

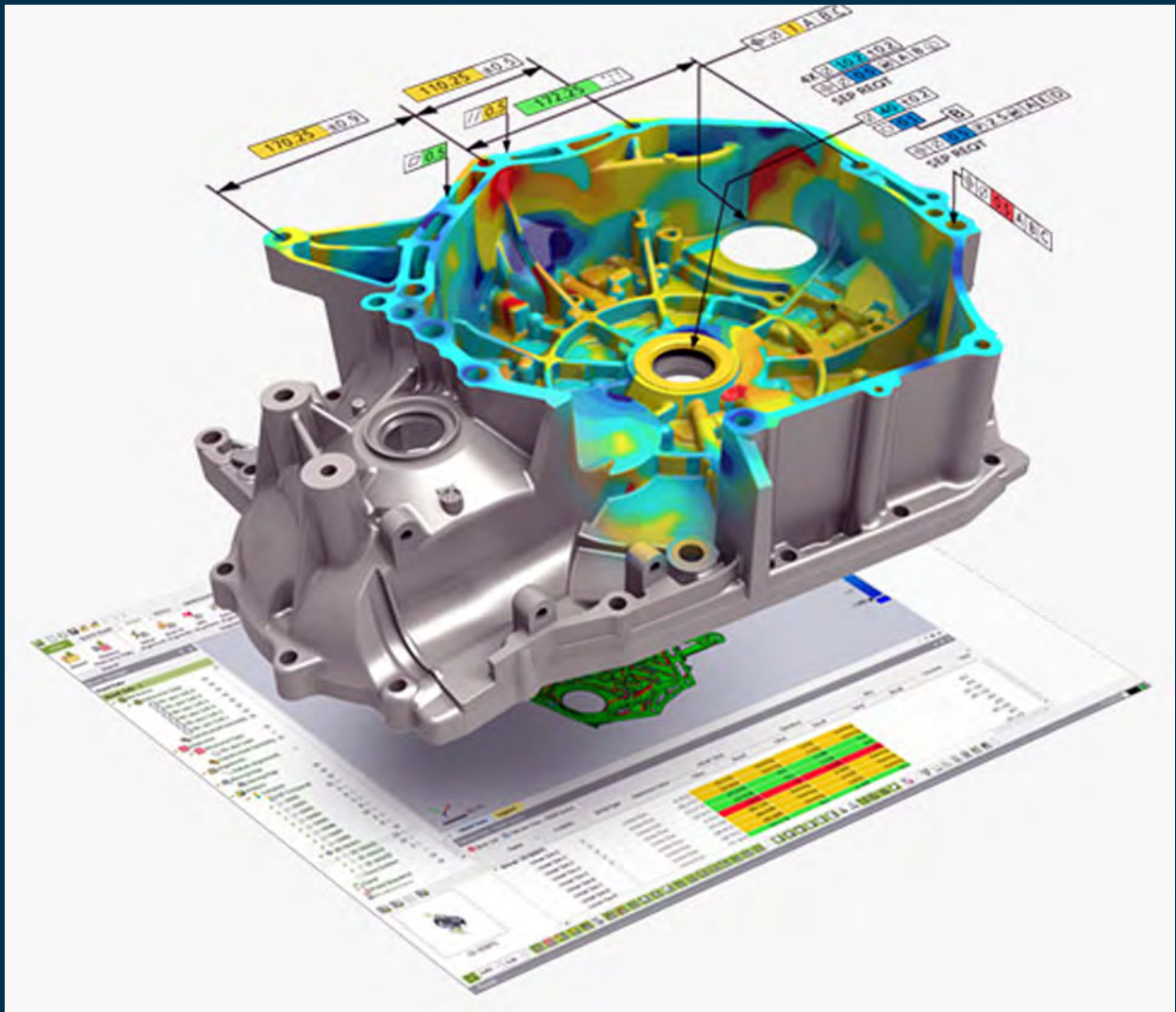
TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS

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

Tolerancias Geométricas GD&T Geometric Dimensioning and Tolerancing : basado en ASME Y14.5-2018 : incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional / Marcelo Iglesias. - 2a ed - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Tercero en Discordia, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-987-8492-87-2

1. Ingeniería Mecánica. I. Título.

CDD 621.802

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.

CAPÍTULO 1

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.

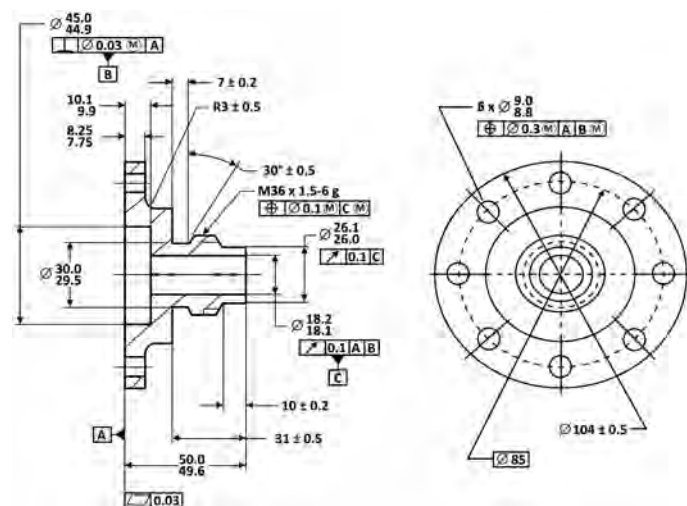


Fig.1.1 - Ejemplo de plano de una pieza producto y su simbología

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

montaje, ni departamentos o unidades corporativas diseminadas por todo el país y menos mundialmente. Era una industria casera y el “operario” lo hacía todo. Era un sistema artesanal que realizaba la pieza y el ajuste final de la misma.

Cabe señalar también que en esa época los conocimientos adquiridos con mucho esfuerzo se heredaban y transmitían de generación en generación. Para estos hombres no existía el concepto de variación, es decir tolerancia, pues sólo era aceptable la perfección.

La llegada de la línea de montaje revolucionó la manufactura pues reemplazo el rol del ajustador, es decir le quito al operario especialista el tiempo para el ajustar y probar. También contribuyo la mejora de los métodos de medición.

Los profesionales de la ingeniería comenzaron a entender que la variación del proceso de fabricación era inevitable.

En cada dimensión de cualquier acoplamiento de piezas se permite cierta variación o tolerancia, no impidiendo ésto su buen funcionamiento siempre y cuando esta variación, es decir la tolerancia, sea identificada, entendida y controlada.

Esto llevó en su momento al desarrollo del sistema de tolerancias cartesiano o también llamado de coordenadas o dimensional o de tolerancias cuadradas, es decir, aquellas que usan el más/menos para acotar, siendo el lugar más lógico para su anotación el dibujo o plano de ingeniería o de diseño.

Con el fin de mejorar la calidad de los dibujos, se hicieron esfuerzos para su Normalización. En 1935, después de años de discusión, la *American Standards Association* (Organización Americana de Estándares) publicó las primeras normas de dibujo bajo el título “*American Drawing and Drafting Room Practices*”. De sus escasas 18 páginas sólo cinco se dedicaban al dimensionamiento. Las tolerancias geométricas solamente se cubrían en dos breves párrafos.

En la Gran Bretaña la producción bélica fue fuertemente afectada por el alto índice de descarte ya que las piezas no acoplaban adecuadamente.

Los británicos determinaron que esta debilidad tenía su origen en los mas/menos del sistema de coordenadas y, más crítico todavía, la ausencia de información completa en los planos de ingeniería.

El origen del GD&T se remonta a la Segunda Guerra Mundial cuando *Stanley Parker*, de la *Royal Torpedo Factory* en *Alexandria*, Escocia, creó durante esos años el concepto de GD&T con el objeto de recalificar por funcionalidad las piezas de torpedo que habían sido rechazadas por el sistema tradicional de tolerancias cartesianas. En consecuencia, demostró que en ciertos casos el producto final funcionaba bien cuando se ensamblaban piezas que fueron rechazadas durante el proceso de inspección, de modo que eran en realidad piezas buenas desde el punto de vista funcional.

Stanley Parker desarrolló el concepto de “posición verdadera” y a partir de su trabajo aumentó la producción de armas navales por parte de nuevos contratistas.

En 1940 Parker publicó “*Notas sobre diseño e inspección del trabajo de ingeniería de producción en masa*”, el primer trabajo sobre dimensionamiento geométrico y tolerancia.

Los ingleses continuaron publicando un juego de documentos normativos en 1944 y 1948 publicaron “*Dimensional Analysis of Engineering Design*”, la primera norma de GD&T.

Parker publicó en 1956 “*Dibujos y dimensiones*”, que se convirtió en la referencia básica en el campo de las tolerancias geométricas.

En 1940, en los Estados Unidos, Chevrolet saco a luz un manual para dibujantes, la primera publicación conteniendo alguna discusión significativa sobre tolerancias de posición.

El ejército de los Estados Unidos, en 1945, dio a conocer su “*Ordinance Manual on Dimensioning and Tolerancing*”, el cual introdujo el uso de símbolos en lugar de notas para especificar la forma de las tolerancias de posición.

Aún así, la segunda edición de la *Asociación Americana de Estándares* (ASA) “*American Standard Drawing and Drafting Room Practice*”, editada en 1946, sólo mencionaba tolerancias en forma mínima.

El mismo año, sin embargo, la *Society of Automotive Engineers* (SAE) expandió la cobertura de prácticas de acotado aplicadas en la industria de la aviación en su “*SAE Aeronautical Drafting Manual*”. Una versión automotriz de estas normas fue publicada en 1952.

En 1949, los militares de los Estados Unidos de América siguieron a los británicos con la primera publicación de dimensiones y tolerancias, conocida como *MIL-STD-8*. Su sucesora, la *MIL-STD-8A*, de 1953, autorizó el uso de siete símbolos básicos e introdujo una metodología para el dimensionamiento o acotado funcional.

De manera que había tres diferentes grupos en los Estados Unidos generando normas de dibujo técnico: ASA, SAE y los militares. Esto llevó a años de confusión por las inconsistencias entre estos documentos y la falta de unificación de criterios.

ANSI (*American National Standards Institute*) es el Instituto u Organismo de Normalización de los Estados Unidos de América y miembro de ISO.

Se formó en 1918, cuando cinco sociedades o asociaciones de ingeniería y tres agencias del gobierno decidieron fundar la *American Engineering Standards Committee* (AESC). En 1928 la AESC se convirtió en la *American Standards Association* (ASA).

A partir de 1966, ASA se reorganizó y se transformó en el Instituto de Normas los Estados Unidos de América, Standards Institute (USASI). El nombre actual de ANSI fue adoptado en 1969.

La primer norma de GD&T unificada fue emitida en 1973 por el American National Standards Institute (ANSI) siendo la ANSI Y14.5. El objetivo de la misma fue reemplazar notas por símbolos en todas las tolerancias que figuraban en los planos.

En Europa prácticamente se utiliza esta misma norma, con mínimas variaciones, bajo el nombre ISO 1101 y en Alemania como DIN 7184.

Además del diseño y la fabricación, un aspecto importante es el control o inspección de la pieza fabricada. Dicho control, realizado a partir de diversos tipos y clases de mediciones y ensayos, permite diferenciar una pieza buena de una mala o, en otros términos, pieza aceptada de rechazada. Acá entra en juego la tercer pata o vértice del triángulo de la Fig. 1.2, que es justamente la metrología.

Se puede aseverar que desde la aparición del ser humano sobre la Tierra surgió la necesidad de contar y medir. Esa necesidad de hacerlo aportó los ingredientes básicos que requiere la metrología para desarrollar su actividad fundamental como ciencia que estudia los sistemas de unidades, los métodos, las normas y los instrumentos para medir.

Es decir que, por medio de instrumentos de medición, a través de los cuales se realizan mediciones y ensayos, es posible determinar la conformidad con las normas existentes de un producto o servicio, lo cual permite asegurar su calidad para ofrecerla a los consumidores.

Las mediciones correctas tienen una importancia fundamental para los gobiernos, para las empresas y para la población en general, propiciando y facilitando las transacciones comerciales.

A menudo, las cantidades y características de un producto son resultado de un contrato entre el cliente (consumidor) y el proveedor (fabricante); las mediciones facilitan este proceso y por lo tanto inciden en la calidad de vida de la población, protegen al consumidor, ayudan a preservar el medio ambiente y contribuyen a usar racionalmente los recursos naturales.

Etimológicamente Metrología deriva del griego *μετρον*, que significa medida y *λογος*, que significa tratado o estudio. Para ser más claros, Metrología viene de la palabra Metron, que significa medida y Logos estudio o tratado.

Es decir, es la ciencia que versa sobre las medidas, los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. Se podría indicar también que es la ciencia y arte que trata los aspectos prácticos y teóricos sobre las mediciones y sus campos de aplicación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede expresar que la Metrología es la ciencia que estudia las medidas, en otras palabras, es la ciencia y técnica que tiene por objeto el estudio de los sistemas de medición.

En el documento JCGM 200:2012 Vocabulario Internacional de Metrología, Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM), se define a la metrología como: “ciencia de las mediciones y sus aplicaciones” agregando en nota aclaratoria de la definición “La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones.”¹

En consecuencia, es la ciencia que trata de las medidas, de los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. Abarca varios campos, tales como metrología térmica, eléctrica, acústica, dimensional, entre otras.

La metrología es el campo del conocimiento relativo a las mediciones. Incluye todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se relacionan con las mediciones, cualquiera sea su nivel de exactitud y en cualquier campo de la ciencia y la tecnología.

El objetivo de la metrología es procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones, tanto en lo concerniente a las transacciones comerciales y de servicios, como en los procesos industriales y sus respectivos trabajos de investigación científica y desarrollo tecnológico. Es por este motivo que todos los 20 de mayo se celebra el Día Mundial de la Metrología.

En dicha fecha se conmemora la firma por parte de representantes de diecisiete países de la Convención del Metro el 20 de mayo de 1875. La misma establece el marco para la colaboración mundial en materia de metrología y su aplicación industrial, comercial y social, manteniendo siempre presente su objetivo original que consiste en lograr la uniformidad de las mediciones en todo el mundo.

Resumiendo, la metrología es la ciencia de las mediciones y está ligada a la actividad humana desde la creación del hombre.

Las mediciones juegan un rol importante en la vida diaria de las personas. Se encuentran en cualquiera de las actividades, desde la estimación a simple vista de una distancia, hasta un proceso de control o la investigación básica.

En consecuencia, la Metrología abarca el estudio y aplicación de todos los medios propios para la medición de magnitudes, tales como: longitudes, ángulos, masas, tiempos, velocidades, potencias, temperaturas, intensidades de corriente, etc. Por esta enumeración, limitada voluntariamente, es fácil ver que la metrología entra en todos los dominios de la ciencia.

Como se mencionó anteriormente, la Metrología abarca varios campos, tales como metrología térmica, eléctrica, acústica, dimensional, etcétera

Esto se puede resumir en el cuadro de la Fig. 1.3 en donde, a manera de ejemplo, se muestran algunos de los diferentes tipos de metrologías.

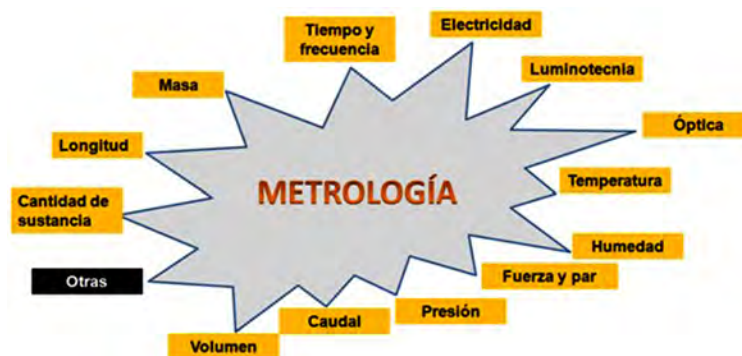


Fig. 1.3 - Las metrologías

¹ Véase <https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf> versión original https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm_200_2012.pdf

A partir de lo expuesto, la metrología se puede clasificar en dos grandes grupos:

- Metrología Física
- Metrología Química

La Metrología Física incluye:

- Metrología Dimensional
- Metrología de Masa y Volumen
- Metrología de Temperatura y Humedad
- Metrología de Presión y Caudal
- Metrología de Fuerza y Par (Torque)
- Metrología Eléctrica y Electrónica
- Metrología Acústica y Vibraciones
- Metrología Óptica y Luminotécnica
- Metrología de Tiempo y Frecuencia

Antiguamente, los patrones eran partes del cuerpo humano como los pies o la longitud de los brazos abiertos.

Estudios arqueológicos han encontrado que civilizaciones muy antiguas tenían ya los conceptos de pesar y medir. De modo que debe haber sido, en consecuencia, necesario disponer de medidas uniformes que permitieran el intercambio comercial, la división de los territorios y la aplicación de impuestos.

Por consiguiente, se puede afirmar que la Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con sustrato científico, ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa las propiedades físicas y químicas de los objetos.

El progreso en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición, como queda expresado en la siguiente frase de Mendeleyev: "La Ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de Mediciones."²

Es por este motivo que las mediciones correctas tienen una importancia fundamental para los gobiernos, para las empresas y para la población en general, propiciando y facilitando las transacciones comerciales. A menudo las cantidades y las características de un producto son resultado de un contrato entre el cliente (consumidor) y el proveedor (fabricante); las mediciones facilitan este proceso y, por lo tanto, inciden en la calidad de vida de la población, protegen al consumidor, ayudan a preservar el medio ambiente y contribuyen a usar racionalmente los recursos naturales.

Las mediciones sirven para proveer, mantener y diseminar un conjunto consistente de unidades para dar una base sobre la cual se podrá fundamentar la obligación del cumplimiento de las normas de equidad en el comercio expresadas por las leyes de pesas y medidas, o para suministrar los datos necesarios para el control de calidad en la industria, el cuidado del ambiente o de la salud.

Son necesarias para asegurar la consistencia del producto fabricado con sus especificaciones, para garantizar que los diferentes componentes de un producto complejo ensamblen de

² Véase https://www.cem.es/preguntas_frecuentes/%C2%BFqu%C3%A9-importancia-tiene-la-metrolog%C3%ADa-para-la-sociedad El Centro Español de Metrología (CEM) es conforme a lo establecido en el Artículo 149 de la Constitución Española, el máximo órgano técnico en el campo de la metrología en España, asumiendo las funciones de Instituto Nacional de Metrología español similar a las que tiene el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en Argentina.

acuerdo con el diseño y, al final de la línea de producción, para probar que el producto cumple con los requerimientos del diseño.

A partir de lo señalado anteriormente, se podría expresar que las mediciones físicas, químicas, biológicas y de otro tipo, o directamente las mediciones en general, afectan la vida diaria de toda la población y son esenciales para el funcionamiento de la sociedad.

Una incorrecta medición puede tener impactos tanto económicos como sociales, por ejemplo, para los laboratorios podrían traer aparejada la necesidad de repetir los ensayos o mediciones con el consecuente gasto económico que implica el uso de materiales para realizarlos.

También podrían generar reclamos por parte de usuarios u ocasionar el retiro del mercado de un lote de productos, o causar daños a la salud de consumidores.

La metrología se divide en dos partes:

- **Metrología general**
- **Metrología aplicada**

A continuación se presentan sus definiciones.

Metrología general: es la parte de la metrología que abarca los problemas comunes a todas las cuestiones metrológicas (estructura de un sistema de unidades, unidades de medida en las fórmulas, problemas de errores de medición, etc.).

Metrología aplicada: es la parte de la metrología que atañe a mediciones de una magnitud determinada o de magnitudes que forman parte de cierto campo, como por ejemplo metrología de longitudes, metrología eléctrica, metrología industrial, astronómica, médica, entre otras.

Las actividades relacionadas con la Metrología dentro de un país son responsabilidad de una o varias instituciones autónomas o gubernamentales y, según sus funciones, se caracteriza como Metrología Científica, Legal o Industrial, dependiendo de su aplicación.

La metrología, en consecuencia, se divide en tres grandes ramas, categorías o grupos como se puede observar en el cuadro de la Fig. 1.4.



Fig. 1.4 - Ramas de la Metrología

Cada una de estas ramas mencionadas posee diferentes niveles de complejidad y exactitud.

En la Fig. 1.5 se puede observar un cuadro resumen donde se definen sintéticamente las tres ramas.

* <u>Metrología científica</u> Se ocupa del desarrollo de patrones de medida y de su mantenimiento.
* <u>Metrología industrial</u> Se ocupa del aseguramiento de las mediciones en la industria, en la producción y en los laboratorios de ensayo.
* <u>Metrología legal</u> Se ocupa de las mediciones cuando éstas tienen influencia en el comercio, la salud y el ambiente.

Fig. 1.5 - Definición de las tres ramas de la Metrología

Metrología Científica:

Es la parte de la metrología que se ocupa de las determinaciones de las constantes físicas fundamentales, encontrar las características, los niveles que definen y hacen particular a un fenómeno. También busca mejorar los sistemas de medición para lograr un control cada vez más rápido y más confiable.

Orientada hacia la investigación, marca las pautas para establecer los métodos de medición de los equipos y patrones.

Define y mantiene las unidades de medida.

También se puede afirmar que el objeto de la metrología científica es el desarrollo y mantenimiento de patrones primarios internacionales o nacionales que permitan sostener todas las otras actividades metrológicas.

La metrología científica se desarrolla generalmente en instituciones o laboratorios oficiales de los distintos países del mundo llamados institutos nacionales de metrología, responsables de realizar y mantener los patrones nacionales de medida de cada país.

Metrología Legal:

Concierne a las exigencias técnicas y jurídicas reglamentadas. Es decir, es el conjunto de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos, establecidos por las autoridades públicas o en referencia a ellas y puestas en práctica en su nombre con el fin de especificar y asegurar, de forma reglamentaria o contractual, el nivel apropiado de calidad y de credibilidad de las medidas relativas a los controles oficiales en el comercio, la seguridad, la sanidad, y el ambiente.

Su objeto principal es el de garantizar la corrección y equidad en las relaciones comerciales y asegurar la salud de los miembros de la sociedad y la protección del medio ambiente.

Metrología Industrial:

Promueve en la industria manufacturera y de servicios (y la industria en general) la competitividad a través de la permanente mejora de las mediciones que inciden en la calidad de los productos y servicios. La metrología industrial se ocupa de asegurar las mediciones necesarias para la fabricación de productos. Las industrias hacen lo posible para controlar, asegurar y mejorar la calidad y confiabilidad de sus productos. Para esto se deben realizar mediciones sobre las materias primas, los procesos, condiciones de fabricación y los productos terminados.

La metrología industrial, también llamada técnica, se ocupa de la medición en las fabricaciones mecánicas. Abarca desde las mediciones groseras con reglas milimetradas hasta las hechas con complejas máquinas de medir. Es decir, la medición de la producción en la fabricación en serie.

En la práctica se circunscribe a la medición de longitudes y ángulos y a la verificación de formas especiales.

Son casos particulares la medición de roscas y engranajes y la verificación de estado de las superficies.

Algunos ejemplos de mediciones industriales son: las dimensiones de una pieza que deberá ser ensamblada en otra para armar la carrocería de un automóvil, la rugosidad de un disco de freno que asegure adherencia, la potencia eléctrica de una estufa de cuarzo, el contenido de principio activo en un medicamento para la presión arterial, el porcentaje de grasa de una hamburguesa, la resistencia de una bobina de papel, la temperatura que debe tener un horno donde se elabora pan lactal, entre otras.

En el uso o lenguaje industrial común el término mediciones dimensionales designa a los procesos para determinar las magnitudes lineales y angulares de piezas o de sus características.

El propósito básico de las mediciones dimensionales o metrología dimensional en producción es asegurar y verificar la concordancia del producto con las especificaciones del diseño.

En una organización industrial, el área de control de calidad es el sector tradicional de las mediciones dimensionales en el cual, particularmente en la industria metalmecánica, constituye una porción predominante del total del trabajo de inspección.

La metrología dimensional es la que se encarga de estudiar las técnicas de medición que determinan correctamente las magnitudes lineales y angulares. Es decir, las longitudes y ángulos, aplicándose en el caso de la medición de longitudes a las de exteriores, interiores, profundidad y altura, como así también abarcando también la evaluación del acabado o textura superficial.

En la Fig. 1.6 se muestra el campo de aplicación de la metrología dimensional.

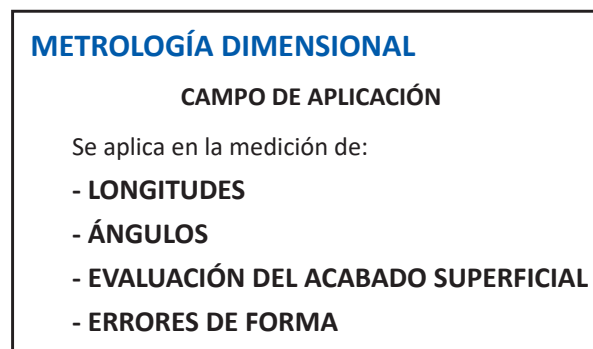


Fig. 1.6 - Campo de aplicación de Metrología Dimensional

Desde una perspectiva industrial, la metrología dimensional es la aplicada a la verificación geométrica y dimensional de piezas mecanizadas y órganos montados que entran en la construcción de máquinas, así como de las propias máquinas.

Es fundamental no sólo a la hora del control de una pieza producto, sino también en el proceso de diseño, ya que cuando el diseñador asigna tolerancias dimensionales y geométricas debe, además de conocer conceptos de ajustes y tolerancias, tener en claro los instrumentos y equipos con los que se deben controlar las piezas fabricadas en laboratorio y en producción.

Al momento de pensar acerca del acoplamiento o vinculación de dos piezas o partes o componentes es muy importante tener en cuenta lo que se indica en la Fig. 1.7.

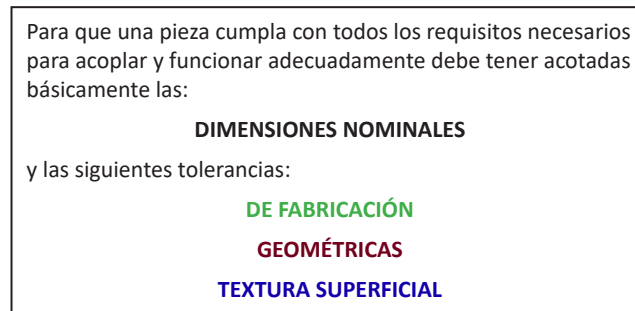


Fig. 1.7 - Dimensiones y tolerancias

Las características de una pieza producto, también llamada parte, se encuentran definidas en el plano de la misma, que indica la naturaleza del material que la constituye, su estado físico antes y después del mecanizado de ser necesario, si es preciso sus características mecánicas, la forma geométrica de la pieza (también llamado error macro geométrico), las dimensiones de esta forma y la calidad de su acabado o textura superficial, es decir, su error micro geométrico.

Una superficie perfecta es una abstracción o idealización ya que cualquier superficie real presenta irregularidades originadas durante el proceso de fabricación.

Básicamente existen dos tipos de irregularidades o errores de una superficie: irregularidades mayores, también llamadas macro geométricas o errores macro geométricos, y las micro geométricas, conocidas también como errores micro geométricos.

Las irregularidades macro geométricas o mayores son errores asociados con la variación en tamaño de una pieza, paralelismo entre superficies, planitud de una superficie, conicidad, cilindridad, redondez, entre otros, y son medidos con instrumentos convencionales.

Los errores micro geométricos o irregularidades menores son la ondulación y la rugosidad. Ambas conforman la textura o acabado superficial.

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. 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 generadas por las herramientas de mecanizado.

Los errores superficiales mencionados se presentan simultáneamente sobre una superficie, lo que dificulta la medición individual de cada uno de ellos.

La ondulación y la rugosidad se miden por medio de un equipo llamado rugosímetro.

La verificación de la naturaleza del material y su estado físico se refiere a los ensayos mecánicos y físicos, al análisis químico, al examen metalográfico, al examen magnético a los rayos X para revelar fisuras y poros. Como se puede observar a partir de lo mencionado, a los ensayos de materiales, físicos o químicos, destructivos o no destructivos.

En cambio, en relación a la forma geométrica de la pieza, es decir, sus errores macro geométricos, es importante señalar que el plano define la forma geométrica ideal deseada, que interesa obtener pero que no se alcanza nunca.

Los errores macro geométricos mencionados en el párrafo anterior se generan debido a las siguientes causas:

- a) defectos de precisión de las máquinas herramientas.
- b) deformaciones elásticas en carga de las máquinas, herramientas y porta herramientas.
- c) fijación defectuosa de la pieza producto en su porta herramienta.
- d) desgaste de las herramientas.
- e) efecto de dilatación debido a variaciones de temperatura.
- f) endurecimiento superficial del metal por acción de la herramienta y por la variación de tensiones causada por el arranque de capas sucesivas de metal las cuales provocan deformación en la pieza.

En principio, todas la máquinas-herramientas deben construirse y utilizarse de modo tal que obtengan las superficies geométricas que tienen por misión engendrar. Pero las causas citadas anteriormente hacen que, en los trabajos de calidad, sea necesario precisar el error de forma admisible, o error macro geométrico, que se puede tolerar con relación a la superficie geométrica ideal.

A partir de todo lo expresado y analizado hasta aquí, se puede resumir indicando que los errores surgidos del mecanizado de una pieza pueden agruparse del modo siguiente:

Errores dimensionales:

Son los generados por las desviaciones de las dimensiones con respecto a las establecidas en el plano de la pieza, determinadas por medio de las tolerancias.

Errores geométricos:

Son aquellos errores que afectan a la geometría, contornos y relaciones geométricas de la pieza, como paralelismo, perpendicularidad, planitud, rectitud, etc.

Errores de textura superficial o acabado:

Son los relacionados con la calidad de la superficie, principalmente ondulación y rugosidad.

Estos errores producto del mecanizado son los que llevan al proyectista a establecer en su diseño tolerancias para acotar la influencia de los mismos, como se resume en la Fig. 1.8.

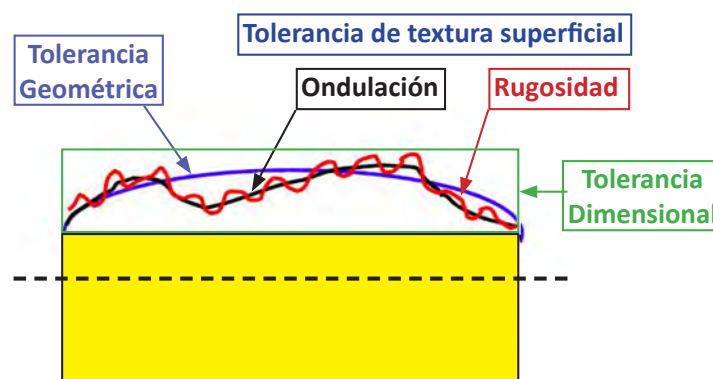


Fig. 1.8 - Interacción de las tolerancias

Partiendo del hecho de que es imposible mecanizar o fabricar una superficie geométricamente perfecta, se puede observar en la Fig. 1.8 que existen tres errores en una pieza producto: dimensionales, macro geométricos y micro geométricos, todos generados a partir de la fabricación de la pieza. En consecuencia, esta variabilidad propia del proceso de fabricación debe ser controlada a partir de la asignación por parte del diseñador de tolerancias geométricas, dimensionales y de textura superficial incluyendo esta última la rugosidad y la ondulación.

El metrologo también debe interpretar correctamente la simbología del plano y conocer los procesos de manufactura, ya que GD&T (Geometrical Dimensioning and Tolerancing), es un método de acotación, es decir, un lenguaje simbólico universal que sirve para diferenciar pieza buena de pieza mala, pero siempre desde el punto de vista funcional.

Las alineaciones y las tolerancias aplicadas deben reflejar la forma de fijación y funcionamiento real de la pieza de modo que la rechazada realmente sea una pieza no funcional. Es un método de acotación pensado para obtener el mayor margen posible de fabricación de la pieza y reducir costos pues permite adaptar las tolerancias al funcionamiento real y la pieza concreta.

Como ya se indicó y se puede observar en la Fig. 1.9, existe una relación entre la metrología, el diseño y la manufactura con GD&T.



Fig. 1.9 - GD&T (Geometrical Dimensioning and Tolerancing)

Un concepto a tener en cuenta para poder interpretar el rol del metrologo es el de competencia, definiéndose como el conjunto de conocimientos, saber hacer, habilidades y aptitudes que permite a los profesionales desempeñar y desarrollar roles de trabajo en los niveles requeridos para el empleo. También se la puede definir como la capacidad de usar el conocimiento y las destrezas relacionadas con productos y procesos y, por consiguiente, de actuar eficazmente para alcanzar un objetivo.

Es importante destacar que al hablar de competencia se hace referencia a un tipo de trabajo de cierto nivel de complejidad que lo distingue de las actividades que se desarrollan como mera ejecución de las órdenes de otros.

El actor principal en la metrología es el metrologo. En la Fig. 1.10 se pueden apreciar y sintetizar sus competencias.

De la observación y análisis de la figura surge rápidamente la cantidad de saberes interdisciplinarios que se asocian con la metrología, provenientes de las ciencias básicas, de las aplicadas y de las propias de ingeniería.

Se puede inferir, a partir de la interpretación del cuadro de la Fig. 1.10, que es representativo y común a todas las clasificaciones y ramas de la metrología.



Fig. 1.10 - Competencias del metrologo

Además de los conocimientos mostrados en la Fig. 1.10 y las competencias desarrolladas a partir de los mismos el metrologo, y específicamente el dimensional, tiene que poseer saberes relacionados con GD&T, de modo que al esquema anterior hay que agregarle estos conocimientos como se muestra en la Fig. 1.11.



Fig. 1.11 - Competencias del metrologo dimensional

1.2 - Industria 4.0 y GD&T

El concepto de Industria 4.0 fue abordado por primera vez en 2011 por Kagermann y su equipo de investigación. Aquella primera publicación sentó las bases para el manifiesto *Industrie 4.0* publicado en 2013 por la Academia Nacional Alemana de Ciencia e Ingeniería.

La Primera Revolución Industrial supuso la migración del uso de la energía animal hacia los combustibles fósiles y la potencia mecánica. La Segunda Revolución Industrial –ocurrida durante finales del siglo XIX y las dos primeras décadas del siglo XX– trajo importantes avances en la distribución de la electricidad, la comunicación inalámbrica y por cable y las nuevas formas de generación de energía. La Tercera Revolución Industrial comenzó en la década de 1950 y representó el desarrollo de la automatización y los sistemas digitales que han permitido nuevas formas de generar, procesar y compartir información.

La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 se puede describir como el advenimiento de sistemas ciberfísicos que implican capacidades completamente nuevas para las personas y las máquinas. Si bien estas capacidades dependen de las tecnologías y la infraestructura de la Tercera Revolución, la Industria 4.0 representa formas totalmente nuevas en las que la tecnología se integra en las sociedades e incluso en los cuerpos humanos. Los ejemplos incluyen edición de genoma, nuevas formas de inteligencia artificial, materiales innovadores y nuevos enfoques de gobernanza.

La Fig. 1.12 muestra en forma simplificada todo lo comentado en los párrafos anteriores en referencia las revoluciones industriales.

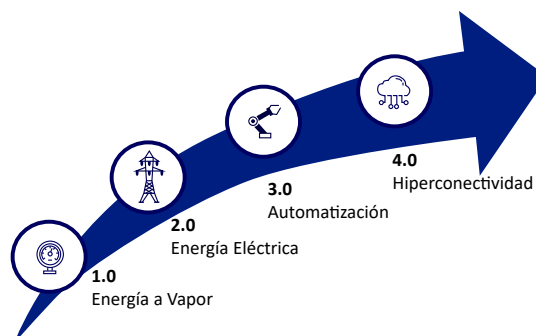


Fig. 1.12 - Revoluciones industriales

En forma un poco más detallada se expresan las diversas revoluciones industriales en la Fig. 1.13.



Fig. 1.13 - Evolución de la industria a lo largo del tiempo

La Industria 4.0 es un concepto que fue desarrollado desde el 2010 por el gobierno alemán para describir una visión de la fabricación con todos sus procesos interconectados mediante Internet de las cosas (IoT). Fue enunciado por primera vez en la Feria de Hannover, Salón de la tecnología industrial, en el año 2011.

Consiste en la digitalización de los procesos industriales por medio de la interacción de la inteligencia artificial con las máquinas y la optimización de recursos enfocada en la creación de efectivas metodologías comerciales. Esto implica cambios orientados a las infraestructuras inteligentes y a la digitalización de metodologías. Este proceso incidirá de manera más concreta en el modo de hacer negocios.

Fusiona digitalmente diversas disciplinas garantizando la satisfacción del cliente y la personalización de servicios. Uno de los objetivos de esta revolución es la unión entre tecnologías digitales que permiten la creación de mercados inéditos y la interacción entre actores económicos.

Es una manera de producir que es automática, independiente y controlable desde cualquier lugar. Se logra con la incorporación de tecnologías 4.0 que conectan el mundo físico con el virtual a través de sensores e Internet.

De esta manera las empresas pueden acceder a grandes cantidades de datos en tiempo real y tomar mejores decisiones en todo el proceso productivo, desde el diseño y la fabricación hasta la distribución y comercialización de productos y servicios.

Una fábrica inteligente (Smart Factory) es una organización que se encuentra altamente digitalizada y conectada. Es un término que se encuentra unido al de Industria 4.0.

Las tecnologías utilizadas son variadas: van desde la Inteligencia artificial (IA), robótica, big data e Internet de las cosas (IoT).

Lo más característico es que pueden funcionar sin demasiada intervención humana, aprender y adaptarse a los cambios en tiempo real. Son mucho más flexibles que las fábricas del pasado y pueden funcionar de forma autónoma.

Los procesos productivos son capaces de adaptarse de forma continua e inmediata a distintas tareas. A diferencia de las antiguas fábricas de producción en serie, donde se establecía una cadena de producción completamente rígida, en las smart factory todos los componentes envían información constantemente.

Gracias al análisis de toda esta información (Big Data), los productos que se fabrican se adaptan a cada necesidad puntual. La producción es mucho más versátil y varía según la necesidad de cada momento.

Dado que una de las características de una fábrica inteligente es su conectividad, los sensores y los dispositivos IoT (internet de las cosas) son fundamentales. Se utilizan para vincular los datos de las máquinas, sistemas y personas para poder tomar decisiones en tiempo real.

Las aplicaciones basadas en inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático son las que manejan las tareas rutinarias (robots). Las personas son las encargadas del trabajo de gestión y toma de decisiones.

Una fábrica inteligente logra aplicando las herramientas de industria 4.0:

- Tener sus máquinas, dispositivos y personal conectados y comunicados entre sí.
- Usar sensores para recolectar datos del mundo físico y almacenarlos virtualmente.
- Automatizar tareas operativas y riesgosas así como también decisiones y respuestas sencillas.

Lo que permitió estos cambios en la industria fue la reducción de los costos de los sensores y su instalación, el almacenamiento de datos y la conectividad en los procesos.

Los beneficios de la industria 4.0 son los siguientes:

- Producción más flexible
- Mayor eficiencia
- Optimización de la logística
- Productos personalizados
- Análisis predictivos

A continuación se desarrolla brevemente cada ítem.

- **Producción más flexible**

Se puede planificar e intervenir en cada uno de los eslabones de la cadena de valor de un producto sin alterar los otros.

- **Mayor eficiencia**

Permite producir en módulos que se ensamblan en menor tiempo.

- **Optimización de la logística**

Los algoritmos pueden calcular rutas de entrega ideales para evitar aglomeraciones, interrupciones y retrasos y mejorar el flujo de mercancías.

- **Productos personalizados**

Los productos inteligentes permiten el envío de datos de uso en tiempo real al fabricante para que mejore la experiencia del cliente y cree nuevos productos y servicios en base a esa información.

- **Análisis predictivos**

El uso de datos es la base para nuevos servicios que predicen el desgaste de un producto o elemento de un sistema.

La Industria 4.0 abarca campos de amplio alcance como inteligencia artificial (AI), robótica, internet de las cosas (IoT), vehículos autónomos, fabricación aditiva, nanotecnología, biotecnología, ciencia de los materiales y muchas otras tecnologías.

La Fig. 1.14 sintetiza el concepto de industria 4.0 y muestra las disciplinas que la conforman.

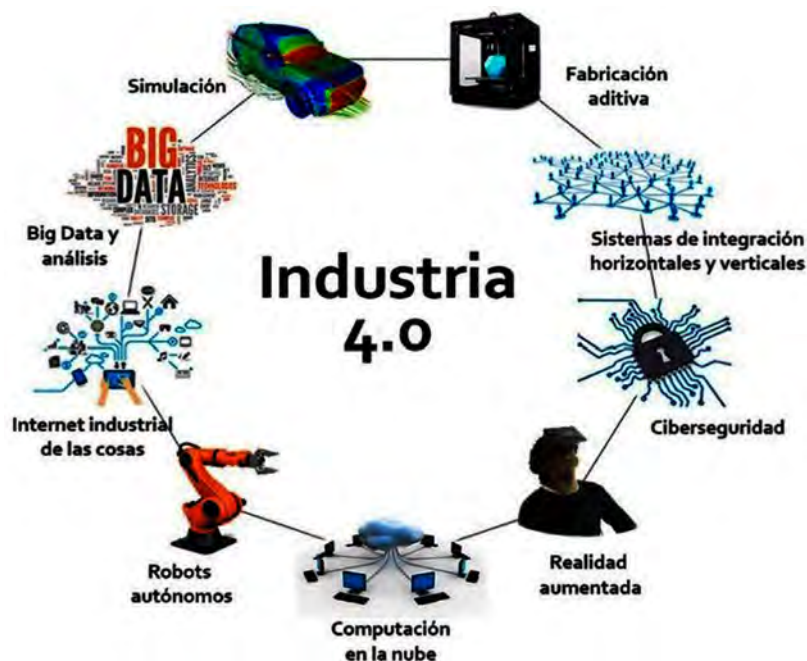


Fig. 1.14 - Industria 4.0

El Internet de las Cosas o IoT (por sus siglas en inglés: Internet of Things) es un término que se refiere a la conexión de objetos o dispositivos a Internet, no sólo incluye computadoras y celulares, sino también electrodomésticos, automóviles y básicamente cualquier artículo de uso diario que puede conectarse a una red.

Por lo general, el término Internet de las Cosas se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana.

El IoT funciona gracias a otras tecnologías inalámbricas, como la Red 4G, que permite que todos los dispositivos se conecten a Internet y entre sí. Las más conocidas son Wi-Fi, Bluetooth, entre otras.

A diferencia del Internet normal o de las personas, la internet de las cosas está compuesta por sensores inteligentes y otros dispositivos.

Entre sus usos se encuentran, por ejemplo, la recopilación de datos operativos de sensores remotos en plataformas petrolíferas, la recolección de datos meteorológicos, el control de termostatos inteligentes, entre otros.

Cabe aclarar también que se entiende por big data al almacenamiento y la gestión de una cantidad elevada de datos incluyendo el análisis del comportamiento del usuario, extrayendo valor de los datos almacenados y formulando predicciones a través de los patrones observados.

Es una disciplina dedicada a los datos masivos que se enmarca en el sector de las tecnologías de la información y la comunicación y se ocupa de todas las actividades relacionadas con los sistemas que manipulan grandes conjuntos de datos.

Las dificultades más habituales vinculadas a la gestión de los grandes volúmenes de datos se centran en la recolección, el almacenamiento, las búsquedas, las comparticiones, los análisis, las visualizaciones y representaciones.

La tendencia a manipular enormes volúmenes de datos se debe, en muchos casos, a la necesidad de incluir dicha información en informes estadísticos y modelos predictivos utilizados en diversos campos.

Las cuestiones vinculadas al big data son estudiadas y tratadas por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Este conjunto de ciencias y disciplinas aporta soluciones para recolectar, almacenar, buscar, analizar y exhibir conjuntos muy grandes de datos.

El big data es importante a la hora del desarrollo de modelos y estadísticas.

La Fig. 1.15 es un ejemplo que muestra y sintetiza lo expresado hasta aquí en relación al Big Data.

La computación en la nube o cloud computing, conocida también como servicios en la nube, informática en la nube, o simplemente «la nube», es una herramienta que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, que usualmente es Internet.

La computación en la nube son varios servidores desde Internet encargados de atender las peticiones en cualquier momento. Se puede tener acceso a su información o servicio mediante una conexión a internet desde cualquier dispositivo móvil o fijo ubicado en cualquier lugar.

La nube no es un lugar, sino un método de gestión de recursos de IT que reemplaza las máquinas locales y los centros de datos privados con infraestructura virtual.

En este modelo, los usuarios acceden a los recursos virtuales de computación, red y almacenamiento que están disponibles en línea a través de un proveedor remoto. Estos recursos se pueden aprovisionar de manera instantánea.

La industria 4.0 consiste en la digitalización de los procesos de producción de las industrias mediante el uso de sensores y sistemas de información que transformarán los procesos productivos haciéndolos mucho más eficientes.

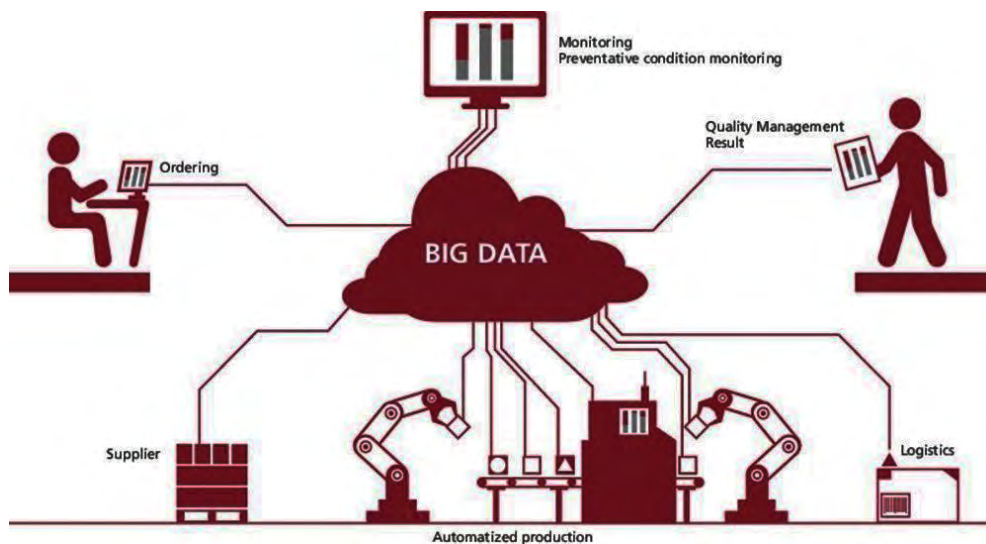


Fig. 1.15 - Big data

El concepto Metrología 4.0 define las nuevas tendencias de esta disciplina para satisfacer las necesidades del entorno productivo buscando una producción eficiente mediante el uso de procesos de fabricación y mediciones avanzadas e inteligentes.

Para ello es indispensable disponer de medios productivos controlados mediante sensores inteligentes que optimicen la respuesta de los procesos de fabricación en la propia línea de producción, asegurando la calidad del producto y reduciendo el ciclo productivo de los mismos, así como los costos derivados.

Las principales características de la metrología 4.0 son la rápida adquisición de datos, el procesamiento automático de las mediciones y la interpretación del resultado que permitan controlar y monitorear los procesos, generando no solamente un histórico de las mediciones sino también proporcionar la información necesaria para realizar correcciones en tiempo real para lo cual las mediciones y la obtención de resultados deben ser mucho más rápidos que el propio proceso de fabricación.

En la Industria 4.0 la tecnología metrológica tiene un desafío particularmente exigente: menos mediciones en la sala de medición o laboratorio y más mediciones en la línea misma.

Es por eso que se puede emplear los términos metrología 4.0 o Smart Metrology, también llamada Metrología inteligente, debido a que la metrología actual se encuentra vinculada a la industria 4.0 ya que todo producto que se fabrica debe ser medido para saber si se encuentra dentro de tolerancia, de modo que este concepto clásico no pierde significancia y sigue manteniéndose vigente a pesar los avances tecnológicos.

Los principales requisitos de esta interacción sensor-proceso residen en una adquisición rápida de datos (tecnologías sin contacto), el procesamiento automático de las medidas (programación paramétrica), la interpretación del resultado (modelos de toma de decisiones) y una conversión del resultado obtenido (adaptación del lenguaje de comunicación) para poder comunicarse con el sistema de control del proceso y actuar sobre él. Además es cada vez más latente la complejidad de los procesos de fabricación, para lo cual se requiere incluso de un sistema de gestión de la calidad global que exige una comunicación de más alto nivel entre los medios productivos y los sistemas metrológicos.

Para satisfacer estas exigencias los sistemas metrológicos, hardware y software, se están adaptando a este entorno adquiriendo nuevas cualidades que hasta el momento no eran necesarias en un laboratorio.

La medición, tal y como se la entiende hoy, off-line y en laboratorio, se dedica al análisis

de problemas o a las mediciones relacionadas con las especificaciones entre cliente y proveedor. El futuro se encuentra en la medición directa en los procesos y, conforme el costo de medir disminuya, se tenderá al control 100 % de las características fundamentales del producto guardando registro de los resultados.

En big data se manejan grandes volúmenes de datos y estos pueden ser el resultado de mediciones. Big data puede ser utilizado para mejorar el desempeño de las máquinas, pero también de los instrumentos y sistemas de medición.

La Fig. 1.16 muestra a una persona en un tablero de control monitoreando y analizando información surgidas a partir de mediciones realizadas en forma simultánea en diversos sectores de la empresa.



Fig. 1.16 - Monitoreo y análisis de mediciones

La metrología 4.0 se asocia con la robótica para el control de las piezas fabricadas. Esta unión se realiza por medio de una máquina de medir por coordenadas y un robot interconectado a la misma, como se muestra en la Fig. 1.17.



Fig. 1.17 - Máquina de medir y robot

Primero el metrólogo programa la máquina y realiza la configuración en modo CNC para que mida automáticamente sin presencia humana.

Una vez chequeado su correcto funcionamiento, comienza el proceso de medición de las piezas a controlar en forma automática.

Por medio de medición por contacto se mide la pieza y, una vez finalizada, en base a los resultados obtenidos el robot toma la pieza y realiza la selección colocando la pieza en el contenedor correspondiente de acuerdo a su aceptación o rechazo.

Luego de efectuada esta última operación el robot toma una pieza nueva y la posiciona como se muestra en la Fig. 1.18 para que la máquina de medir por coordenadas en forma automática proceda a hacerlo.



Fig. 1.18 - Posicionamiento de pieza por medio de robot

En sectores como el aeronáutico, aeroespacial, eólico o médico, el mecanizado de componentes de alto valor agregado es una etapa crítica en el proceso productivo, máxime cuando se trata de grandes componentes de series cortas o piezas únicas. La idea de mecanizado sin defectos es hoy en día una necesidad para obtener una pieza buena de entrada sin necesidad de re trabajos posteriores.

El objetivo industrial es generar producto final de alta calidad a un precio razonable, sin defectos y reduciendo gastos. Esto se consigue mediante el uso de técnicas avanzadas de diseño, simulación, monitorización y medición, integradas en el proceso de forma inteligente y con la capacidad para obtener una producción estable y libre de defectos.

Partiendo del diseño y la utilización de modelos predictivos para procesos, siguiendo con la simulación virtual de procesos y la monitorización online para detección y corrección de errores y terminando con controles de calidad tanto en etapas intermedias como finales de la cadena, se pueden obtener buenos resultados en esta línea de producción.

La evolución y el avance de los programas de dibujo CAD³ posibilitó el desarrollo de GD&T, ya que la pieza es dibujada por el diseñador de manera tal que pueda ser medida en una máquina de medir de la misma forma que va ser acoplada con su contraparte, es decir la fijación de medición coincide con la de fabricación.

Los procesos de mecanizado incluyen procesos tradicionales (torneado, fresado, rectificado, taladrado, etc.) como avanzados (electroerosión, mecanizado electroquímico, por ultrasonidos, chorro abrasivo, mecanizado por haz láser, otros.). Debido a su complejidad y cierta incertidumbre, las técnicas de computación ligera o soft computing (redes neuronales, algoritmos genéticos, recocido simulado, algoritmo de colonia de abejas, etc.) pueden ser los elegidos frente a los métodos tradicionales, más físicos, para predecir el comportamiento de los procesos de mecanizado y optimizarlos.

³ CAD: significa diseño asistido por computadora (del inglés computer-aided design)

La integración de los sistemas CAD con los CAM⁴ del mecanizado por control numérico junto a la medición por medio de máquinas de medir por coordenadas, conforman dentro del ámbito de la industria 4.0 lo que se da en llamar “célula de mecanizado”.

A partir de esta integración, mostrada en la Fig. 1.19, se pueden corregir los errores del mecanizado.



Fig. 1.19 - Célula de mecanizado

También en esta célula puede participar uno o varios robots, y las máquinas de medir por coordenadas (MMC) generalmente operan en modo CNC⁵ al igual que los centros de mecanizado.

Por ejemplo, Correct Plus es un paquete de software que monitorea y corrige los errores en proceso en una célula de mecanizado integrada con un equipo de medición, manteniendo un diálogo directo con el control numérico (Fig. 1.19). Se trata de una solución que evalúa los datos de medición recibidos de la máquina de medir por coordenadas y dialoga con el Control Numérico para corregir el programa de mecanizado y mejorar su calidad.

Un software complementario del anterior es el MeasurLink de la firma MITUTOYO, utilizado no sólo para efectuar control estadístico de proceso a partir del procesamiento de información en forma remota, sino también para la retención de registros de calibración disponibles, soporte para gestión de medición con múltiples especificaciones.

Permite crear procedimientos de calibración para registrar todas las operaciones, así como también realizar la planificación avanzada de eventos de calibración o efectuar la búsqueda personalizada del inventario de calibración por ubicación, estado y usuario, entre otros. Además, con este tipo de herramienta, se logra obtener un resumen histórico de todos los registros de calibración, estudios de repetibilidad y reproducibilidad y la impresión automatizada de certificados de calibración entre otras funciones.

Es importante destacar que estos dos ejemplos de software y otros similares son utilizados como herramientas en todo lo concerniente a industria 4.0.

En la Fig. 1.20 se muestra una máquina de medir por coordenadas como las que se suelen utilizar en este tipo de célula. Se puede observar un portaplacador o sistema de cambio automático de palpadores y los diferentes palpadores por contacto que posee este tipo de equipos. La máquina, como se puede apreciar en la Fig. 1.20, es manejada por medio de una palanca de mando, también llamada joystick.

⁴ CAM: Significa fabricación o mecanizado asistido por computadora (del inglés computer-aided manufacturing)

⁵ CNC: significa control numérico computarizado

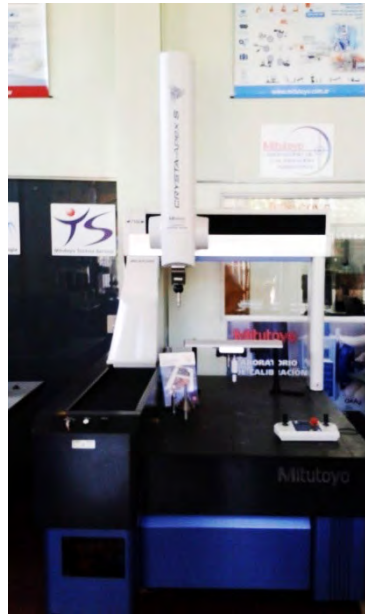


Fig. 1.20 - Máquina de medir por coordenadas

La Fig. 1.21 corresponde a una máquina de medir típica de laboratorios industriales en donde se puede apreciar el error máximo admisible o permitido (MPE) que poseen estos tipos de equipos.



Fig. 1.21 - Máquina de medir por coordenadas para laboratorios industriales

En cambio en la Fig. 1.22 se muestra una máquina de medir de alta exactitud.

Utilizada, por ejemplo, en laboratorios de metrología científica como el de la Fig. 1.23, en donde metrólogos de INMETRO⁶ se encuentran calibrando un patrón de placas de esferas o bolas utilizado, a su vez, para calibrar otras máquinas de medir por coordenadas de menor exactitud. Siendo el error máximo admisible de máquinas de medir como la de la Fig. 1.23 muy pequeño $MPE_E = (0,35 + \frac{L}{1000})$, posibilitando que este tipo de equipo se transforme dentro de la cadena de trazabilidad en un patrón secundario después del utilizado para definir el metro y de gran utilidad en los Institutos Nacionales de Metrología o en laboratorios de primer nivel que pre-

⁶ INMETRO: Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología. En portugués es Instituto Nacional de Metrología, Qualidade e Tecnologia y es por ley el Instituto Nacional de Metrología de Brasil.