferencia, sin embargo el proceso de fabricación nos obliga a utilizar la de mecanizado B, tal y como se ve en la figura derecha siendo por tanto necesario calcular ésta con sus tolerancias, pero de tal forma que el resultado de la mecanización nos proporciona A dentro de sus límites, en definitiva sustituiremos A por B; el cálculo lo realizaremos de la manera siguiente:

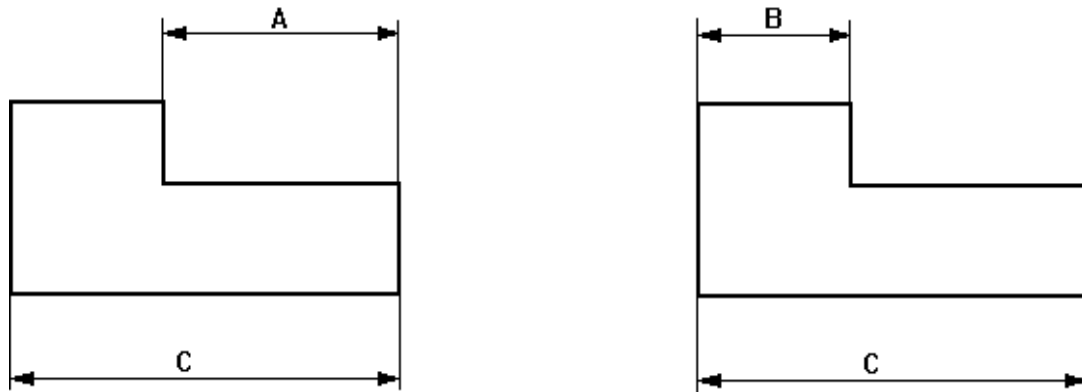
$$\text{Amax} = \text{Cmax} - \text{Bmin}$$

$$\text{Amin} = \text{Cmin} - \text{Bmax} \quad \text{ecuaciones de las que obtenemos B}$$

$$\text{Bmax} = \text{Cmin} - \text{Amin}$$

$$\text{Bmin} = \text{Cmax} - \text{Amax} \quad \text{que restando nos deja:}$$

B, es una cota de mecanizado "u"



$$B_{\max} - B_{\min} = C_{\min} - A_{\min} - (C_{\max} - A_{\max})$$

o lo que es lo mismo:

$$\text{Tol } B = \text{Tol } A - \text{Tol } C$$

Para que esta expresión tenga sentido real, ya que la tolerancia de B siempre tiene que ser positiva, será necesario que la tolerancia de A sea mayor que la de C.

Vemos pues que en el caso de sustitución de una cota funcional por otra de mecanización, la tolerancia de ésta es la diferencia entre la cota a sustituir y la que permanece.

El método para la realización del cálculo de sustitución de una cota funcional por otra de mecanización debe realizarse pues de la siguiente manera:

1. Plantear las ecuaciones a partir de la cota a sustituir (cota condición) y despejar la que queremos obtener.
2. Comprobar que la cota sustituida tiene mayor tolerancia que la que se conserva.
3. Si no se cumple lo anterior, se disminuye la tolerancia de la cota que se conserva, en una cantidad que permita que la diferencia resultante entre la que se sustituye y la que se conserva sea positiva y por tanto haga posible su obtención. Este es el caso del casquillo de la figura 6, utilizando como cota de mecanizado la total, y la cota de 5 como la que se ha de sustituir.
4. De lo expuesto anteriormente se desprende que siempre que sea posible trabajaremos con las tolerancias funcionales, ya que las calculadas para mecanización siempre tendrán tolerancias menores.

Cotas de útil

Como ya se comentó, denominamos así, a las que resultan de los métodos de fijación de las piezas a los utillajes que las sujetan o posicionan y son consecuencia del útil, su forma, procedimientos de sujeción y centrado o posicionado y reglajes.

Las cotas que sobre los utillajes definen el posicionado de la característica de la pieza a obtener sobre ellos, suelen realizarse con tolerancias de 0,1 veces, el valor de la tolerancia de la pieza, la razón estriba en que como consecuencia de las deformaciones por aprietos, acumulación de suciedad en los asientos o deterioros de los mismos, desgastes, etc. se pueden producir variaciones en la obtención de la cota deseada, efectos que si se estableciese la medida con las tolerancias de la pieza al sumarse podrían hacer que quedase fuera de sus límites.

Por este motivo la fabricación de un utillaje siempre se realiza con criterios de precisión. En la figura 13 se muestra un ejemplo de un útil, así como de la pieza que se va a fabricar con él, con la indicación de las cotas útil.

3.7.8. Tolerancias de roscas

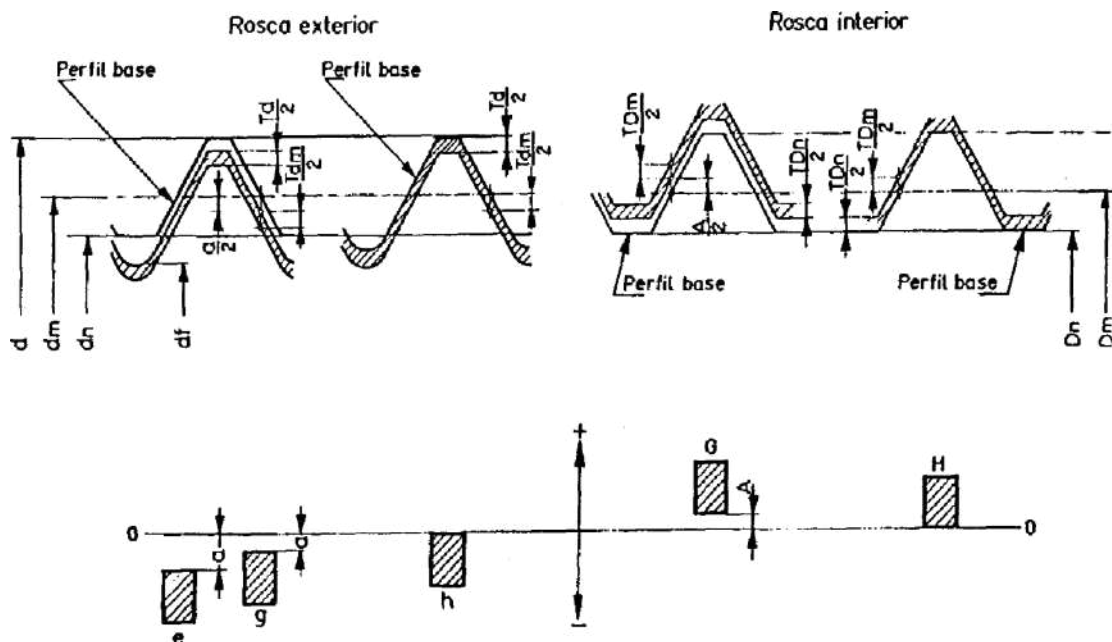
Los elementos roscados exteriores cuando han de montarse sobre otros interiores, pueden realizar su acoplamiento con mayor o menor juego, si este ha de estar sujeto a determinadas condiciones, es preciso establecer un sistema de tolerancias que las garantice.

Los aspectos geométricos que condicionan el montaje de una rosca, son los diámetros medio, exterior e interior, el paso, la longitud de acoplamiento y el ángulo del perfil. Sin embargo estableciendo límites de medida sobre los diámetros se comprueba que pueden obviarse tolerancias sobre el paso y el ángulo.

El sistema ISO de tolerancias de roscas, tiene una analogía con el de tolerancias dimensionales definiendo posiciones de la tolerancia y amplitud de las mismas.

Las posiciones contempladas son las e, g y h para tornillo y las G y H para tuercas y las calidades de la 4 a la 9. Estas calidades tienen en cuenta la medida de los diámetros, la calidad de elaboración y la longitud de acoplamiento.

En la figura siguiente se observa como se sitúan las posiciones de tolerancias.



En el siguiente cuadro se indican las tolerancias normalizadas

Clases de tolerancias recomendadas para tornillos

Clase de calidad	Posición de tolerancia e			Posición de tolerancia g			Posición de tolerancia h		
	S	N	L	S	N	L	S	N	L
Fina							3h4h	4h	5h4h
Media		6e	7e6e	5g6g	6g	7g6g	5h6h	6h	7h6h
Basta					8g	9g8g			

Clases de tolerancias recomendadas para tuercas

Clase de calidad	Posición de tolerancia G			Posición de tolerancia H		
	S	N	L	S	N	L
Fina				4H	5H	6H
Media	5G	6G	7G	5H	6H	7H
Basta		7G	8G		7H	8H

Las tolerancias en negrita son las recomendadas recuadradas son las más comunes

- (1) En la elaboración mecánica no debe de utilizarse la tolerancia hasta el límite máximo para los tornillos, o el límite mínimo para las tuercas.
- (2) Se pueden utilizar las tolerancias indicadas si el espesor del revestimiento es menor en $\frac{1}{4}$ aproximadamente de la diferencia fundamental para la posición g; si es mayor, deben de utilizarse las tolerancias para roscas con revestimientos de gran espesor

La designación de una tolerancia de rosca aplicada al diámetro medio y exterior se hace indicando primero la calidad y después la posición, ejemplo: para un tornillo.

Designación de la rosca

M 10 k 1 8 h

- | | |
|--|--|
| | Posición de la tolerancia en los diam medio y exter. |
| | Grado de precisión de los diam. medio y exter. |

3.7.9. Tolerancias de roscas ANSI

Se establecen para controlar la cantidad de tolerancia y error permitido en la fabricación de las roscas manteniendo la ínter cambiabilidad.

Se definen seis clases de ajustes de roscas, tres para exteriores 1A, 2A y 3A y tres para interiores 1B, 2B y 3B.

Las tolerancias más estrechas se corresponden con las clases mas altas

- Las clases 1A y 1B, se utilizan cuando se requiere un ajuste muy holgado para fácil montaje aun con roscas sucias o recubrimientos muy gruesos.
- Las clases 2A y 2B, se utilizan son las de utilización mas frecuente, proporcionan mayor resistencia que las anteriores permitiendo la aplicación de recubrimientos resistentes a la corrosión
- Las clases 3A y 3B, se utilizan en aplicaciones específicas en las que es importante el aprieto y la precisión del ángulo, no permiten la aplicación de recubrimientos. Son adecuadas para la utilización de productos anaeróbicos para fijaciones permanentes y tuercas elásticas

Por combinación de ellas se establecen 5 clases de ajustes que predicen el juego en un montaje y por tanto la forma de montaje:

CLASS 1 – AJUSTE CON HOLGURA

(montaje con los dedos) CLASS 2 –
AJUSTE LIBRE

CLASS 3 – AJUSTE MEDIO

CLASS 4 – AJUSTE APRETADO (montaje con llave)

CLASS 5 – MONTAJE MUY APRETADO (de uso desaconsejable)

A horizontal banner with a wavy, undulating shape, filled with a solid orange color. It has a thin dark blue outline.

CAPITULO IV. Modelación Asistida por Computadora

CAPITULO IV.

Modelación Asistidas por Computadora

4.1.- Aplicaciones de Modelación Asistidas por Computadora

El Diseño asistido por computadora (CAD) es el uso de computadoras para ayudar al proceso de diseño, esto podría incluir la creación y modificación de diseños (productos), diseño gráfico, procesamiento de datos, análisis (FEA) o simulaciones (Ideasdi, 2023).

Por otra parte, el Diseño Asistido por Computadora (CAD) también puede ser definido como cualquier uso del computador para asistir en el diseño de una pieza individual o componente, un subsistema o un sistema completo. El uso del computador en este tipo de aplicaciones no necesariamente tiene que involucrar el uso de gráficos. Por otra parte, el proceso de diseño en el cual se utilice puede ser en el ámbito conceptual o diseño detallado de piezas y componentes. También el termino CAD puede incluir la interfase con sistemas de Manufactura Asistida por el Computador (CAM).

El CAM requiere el uso de descripciones geométricas y la programación de movimientos de herramientas a fin de generar los comandos necesarios para controlar las diferentes maquinas herramientas involucradas en el proceso de manufactura.

En la última década se ha visto una explosión en el uso del CAD y CAM así como el dibujo asistido por el computador. La reducción de los costos de los equipos (Hardware) y programas (Software), en conjunción con el incremento en sofisticación, han resultado en una serie de herramientas que son usadas hoy en día por el común de los ingenieros y que solo eran accesibles a unos pocos especialistas hace solo una década atrás.

El diseño asistido por ordenador empezó aplicándose ya en los años 60 fundamentalmente como sistema sustitutorio de los tableros de dibujo, permitiendo ganancias de tiempo en la generación de planos. Progresivamente ha ido ampliando su campo funcional de aplicación y sus prestaciones, hasta convertirse en lo que es hoy en día, una potente herramienta que permite diseñar

objetos en un ordenador como si de cuerpos reales se tratase. El CAD puede aplicarse a prácticamente todas las áreas de actividad: electrónica, arquitectura, química, geología, textil, ingeniería civil, etc., aunque aquí se centrará la atención en el CAD mecánico. Una primera clasificación de estos sistemas puede realizarse en base a la capacidad de representación de un objeto en el espacio:

Es importante considerar que existen diferentes tipos de software CAD. Algunos de los más importantes software son: 2D: Autodesk AutoCAD, Adobe Ilustrador y 3D: Solidworks, Autodesk Inventor o Fusion, SketchUp, 3D Studio Max (Matt, 2013).

4.2.- Técnicas de trabajo más habituales en el ámbito CAD

Hoy en día, prácticamente ninguna compañía que diseñe y desarrolle algún tipo de producto cuestiona la aplicación del CAD, y aunque es evidente que existen muchas formas de enfocar estos temas y cada empresa lo hará del modo que considere más oportuno, la experiencia en la aplicación del CAD demuestra que su utilización aislada aporta únicamente beneficios parciales a la empresa en su conjunto. En definitiva, en muchas ocasiones la simple aplicación del CAD no es suficiente para incrementar la calidad, reducir los plazos de desarrollo y acelerar la salida al mercado de un producto (Pedro, 2018).

El conjunto de técnicas asistidas por ordenador (CAD, CAM, CAE, CAQ, CAPP, "rapid prototyping", etc.) han experimentado una gran evolución en estos últimos años, y pueden ser consideradas suficientemente maduras como para aplicarse de forma rentable en prácticamente todo el proceso de diseño y fabricación de un producto. Es bajo una perspectiva global de la aplicación integrada de todas estas técnicas donde puede considerarse realmente efectiva la utilización del CAD (Rosas., 2005).

El modelo o diseño realizado mediante CAD es, en general, el punto de partida para la aplicación del resto de técnicas asistidas. La calidad de este modelo CAD condiciona pues la calidad de los resultados que puedan obtenerse posteriormente del CAE, CAM, "rapid prototyping", etc. Este aspecto es de gran importancia para obtener el éxito esperado de la utilización de estos sistemas y merece mucha más atención de la que se le concede normalmente.

Este hecho, unido a la aún insuficiente capacidad de comunicación entre los distintos sistemas y al posible desconocimiento de las posibilidades reales de los mismos, provoca en muchas ocasiones la desazón y decepción de lo que se obtiene de ellos.

4.3.- Herramientas de Diseño 3D

En los sistemas de CAD 2D, la información geométrica de que dispone el ordenador es bidimensional, es decir, está contenida en un plano. Las vistas son generadas de forma independiente y no existe asociatividad entre las mismas. No obstante, a pesar de las limitaciones de estos sistemas en cuanto a diseño, su ámbito de aplicación es muy amplio: realización de distribuciones en planta, diseño de circuitos eléctricos, electrónicos, hidráulicos y neumáticos, diseño y proyecto de líneas de montaje, proyecto de moldes y matrices, generación rápida de planos para piezas sencillas, etc.

Los sistemas CAD 3D posibilitan la definición de los objetos de forma espacial, es decir, en tres dimensiones (x,y,z). Según sea el tipo de representación, se obtendrá más o menos información del sistema y podrán efectuarse operaciones más o menos complejas.

4.4.- Herramientas de modelado de superficies

Es importante dejar claro que trabajar con sólidos es mucho más sencillo que hacerlo a través de superficies. Al trabajar a través de superficies se debe modelar cada una de las caras del objeto, y estas caras deben ser juntadas de forma manual. Estas acciones se llevan a cabo de manera automática en el modelado de sólidos. Debido a ello, siempre que se pueda trabajar a través de sólidos, se debe hacer ya que el trabajo se nos va a simplificar notablemente. Pero siempre nos podemos encontrar con casos de objetos que posean una determinada geometría compleja y nos fuercen a utilizar las superficies. En algunas situaciones es difícil diferenciar las situaciones en las que se deben utilizar superficies o en las que el uso de las superficies se vuelve simplemente excesivo. Por lo tanto, es importante aprender a diferenciar las fortalezas y debilidades de trabajar a través de estas herramientas.

Una superficie es, básicamente, una frontera que separa dos regiones en el espacio. Un ejemplo de esta definición podría ser la de la tela de un globo aerostático, en el cuál la tela separa el aire caliente del frío.

Para algunos procesos de diseño, como los de creación de objetos con formas y curvas bastante complejas, las superficies teóricas son muy útiles. Es decir, se puede llevar a cabo la modelización de productos a través de la utilización de cuerpos de poco espesor (láminas) similares a superficies. Este tipo de geometría sin espesor se utiliza para:

- Creación de sólidos que posean superficies con periferia.
- Utilización de superficies como elemento de corte de un sólido o otra/s superficies.
- Construcción de nuevas superficies a partir de otras creadas anteriormente.

La ventaja de trabajar con superficies es que al no poseer espesor, no es necesario preocuparse por el volumen de la pieza. Esto nos facilita el trabajo ya que únicamente debemos preocuparnos por la forma externa de nuestra pieza, y no por su interior. También es interesante la utilización de estas para partir otros cuerpos y así tener distintas partes que provienen de un cuerpo principal

Aunque las superficies no posean en un principio espesor ni volumen, se les puede dar posteriormente, convirtiéndolas así en un sólido.

A light green wavy banner with a soft, undulating top and bottom edge, spanning the width of the page.

CAPITULO V

SOFTWARE DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

CAPITULO V.

Software Dibujo Asistido por Computadora

Desde la creación del software CAD se han desarrollado paquetes de diseño que sirven a la labor del profesional de la ingeniería, como el Autodesk Inventor, SolidEdge, Solidworks, CATIA, Pro/Engineer o Euclid, entre otros) es de tipo paramétrico que permite realizar modelados sólidos de piezas o conjuntos, apoyada en la Geometría Constructiva de Sólidos, lo cual permite la obtención posterior de las vistas diédricas de cada pieza o conjunto, planos de conjunto o de despiece, así como simulaciones de montaje o de comportamiento a diferentes solicitaciones, estando realmente entroncado en el proceso de Diseño-Fabricación-Producción, lo que repercute en una notable reducción de costes, así como en una optimización del proceso, reduciendo de forma sobresaliente el tiempo para la fabricación del producto final (Barberán, Leyva, Mendoza, & Zambrano, 2020).

5.1.- AutoCAD

AutoCAD es una aplicación de software de dibujo asistido por ordenador (CAD) desarrollada por Autodesk que permite a dibujantes, arquitectos, ingenieros y otros profesionales crear modelos bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) de mallas y superficies sólidas. Antes del dibujo asistido por ordenador, las herramientas manuales de dibujo, como pizarras y lápices de dibujo, lápices de entintar, reglas paralelas, brújulas y triángulos, sólo ofrecían un subconjunto de lo que ahora se puede hacer con programas como AutoCAD.

Desde su lanzamiento original en 1982, AutoCAD se convirtió rápidamente en el programa de CAD más utilizado en el mundo debido al robusto conjunto de herramientas y funciones de dibujo automatizadas.

AutoCAD le permite diseñar y explorar visualmente sus ideas de diseño conceptual, modificar sus diseños utilizando herramientas de diseño de forma libre en 3D, generar documentación inteligente de modelos, transformar sus diseños en renderizaciones en 3D y convertirlos en presentaciones animadas de calidad cinematográfica.

Autodesk también ha desarrollado otras variantes de AutoCAD que abordan necesidades específicas de la disciplina. Estos programas incluyen

AutoCAD Architecture, Civil 3D, Electrical, Map 3D, Mechanical, Plant 3D, MEP, P&ID, y AutoCAD LT (Ayto, 2023).

Con AutoCAD, las superficies, los sólidos y las curvas de desplazamiento se pueden crear y manipular dinámicamente mediante operaciones PressPull sensibles al contexto. Los modelos 3D se pueden importar directamente a AutoCAD desde una gran variedad de aplicaciones, incluyendo productos y servicios de SolidWorks, CATIA, Pro/ENGINEER, Rhinoceros y NX, lo que le permite crear fácilmente vistas 2D inteligentes.

Con las herramientas de nube de puntos, los objetos escaneados pueden importarse con hasta 2.000 millones de puntos de datos, lo que permite utilizar los datos ambientales existentes para ayudarle a iniciar sus proyectos. Los prototipos físicos en 3D de sus diseños se pueden crear rápidamente utilizando las capacidades de impresión en 3D de AutoCAD. Con la compatibilidad con la importación de archivos de Autodesk Inventor, AutoCAD le permite importar modelos desde Inventor al tiempo que mantiene una relación entre los archivos de AutoCAD e Inventor.

AutoCAD ofrece muchas otras herramientas y funciones que pueden mejorar la productividad, como la compatibilidad con PDF, DWG Convert, Materials Library, Social Media Sharing, AutoCAD WS, Autodesk 360 Connectivity y mucho más.

Planificación arquitectónica

Architecture AutoCAD proporciona a sus usuarios una interfaz intuitiva con diseños incorporados. Estos diseños incluyen numerosas plantillas que fueron creadas específicamente para la planificación arquitectónica y la construcción de edificios. Así que con un conocimiento adecuado de AutoCAD, cualquiera profesional puede asumir proyectos que consisten en diseñar planos arquitectónicos para propósitos de construcción o estructuras de edificios para ser replicados en tiempo real.

Las versiones más recientes de AutoCAD también proporcionan a los arquitectos y constructores las herramientas analíticas necesarias para analizar los componentes de un edificio y solucionar los problemas de tensión y los niveles de

carga de cada estructura de soporte de un edificio diseñado virtualmente. Esto significa que con AutoCAD, puede crear un plan arquitectónico, diseñar un edificio y llevar a cabo un análisis específico para conocer la capacidad y las fortalezas de los edificios antes de replicarlo en un sitio físico.

Herramienta en Ingeniería

El dibujo de componentes de ingeniería, el diseño de infraestructuras y el análisis de sistemas HVAC juega un papel importante en la mayoría de los campos de la ingeniería como ingeniería civil, mecánica, de sistemas y eléctrica. Y para hacer esto mientras se minimizan los errores humanos, se recomienda el uso de una aplicación de diseño asistido por computadora como es específicamente AutoCAD.

AutoCAD es una de las aplicaciones de software de diseño recomendadas porque proporciona a los profesionales herramientas de dibujo únicas que se pueden utilizar para dar vida a sus ideas con la precisión necesaria. En este sentido, AutoCAD sirve como software para diseñar componentes mecánicos, analizar sistemas eléctricos, de tuberías y resolver los problemas de diseño que puedan surgir.

Diseño Gráfico

Aunque existen herramientas de diseño gráfico más avanzadas, las características innatas de AutoCAD que permiten a sus usuarios planificar espacios arquitectónicos, mapearlos y aprovechar el espacio disponible lo convierten en una formidable herramienta de diseño que puede utilizarse simultáneamente con 3D Max, Maya y otras herramientas de diseño/animación cuando surge la necesidad.

AutoCAD soporta el uso de archivos DWG y DXF que se pueden exportar desde su interfaz a otras aplicaciones CAD avanzadas para ayudar a los proyectos de animación. Esto significa que como animador o diseñador gráfico, puede aprovechar AutoCAD para crear estructuras de edificios y planos arquitectónicos que ahora se pueden exportar para añadir más diseños en aplicaciones de modelado avanzadas.

Impresión 3D

Para crear un objeto impreso en 3D, un individuo debe pasar por estos tres procesos: elegir el objeto, obtener una representación virtual en 3D del objeto elegido y luego alimentar a la impresora 3D con este prototipo para llevar a cabo el proceso de impresión en 3D.

Es evidente que una herramienta o software de diseño de modelos definitivamente tiene un papel fundamental y aquí es donde entra en juego AutoCAD. Los entusiastas de la impresión en 3D pueden crear modelos en 3D en su espacio de trabajo para utilizarlos en el proceso de impresión en 3D.

AutoCAD también garantiza que la compatibilidad de los archivos no es un problema, ya que puede diseñar sus modelos en su interfaz y exportar sus diseños en el formato '.stl' preferido con el que funcionan la mayoría de las impresoras 3D y el software de corte.

Industria de la moda

Es importante entender que el patrón de diseño de cada joya no es casual, sino que proviene de cuidadosas consideraciones y planos de diseño. AutoCAD es un software de diseño que viene con las herramientas necesarias para dibujar y diseñar prácticamente cualquier cosa de su elección, y el diseño de ciertos artículos de moda no es una excepción.

Este software de CAD y la interfaz intuitiva, no complica las complicaciones que conlleva el diseño de formas intrincadas que consisten en octógonos, tetraedros y muchas más formas de las que usted o yo no tenemos conocimiento.

Diseño industrial

El objetivo de cada organización industrial y de la actividad manufacturera es ganar suficiente dinero para cubrir el costo acumulado en la producción de cualquier producto y AutoCAD ayuda a reducir ese coste de muchas maneras.

Con el uso de su interfaz CAD, los profesionales industriales pueden diseñar prototipos de trabajo de prácticamente cualquier objeto, así como probar su funcionalidad durante el proceso de diseño. AutoCAD proporciona las

herramientas tanto para diseñar el prototipo inicial como para ajustar su ergonomía antes de que surja la necesidad de invertir dinero en la producción real.

5.2.- Siemens NX

Según expresa (Gómez Aparicio, 2018) el Siemens NX es un avanzado software dedicado a CAD/CAE/CAM, que es propiedad de Siemens PLM Software desde 2007. Las principales tareas que realiza son las siguientes:

- ❖ Diseño (Paramétrico y modelado directo)
- ❖ Análisis ingenieril (Estático; dinámico; electro-magnético; térmico; uso de elementos finitos)
- ❖ Diseño de manufacturación del producto

La plataforma NX Siemens, puede ser aprovechada para desarrollar planos de detalle con su tolerancia geométrica y dimensional, así como los procesos de producción y los rasgos de manufactura más importantes (Hurtado, Forero, & Ruiz, 2015)

5.3.- Catia

Es un programa de CAD/CAM/CAE comercial realizado por Dassault Systemes 15, Francia. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño (CAD) hasta la producción (CAM) y el análisis (CAE) de productos. Su gama de capacidades permite aplicar CATIA® V5 en una amplia variedad de sectores, como el Aeroespacial, Automoción, Maquinaria y otros bienes de equipo, Eléctrico, Electrónico, Astilleros, Construcción Industrial y Bienes de consumo, incluyendo el diseño de diversos productos como joyería y vestido (Solís García, 2008).

La versión CATIA® V5, es capaz de resolver todo el proceso de desarrollo de producto, desde sus especificaciones conceptuales hasta su puesta en servicio, de una manera totalmente integrada y asociativa. Facilita la ingeniería colaborativa en tiempo real en la empresa multidisciplinar, incluyendo el diseño estilístico y de formas, diseño mecánico e ingeniería de sistemas y equipos,

gestión de maquetas digitales, mecanizado, análisis y simulación (Solís García, 2008).

5.4.- Inventor

El software Inventor® es un sistema de modelado de sólidos 3D basado en operaciones y de producción de planos. Su innovadora arquitectura lo convierte en el primer sistema del mundo que soporta el diseño adaptativo, además de proporcionar un excelente rendimiento en grandes ensambles y la posibilidad de ser productivo tras un sólo día de aprendizaje (Solís García, 2008).

Los diseñadores intentan resolver la función (longitud, posición y rango de movimiento) antes que la forma (los detalles del modelo sólido que representan el diseño). No obstante, el “software” paramétrico actual requiere que los diseñadores creen la forma antes de resolver la función. El esbozo adaptativo permite trabajar con bocetos 2D simples que a su vez sirven de base a los ensambles en 3D (Solís García, 2008). Inventor® ofrece compatibilidad 100% con AUTOCAD®

5.5.- Software *SOLIDWORKS*

SolidWorks y Fusion 360 simplifican el diseño de superficies avanzadas para hacer que la creación de partes sofisticadas con formas complejas sea más fácil. Dichos dispositivos son habituales en una variedad de sectores entre los que se incluyen productos de consumo, vehículos, moldes, dispositivos médicos, videojuegos, animación, etc. Estos dos softwares proporcionan, a modo general:

- Herramientas para: superficies extruidas, revueltas, barridas, recubiertas, equidistantes, planas.
- Herramientas para: superficie limitante de formas orgánicas y estilizadas, relleno de superficies, superficies radiadas de forma libre y superficies medias.
- Herramientas de edición: mover/copiar cara, Instant3D (hacer clic y arrastrar la geometría), copiar superficie, reemplazar cara, reparar, coser, recortar y extender.

- Herramientas de análisis de superficies: gaussiano, ángulo, corte sesgado, espesor, curvatura, radio mínimo, franjas de cebra, análisis de desviación y comprobación de simetría.
- Importación y reparación de geometría y herramientas de reparación.

La utilización de superficies para generar operaciones sólidas es un recurso que se emplea cuando pretendemos obtener formas complejas. Las herramientas que se utilizan para trabajar con superficies se encuentran en la barra de herramientas de Solidworks.

Las superficies pueden ser utilizadas de distintas maneras:

- Seleccionando aristas y vértices para emplearlas como curva guía y trayecto de barrido.
- Utilización en ciertas operaciones con sólidos como por ejemplo cortes.
- Creación de sólidos a través de las distintas superficies modeladas y cosidas para constituir un volumen cerrado.
- Reemplazar caras de algún sólido con una superficie.

Para activar las herramientas de superficies en Solidworks y poder visualizarlas en la barra de herramientas se debe ir al menú “Ver / Barras de Herramientas / Superficies”. Los comandos de superficies también están disponibles en el menú “Insertar / Superficie

Ilustración 11

Insertar herramientas superficies

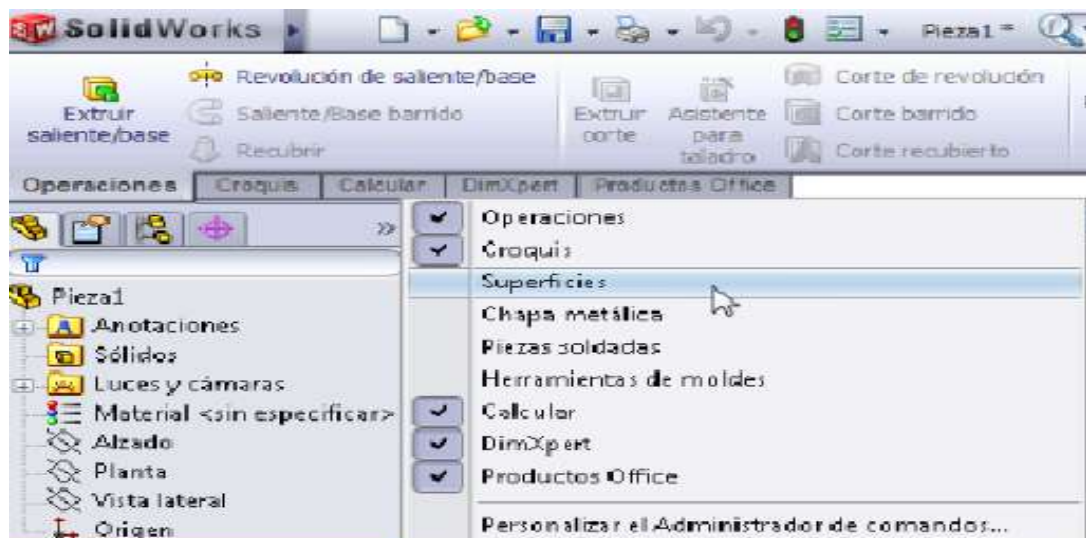
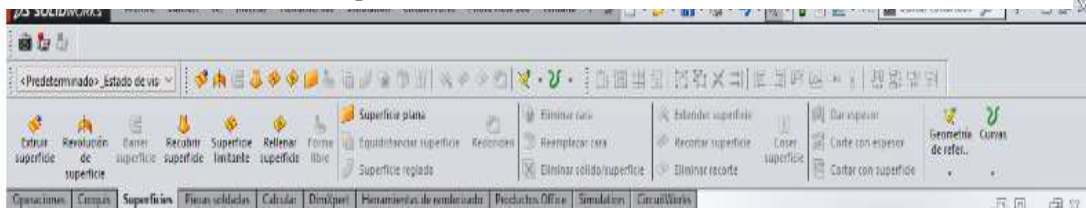


Ilustración 12

Herramienta de modelado de superficie



Los conjuntos de superficies son geometrías que no poseen espesor (cómo ya hemos explicado anteriormente) conectadas entre sí a través de la herramienta “coser superficies” formando así una única pieza que puede ser convertida posteriormente en un sólido.

Para seleccionar un conjunto de superficies se debe seleccionar “Filtrar conjuntos de superficies” en la barra de herramientas. Con esta herramienta es posible seleccionar cualquier tipo de conjuntos de superficies. También es posible seleccionar una cara en concreto que se encuentre en un conjunto de superficies a través de la opción “Filtrar caras” .

Un conjunto de superficies implica la unión de superficies y estas pueden ser de diversas formas:

Un conjunto de superficies implica la unión de superficies y estas pueden ser de diversas formas:

- Superficies de una cara
- Superficies de caras múltiples
- Superficies cosidas
- Superficies redondeadas
- Superficies recortadas y extendidas
- Superficies importadas
- Superficies planas y superficies medias
- Superficies extruidas, revolucionadas, recubiertas o creadas a través de cualquier otro tipo de operación

5.6.- Modelado geométrico en SolidWorks

Para la creación de superficies existen una serie de herramientas básicas que vamos a detallar a continuación:

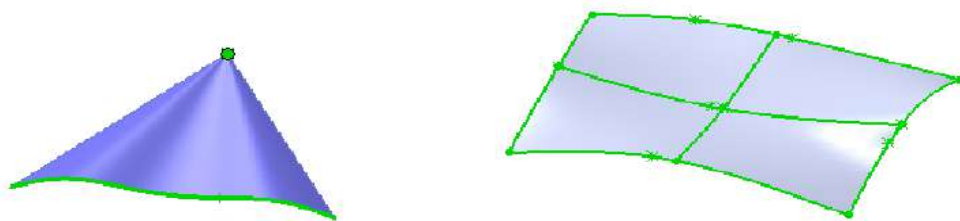
Superficie limitante:

A través de la opción de “Superficie Limitante” se pueden crear superficies con cierta tangencia o curvatura continua. Con esta opción se puede conseguir un mejor resultado que si se utilizara la herramienta “Recubrimiento”.

Esta operación se puede encontrar en la barra de herramientas Superficies activada anteriormente. Las opciones de la herramienta se pueden establecer con Property Manager

Ilustración 13

Superficies limitantes



- Superficie plana.

La herramienta de “Superficie Plana” no es una herramienta a la que se suele recurrir aunque se puede dar la situación en que puede ser útil. Se puede conseguir una superficie plana a través de:

- Un croquis cerrado:

Para este caso se requiere que todas las aristas se encuentren en un mismo plano. Simplemente basta con seleccionar el conjunto de aristas a través de la opción de PropertyManager

- Un conjunto de aristas cerradas (mismo procedimiento al anterior)
- Un par de entidades planas, como curvas o aristas que se encuentren en el mismo plano

Para crear una superficie plana limitada a partir de un croquis es importante comprobar que el croquis cerrado de contorno único no se cruce con nada. Los pasos a seguir son los mismos que en las opciones anteriores:

1. Hacer clic en “Superficie plana” .

2. En la opción de PropertyManager, seleccionar el croquis compuesto por varias entidades

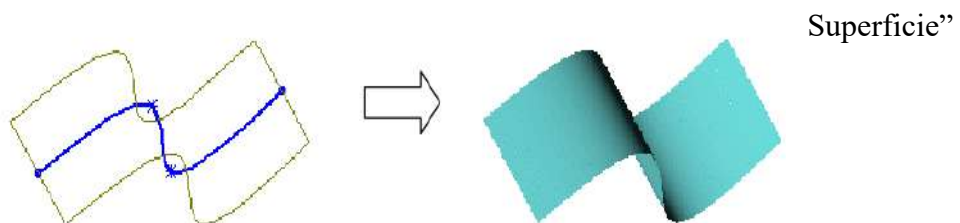
Extruir superficie.

Las superficies extruidas pueden ser creadas a través de elementos 2D y 3D pertenecientes a otros componentes.

La opción más recurrida para extruir superficies es la de utilizar un croquis 2D y una dirección. La creación de superficies a través de esta herramienta es interesante si queremos utilizar éstas como elementos para recortar otras superficies o sólidos. La herramienta empleada para ello es la de “Extruir

Ilustración 14

Extruir superficie

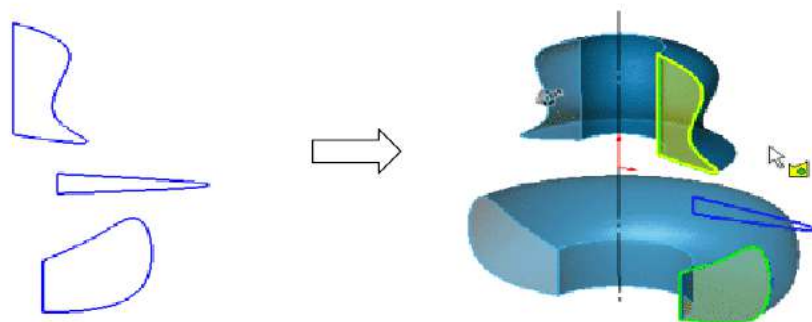


Revolución de superficie.

Para la creación de superficies a través de la herramienta de “Revolución de superficie” primero se debe crear un croquis o una serie de croquis y un eje de revolución. No importa si se trata de croquis cerrados o abiertos.

Ilustración 15

Revolución de superficie



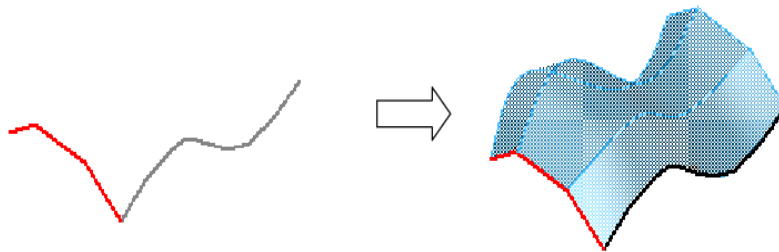
Superficie barrida.

La creación de una superficie barrida requiere de la definición del perfil que se pretende barrer y del trayecto por el que va a ser barrido. Se trata de una extrusión con la excepción de que en vez de ser un perfil extruido en línea recta, se trata de un perfil extruido a través de un recorrido definido por el usuario. La herramienta es la de “Superficie Barrida” .

Es importante que las curvas guías que utilizemos (pueden ser varias) tengas relaciones coincidentes o perforen el perfil.

Ilustración 16

Superficie barrida.



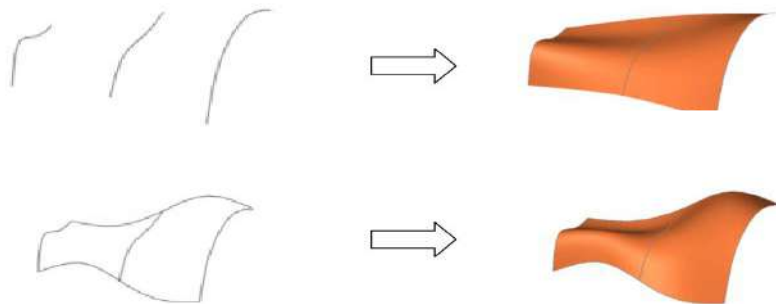
Recubrir superficie.

La utilización de la herramienta “Recubrir Superficie” proporciona menor calidad que la herramienta de “Superficie Limitante” . Esto es debido a que para definir esta operación es necesario únicamente dos perfiles y una curva guía, es decir, 3 parámetros. A menos parámetros, menos definición en el resultado.

Pero a su vez, al ser una herramienta que nos exige menos croquis, podemos conseguir crear una superficie de una forma más sencilla si no necesitamos tanta precisión. Los croquis que se utilizan como perfiles no tienen que estar en paralelo.

Ilustración 17

Recubrir superficie

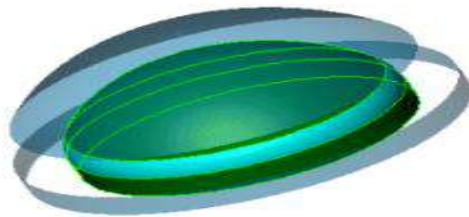


Equidistanciar superficie.

Existe una herramienta similar a “Equidistanciar superficie” aplicada a croquis, en la que puedes equidistanciar tanto croquis abiertos cómo cerrados. En este caso lo aplicamos a superficies, pero el principio es el mismo.

Ilustración 18

Equidistanciar superficie.



En caso necesario, seleccione Invertir dirección de equidistancia para cambiar la dirección de la equidistancia

Radiar superficie.

La herramienta “Radiar superficie” crea una superficie radiando aristas tanto de sólidos como de superficies hacia una dirección plana previamente escogida. Para crear superficies radiada es importante primero escoger una cara o un plano paralelo a la dirección que queremos radiar nuestra superficie como referencia de dirección. A continuación se debe seleccionar el conjunto de aristas a partir de las cuáles queremos radiar y definimos la distancia deseada

Ilustración 19

Radiar superficie

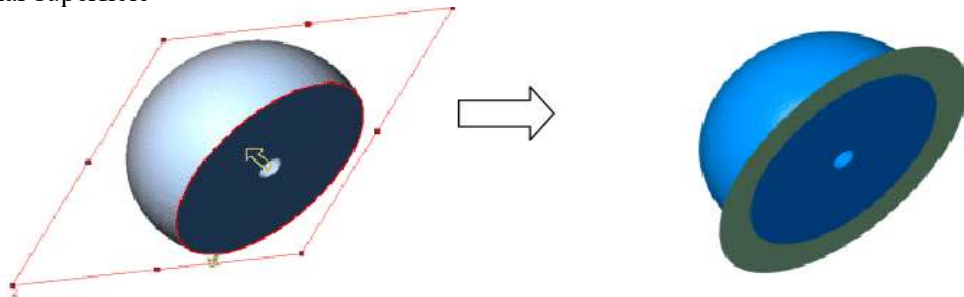
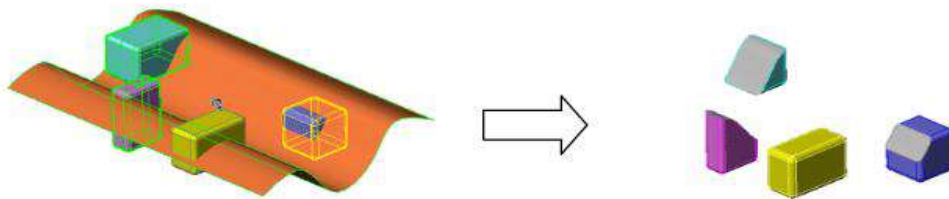


Ilustración 20

Cortar con superficie.



Cortar con superficie.

La herramienta de “Cortar con superficie” brinda la posibilidad de crear una superficie y utilizarla para cortar otra superficie o sólido. Se puede realizar un corte y seleccionar que partes se quiere conservar y cuáles se quiere eliminar. Las superficies que se utilizan para llevar a cabo los cortes suelen ser obtenidas a través de una simple extrusión de un croquis (herramienta vista anteriormente).

Controles de superficies.

Para complementar las distintas herramientas para realizar operaciones con superficies, existen herramientas de control de superficies

Extender superficie.

Se trata de una herramienta muy sencilla a través de la cuál se puede alargar una superficie a partir de su perfil. Para poder utilizarla basta con seleccionar el perfil de la superficie que queremos extender.

Redondear superficie.

La herramienta “Redondear superficie” es utilizada para proporcionar el redondeo entre dos caras de un conjunto de superficies que se encuentran contiguas la una a la otra.

El redondeo de superficies funciona igual que el redondeo de sólidos, con unas pocas excepciones. Se puede realizar lo siguiente:

- Redondear las aristas de un conjunto de superficies.
- Realizar redondeos de superficie con múltiples radios.
- Crear redondeos entre dos superficies, o redondeos de cara.
- Agregar parámetros de adaptados a los redondeos de superficie.
- Realizar redondeos de superficie con líneas de retención.
- Recortar o conservar las superficies redondeadas en un redondeo de cara.
- Realizar un redondeo con radio variable sobre una superficie.

Coser superficie.

La herramienta Coser superficie se utiliza para combinar dos o más caras o superficies en una sola. Hay que tener en cuenta una serie de puntos para que el cosido de las superficies se efectúe de una manera correcta y sin errores:

- Las aristas que queremos coser deben estar en contacto y ser continuas la una a la otra.
- No es necesario que las superficies se encuentren en el mismo plano, pero sus aristas no deben superponerse la una con la otra.
- Es necesario seleccionar las superficies que queremos coser, no basta con seleccionar sus aristas.
- Si las superficies cosidas forman un volumen cerrado, se puede formar un sólido.
- Cabe la posibilidad de modificar la tolerancia del cosido si nuestras superficies se encuentran continuas pero no perfectamente adyacentes

Superficie media.

La herramienta “Superficie Media” permite crear superficies medias entre caras seleccionadas. Para ello, las caras entre las cuáles se pretende crear una superficie media deben cumplir lo siguiente:

- Los pares de caras adecuados deben ser equidistantes entre sí.
- Las caras deben pertenecer al mismo sólido

Rellenar superficie.

Lo que hace la herramienta “Rellenar Superficie” es básicamente generar un parche de superficie al interior de un límite cerrado. Este límite puede estar constituido por un croquis, un conjunto de aristas o curvas de un componente (ya sea una superficie o un sólido).

Esta herramienta resulta interesante para corregir una pieza que se haya importado de otro programa y le falten caras, rellenar agujeros o cavidades o para generar una superficie para obtener un volumen cerrado y así crear un sólido

Recortar superficie.

Está herramienta es muy útil ya que se puede utilizar una superficie, un plano o un croquis como herramienta de recorte para recortar superficies intersectantes.

Reemplazar cara.

La finalidad de “Reemplazar una cara” de una superficie es la de reemplazarla con un sólido o una nueva superficie. Estas no tienen por qué tener el mismo límite que las caras adyacentes ya que cuando se reemplaza una cara, las caras limítrofes se expanden automáticamente y se recortan en base a la superficie de reemplazo.

Es importante que las caras que queremos reemplazar deben estar unidas y no tienen que ser tangentes

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Moreno, M. (2022). Dibujo para el diseño, herramienta de pensamiento y comunicación. *Arte, Individuo y Sociedad* 34(1), , pp.11-26.
- Alarcón, J., Cohan, A., Cabello, M., & Barra, A. (2018). Gestión del diseño e Innovación para la competitividad empresarial. *Publisher: Ediciones Universidad del Bío-Bío* ISBN: 978-956-9275-08-1.
https://www.researchgate.net/publication/323932569_Gestion_del_diseno_e_innovacion_para_la_competitividad_empresarial.
- Ayto. (23 de ENERO de 2023). *Qué es AutoCAD y para qué sirve*. Obtenido de <https://ayto-torrijos.com/herramientas/que-es-autocad-y-para-que-sirve/>
- Barberán, J., Leyva, P., Mendoza, L., & Zambrano, K. (2020). *La Asignatura Dibujo Técnico. Una Vía Para la Formación Profesional de los Estudiantes de Ingeniería Industrial*. Las Tunas: Editorial Académica Universitaria (Edacun). pp.149.
- Caballero, L. (2017). ISO 128 es un Estándar Internacional.
https://kupdf.net/download/iso-128-es-un-est-ndar-internacional_5914c755dc0d60a576e5e556_pdf, pp.1-8.
- CAD Desing & Product Engineering. (s.f.). Diseño Asistido por Ordenador (CAD).
<https://www.ideareality.design/es/disenio-y-prototipo/disenio-cad-en-3d/>.
- Camacho, A., Arenas, A., & Duque, M. (2012). *Diseño en ingeniería: una posible visión para la evaluación*. Bogotá, Colombia: ACOFI.
- Cruz, G., Mena, J., Solís, S., & Masaquiza, A. (2021). Importancia de los sistemas CAD-CAM para el desarrollo de proyecto de conformado de materiales. *Pol. Con.* (Edición núm. 63) Vol. 6, No 11. ISSN: 2550 - 682X. DOI: 10.23857/pc.v6i11.3276, pp.370-382.

Erazo Arteaga, V. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. *Información tecnológica; Vol.33. No.2.*
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200297> .

Flores, G., Millán, E., Garnica, J., Córdova, E., Niccolas, H., Flores, T., y otros. (2017). Diseño de Nuevos Productos Asistidos Por Computadora Mediante la Metodología Tríz: Cama de Inmersión Gravitacional. *12va. Sesión anual de investigación, Innovación y Desarrollo de Productos basado en TRIZ.*
https://www.researchgate.net/publication/323243984_DISENO_DE_NUEVOS_PRODUCTOS_ASISTIDO_POR_COMPUTADORA_MEDIANTE_LA_METODOLOGIA_TRIZ_CAMA_DE_INVERSION_GRAVITACIONAL.

Font Andreu, J. (1991). Impacto tecnológico del CAD en la docencia de la Expresión Gráfica en la Ingeniería. *Universitat de Barcelona. España. Tesis Doctoral.*
https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1263/06.JFA_ANEXOS.pdf;sequence=7, pp.128.

Formlabs. (s.f.). Cómo elegir el mejor software de CAD 3D: Una guía exhaustiva.
<https://formlabs.com/latam/blog/software-cad/>.

García, I. (2016). El diseño, la gran ventaja competitiva. *Economía Disruptiva.*
<https://www.expansion.com/blogs/economia-disruptiva/2016/08/23/el-diseno-la-gran-ventaja-competitiva.html>.

Gershenfeld, N. (2012). How to make almost anything: The digital fabrication revolution. *Foreign Affairs*, 91(6),
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0718-0764202200020029700012&lng=en, pp.43-57.

- Gómez Aparicio, I. (2018). Diseño Cinemático de Una Garra Robótica Con Dos Grados de Libertad y un Único Actuador. *Universidad de Cantabria. Trabajo de Titulación*.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14169/409417.pdf>, pp.92.
- Hernández Morales, J. (2016). Diseño y Simulación para el Lanzamiento de un Producto en la Industria . *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa. Publicación # 05. ISSN 2007 - 8412* , pp.1-12.
- Hurtado, L., Forero, J., & Ruiz, V. (2015). Vision Electronica Parallel architecture robotics: modeling and simulation with Siemens NX . *Conference: X Congreso Internacional de Electrónica, Control y Telecomunicaciones. Bogota, Colombia*.
https://www.researchgate.net/publication/325965197_VISION_ELECTRONICA_Parallel_architecture_robotics_modeling_and_simulation_with_siemens_nx_R.
- Kotler, P., Lane, K., Cámara, D., & Mollá, A. (2006). *Dirección de Marketing*. Madrid. España: Pearson. Prentice Hall. 12° edición.
- Lira, I., Ramírez, R., & Barrientos, F. (2022). Uso de las CAX en el diseño-ingeniería industrial y su impacto en la industria 4.0. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI; vol. 9, núm. 18*,
<http://portal.amelica.org/ameli/journal/595/5953117020/html/>, pp.35-39 .
- López Soto, J., Toledo Gandarias, N., Herrero Bengoechea, M., & Caro Rodríguez, J. (2013). El Diseño Industrial y el Desarrollo de un Producto. *UPV/EHU*.
https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/44410/mod_resource/content/1/3-Proceso_de_diseno.pdf, pp.1-12.
- Matt, L. (2013). *SOLIDWORKS Bible*. . Wiley Publishing, Inc.

Mercado Bautista, J. (2020). Evolución de los softwares de simulación para el Diseño y Construcción en la Industria. *Pol. Con. (Edición núm. 48) Vol. 5, No 08; ISSN: 2550 - 682X. DOI: 10.23857/pc.v5i8.1665*, pp. 1333-1343.

Mijares, F., & Rodríguez, L. (2011). Normas de Dibujo ASME Y 14.1 y ASME Y 14.1 M. *Universidad del Zulia. Venezuela.*
<https://diuanl.files.wordpress.com/2012/08/asme-y14-1-y14-1m-espac3b1ol.pdf>, pp.33.

Molleja, J. (2010). Diseño en Ingeniería. *Universidad Central de Venezuela.*
<http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20104/1/Dise%C3%B1o%20en%20Ingenier%C3%ADa.pdf>, pp.254.

Moral, F., & Preciado, C. (2002). La Norma UNE 1-032-82 y la Representación Gráfica de Elementos Distribuidos Regularmente: Comentario y Crítica. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España.*
<http://www.etpcba.com.ar/documentosdconsulta/optica/optica/normas%20une.pdf>, pp.1-7.

Oliva Santos, R. (2015). Avances tecnológicos en representación gráfica: su influencia en el diseño arquitectónico. *Universidad Politécnica de Cataluña. España. Tesis Doctoral.* , pp.266.

Orellana Acevedo, M. (2020). El Dibujo Técnico Como Nueva Expectativa Virtual.
https://issuu.com/mariajoseorellana/docs/el_dibujo_tcnico_como_nueva_expectativa_virtual_, pp.1-12.

Orozco, F. (2011). Layout y Diseño De Impresión. *Blog para el aprendizaje del Dibujo Mecánico, Ingeniería Asistida, Simulaciones, CAD (AutoCAD) y CAM*

(SolidWorks). <http://franciscoaorozco.blogspot.com/p/layout-presentacion-y-diseno-de.html>.

Otxotorena, J. (1996). *Sobre Dibujo y Diseño*. Servicio de Publicaciones ETSA. pp.174.

Papanek, V. (1985). *Design for the Real World*. New York: Pantheon Books.

Pedro, C. (2018). *Modelado mediante superficies*. Obtenido de

http://cad3dconsolidworks.uji.es/CAD3DSW1_T1_Modelado_Cap04.pdf

Perdomo Rosero, J. (2014). Normas del Dibujo ISO. *Esmeraldas, Ecuador*.

<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-oriente-venezuela/geometria-descriptiva/normas-de-dibujo-tecnico/45036280>, pp.1-4.

Prádanos, R., Sanz, J., Domínguez, M., & Espinoza, M. (2005). Propuesta de

Normalización del Color en Ingeniería Gráfica. *Conference: XVII Congreso Internacional de Ingeniería gráfica. Sevilla (España)*.

https://www.researchgate.net/publication/358585471_Propuesta_de_normalizacion_del_color_en_ingenieria_grafica.

Rosas., H. (2005). *SOLIDWORKS OFFICE: Técnicas avanzadas de modelado de piezas*.

Obtenido de SolidWorks Corporation.

Salazar, A. (2006). Los Aspectos del Diseño Industrial Como Método Diferenciador de

Producto: Caso Pequeñas y Medianas Empresas Mexicanas. *12th International Conference on Project Engineering*.

https://www.aepro.com/files/congresos/2008zaragoza/ciip08_1959_1970.689.pdf, pp.1959-1970.

Schvab, L. (2011). *Máquinas y herramientas. Guía didáctica*. Buenos Aires. Argentina:

Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. pp.76.

- Solís García, A. (2008). Las Nuevas Tecnologías Aplicadas a Un Modelo Para Adecuar la Documentación Técnica de Proyectos de Diseño Industrial Desarrollados Con Programas CAD a Normas Internacionales de Dibujo. *Universidad Autónoma Metropolitana. Azcapotzalco. México. Trabajo de Maestría*. <https://core.ac.uk/download/pdf/128741376.pdf>, pp.345.
- Soto, J. (2017). Desafíos de la tecnología CAD. *ACTI. Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información. A.G.* <https://acti.cl/desafios-de-la-tecnologia-cad/>.
- Suárez Pinilla, G. (2019). El Dibujo Técnico Manual y su Vigencia en el Actual Contexto Tecnológico. *Rev. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información; Vol. 7. Núm. 13. DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2020.v7.n13.a76>*, pp.67-72.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. Quinta edición. pp. 736.
- Universitat de Valencia. (2019). Introducción a los Sistemas CAD/CAM/CAE. *Universitat de Valencia. España. Open Course Ware*. http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg_tema_2.pdf. http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg_tema_2.pdf, pp.1-11.
- UNSJ. (2020). Introducción al Dibujo Técnico. Unidad I. *Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). Equipo de Cátedra – Facultad de Ingeniería*. <http://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/dibujoysistemas/wp-content/uploads/01-UI-INTRODUCCION-AL-DIBUJO-T%C3%89CNICO-CIV-2020.pdf>, pp.1-6.
- Victoria Uribe, R., & García Albarrán, M. (2019). Redefiniendo el Concepto de Necesidad Para un Contexto de Diseño Más Sustentable y/o Socialmente Responsable. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, vol. 2019, núm. 26, <https://www.redalyc.org/journal/4779/477961406006/html/>.

Watanave, J. (2019). Porqué el dibujo técnico importa.

<https://es.linkedin.com/pulse/porqu%C3%A9-el-dibujo-t%C3%A9cnico-importa-jorge-ramos-watanave>.

Zabala, E., Peñaherrera, F., & Ledesma, G. (2018). El diseño del producto y su

importancia en la satisfacción del cliente. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, ISSN: 1696-8352.

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/05/disenio-producto-cliente.html>.

Zhou, Z., Xie, S., & Chen, D. (2012). *Fundamentals of Digital Manufacturing Science*.

London: Springer.