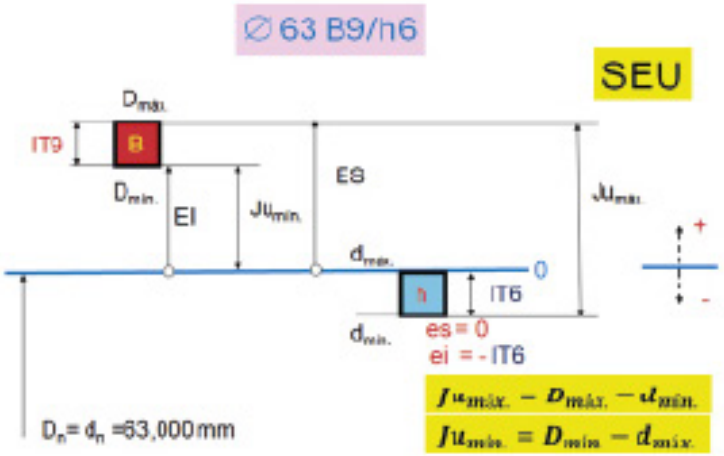
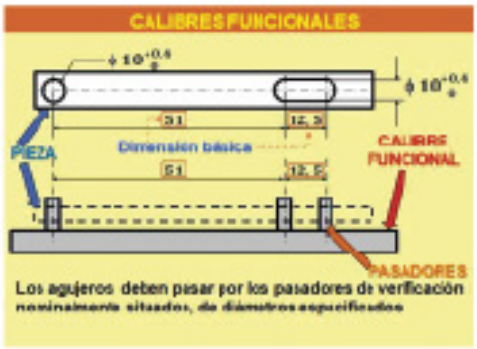
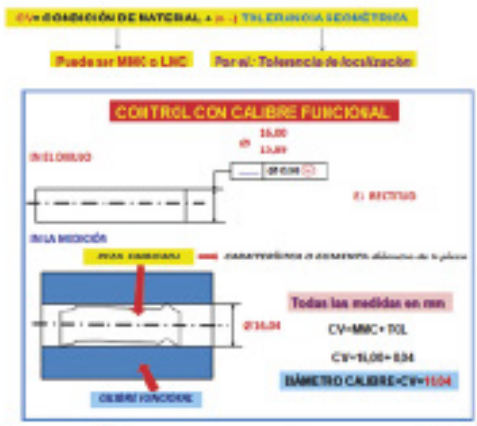
Ajustes y tolerancias y diseño de calibres funcionales y de límites

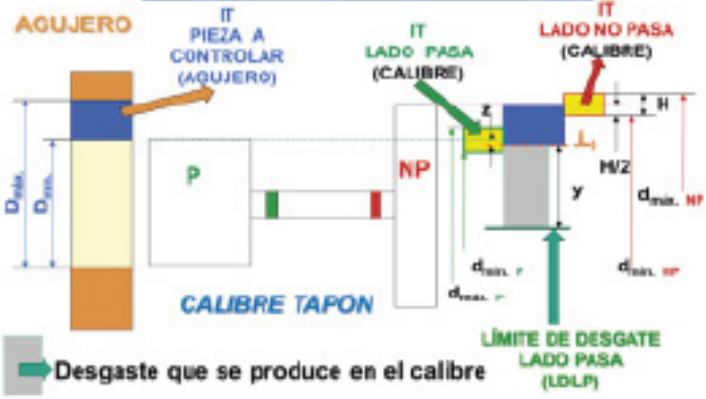
Incluye los principales cambios de la norma IRAM-ISO 286:2019 relacionados con ajustes y tolerancias. Aplicable a diseño, producción, matricería, mantenimiento y metrología

Destinado a diseñadores industriales, ingenieros mecánicos, aeronáuticos, navales y diseñadores de moldes y matrices









Ing. Marcelo Javier Iglesias

Tomo 3

Patagonia Tools

vaccaro hnos. s.a.i.c.
Instrumentos de precisión

Ajustes y tolerancias y diseño de calibres funcionales y de límites

Ajustes y tolerancias y diseño de calibres funcionales y de límites

Incluye los principales cambios de la norma IRAM-ISO 286:2019 relacionados con ajustes y tolerancias. Aplicable a diseño, producción, matricería, mantenimiento y metrología

Ing. Marcelo Javier Iglesias

Iglesias, Marcelo Javier

Ajustes y tolerancias y diseño de calibres funcionales y de límites : incluye los principales cambios de la norma IRAM-ISO 286:2019 relacionados con ajustes y tolerancias : aplicable a diseño, producción, matricería, mantenimiento y metrología / Marcelo Javier Iglesias. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Tercero en Discordia, 2026.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-631-312-153-3

1. Ingeniería. 2. Ingeniería Mecánica. 3. Diseño Industrial. I. Título.

CDD 745.2

© Tercero en discordia

Directora editorial: Ana Laura Gallardo

Coordinadora editorial: Ana Verónica Salas

Maquetación: Lucía Cancela

Diseño de tapa: Rocío Deluca

www.editorialted.com

@editorialted

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor.

ISBN 978-631-312-153-3

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723.

Índice

Prólogo ... 6
Acerca del autor ... 7
Agradecimientos ... 8
Capítulo 1: Introducción ... 9
1.1 Diseño mecánico ... 9
1.2 Intercambiabilidad ... 10
1.3 Etapas del diseño mecánico ... 15
1.4 Documentos de ingeniería ... 16
Capítulo 2: Tolerancias ... 19
2.1. Concepto y definición de tolerancia ... 19
2.2 Clasificación de las tolerancias ... 21
Capítulo 3: Ajustes y tolerancias ... 25
3.1. Intercambiabilidad, concepto de ajuste y normas ... 25
3.2 Definiciones ... 26
3.3 Nomenclatura ... 32
3.4 Tablas de ajustes y tolerancias ... 36
3.5 Obtención de la tabla de tolerancias fundamentales (IT) ... 44
3.6 Ajuste ... 51
3.7 Sistemas de ajuste ... 69
3.8 Información adicional, aplicación y uso de ajustes ... 71
3.9 Sistema estadounidense de ajustes y tolerancias ... 89
Capítulo 4: Ejemplos de aplicación y ajustes en piezas prismáticas ... 90
4.1 Ejemplos de aplicación ... 90
4.2 Ajustes en piezas prismáticas ... 142
4.3 Relación entre la calidad de la tolerancia y la rugosidad ... 145
Capítulo 5: Calibres de límites ... 147
5.1 Tipos de mediciones en metrología dimensional ... 147
5.2 Condiciones de material y virtual ... 148
5.3 Calibres de límites ... 151
5.4 Calibres funcionales ... 168
Capítulo 6: Diseño de calibres de límites y funcionales ... 174
6.1 Diseño de calibres de límites ... 174
6.2. Diseño de calibres de límites para piezas prismáticas ... 205
6.3 Diseño de calibres de límites roscados ... 206
6.4 Identificación y marcado de calibres de límites ... 268
6.5 Dibujo de los calibres de límites ... 274
6.6 Ajustes con apriete ... 275

6.7 Diseño de calibres funcionales 294
Ejercicios y preguntas 301
Ejercicios 301
Preguntas 303
Bibliografía 305
Páginas web 306

Prólogo

A partir del dictado de un curso en una fábrica pastera del Uruguay, en el área de mantenimiento, y de varios realizados en diversas empresas e instituciones, he decidido escribir este libro como un aporte a los sectores de diseño, mantenimiento, metrología y a los estudiantes de ingeniería que tienen incluida esta temática en sus planes de estudio.

Para redactar este libro tomé como base el material generado junto al ingeniero Flavio Piotto en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en 2011, titulado *Ajustes y tolerancias de dieciséis horas de duración*, que incluía el diseño de calibres de límite, incorporando parte de ese material a las materias que dicto en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional General Pacheco (UTN FRGP).

En esta obra intento reflejar la experiencia adquirida a lo largo de mi carrera profesional como ingeniero mecánico y como docente, esta última lograda a partir de una amplia cantidad de cursos que he impartido, tanto en la universidad como en otras instituciones y organizaciones.

Existe excelente material, en diversos formatos, sobre Ajustes y Tolerancias, pero este busca poner el foco en las áreas de mantenimiento, diseño y metrología, mostrando aplicaciones prácticas y casos reales, como así también comentar los cambios operados en la norma IRAM-ISO 286: 2019 y desarrollar en esta obra todo lo concerniente a diseño de calibres por atributos, tanto lisos como roscados, y calibres funcionales.

Este libro pretende ser una guía para profesionales de la ingeniería, docentes universitarios, proyectistas, diseñadores industriales, matriceros, supervisores, mandos medios, metrólogos, personal de mantenimiento, de la industria en general, como también estudiantes de ingeniería y tecnicaturas universitarias relacionadas con esta temática. Personalmente, busco lograr que se transforme en un punto de partida para profundizar y complementar con otra bibliografía.

Acerca del autor

Marcelo Javier Iglesias es ingeniero mecánico (UTN) y especialista en Calidad Industrial (UNSAM) y en Docencia Universitaria (UTN). También *Quality Systems Manager* (EOQ e IN-DGQ), *Quality Auditor* (EOQ) y *Auditor* ISO 9000 (DGQ). Es evaluador de laboratorios de calibraciones y ensayos según ISO 25 (UKAS) y evaluador de sistemas de calidad de laboratorios (OAA). Además, es encargado de gestión ambiental (DGQ), facilitador (UTN Pacheco) y experto técnico (OAA), códigos: ensayos físicos y mecánicos, materiales caucho, mecánico, automotrices y neumáticos. Posee experiencia laboral como director de laboratorios; metrólogo dimensional; laboratorista de ensayos mecánicos; consultor industrial y metrológico; auditor de sistemas de gestión; investigador universitario; evaluador de laboratorios e implementador de sistemas de gestión según normas ISO 9001, ISO/IEC 17025 e IATF 16949. También posee experiencia en innovación e industria 4.0. Es evaluador internacional de pares en metrología dimensional y docente universitario de Metrología, Sistemas Metrológicos, Ensayos y Metrología e Ingeniería de Calidad (UTN Pacheco). Es director general de LABTEC-FRGP y consejero titular del Departamento de Ingeniería Mecánica (UTN-FRGP). Y es miembro del Comité de Dibujo Tecnológico de IRAM.

Agradecimientos

En primer lugar, a mi familia, mi esposa Ana, mis hijos Belén y Ariel.

A mis padres, Raquel y Salvador.

A mis maestros, Ing. Jorge Stella e Ing. Flavio Piotto, ambos de bendita memoria, a los que extraño mucho.

A los profesionales, técnicos y personal de INTI, en actividad y retirados, que complementaron mi formación como metrólogo, laboratorista y tecnólogo.

A mi maestro de GD&T, Ing. Jordi Sancho Ródenas.

A mi colega y experto en GD&T, Ing. David Ricardo Martínez Berber.

Al Ing. Jorge Álvarez por su aporte desde su paso por INTI a esta temática.

A los miembros del Grupo de Normalización sobre Dibujo Tecnológico, perteneciente a IRAM, del cual tengo el honor de ser miembro.

Al Ing. Joaquín Garat, Coordinador Técnico por IRAM, del Grupo de Normalización sobre Dibujo Tecnológico.

A las empresas Vaccaro Hnos. SAIC Instrumentos de precisión y Patagonia Tools, que apoyaron este proyecto de literatura científico-tecnológica.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Diseño mecánico

Del italiano *disegno*, la palabra *diseño* se refiere a un boceto, bosquejo o esquema que se realiza, ya sea mentalmente o en un soporte material, antes de concretar la producción de algo.

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda o necesidad humana.

El concepto de diseño suele utilizarse en el contexto de las artes, la arquitectura, la ingeniería y otras disciplinas.

Al diseñar, la persona que efectúa el diseño, es decir el diseñador, no solo tiene en cuenta aspectos estéticos, sino también cuestiones funcionales y técnicas. Esto exige a los diseñadores estudios, investigaciones y tareas de modelado que le permitan encontrar la mejor manera de desarrollar el objeto que pretenden crear.

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones, que algunas veces deben tomarse con muy poca información; en otras, con una cantidad informativa adecuada y en ocasiones, con exceso de información.

En todas las ramas de la ingeniería se puede indicar que el diseño es el proceso en el cual se utilizan principios científicos y métodos técnicos para llevar a cabo un plan que satisfaga cierta necesidad o demanda, entendiéndose por métodos técnicos, los matemáticos, computacionales, gráficos y de lenguaje común.

En general, en ingeniería, el diseño es la creación de planos y documentación relativa para que las máquinas, las estructuras, los sistemas o los procesos desarrollen las funciones deseadas.

En ingeniería, el *diseño mecánico* es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina o un producto para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades.

El diseño mecánico hace referencia al diseño de objetos o sistemas de naturaleza mecánica, es decir, piezas, estructuras, mecanismos, dispositivos, máquinas e instrumentos con fines diversos.

Se puede aseverar, entonces, que el diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. Para ello, utiliza la matemática, la ciencia de los materiales y la mecánica aplicada.

En cambio, el *diseño en ingeniería mecánica* incluye el diseño mecánico, pero es un estudio más amplio que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluyendo las ciencias térmicas y de los fluidos.

Algunos de los factores o consideraciones más importantes para tener en cuenta en el diseño son: resistencia, confiabilidad, propiedades térmicas, corrosión, desgaste, fricción, procesamiento, utilidad, costo, seguridad, peso, duración, ruido, estilización, forma, tamaño, flexibilidad, control, rigidez, acabado superficial, lubricación, mantenimiento, volumen y responsabilidad legal.

Algunos de estos factores se refieren a las dimensiones, al material, al proceso de fabricación, procesamiento y manufactura o bien a la unión o acople de los elementos del sistema. Otros se relacionan con su configuración total.

La figura 1.1 muestra el plano de una pieza, dibujado en un sistema CAD, donde se observa un conjunto de símbolos relacionados con los sistemas de representación, antiguamente denominado dibujo técnico y actualmente, dibujo tecnológico.

En este caso, los símbolos mencionados representan dimensiones, tolerancias geométricas y textura superficial.

Esta es la información que suministra el diseñador al jefe de fabricación, para que construya la pieza, y al metrólogo, para que la controle.

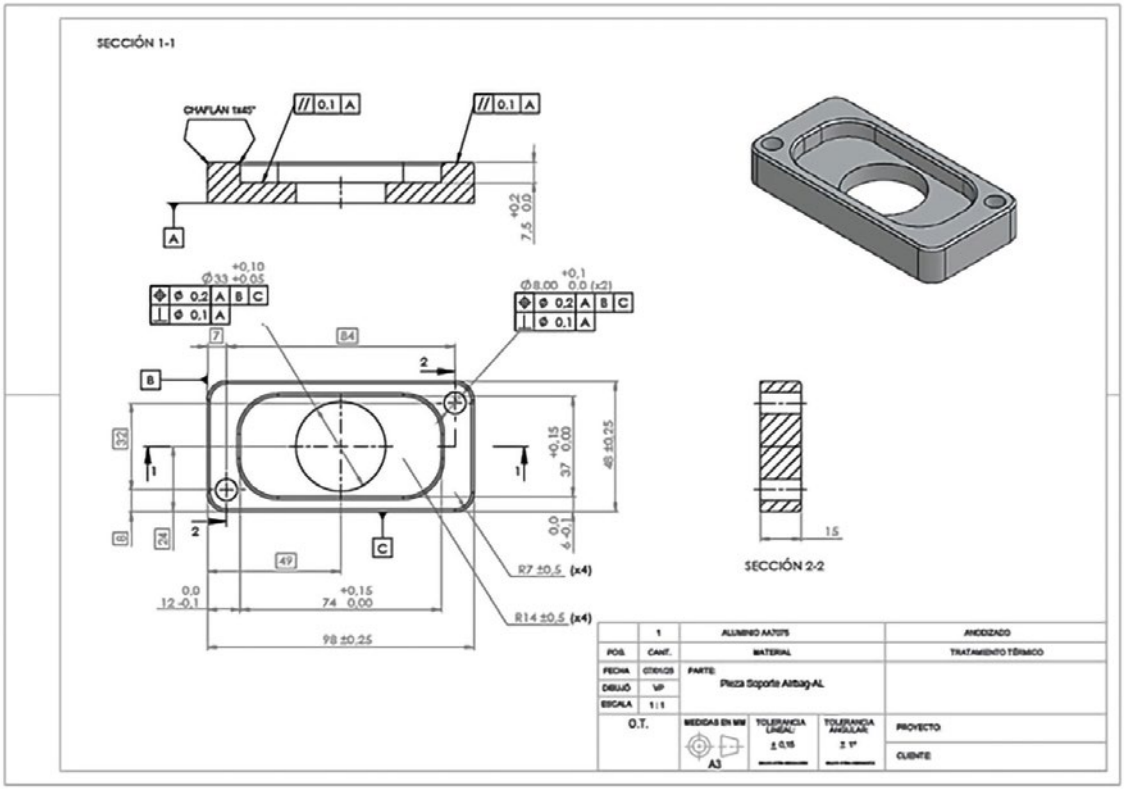


Fig. 1.1 Dibujo de una pieza en CAD

Es importante recordar como definía el término *inspección* la norma interna de Ford. En 1967, el estándar Q101 indicaba que la inspección "es la evaluación de piezas por medios visuales o empleando dispositivos de medición para determinar si están de acuerdo con las especificaciones de ingeniería, respecto de las características de apariencia, dimensión o funcionamiento".

A partir de lo expresado en el párrafo anterior, la finalidad de un laboratorio de metrología dimensional es comprobar que las piezas fabricadas cumplan las especificaciones de diseño.

1.2 Intercambiabilidad

Cuando se producen piezas en serie, por ejemplo, por un lado, se fabrica una gran cantidad de ejes por razones de economía y rapidez y, por el otro, se deben elaborar los bujes para esos ejes. Tanto unos como los otros deberán cumplir ciertos requisitos, a fin de que, al acoplarlos entre sí, puedan funcionar indistintamente del eje y del buje que se acoplen. En consecuencia, se puede manifestar que el criterio fundamental sobre el

que se basa la industria moderna es, como ya se indicó, la producción en serie, es decir, la fabricación de piezas de igual forma y dimensión en grandes cantidades, con la característica adicional de su intercambiabilidad.

La *intercambiabilidad* es la fabricación de piezas casi iguales, que pueden sustituirse sin adaptación (ajuste) en cualquier parte y lugar. Inicialmente, se aplicó en los fusiles que se fabricaban en Francia para los ejércitos de Napoleón, con lo cual, el ejército francés logró una importante ventaja tecnológica al poder reutilizarlos, cambiando los componentes averiados. Pero su origen puede remontarse a la fabricación de ballestas por parte de los chinos, producidas sobre la base de este principio, aproximadamente, entre los siglos II y IV a. C.

En 1908, con su modelo *T*, Henry Ford había alcanzado dos objetivos: en primer término, diseñar un automóvil en serie y, en segundo lugar, que fuera de fácil manejo y uso. Prácticamente, cualquiera podía manejarlo y repararlo sin utilizar un chofer o un mecánico especializado. Estos dos logros cimentaron las bases para un cambio revolucionario, que ha transformado las dimensiones de la industria automotriz.

La clave de la producción masiva no es, en sí, la línea de montaje, como la mayoría considera. Por el contrario, el concepto de intercambiabilidad de piezas y la facilidad de acople de unas con otras son los elementos que hicieron posible la fabricación en serie.

Esta evolución conceptual, la intercambiabilidad de piezas y la simplicidad en el ensamble, le dieron a Ford grandes ventajas sobre sus competidores. Para empezar, no requería ajustadores expertos, como en el caso de los fabricantes artesanales, sino, por el contrario, necesitaba ensambladores con mínima experiencia y capacitación. En consecuencia, una mano de obra menos calificada y, por ende, más barata.

Estrechamente ligada a la producción en serie, que permite grandes producciones con reducción del costo unitario, está la fabricación de piezas de recambio. Es decir, piezas que sustituyan, en un conjunto, mecanismo o máquina dados, los elementos originales rotos o desgastados. A las piezas de recambio se las suele llamar *de reposición* y forman parte de lo que se suele denominar *mercado de reposición* o *repuesto*, a diferencia de la pieza *original* de fábrica, perteneciente al *mercado de originales*, como se lo denomina habitualmente.

Teóricamente, para alcanzar la intercambiabilidad, sería necesario que las piezas a ensamblar tuvieran exactamente las mismas dimensiones. Como esto es imposible en la práctica, se admite siempre una cierta incertidumbre de medición. De modo que, para lograr que las piezas sean realmente intercambiables, bastará que sus dimensiones estén comprendidas entre valores límite, un máximo y un mínimo fijados sobre la base de las condiciones de uso, el grado de precisión requerido y las cotas nominales señaladas en los planos. Cuando no queden satisfechas estas condiciones, la pieza se considerará rechazada.

En un sentido más amplio, la intercambiabilidad está basada, además, en la tipificación y normalización de materiales, tolerancias, tratamientos térmicos, controles de dimensión y de calidad y diseños, entre otros factores, permitiendo, por todo ello, la especialización estricta de las industrias modernas, posibilitando su producción –en distintas fábricas o talleres, de diversas ciudades y en diferentes países– de piezas y mecanismos, que integrarán una máquina montada en otro u otros establecimientos industriales, independientes de los anteriores. El denominador común es la normalización. Un ejemplo típico es el de la fabricación de automóviles con todas sus industrias derivadas y dependientes en su producción.

Como corolario de todo lo expuesto, se puede decir que, para preparar una producción determinada, el ingeniero mecánico debe conocer, en todos sus detalles, lo siguiente:

- Las materias primas, su normalización y racionalización (tamaños, formas y/o tipos disponibles)
- Los sistemas de dimensionamiento, ajustes y tolerancias requeridos en la técnica y su normalización para piezas y calibres
- Las máquinas-herramientas en que deberá ejecutarse cada operación del proceso de manufactura
- Las instalaciones complementarias necesarias

Deberán complementarse con conocimientos de estadística y control de calidad: el conocimiento de todas las posibilidades de medición con instrumentos y equipos de metrología; su uso racional en la preparación del utillaje y dispositivos auxiliares necesarios; y la verificación de los calibres de límites (*pasa/no pasa*) normales y especiales que se necesitan para la producción.

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, se puede señalar que, por ejemplo, la fabricación de máquinas en serie precisa que las piezas que las componen, construidas conjunta o independientemente, puedan montarse sin necesidad de un trabajo previo de ajuste, al igual que las piezas desgastadas o deterioradas, para que puedan sustituirse por otras de fabricación en serie, considerando que esta sustitución pueda efectuarse lejos de su lugar de fabricación. En definitiva, en esto radica el *principio de intercambiabilidad*.

Para conseguir este principio, es necesario definir las normas de tolerancias dimensionales y geométricas, que son complementarias a las normas de representación y acotación.

Las *tolerancias dimensionales* son las que actúan sobre las medidas y las *tolerancias geométricas* son las que afectan la forma o la posición de las superficies, ejes o aristas de las piezas. Entendiéndose por *tolerancia*, la diferencia entre las medidas límite máxima y mínima.

La metrología actual debió adaptarse a las condiciones de un comercio internacional creciente. Cada vez es más común que en la fabricación de un producto, por ejemplo, se empleen piezas o partes producidas en países diferentes.

La producción de los diversos componentes debe ser dimensionalmente homogénea, de modo tal que estos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, plantas, empresas o, incluso, en diferentes países.

La fabricación intercambiable se ha obtenido mediante la aplicación de tolerancias y juegos o apriete para establecer el ajuste deseado. En otras palabras, mediante la definición de medidas límite de las piezas de acoplamiento.

La intercambiabilidad de partes exige que la totalidad de las piezas fabricadas para ser ensambladas con otras estén dimensionadas en forma tal que cualquiera y cada una de ellas calce en cualquiera y cada una de las asignadas. La forma de lograrlo en la etapa de diseño está en el dimensionamiento adecuado de las tolerancias o límites dimensionales de especificación.

La característica principal de la producción mecánica moderna es la fabricación de piezas en serie, también llamada *en masa* o *en forma masiva*, ya que se busca obtener gran cantidad de piezas de un mismo tipo. Esto permite que los distintos elementos o partes de un conjunto mecánico puedan ser fabricados en diferentes establecimientos de un mismo país o incluso de otros países. Estos elementos deben ser ensamblados entre sí sin dificultad. Para que ello sea posible, se ha establecido el *principio de intercambiabilidad*, que determina que todas las piezas de una misma clase y tipo deben tener las mismas formas y dimensiones, de tal manera que, por ejemplo, un eje cualquiera, tomado al azar de un conjunto, se acople sin dificultad y en las condiciones prefijadas a un buje, también tomado al azar de otro conjunto.

El croquis de la figura 1.2 muestra el avión europeo Airbus, cuyas partes son fabricadas en diversos países: Estados Unidos, Inglaterra, España, Italia y Alemania. Allí se identifican las piezas o componentes que fabrica cada país.

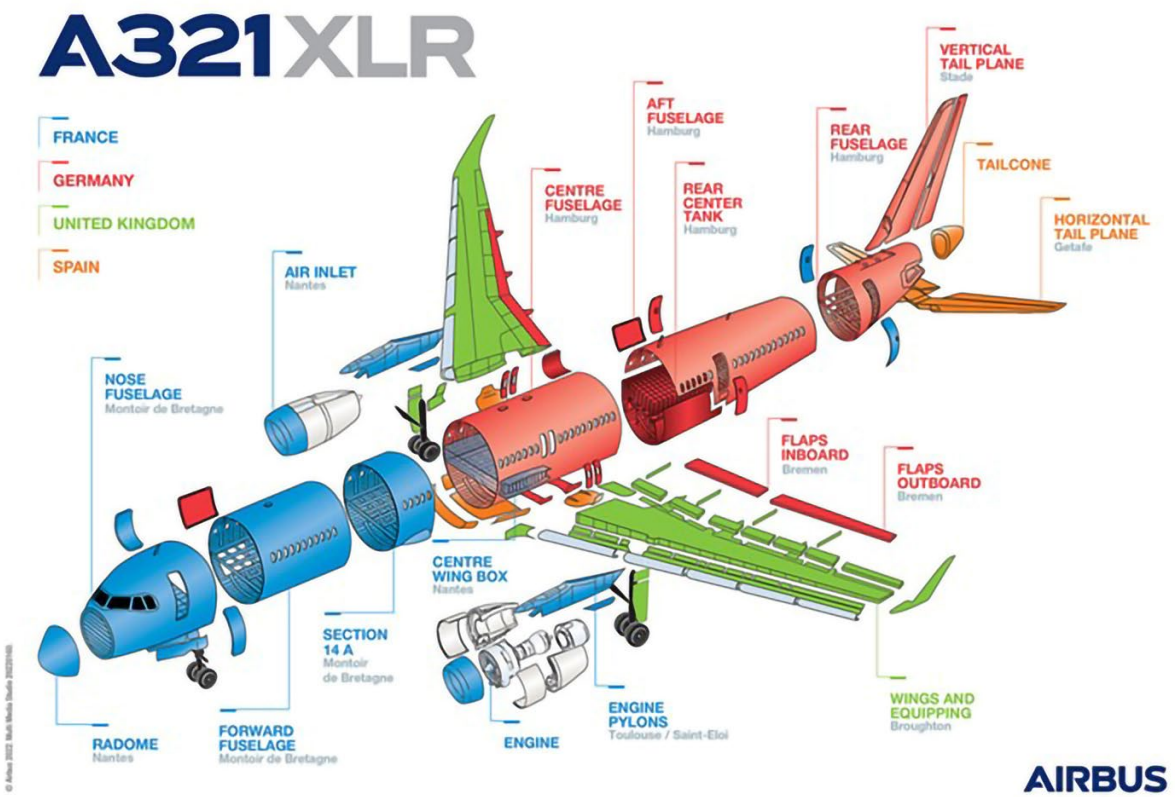


Fig. 1.2 Intercambiabilidad

Para que el avión pueda despegar, volar y aterrizar sin caerse, es necesario que las piezas puedan ensamblarse bien, y para esto, entre otras exigencias, deben ser fabricadas con una base metrológica común.

En otras palabras, es imprescindible que una longitud de un milímetro en Francia sea lo mismo que un milímetro en Italia, Argentina, Brasil o Japón.

Se llaman piezas intercambiables aquellas que pueden ser reemplazadas directamente sin ningún ajuste posterior y sin que ello influya en el funcionamiento del mecanismo.

A partir de todo lo desarrollado hasta aquí, se puede manifestar que el continuo avance de la ciencia y la tecnología de fabricación exige mecanismos cada vez más precisos y a costos razonables; ello trae aparejado un aumento de la calidad de la producción y una mejora en el rendimiento de los procesos industriales. Estos dos aspectos se hallan firmemente asociados a la intercambiabilidad de piezas, ya que, sin su concurso, poco de lo anterior se puede realizar, pues hay que tener presente que, en general, se está hablando de procesos en los que interviene un conjunto de piezas para integrar una máquina o un mecanismo, y no de elementos aislados.

Los diversos elementos que componen una máquina o partes de esta se hallan vinculados de maneras preestablecida y deben realizar movimientos determinados, como ser el de rotación o de desplazamiento. En otros casos, deben mantener una relativa posición, invariable a través del tiempo, con el fin de asegurar la rigidez del vínculo que realizan.

Se pueden establecer dos grandes grupos de vinculaciones: las fijas y las móviles (Figura 1.3).

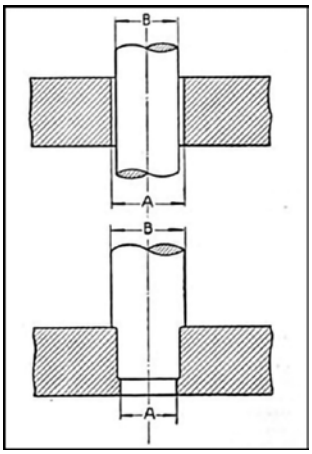


Fig. 1.3 Tipos de vinculaciones. Juegos o aprietes

Es evidente que el eje B de la figura 1.3 podrá ser introducido con juego en el agujero A, cuando el diámetro del agujero sea mayor que el diámetro del eje.

En el caso de ser el diámetro del eje mayor que el del agujero, se tendrá un ajuste con apriete. Debido a la introducción del eje en el agujero, ambas piezas se deformarán, obteniéndose una vinculación fija. Al respecto, se debe aclarar que el carácter de la unión de las piezas debe permanecer constante, a pesar de las variaciones que puedan ocurrir producto de las condiciones de trabajo, como ser variaciones de esfuerzos, de velocidades de rotación o de temperatura.

La unión fija o móvil del árbol con el agujero puede obtenerse mediante la aplicación de desviaciones en las dimensiones del diámetro del eje y del agujero, las que se toman respecto a la llamada dimensión nominal de la unión, que es la que se indica en los planos.

Cada uno de los vínculos proyectados de esta manera puede tener distintas calidades de acabado o, mejor dicho, de textura superficial. Antiguamente, existía la tendencia de mantener la dimensión nominal con la mayor precisión posible y en forma independiente de la función que cumple el mecanismo. Esto dio motivo a que la elaboración fuera excesiva e innecesariamente costosa e hizo imprescindible la utilización de mano de obra calificada; más aún, la realización de dos vínculos iguales no arrojaba el mismo ajuste, por la inevitable variación que introduce el acabado manual. Pero había algo que era mucho más grave que todo eso y consistía en el hecho de que las piezas integrantes de mecanismos construidos de tal manera no podían ser directamente reemplazadas sin previo ajuste, de ahí la importancia del rol del ajustador, como trabajador calificado. De lo expuesto, surge la consideración de la imposibilidad de tener piezas de repuesto para un rápido intercambio.

El proyectista debe fijar de antemano las desviaciones de las dimensiones nominales de las piezas a fabricar y prever los límites de tolerancias admisibles durante la ejecución, compatibles con la naturaleza y características de funcionamiento de la vinculación, la posibilidad de su realización en función de las máquinas disponibles, instrumentos y equipos de medición.

De este modo, se posibilita la tarea de fabricación y montaje de piezas de una manera racional, realizada por operarios, incluso poco calificados.

A partir de todo lo expuesto, las piezas intercambiables son aquellas que pueden ser reemplazadas directamente, sin ningún ajuste posterior ni influencia en el funcionamiento del mecanismo.

La intercambiabilidad es de capital importancia para el usuario de una máquina, ya que posibilita el recambio rápido de la pieza a un costo relativamente bajo y con mano de obra corriente.

1.3 Etapas del diseño mecánico

Las etapas del diseño mecánico se detallan en la figura 1.4.

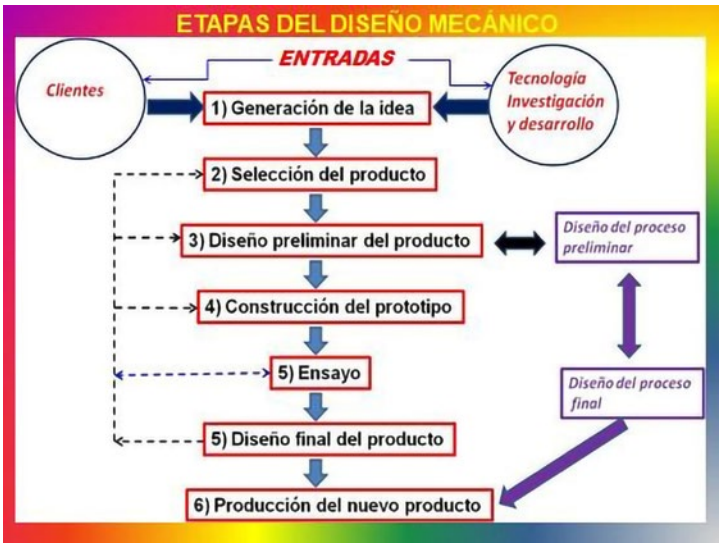


Fig. 1.4 Etapas del diseño mecánico

A continuación, se mostrará un ejemplo de las etapas de diseño aplicado a un embrague.

El embrague es un mecanismo que está presente en automóviles, motocicletas y en todas aquellas máquinas que tengan varias velocidades de funcionamiento que se seleccionen por medio de una caja de cambios. Permite acoplar o desacoplar el eje del cambio de velocidades de un vehículo al movimiento del motor y se puede aplicar en vehículos o en máquinas.

El embrague es un sistema que permite tanto transmitir como interrumpir la transmisión de una energía mecánica a su acción final de manera voluntaria. En un automóvil, por ejemplo, le permite al conductor controlar la transmisión del par motor desde el motor hacia las ruedas.

Se trata de un elemento mecánico que transmite la potencia del motor a la propia caja de cambios del vehículo y permite que, de forma manual, se pueda separar o unir el giro del motor del automóvil a la transmisión, liberando así el movimiento hacia las ruedas motrices si en ese momento hay una marcha engranada.

La figura 1.5 muestra un embrague, sus partes y los tipos: a resorte o a diafragma.

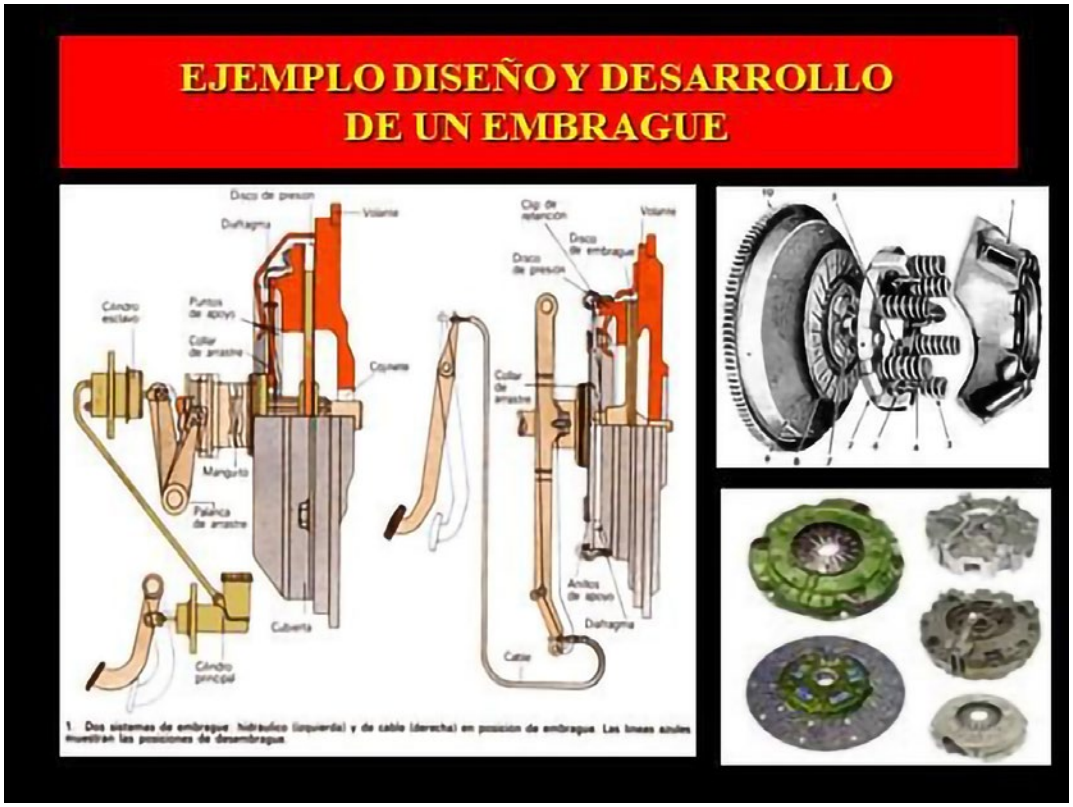


Fig. 1.5 Diseño de un embrague

Las etapas del diseño de un embrague son indicadas en la figura 1.6, exhibida a continuación.



Fig. 1.6 Etapas del diseño y desarrollo de un embrague

1.4 Documentos de ingeniería

Los documentos básicos que definen a un producto son:

- Planos
- Listas de materiales
- Especificaciones técnicas

Planos

Son documentos que representan al producto completamente definido desde la materia prima hasta las dimensiones finales.

Dependiendo de su naturaleza, los planos proporcionan distinta información: si son de tipo representativo, definen formas y dimensiones; si son simbólicos, especifican la función y sistematización de cada elemento.

Un *plano o dibujo de ingeniería* es un documento que comunica una descripción precisa de la parte, pieza o componente a fabricar. Esta descripción consiste en dibujos, palabras, números y símbolos. Juntos, estos elementos proveen información de la pieza producto a todos los usuarios del plano.

La información del dibujo de ingeniería incluye: geometría (configuración, tamaño y forma de la parte), relaciones críticas de funcionamiento, tolerancias permisibles para un funcionamiento apropiado, material, tratamiento térmico, recubrimientos de la parte e información de documentación (número de parte, nivel de revisión).

El plano de fabricación es un documento que contiene todos los elementos técnicos necesarios y suficientes para identificar y fabricar una pieza, dentro de estos elementos se pueden citar: rótulo, formato, lista de materiales, escala, vistas, acotamiento dimensional, tolerancias dimensionales, indicación de las tolerancias geométricas e indicación del acabado o textura superficial.

La *dimensión o cota* es un valor numérico expresado en unidades apropiadas para definir el tamaño, la orientación y la forma u otra característica geométrica de la parte o pieza a fabricar o montar.

La *tolerancia* es la diferencia entre los límites máximo y mínimo de una especificación, establecidos por el diseñador.

Los planos y otros documentos de ingeniería no solo deben comunicar en forma precisa (por ejemplo, las especificaciones), sino también deben ser correctos. Un error en el dibujo o en una especificación puede resultar muy costoso para la empresa u organización.

Dentro del grupo de los planos representativos existen dos tipos:

- Planos de componentes
- Planos de subconjuntos y conjuntos

Los *planos de componentes* representan cada parte, dibujándola en el sistema de proyección que se adopte y acotándolo coherentemente con el proceso de fabricación elegido. En cambio, los *planos de subconjuntos y conjuntos* muestran los pasos intermedios del montaje hasta llegar al conjunto final, acotando las dimensiones con sus tolerancias, que se deben verificar en las distintas etapas de ensamblado del producto.

Los *planos simbólicos* son aquellos que informan sobre la función y sistematización de los elementos que componen un producto o dispositivo.

Algunos ejemplos de aplicación de planos simbólicos son:

- Circuitos electrónicos
- Circuitos eléctricos
- Circuitos neumáticos
- Circuitos hidráulicos
- Procesos químicos
- Otros

Lista de materiales

La lista de materiales es el documento de ingeniería que da el tipo y cantidad de cada uno de los materiales necesarios para fabricar el producto.

Enumera todos los materiales que intervienen en forma *directa* en la fabricación de un producto, incluyendo mermas, pérdidas o desperdicios (aparezcan o no en el producto final).

La lista de materiales contiene los siguientes ítems:

- Descripción del material (en lo posible, por medio de un símbolo)
- Unidad en que se mide
- Cantidad neta que aparece en el producto terminado
- Porcentaje de desperdicios, mermas y rechazos
- Cantidad total a comprar
- Adquisición de terceros
- Número de plano que representa la pieza (que puede coincidir o no)

Especificación técnica

Es el documento de ingeniería que establece las condiciones que debe cumplir un material, un producto o servicio para ser considerado apto.

Para cada característica establece valores límite deseados o límites admisibles.

También se puede afirmar que una *especificación* es el documento que tiene por objeto definir la calidad de los productos, es decir, establecer las exigencias significativas de calidad y de comprobación o control. Por lo tanto, especificar es definir la calidad por métodos reproducibles y comparables.

De las especificaciones surgen valores límite, llamados *límites de especificación*, establecidos para la característica considerada.

Generalmente, se definen dos límites de especificación: el superior y el inferior.

Una pieza o producto será aceptable si su medida real no sobrepasa los límites especificados en valores numéricos, mediante símbolos en los dibujos (planos, croquis, etc.) o en hojas escritas (documentos, especificaciones, etcétera).

En cambio, cuando no cumple la especificación es porque su medida real excede dichos límites, entonces se define el *producto defectuoso* como aquel que no cumple con algunos de los requisitos establecidos en la especificación.

Se pueden mencionar algunos ejemplos de especificaciones, como ser especificaciones de materias primas, fabricación, tratamientos térmicos o funcionales y embalajes, entre otras.

Antiguamente, la *especificación* era una relación de parámetros técnicos de diseño; hoy se entiende como el conjunto de atributos que debe tener el producto para satisfacer las necesidades del cliente.

Capítulo 2

Tolerancias

2.1. Concepto y definición de tolerancia

A la hora de fabricar piezas mecánicas, es inevitable encontrarse con una cierta distribución de medidas. Es muy difícil que dos piezas sean exactamente iguales, debido a pequeñas irregularidades durante el proceso de mecanizado, al desgaste de las herramientas de corte o a las vibraciones de las máquinas, entre otras causas.

Dependiendo del tipo de aplicación que vaya a tener la pieza y de sus condiciones de servicio, se debe decidir qué intervalos de medida van a ser aceptables y cuáles no. Es decir, definir los límites máximo y mínimo, fuera de los cuales la pieza ya no va a ser admisible. Cuanto menor sea la distancia comprendida entre los dos límites aceptables, mayor precisión se requerirá en la fabricación de las piezas.

Para que una pieza acople y funcione adecuadamente debe tener acotadas sus:

- Dimensiones nominales
- Tolerancias de dimensionales
- Tolerancias geométricas
- Tolerancias de textura superficial

La *tolerancia* es la cantidad total que le es permitido variar a una dimensión especificada, donde es la diferencia entre los límites superior e inferior de una especificación.

La *dimensión especificada* es la dimensión deseada, llamada *dimensión nominal*.

Se la puede también definir como la diferencia entre el límite superior menos el límite inferior de la especificación. Matemáticamente, como:

$$T = LSE - LSI$$

Donde:

T = tolerancia

LSE = límite superior de la especificación

LIE = límite inferior de la especificación

Otra forma de definir a la tolerancia es como la variación admisible del valor de una dimensión o la diferencia entre la dimensión máxima y la mínima.

El proyectista o diseñador es quien determina, decide o asigna, de acuerdo con una necesidad específica, cuáles son las medidas máximas y mínimas. Estas dimensiones de las piezas se establecen para una temperatura de 20º C, denominada en metrología dimensional como *temperatura de referencia*.

De este comentario se concluye que las cotas que figuran en un plano y sus tolerancias están fijadas a 20º C. De manera tal que, si se mide en producción la pieza a 45º C, deberá efectuarse la corrección

por temperatura a 20º C, para poder, de este modo, comparar el valor medido con el de la cota del plano, de lo contrario se rechazarán piezas buenas o se aceptarán piezas malas por no haber efectuado la corrección por temperatura mencionada.

La norma ASME Y 14.5-2018 define a la tolerancia (Tolerance, 3.62) como:

> Es la cantidad total que le es permitido variar a una dimensión especificada.
> La tolerancia es la diferencia entre los límites máximo y mínimo.

La figura 2.1 es una interpretación gráfica de la definición de tolerancia, la misma indica que el producto se encuentra aceptado si y solo si el resultado de la medición conformado por un parámetro de posición, en este caso el promedio y otro de dispersión, la incertidumbre de medición se encuentra dentro de los límites especificados.

Del gráfico de la figura 2.1 también se infiere que la diferencia entre los límites superior e inferior de la especificación es la tolerancia.

Es importante precisar que el resultado de una medición no es solo un valor, sino un rango disperso de valores, todos ellos compatibles con las observaciones y el conocimiento previo, de modo que se puede establecer que la incertidumbre de medición es un parámetro, asociado al resultado de la medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente asignados al mesurando.

Otro aspecto por analizar en el gráfico es que, para aceptar o rechazar un producto, no se puede hacer solo a partir del valor medido, sino hay que contemplar también la incertidumbre de medición y comparar este rango disperso de valores con los límites de la tolerancia, pero para llegar a ese nivel de análisis, el personal de la empresa debe tener una sólida formación estadística, específicamente, en incertidumbre de medición.

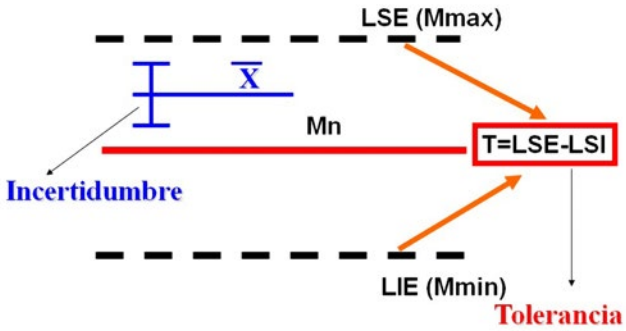


Fig. 2.1 Interpretación gráfica de la definición de tolerancia

Para juzgar o evaluar la conformidad, con el objeto de poder tomar la decisión de si una pieza está fuera o dentro de especificación, tradicionalmente se lo hacía teniendo en cuenta solamente un parámetro de posición, como, por ejemplo, habitualmente el valor promedio de la medición. Sin embargo, lo correcto es considerar la incertidumbre de la medición, lo que reduce la zona de especificación y el expresar el resultado de medición contemplando a la misma, en calidad de parámetro de dispersión.

Para evaluar la conformidad, se deberían seguir los criterios la norma ISO 14253-1:2017[1] u otras similares, los que se explicitan gráficamente en la figura 2.2.

1 ISO 14253-1:2017 Geometrical Product Specifications (GPS). Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications.

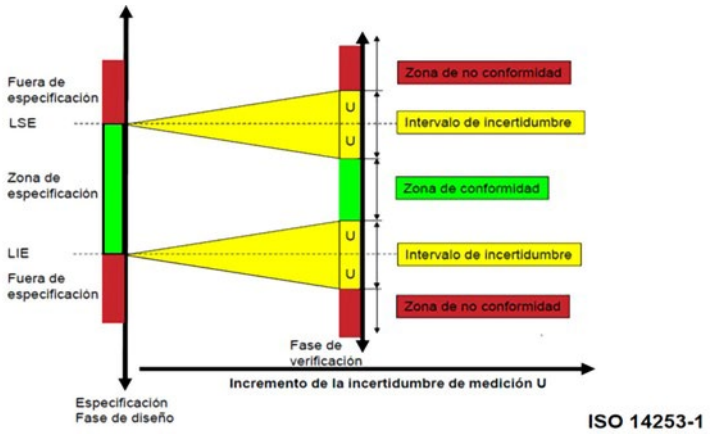


Fig. 2.2 Evaluación de la conformidad

En la figura 2.2 se representa en verde la zona de conformidad. En las zonas de color rojo se ubican piezas que quedan fuera de especificación y en las de color amarillo, las dudosas, donde pueden encontrarse piezas buenas o malas. Esta es la importancia de expresar correctamente el resultado de la medición.

El concepto tradicional se ilustra en la parte izquierda de la figura 2.2, que corresponde a la fase de diseño. El actual, fase de medición, reduce la zona de tolerancia en un valor equivalente al de la incertidumbre de la medición, mientras que la zona de conformidad, como se puede apreciar a la derecha de la figura 2.2, se reduce conforme se va incrementando el valor de incertidumbre.

2.2 Clasificación de las tolerancias

Es importante destacar que los errores producto de la fabricación son de tipo dimensional, geométricos y de textura superficial. Para poder controlarlos, el proyectista debe definir o establecer tolerancias dimensionales, geométricas y de textura superficial como se detalla en la figura 2.3.

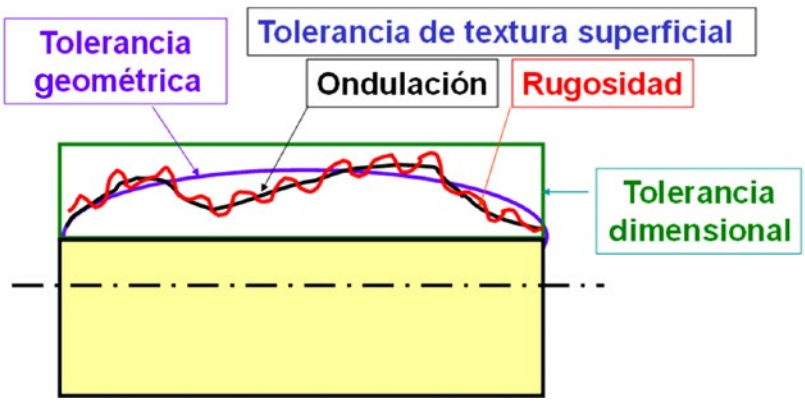


Fig. 2.3 Tipos de tolerancias

Surge del análisis de la figura 2.3 que las tolerancias se clasifican en:

- Tolerancias dimensionales
- Tolerancias geométricas
- Tolerancias de textura superficial

En este texto solo se abordará en profundidad lo relativo a las tolerancias dimensionales, pero se explicarán, breve y conceptualmente, las geométricas y de textura superficial.

Se puede definir a la *tolerancia dimensional* como la cantidad total que es permitido variar en la fabricación o una dimensión especificada en el plano según la cota nominal.

Dentro del grupo de las tolerancias dimensionales, existen las que son indicadas en el cuadro de la figura 2.4, con sus ejemplos correspondientes.

TOLERANCIA	EJEMPLOS
SIMÉTRICA	$40{,}7 \pm 0{,}1$
BILATERAL	$40{,}7\ ^{+0{,}15}_{-0{,}05}$
UNILATERAL	$40{,}7^{+0{,}15}_{+0{,}05}$ $40{,}7^{-0{,}05}_{-0{,}15}$ $40{,}7^{+0{,}03}_{0}$

Fig. 2.4 Tipos de tolerancias dimensionales

La *tolerancia simétrica* es la que le asigna al valor nominal o valor meta una expresión más/menos. El número que va con el más/menos es la *semitolerancia*. En este caso, los valores límite máximo y mínimo serán 40,8 mm y 40,6 mm, respectivamente. En consecuencia, la tolerancia es de 0,2 mm y no de 0,1 mm, como muchos confunden, ya que 0,1 mm es la semitolerancia o tolerancia dividida en 2. Es decir, T = 0,2 mm, entonces T/2 = 0,1 mm.

En cambio, la *tolerancia bilateral* suma o resta un valor no simétrico. En este caso, el límite superior es 40,85 mm y el inferior 40,65 mm, siendo la tolerancia de 0,20 mm.

La *tolerancia unilateral* tiene como característica que sus límites no son simétricos. Pero sí del mismo signo. Si se toma como ejemplo el primer caso de la figura 2.4, queda que el límite superior es de 40,85 mm y el inferior de 40,75 mm, siendo la tolerancia, en este caso, de 0,10 mm.

En determinadas ocasiones, como, por ejemplo, mecanismos muy precisos, piezas de grandes dimensiones, etc., la especificación de tolerancias dimensionales puede no ser suficiente para asegurar un correcto montaje y funcionamiento de los mecanismos.

Una pieza puede ser correcta desde un punto de vista dimensional (con diámetros de las secciones dentro de tolerancia) y no ser apta para el montaje.

En la fabricación de un producto se producen irregularidades geométricas, que pueden afectar la forma, posición y orientación de los diferentes componentes de una pieza, como se pone de manifiesto en la figura 2.5.

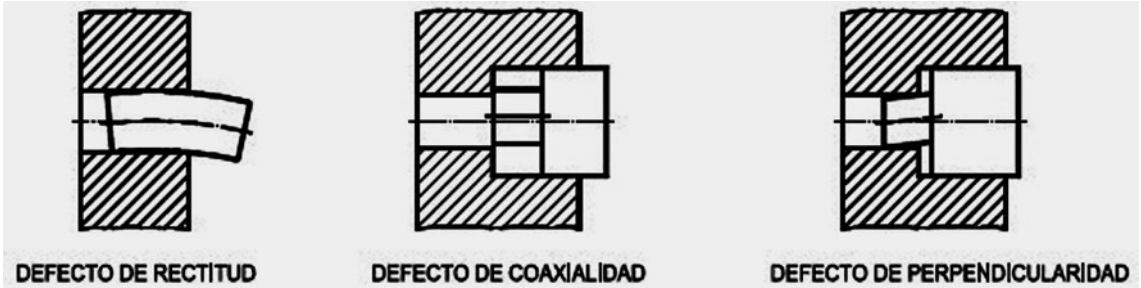


Fig. 2.5 Irregularidades geométricas

La figura 2.5 muestra que la pieza cilíndrica montada podría tener algunos de los defectos mostrados como ejemplo. Podría contener un error de rectitud en su eje o uno de coaxialidad, es decir, falta de coincidencia del eje de la pieza cilíndrica con el eje de su contraparte, el agujero. Otro error geométrico es la falta de perpendicularidad de la pieza cilíndrica cuando se la acopla a su contraparte.

La aplicación de tolerancias geométricas evita colocar, en los planos, observaciones tales como "superficies planas y paralelas", evitando de este modo la evidente dificultad de interpretación cuantitativa que conllevan.

Las *tolerancias geométricas* se especifican solamente en aquellos requisitos que afectan a la funcionalidad, intercambiabilidad y posibles cuestiones relacionadas a la fabricación, pues de lo contrario los costos de fabricación y verificación sufrirían un aumento innecesario.

Las tolerancias geométricas se expresan por medio del cuadro de control. A través de la figura 2.6 se brinda un ejemplo.

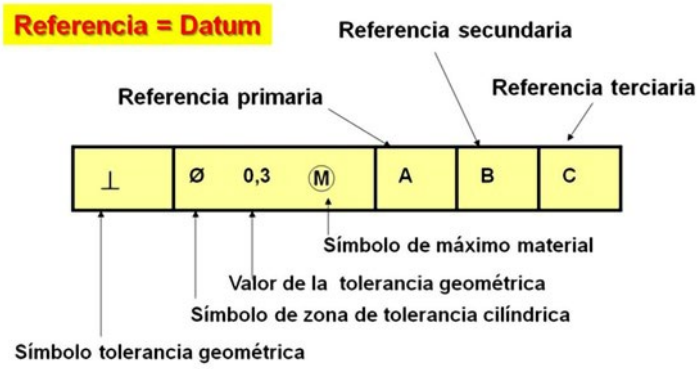


Fig. 2.6 Cuadro de control

Básicamente, el cuadro de control muestra el símbolo de la tolerancia, la tolerancia con sus características (en los casos en que corresponda) y los *datum* o referencias, que representan la forma de fijar la pieza.

La figura 2.7 resume el concepto de tolerancia geométrica como la comparación de una forma geométricamente pura o ideal, establecida por el proyectista en el plano, y la forma real, como resultado de la fabricación de la pieza, verificada por el metrólogo o el inspector de calidad.

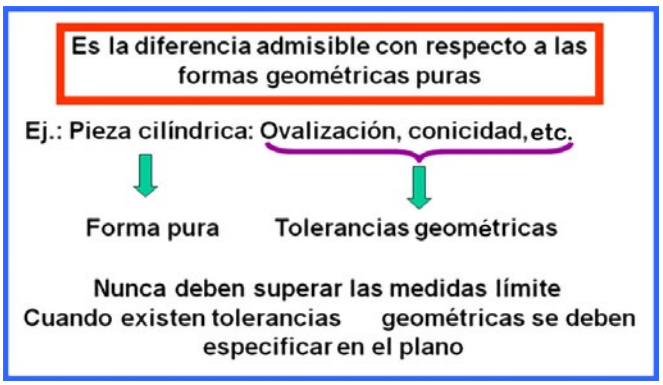


Fig. 2.7 Tolerancia geométrica

En la figura 2.8 se exponen los tipos de tolerancias geométricas, sus características y símbolos.

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERISTICAS	SIMBOLO
Forma	Rectitud	
	Planicidad	
	Redondez	
	Cilindricidad	
	Forma de una linea	
	Forma de una superficie	
Orientación	Paralelismo	
	Perpendicularidad	
	Inclinación	
Situación (Localización o Ubicación)	Posición	
	Concentricidad y Coaxialidad	
	Simetría	
Oscilación (Cabeceo o Runout)	Circular	
	Total	

Fig. 2.8 Símbolos de tolerancias geométricas

Existen dos tipos errores en una superficie, los macro-geométricos y los micro-geométricos.

Los *macro-geométricos* son errores geométricos asociados con la variación en tamaño de una pieza, paralelismo entre superficies, planitud de una superficie, conicidad, cilindricidad, redondez, entre otros, y son medidos con instrumentos convencionales.

Los errores *micro-geométricos* son la ondulación y la rugosidad, ambas conforman la textura superficial o acabado superficial y se miden con un equipo llamado rugosímetro.

La ondulación puede ser ocasionada por la flexión de la pieza durante el mecanizado, la falta de homogeneidad del material, la liberación de esfuerzos residuales, deformaciones por tratamientos térmicos, vibraciones, entre otras causas. En cambio, la rugosidad es provocada por la herramienta de corte o la piedra de rectificado. Se podría decir, en forma simplificada, que la rugosidad son las huellas o rayas del mecanizado.

Capítulo 3

Ajustes y tolerancias

3.1. Intercambiabilidad, concepto de ajuste y normas

En un principio, el acabado de piezas que ensamblan se lograba mediante prueba y error hasta obtener el ajuste adecuado. En la actualidad, las crecientes necesidades de intercambiabilidad y producción de grandes volúmenes imponen un análisis cuidadoso para lograr, desde el diseño, la eliminación de problemas de ensamble.

Como ya se expresó, la intercambiabilidad es la fabricación de piezas casi exactamente iguales que pueden sustituirse sin adaptación (ajuste) en cualquier parte y lugar.

La fabricación intercambiable se obtiene mediante la aplicación de tolerancias y juegos o aprietes para establecer el ajuste deseado.

También se ha indicado que la intercambiabilidad de partes exige que, para ser ensambladas con otras, la totalidad de las piezas fabricadas deben estar dimensionadas de tal forma que cada pieza calce en cualquiera de las asignadas. La forma de lograrlo en la etapa de diseño se encuentra sujeta al dimensionamiento adecuado de las tolerancias o límites dimensionales de especificación.

La característica principal de la producción mecánica moderna es la fabricación de piezas en serie, también llamada en masa o en forma masiva, ya que se busca obtener gran cantidad de piezas de un mismo tipo. Ello provocó que los distintos elementos o partes de un conjunto mecánico puedan ser fabricados en distintos establecimientos de un mismo país o incluso de distintos países. Para que estos elementos puedan ser ensamblados entre sí sin dificultad, se estableció el *principio de intercambiabilidad*, que establece que todas las piezas de una misma clase y tipo deben tener las mismas formas y dimensiones, de tal manera que, por ejemplo, un eje cualquiera, tomado al azar de un conjunto, se acople sin dificultad y en las condiciones prefijadas a un buje, también tomado al azar de otro conjunto.

La forma de lograr este objetivo en el diseño de una pieza es asignar correctamente los ajustes y tolerancias pertinentes.

Para poder cumplir con el principio de intercambiabilidad, surge el concepto de *tolerancia* aplicado a los procesos de fabricación, siendo necesario definir las llamadas normas de tolerancias dimensionales y geométricas, que son normas complementarias a las de representación y acotación.

El *ajuste* es el acoplamiento entre dos piezas, un eje y un agujero, ambas de la misma medida nominal. Es la relación existente entre dos piezas que van montadas, una dentro de la otra.

Generalmente, el ajuste se realiza entre una pieza que debe penetrar en otra (macho) y una pieza que debe ser penetrada por la primera (hembra). Estas piezas reciben el nombre de eje (macho) y de agujero (hembra).

En definitiva, la fabricación intercambiable se ha obtenido mediante la aplicación de tolerancias y juegos o aprietes para establecer el ajuste deseado; en otras palabras, mediante la definición de medidas límite de las piezas de acoplamiento.

Existen varias normas sobre ajustes y tolerancias, que se citan a continuación:

- ISO 286
- IRAM-ISO 286
- DIN EN ISO 286
- JIS B 0405
- ASME B4.1
- ANSI B4.2
- Otras

3.2 Definiciones

En esta sección se expondrán algunas definiciones que permitirán comprender mejor el tema a desarrollar.

Cabe aclarar que las definiciones que se brindarán son aplicables a piezas de cualquier forma. Para mayor simplicidad, y dada la importancia de las piezas de sección circular, las normas las prevén en forma explícita, pero se sobreentiende que todo lo que se diga de este tipo de piezas es aplicable a cualquier otra pieza lisa.

Las normas de ajustes y tolerancias se refieren solamente a magnitudes lineales rectas, de modo que no consideran magnitudes como, por ejemplo: angulares, volumétricas, etcétera.

Dimensión: es el número que, acompañado de una unidad, expresa la longitud, el ancho, el diámetro, el ángulo, etc., de una determinada pieza.

Dimensión (o cota) nominal: es el valor numérico o cota consignada o indicada en el dibujo (plano). Dimensión de una característica geométrica de forma perfecta como la define la especificación del dibujo.

Dimensión real: es la dimensión material de la pieza. Dimensión de la característica integral asociada. La dimensión real se obtiene por medición.

Medida: es una designación de magnitud.

Cota funcional: es la cota que afecta el funcionamiento de un mecanismo o una pieza.

Límites de tolerancia (de medida o dimensiones límite): son las dimensiones máximas y mínimas que puede tener una pieza o las medidas máxima y mínima admisibles para una dimensión específica. Valores especificados de la característica, dando el límite superior y/o inferior del valor permitido.

Valor máximo o límite superior de la especificación (especificado Mmáx. o LSE o ULS): es la mayor de las medidas (o valores) límite. Dimensión máxima permitida de una característica dimensional.

Valor mínimo o límite inferior de la especificación (especificado Mmín. o LIE o LLS): es la menor de las medidas (o valores) límite. Dimensión mínima permitida de una característica dimensional.

Cero (ex línea de cero): es la línea recta a partir de la cual se representan las desviaciones. La línea de cero es la línea de desviación nula y corresponde a la dimensión nominal como muestra la figura 3.1.

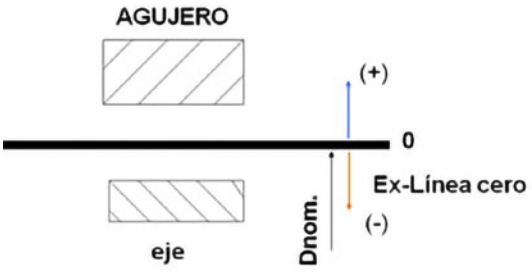


Fig. 3.1 Cero (ex línea de cero)

Dimensión (o cota) nominal: define la línea de cero, con respecto a la cual se toman las desviaciones.

Estas serán positivas hacia arriba y negativas hacia abajo de la línea de cero, como se muestra en la figura 3.1.

Desviaciones: son las diferencias de las medidas extremas admitidas para una cota con la cota nominal y se calcula como se indica en la figura 3.2.

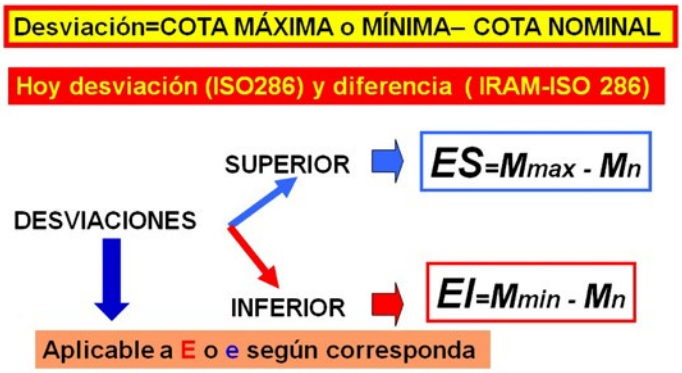


Fig. 3.2 Cálculo de las desviaciones

Las *desviaciones* o *diferencias superiores e inferiores* se cuentan a partir de la línea de cero con su signo, positivo por encima y negativo por debajo.

La desviación es positiva cuando la medida nominal es menor que la medida límite; en caso contrario, es negativa.

La figura 3.3 muestra las desviaciones tanto para un agujero como para un eje y de qué manera estas se acotan. Es importante destacar (se verá más adelante) que para los ejes se utilizan letras minúsculas y para los agujeros se usan mayúsculas.

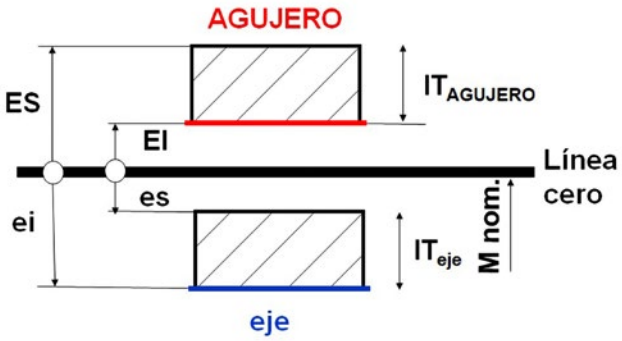


Fig. 3.3 Acotación de las desviaciones

Desviación superior (es, Es): diferencia entre la medida máxima y la medida nominal.

Desviación inferior (ei, Ei): diferencia entre la medida mínima y la medida nominal.

Tolerancia: diferencia entre el límite superior de la especificación menos el límite inferior de la especificación. Matemáticamente como:

$$T = LSE - LSI$$

Donde:

T = tolerancia

LSE = límite superior de la especificación

LIE = límite inferior de la especificación

En consecuencia, la tolerancia es la diferencia entre la cota máxima y la mínima de un elemento.

Por ejemplo, para el caso del diámetro de la figura 3.4, se define tolerancia como:

$$T = D_{MAX} - D_{MIN}$$

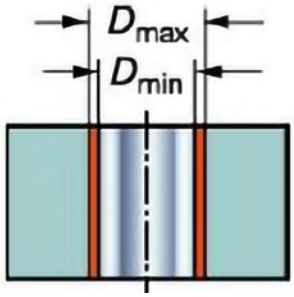


Fig. 3.4 Tolerancia

Tolerancia fundamental (IT): es, en un sistema normalizado de ajustes y tolerancias, una cualquiera de las tolerancias del sistema.

La sigla *IT* significa *International Tolerance*, *Internacional Tolerance Grade* o *Fundamental Tolerance*.

La tolerancia puede definirse como la variación total admisible del valor de una dimensión o, como ya se expresó, la diferencia entre las dimensiones máxima y mínima. Otra posibilidad de definición es a partir del análisis de la figura 3.3, en este caso como la diferencia algebraica entre la desviación superior y la inferior.

Esta última forma de definirla consiste en reemplazar la letra *T* de tolerancia, que simboliza a una *tolerancia no normalizada*, por el símbolo *IT* que, como se indicó, representa a la *tolerancia internacional* o también llamada *tolerancia fundamental*, siendo esta la establecida en las normas de ajustes y tolerancias. A continuación, se la expresa algebraicamente en valor absoluto, debido a que es una suma algebraica y los signos de las desviaciones dependen de la posición relativa entre agujero y eje.

a. Para el caso de ejes

$$IT = |es - ei|$$

Donde:

IT = tolerancia fundamental o tolerancia internacional

es = desviación superior del eje

ei = desviación inferior del eje

b. Para el caso de agujeros

$$IT = |ES - EI|$$

Donde:

IT = tolerancia fundamental o tolerancia internacional

ES = desviación superior del agujero

EI = desviación inferior del agujero

Grado de tolerancia normalizado (calidad): es la magnitud de la tolerancia.

Grupo de tolerancias para medidas lineales caracterizadas por un identificador común.

El identificador del grado del intervalo de tolerancia consta de la sigla *IT* seguida de un número.

Para una misma medida nominal se dispone de 18 calidades que van desde 01 hasta 16, identificadas como IT01, IT0, IT1… IT16.

Se puede denominar *calidad* al grado de precisión que se desea obtener en las dimensiones de la pieza a construir. Está vinculada, por lo tanto, a la mayor o menor tolerancia que se establezca para la pieza y se refiere al elemento en sí (eje o agujero) y no al conjunto una vez ensamblado (eje acoplado al agujero). Las normas IRAM establecen 18 grados de calidad, que se indican, como ya se expresó, por números que van del 0,1 al 16.

Tolerancia y proyecto. Tolerancia vs. costo

Si el proyectista no sabe nada acerca de la variabilidad natural del proceso de fabricación, no está capacitado para especificar la mejor tolerancia. Por eso, los proyectistas deben poseer conocimientos sobre análisis estadístico aplicado a procesos de fabricación. Esto implica conocer su capacidad de proceso (CP) y si este se encuentra centrado o no, es decir, deben conocer su Cpk.

Para el diseñador o proyectista es fácil especificar una cierta dimensión (por ejemplo, 65 mm), pero para el operario o para la máquina que fabrica la pieza es muy difícil obtener exactamente dicha dimensión (en el caso del ejemplo, 65,000 mm).

En general, cuanto más se aproximan estas dimensiones al valor nominal más costosa será la fabricación.

De comparar la tolerancia con el costo, al analizar el gráfico de la figura 3.5, surge que, al ser más pequeña la tolerancia establecida por el diseñador, aumenta el costo, pues se debe mecanizar la pieza en una máquina más precisa y medir con instrumentos de alta exactitud, obteniéndose un producto terminado de precio elevado o de alto valor.

En cambio, cuando el proyectista asigna tolerancias más burdas, más amplias, los costos son menores a expensa de una menor calidad del producto, siendo este más barato.

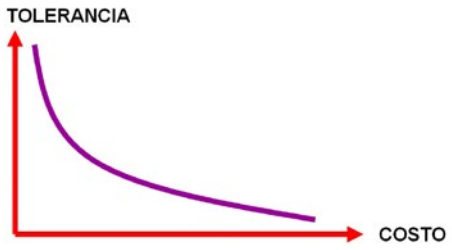


Fig. 3.5 Tolerancia vs. costo

En consecuencia, se puede aseverar que el costo y la calidad de fabricación son factores opuestos en la rentabilidad de una producción. Al analizar la figura 3.5, se comprueba que a menor tolerancia corresponde mayor costo de mecanizado.

Resulta bien claro que, cuando se elevan las exigencias de precisión más allá de lo que el proceso de fabricación permite, esto complica y encarece innecesariamente la producción.

Por lo tanto, se debe poseer un claro concepto de la determinación de formas de piezas, emplear dimensiones nominales normalizadas, tolerancias de ejecución y rugosidad de superficies como así también desarrollar métodos de medición y control de piezas que garanticen los límites prescriptos a través del cálculo. Por esto es necesario familiarizarse con la normalización de las tolerancias y los ajustes, para poder adoptar vinculaciones normales según lo aconsejen las normas correspondientes.

Medida tolerada: es la dada en los dibujos (planos), está compuesta por la medida nominal y las desviaciones.