

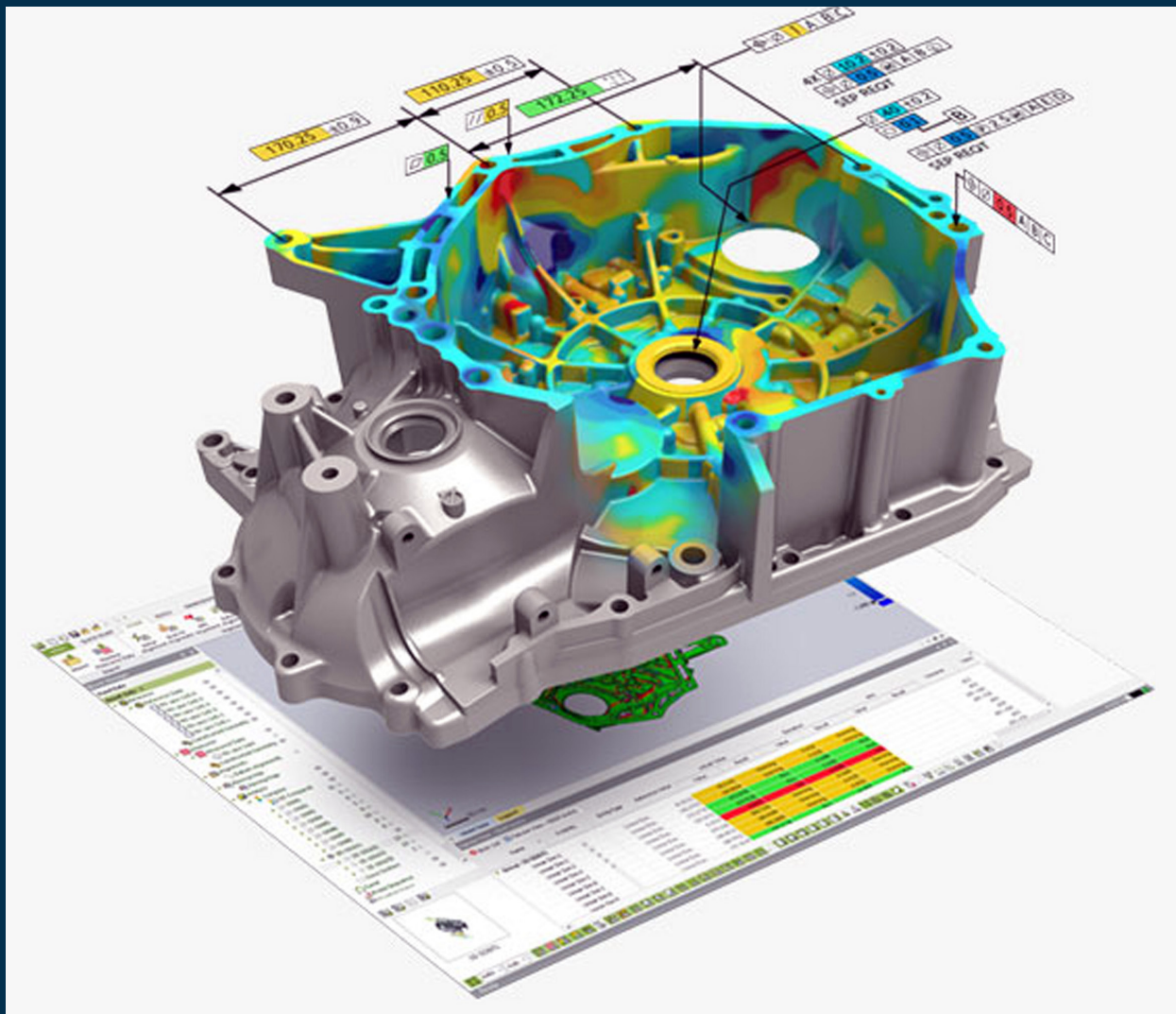
TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS

GD&T

GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING

Basado en ASME Y 14.5 – 2018

Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional



Ing. Marcelo Iglesias

Tomo 1



TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS GD&T

GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING

Basado en

ASME Y 14.5 – 2018

Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional

Ing. Marcelo Iglesias

Iglesias, Marcelo Javier

Tolerancias Geométricas GD&T Geometric Dimensioning and Tolerancing : basado en ASME Y14.5-2018 : Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional / Marcelo Javier Iglesias. - 1a ed - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2021.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-76-7

1. Ingeniería Mecánica. I. Título.

CDD 620.1

Corrección de estilo, diseño interior y tapas: Patricia Cejas



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Hector Eduardo **Aiassa**

Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**

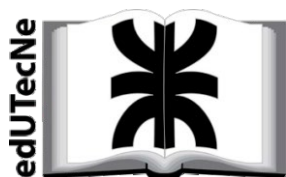
Secretaria Académica: Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional General Pacheco

Decano: Ing. José Luis **García**

Vicedecano: Ing. Ricardo **Crivicich**



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. **Cejas**

Director Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía,

Ambiente: Dr. Jaime **Moragues**.

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© **edUTecNe, 2021**

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ)

Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Agradecimientos

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

A mis padres Raquel y Salvador

ÍNDICE

PRÓLOGO	6
CAPÍTULO 1	
Introducción	
1.1 <i>GD&T su origen, campo de aplicación e importancia</i>	7
1.2 <i>Industria 4.0 y GD&T</i>	22
CAPÍTULO 2	
Diseño mecánico	
2.1 Etapas del Diseño y Documentos de ingeniería.....	33
2.2 Sistemas de representación.....	44
2.3 Ingeniería inversa.....	52
2.4 Prototipado rápido, impresión 3D.....	54
CAPÍTULO 3	
GD&T	
3.1 Tolerancias.....	65
3.2 Concepto de GD&T	136
3.3 Dimensiones, Datums y Target point.....	157
3.4 Clasificación de las tolerancias geométricas.....	287
3.5 Simbología de las tolerancias geométricas.....	289
AUTOR	306

PRÓLOGO

A pedido de los estudiantes universitarios de ingeniería y tecnicatura en gestión de la industria automotriz, como así también personal de la industria que ha recibido capacitaciones dictadas por mí, he decidido escribir este libro.

En esta obra intento reflejar la experiencia adquirida a lo largo de mi carrera profesional como ingeniero mecánico y 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.

Este texto no pretende de ningún modo sustituir a una norma técnica y menos aún traducirla, pero sí ser de ayuda para la interpretación de todas aquellas relacionadas con las Tolerancias Geométricas, fundamentalmente la norma ASME y 14.5-2018 en la cual está basado este trabajo. Cabe aclarar que las definiciones traducidas del documento mencionado se incluyeron al sólo efecto de adecuar el lenguaje a nuestro ámbito local y con el objetivo de que el lector logre una mejor interpretación. Se recomienda recurrir siempre a las definiciones en el idioma original establecidas en la norma ASME y 14.5-2018.

Existe excelente material en diversos formatos sobre GD&T, muchos de los cuales se centran fundamentalmente en dos aspectos, el diseño y la interpretación de los dibujos de ingeniería.

He tomado para efectuar este trabajo material de varias fuentes, pero traté de introducir en este ejemplar las enseñanzas de mi maestro Jordi Sancho Ródenas en temas relacionados con tolerancias geométricas, de quien he aprendido muchísimo tanto en sus clases presenciales como también a partir de la lectura y re lecturas de su libro.

El desarrollo de GD&T en este tratado está enfocado desde la metrología, sin descuidar el diseño y la interpretación de la documentación generada a partir de él integrando el diseño, la fabricación y la metrología como un todo de manera de homogeneizar criterios e interpretaciones.

Este libro pretende ser una guía para profesionales de la ingeniería, docentes universitarios, proyectistas, metrólogos, personal de la industria en general , y estudiantes de ingeniería y tecnicaturas universitarias relacionadas con esta temática, buscando personalmente lograr que el mismo se transforme en un punto de partida para profundizar y complementar con otra bibliografía.

INTRODUCCIÓN

1.1 - GD&T su origen, campo de aplicación e importancia

Cuando se procede a proyectar o diseñar un conjunto mecánico, máquina, motor o dispositivo de cualquier tipo, el diseñador determina las dimensiones y formas ideales de las piezas que lo constituirán. Estas dimensiones y formas ideales especificadas en los planos han de materializarse en las piezas fabricadas.

Al diseñar una pieza el proyectista debe plasmar la intención del diseño en el plano de construcción, dibujo de ingeniería, y ésta debe ser comunicada apropiadamente a las funciones relevantes. Para esto se auxilia de las tolerancias geométricas, dimensionales y las relacionadas con la textura superficial o acabado. También es importante determinar si la posición relativa de estas superficies es la correcta de acuerdo con las mismas especificaciones.

El control o verificación de piezas producto es una de las bases fundamentales de la organización racional. Su aplicación es, para el industrial, una condición primordial y necesaria para su mejora y una garantía contra reclamaciones de clientes, de modo que es importante que la pieza fabricada sea “verificada” de forma que se elimine en el montaje todo elemento no conforme con las especificaciones establecidas en los planos.

En los procesos de fabricación nunca se obtienen piezas perfectas, apareciendo siempre desviaciones respecto a los valores óptimos y entre las propias piezas. Las piezas se miden con objeto de comprobar el cumplimiento o no de las especificaciones.

Es necesario establecer la relación existente entre:

- la pieza creada por el diseñador;
- la pieza fabricada;
- y la pieza efectivamente medida.

Para poder establecer esta relación y lograr una interpretación común se han desarrollado una familia de normas denominada “Especificación Geométrica de producto” GPS que definen conceptos básicos, representaciones simbólicas, principios de medida, etc... La principal de esta serie de normas es la ISO 1101:2017 “Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run out”.

Las especificaciones geométricas de productos, GPS, se ocupan de definir, por ejemplo sobre un plano de fabricación, la forma (geometría), dimensiones y características superficiales de una pieza con el objeto de garantizar un funcionamiento óptimo de ésta, junto con la variación permitida en torno a la definición óptima, de forma que se siga garantizando de este modo el cumplimiento de la funcionalidad requerida.

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, siendo la dimensión especificada, la dimensión deseada llamada dimensión nominal. Otra forma de definir a la tolerancia es como la cantidad total que se permite variar en la fabricación de una pieza respecto a lo indicado en el plano.

En la producción de piezas producto, también llamadas partes, existe la necesidad de realizar un análisis cuidadoso para poder eliminar problemas de acoplamiento o ensamble entre piezas, partes y contrapartes.

Existen varios factores que afectan el resultado del producto que se quiere fabricar, por ejemplo calentamiento de la máquina, desgaste de las herramientas, problemas en los materiales, entre otros.

Como consecuencia de lo expresado anteriormente, es importante que se admitan algunas variaciones en las dimensiones especificadas tomando en cuenta que no alteren los requerimientos funcionales que se procuran satisfacer.

Para que una pieza pueda considerarse bien fabricada, la medida de ésta debe estar comprendida dentro de dos dimensiones cercanas a la medida nominal. Estas dos dimensiones son la cota máxima y la cota mínima, es decir los límites superior e inferior de especificación respectivamente.

El control o inspección de una pieza como la ilustrada en la Fig. 1.1, en la cual se indican dimensiones o cotas lineales y angulares, tolerancias geométricas, requiere conocer la simbología involucrada en el plano, de modo de poder interpretarlo con el objeto de seleccionar los equipos e instrumentos necesarios para el control de dicha pieza y determinar a partir del mismo si las tolerancias definidas por el diseñador se cumplen o no.

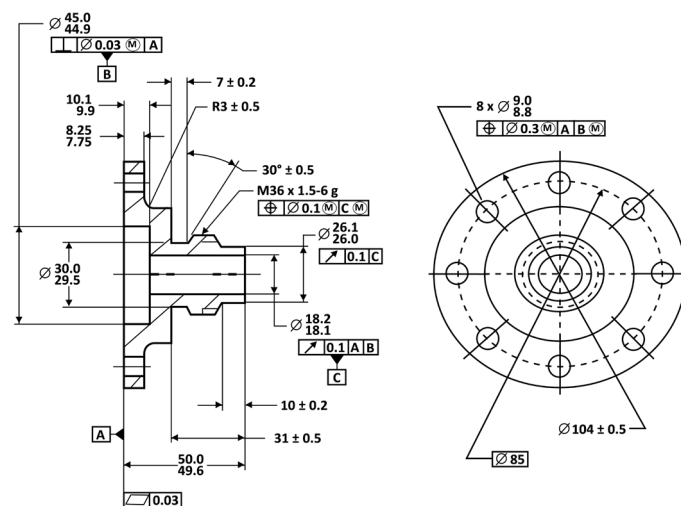


Fig.1.1 - Ejemplo de plano de una pieza producto y su simbología

Una superficie funcional es aquella que va a tener una función al ser ensamblada con alguna otra pieza o va a interactuar aunque sea de manera temporal con otras piezas.

Las tolerancias geométricas y dimensionales cuentan con símbolos, reglas, definiciones y convenciones que permiten describir una pieza considerando la forma, orientación, localización, variación y perfil, todo esto basado en normas como la ASME Y14.5 o la ISO 1101, por mencionar algunas.

Las tolerancias dimensionales controlan medidas o dimensiones de una pieza pero no su forma, posición, ni orientación que tengan los elementos a los que se aplica dicha tolerancia. En cambio las geométricas evalúan la forma, posición u orientación de los elementos a los que se aplican, pero no sus dimensiones.

Tolerancia geométrica es el término general asignado a la categoría utilizada para controlar forma, orientación, localización y cabeceo (run out).

Las tolerancias geométricas complementan las especificaciones que se dan con las dimensionales o con el acabado superficial y tienen que ver con los aspectos funcionales del producto.

Cuando se trata de definir dicho producto, en muchos casos no es suficiente con asignar dichas tolerancias y es preciso delimitar las desviaciones de ciertas características geométricas que influyen en su funcionamiento como la perpendicularidad, la posición, la planicidad, etc.

En los procesos de fabricación nunca se obtienen piezas perfectas, apareciendo siempre desviaciones respecto a los valores óptimos y entre las propias piezas. Éstas se miden con objeto de comprobar el cumplimiento o no de las especificaciones.

Es necesario establecer la relación existente entre:

- la pieza creada por el diseñador;
- la pieza fabricada;
- y la pieza efectivamente medida.

Para poder establecerla y lograr una interpretación común se han desarrollado normas GD&T.

GD&T significa Geometric Dimensioning and Tolerancing y es un método de acotación, es decir, un lenguaje simbólico universal que sirve para diferenciar una pieza buena de una mala, pero siempre desde un punto de vista funcional, de manera que las alineaciones y las tolerancias aplicadas reflejen la forma de fijación y funcionamiento real de la pieza para que la rechazada realmente sea una pieza no funcional.

En consecuencia es un método de acotación pensado para:

- Obtener el mayor margen de fabricación de la pieza.
- Reducir costos pues permite adaptar las tolerancias al funcionamiento real y piezas con cretas.

GD&T es un lenguaje internacional que se usa para describir una pieza producto en forma exacta y consiste en un juego de símbolos, reglas y convenciones bien definidas.

Este lenguaje puede utilizarse para describir las dimensiones y errores geométricos de una pieza. También es una filosofía sobre cómo diseñar y dimensionar piezas pues las tolerancias geométricas fomentan el “dimensionamiento funcional”, que es una lógica de acotado que define una pieza basada en la función del producto final.

Los beneficios de GD&T son tres:

- Mejora la comunicación

Provee uniformidad en las especificaciones y su interpretación en los dibujos o planos de ingeniería, con lo cual se reducen las controversias, las adivinanzas y las suposiciones. Otro factor importante es que provee un lenguaje común para las áreas de diseño, producción e inspección.

- Mejora el diseño del producto

Le da al diseñador una herramienta para “decir lo que intenta”, y por seguir la filosofía del dimensionamiento o acotado funcional.

- Aumento en tolerancias para producción

Existen dos formas que incrementan las tolerancias por el uso de GD&T.

Primero, bajo ciertas condiciones, GD&T permite una tolerancia extra para manufactura. Ésta puede resultar en ahorros sustanciales en los costos de producción.

Segundo, por el uso de la acotación funcional, ya que las tolerancias se asignan a la pieza según sus requerimientos funcionales. Esto frecuentemente resulta en mayores tolerancias

para la manufactura y elimina el problema que resulta cuando el diseñador copia una tolerancia asignada o asigna una más estrecha porque no sabe cómo determinar una razonable, es decir, funcional.

El campo de aplicación principal del GD&T es, además del diseño mecánico, la fabricación y la metrología dimensional.

No solamente es importante acotar las tolerancias geométricas en un plano en función del ensamble o acople de piezas, sino que también es necesario interpretar el plano tanto para fabricar la pieza como para controlar los errores geométricos de manera de verificar que los mismos se encuentren dentro de las tolerancias acotadas.

Esta interrelación se puede sintetizar esquemáticamente en la Fig. 1.2.



Fig. 1.2 - GD&T (Geometrical Dimensioning and Tolerancing)

El GD&T abarca las etapas de diseño, los documentos de ingeniería, las tolerancias geométricas, la normalización de las mismas por medio de las normas ASME Y14.5 e ISO 1101 y el control dimensional de los errores geométricos.

Respecto de estos últimos, es necesario conocer los tipos de errores, su acotación e interpretación en un plano, la selección de instrumentos para su control y las distintas técnicas de medición y determinación de los mismos.

En relación al surgimiento del GD&T se puede afirmar que desde el momento en que el ser humano sintió la necesidad de crear artefactos utilizó para ello medidas, métodos de dibujo y planos.

Por ejemplo, los planos ya eran conocidos hacia el año 6000 a. C. En esa época la unidad de medida utilizada por los egipcios fue el "cúbito real", definido como la longitud del antebrazo del Faraón desde el codo hasta el extremo del dedo medio teniendo la mano extendida, fluctuando esta medida durante cerca de dos mil años entre 45 cm y 48 cm. Alrededor del año 4000 a. C. el cubito real fue estandarizado en 46,33 cm. La medida original fue transferida y materializada en granito negro. Esto estableció un patrón que siguió por más de 6000 años.

La manufactura, tal como se la conoce hoy en día, comenzó con la Revolución industrial o Primera Revolución Industrial que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en el Reino de la Gran Bretaña, siendo un proceso de transformación económica, social y tecnológica que se extendió a gran parte de Europa occidental y América Anglosajona, concluyendo entre 1820 y 1840. Durante este período se vivió el mayor conjunto de transformaciones económicas, tecnológicas y sociales de la historia de la humanidad desde el Neolítico y consistió básicamente en el paso de una economía rural basada fundamentalmente en la agricultura y el comercio a una de carácter urbano, industrializada y mecanizada.

Ya existían en esa época planos o dibujos, muy diferentes a los actuales. Los dibujos de esa época eran joyas artísticas con muchas vistas hecha con tinta y con una precisión prácticamente fotográfica. Ocasionalmente el diseñador anotaba una dimensión pero, por lo general, esto se consideraba innecesario.

En esos tiempos el proceso de fabricación era muy diferente ya que no existían líneas de

Diseño Mecánico

2.1 - Etapas del Diseño y Documentos de ingeniería

Cabe aclarar, antes de comenzar con este capítulo, que este libro no pretende ser un tratado sobre diseño, sistemas de representación, ingeniería inversa y prototipado rápido. Se explican brevemente dichos temas con el objeto de que el lector tenga a su alcance una información básica y conceptual que le permita comprender correctamente el tema central, GD&T, el cual se comienza a tratar en el capítulo 3, y también para que observe cómo se vincula GD&T con los temas mencionados anteriormente.

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 la tarea, el diseñador, no sólo tiene en cuenta aspectos estéticos, sino también cuestiones funcionales y técnicas. Esto exige a estas personas 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 en ocasiones deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información.

En Ingeniería en todas sus ramas y en general se puede indicar que el diseño es el proceso en 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 métodos matemáticos, computacionales, gráficos y lenguaje común.

El diseño en Ingeniería en forma general es la creación de los planos y documentación de ingeniería 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 se aplica a 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 proyectar 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.

El diseño en Ingeniería Mecánica incluye al 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 a 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 o procesamiento o manufactura, o bien a la unión o acople de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

La Fig. 2.1 muestra el plano de una pieza dibujado en un sistema CAD en el cual se observa un conjunto de símbolos relacionados con los sistemas de representación o antiguamente llamado dibujo técnico. Dichos símbolos representan en este caso dimensiones, tolerancias geométricas y textura superficial.

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

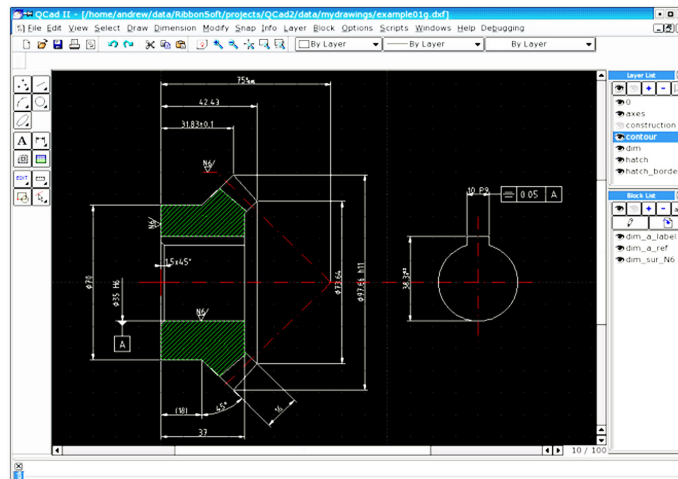


Fig. 2.1 - Dibujo de una pieza en CAD

Queda puesto de manifiesto a partir de la Fig. 2.1 que GD&T es un lenguaje transversal al diseño, la fabricación y el control metrológico, debiendo el personal de estas áreas dominar la interpretación de esta simbología plasmada en los documentos de ingeniería. En este caso un plano o dibujo de una pieza o componente a fabricar.

Es importante recordar cómo definía a la inspección la norma interna de Ford, el estándar Q101 en 1967: "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 cumplen las especificaciones del diseño.

Todo lo manifestado hasta aquí coincide con lo expresado en relación a GD&T y la importancia de la correcta interpretación del plano por partes de los actores participantes en el proceso productivo, diseñadores, personal de fabricación y metrólogos.

Muchas veces un producto o un dispositivo está conformado por un conjunto de piezas o partes, como se muestra en la Fig. 2.2, las cuales deben acoplar o ensamblar entre sí y poder

ser sustituidas por otras en el caso de ser necesario. Es por este motivo que la acotación del producto en el plano debe hacerse de forma funcional, de modo tal que permita ser medido de la misma manera que se lo fabrica.

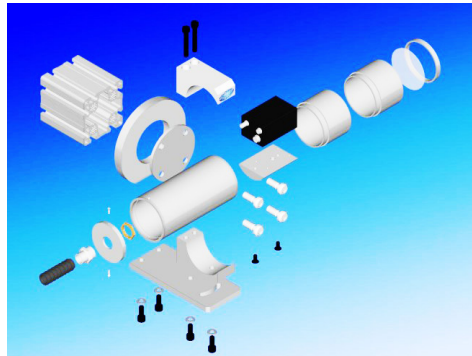


Fig. 2.2 - Partes o piezas de un conjunto

Cuando se producen piezas en serie, por un lado deben fabricarse una gran cantidad de ejes por razones de economía y rapidez y, por otro, deben elaborarse los bujes para esos ejes. Tanto éstos como los anteriores deberán cumplir ciertos requisitos a fin de que al acoplar unos con otros puedan funcionar indistintamente del eje y del buje que se encajen.

La intercambiabilidad es la fabricación de piezas casi exactamente iguales que pueden sustituirse sin adaptación (ajuste) en cualquier parte y lugar.

Se aplicó inicialmente 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 poderlos reutilizar cambiando los componentes averiados. Su origen puede remontarse a la fabricación de ballestas por parte de los chinos, las cuales se producían en base a este principio aproximadamente entre los S. II y IV antes de Cristo.

En 1908 Henry Ford, con su modelo "T", había alcanzado dos objetivos: en primer término diseñar un automóvil en serie y, en segundo, 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, 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 empleados con mínima experiencia y capacitación, en consecuencia una mano de obra menos calificada y por ende más barata.

En base a 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 normas de tolerancias dimensionales y

geométricas que son complementarias a las de representación y acotación. Son tolerancias dimensionales todas aquellas que actúan sobre las medidas y tolerancias geométricas, las que afectan por ejemplo a la forma o posición de las superficies, ejes o aristas de las piezas, Entendiéndose por tolerancia la diferencia entre las medidas límites máxima y mínima.

La Metrología de hoy debió adaptarse a las condiciones de un comercio internacional creciente. La producción de los diversos componentes debe ser dimensionalmente homogénea, de modo tal que éstos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, plantas, empresas o, incluso, en distintos países, que es la producción más común en esta época.

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 límites 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 calcen en cualquiera y cada una de las signadas. 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. Ello provocó que los distintos elementos o partes de un conjunto mecánico puedan ser fabricados en distintos establecimientos de un mismo país, e inclusive de distintos países. Los mismos deben ser ensamblados entre sí sin dificultad. Para que ello sea posible fue establecido 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.

El croquis de la Fig. 2.3 muestra el avión europeo Airbus, cuyas partes son fabricadas en diversos países: Estados Unidos, Inglaterra, España, Italia y Alemania. En la Fig. 2.3 se identifican las piezas o componentes que fabrica cada país asignando un color para cada uno de los estados intervinientes.



Fig. 2.3 - Intercambiabilidad

3.1 Tolerancias

3.1.1 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, 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 fabricación (o dimensionales)
- Tolerancias geométricas
- Tolerancias de textura superficial

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

La dimensión especificada es la dimensión deseada llamada dimensión nominal.

También se puede definir la tolerancia como la diferencia entre el límite superior menos el límite inferior de la especificación. Matemáticamente como:

$$T = LSE - LIE$$

Donde:

T = tolerancia

LSE = Límite superior de la especificación

LIE = Límite inferior de la especificación

Otras formas de definir a la tolerancia es 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 a una necesidad específica cuales son estas medidas máximas y mínimas. Estas dimensiones de las piezas se establecen para una temperatura de 20°C, denominada en metrología dimensional temperatura de referencia. Vale decir, las cotas que figuran en un plano y sus tolerancias están fijadas a 20°C.

Eso significa que, si se mide en producción la pieza a 45°C, deberá efectuarse la corrección a 20°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 aceptarían piezas malas por no haber efectuado la corrección por temperatura mencionada.

La norma ASME Y 14.5:2018, la de mayor desarrollo en GD&T y que se abordará en este libro, 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 Fig. 3.1 es una interpretación gráfica de la definición de tolerancia. Allí se muestra que el producto se encuentra aceptado sí y sólo sí 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 Fig. 3.1 se infiere, también, 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 sólo 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 mensurando, siendo éste la magnitud que se desea medir.

Otro aspecto a analizar en el gráfico es que para aceptar o rechazar un producto no se puede hacer solamente a partir del valor medido, sino que 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 buena formación estadística y específicamente en incertidumbre de medición.

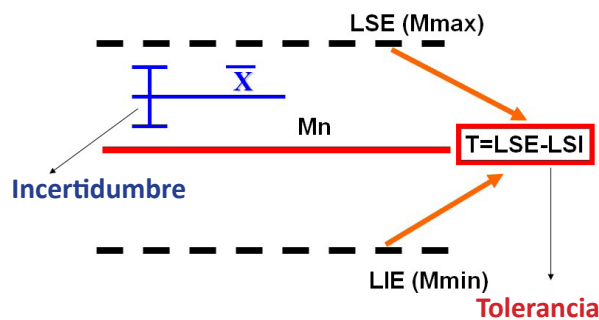


Fig. 3.1 - Interpretación gráfica de la definición tolerancia

Para juzgar o evaluar la conformidad, con el objeto de poner 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 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 debería, por ejemplo, seguir los criterios la norma ISO 14253-1¹ u otras similares, los cuales se explicitan gráficamente en la Fig. 3.2.

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.

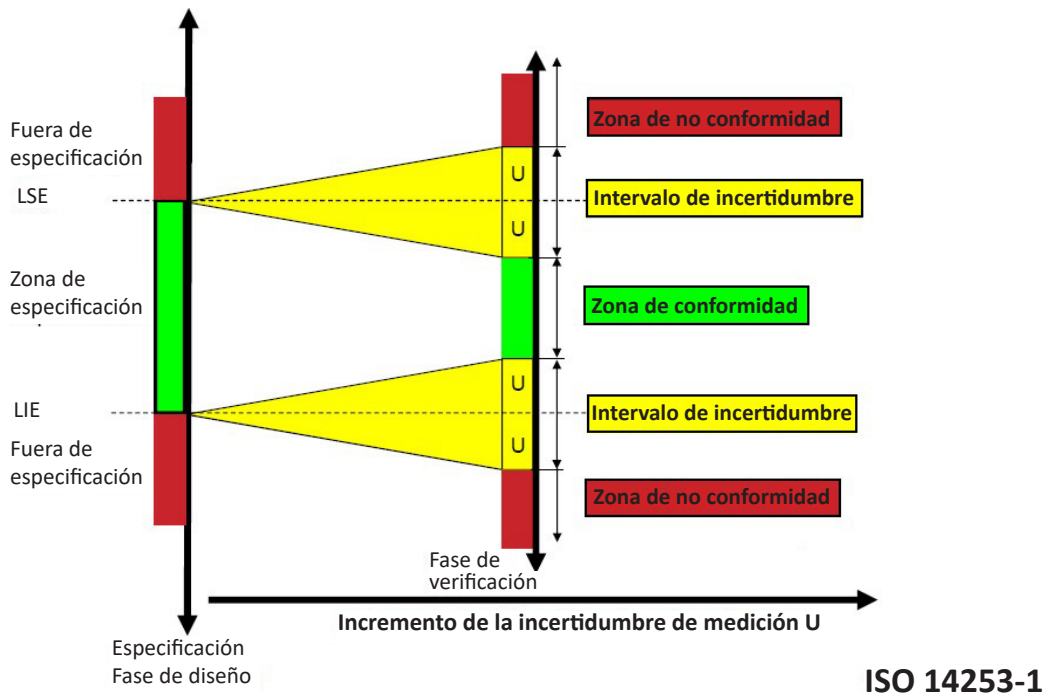


Fig. 3.2 - Evaluación de la conformidad

Surgen de la Fig. 3.2 zonas donde la pieza queda fuera de especificación (color rojo) y otras dudosas (color amarillo) donde puede haber piezas buenas o malas. Ésta es la importancia de expresar correctamente el resultado de la medición.

El concepto tradicional se ilustra en la Fig. 3.2 en la parte izquierda, que corresponde a la fase de diseño. El actual, fase de medición, reduce la zona de tolerancia en un valor equivalente a la incertidumbre de la medición quedando la zona de conformidad, como se puede apreciar a la derecha en la Fig. 3.2, reducida conforme se va incrementando el valor de la incertidumbre de medición.

Recordando lo que se manifestó en el capítulo 1, 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 Fig. 3.3.

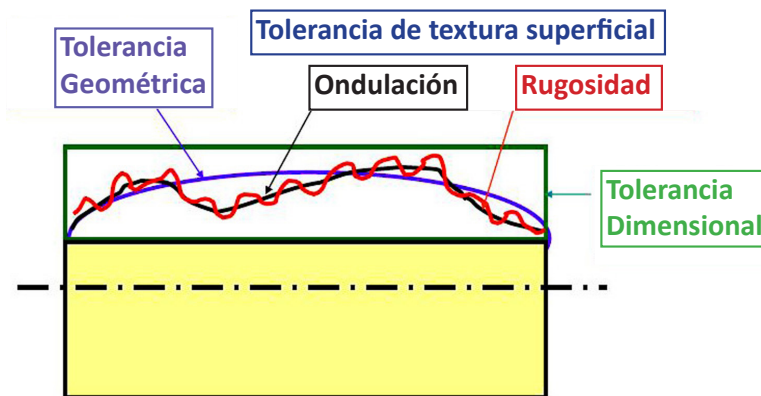


Fig. 3.3 - Tipos de tolerancias

3.1.2. Clasificación de las tolerancias

Surge del análisis de la Fig. 3.3 y de todo lo tratado en el capítulo 1 que las tolerancias se clasifican en:

- Tolerancias dimensionales
- Tolerancias geométricas
- Tolerancias de textura superficial

A continuación se explicarán las mismas.

3.1.2.1. Tolerancias dimensionales

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.

Las tolerancias dimensionales se indican en el cuadro de la Fig. 3.4, con sus ejemplos correspondientes.

TOLERANCIA	EJEMPLOS
SIMÉTRICA	40,7±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. 3.4 - Tipos de tolerancias dimensionales

La tolerancia simétrica es la que le asigna al valor nominal una expresión más/menos. El número que va con el mas/menos es la semitolerancia. En este caso los valores límites máximos y mínimos serán respectivamente 40,8 mm y 40,6 mm siendo en consecuencia la tolerancia 0,2 mm y no 0,1 mm como muchos confunden, ya que 0,1 mm es la semitolerancia o tolerancia dividido 2. Es decir T=0,2 mm entonces T/2 es 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 0,20 mm.

La unilateral tiene como característica que sus límites no son simétricos, pero sí del mismo signo. Tomando el primer caso de ejemplo de la Fig. 3.4 queda el límite superior 40,85 mm y el límite inferior 40,75 mm, siendo la tolerancia en este caso 0,10 mm.

3.1.2.2 Tolerancia geométrica

A continuación se procederá a explicar el concepto de tolerancia geométrica para poder abordar el resto de los contenidos de este libro.

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 (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 Fig. 3.5.



Ing. Marcelo Iglesias

Ingeniero Mecánico (Universidad Tecnológica Nacional)

Especialista en Calidad Industrial (Maestría: INTI - UNSAM). Quality Systems Manager - EOQ (European Organization for Quality) Quality Systems Manager / IN - DGQ (Asociación Alemana para la Calidad). Quality Auditor - EOQ y Auditor ISO 9000 – DGQ. Evaluador de Laboratorios de Calibraciones y Ensayos ISO 25 UKAS (United Kingdom Accreditation Service). Evaluador de Sistemas de calidad de laboratorios de Calibración y Ensayos OAA (Organismo Argentino de Acreditación). Encargado de Gestión Ambiental - DGQ Asociación Alemana para la Calidad (Alemania). Facilitador UTN - Pacheco. Experto Técnico - OAA - Códigos: Ensayos físicos y mecánicos, materiales caucho, mecánico, automotrices y neumáticos.

Experiencia laboral como director de laboratorios, metrólogo dimensional, laboratorista de ensayos mecánicos, consultor industrial y metrológico, auditor de sistemas de gestión, evaluador de laboratorios e implementador de sistemas de gestión según normas ISO 9001, ISO 17025, IATF 16949, innovación, industria 4.0 e investigador universitario. Evaluador internacional de pares en metrología dimensional (Peer Review). Docente universitario de las asignaturas Metrología, Sistemas Metrológicos, Ensayos y Metrología e Ingeniería de Calidad en UTN Pacheco. Director General de los laboratorios de Metrología y Ensayos - LABTEC en UTN FRGP, Laboratorio N°60 de la red INTI - SAC. Director Técnico del laboratorio de Metrología de LABTEC. Consejero Departamental Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica UTN FRGP.

