

## ***RELACIÓN ENTRE LAS TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN***

### ***RELATIONSHIP BETWEEN DIMENSIONAL AND GEOMETRIC TOLERANCES IN MANUFACTURING PROCESSES***

*Laritza Espinosa Martínez<sup>1</sup> y Ramón Ramiro González Pérez<sup>2\*</sup>*

---

<sup>1</sup> Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara. Ave Liberación 201.  
Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera  
a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Febrero 18, 2019; Revisado: Marzo 13, 2019; Aceptado: Marzo 22, 2019

---

#### **RESUMEN**

Para lograr los parámetros exigidos al producto fabricado es necesario establecer de conjunto las tolerancias dimensionales y las tolerancias geométricas o de forma y posición de las superficies de las piezas. Aquellas piezas donde su configuración y dimensiones finales se obtienen mediante proceso de mecanizado generalmente están afectadas no solo por los errores dimensionales, sino también por las variaciones en cuanto a su forma geométrica. Las desviaciones de la forma geométrica que ocurren en las piezas después del mecanizado también deben ser enmarcadas dentro de ciertos límites de tolerancia para que complementen la exactitud de la pieza. En tal sentido, en los diseños de piezas se requiere determinar los límites de especificación, para definir las tolerancias en cuanto a sus dimensiones, forma geométrica y posiciones relativas de sus superficies. La determinación y prescripción de los errores permitidos en cuanto a la forma geométrica y posición relativa de las superficies de las piezas en su relación con las tolerancias dimensionales es un tema de mucho interés en las producciones mecánicas y un factor determinante en la garantía de la intercambiabilidad y los costos de producción, por lo que el objetivo del trabajo está encaminado a definir cuáles son los errores geométricos que con mayor frecuencia se producen en las piezas y como partiendo de los errores dimensionales establecer estos dentro de ciertos límites de tolerancias.

**Palabras clave:** Errores geométricos; errores de forma; posición y acumulativos; tolerancia dimensional; tolerancias geométricas.

---

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

---

\* Autor para la correspondencia: Ramón R. González, Email: [ramong@uclv.edu.cu](mailto:ramong@uclv.edu.cu)

## **ABSTRACT**

In order to achieve the required parameters for a manufactured product, it is necessary to establish overall dimensional tolerances and geometric tolerances or shape and position of pieces surfaces. Those pieces where their configuration and final dimensions are obtained by machining process are generally affected not only by dimensional errors, but also by the variations in their geometric shape. Deviations from the geometric shape that occur in the parts after machining must also be framed within certain tolerance limits to complement the part accuracy. In this sense, in pieces design is required to determine the limits of specification, to define the tolerances in terms of their dimensions, geometric shape and relative positions of their surfaces. The determination and prescription of the errors allowed in terms of geometric shape and relative position of the surfaces of the pieces in relation to dimensional tolerances is a subject of great interest in mechanical productions and a determining factor in the guarantee of interchangeability and production costs, so the objective of this work is aimed to define what are the geometric errors that most frequently occur in pieces and how starting from the dimensional errors to establish these within certain tolerance limits.

**Key words:** Geometric errors; shape; position and cumulative errors; dimensional tolerance; geometric tolerances.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la producción de elementos mecánicos, cuando se desea fabricar una pieza cualquiera, es necesario tener el conocimiento de las especificaciones de las dimensiones de la misma. Esta debe cumplir ciertas características que la hacen aceptable para cumplir con su designación de servicio. Las desviaciones de las dimensiones exactas son inevitables debido a la naturaleza de los procesos de fabricación por lo que se admite que las piezas no guarden medidas exactas a las calculadas en los diseños, sino que se mantenga dentro de un margen de tolerancia. Para realizar el diseño del producto, determinar los límites de especificación y garantizar la intercambiabilidad, el proyectista requiere acudir a las normas que regulan dichas desviaciones en cuanto a sus dimensiones, forma geométrica y posiciones relativas de sus superficies. La determinación y prescripción de los errores permitidos en cuanto a la forma geométrica, posición relativa de las superficies de las piezas es temas de mucho interés en las producciones mecánicas y un factor determinante en la garantía de la intercambiabilidad y los costos de producción.

Puesto que ningún mecanizado puede producir el tamaño exacto, las desviaciones permitidas deben reflejarse en el plano. Las tolerancias serán aquellas desviaciones que pueden aceptarse sin arriesgar el funcionamiento de la pieza. Estas deben establecerse de tal forma que el elemento no sea fabricado con mayor precisión de la necesaria, puesto que en la mayoría de los casos las desviaciones estrechas aumentan los costos y requieren de una inspección posterior.

Para lograr la intercambiabilidad total hay que basarse justamente en las dimensiones límites analizando en cada caso la que corresponde, según las condiciones de

funcionamiento, la finalidad del trabajo y los costos de fabricación.

El control de las piezas fabricadas en cuanto a sus dimensiones, forma, posición relativa de sus superficies asume una importancia de gran significación debido a las pérdidas en que se puede incurrir en términos de producto desechado, aún en los casos en que se ha apartado ligeramente de sus especificaciones de diseño. Es permitido que las piezas no guarden medidas exactas a las previstas, pero si deben mantener sus dimensiones y demás parámetros exigidos en los diseños dentro de un margen de tolerancias.

Como problemática sobre este tema existe, el desconocimiento de los errores geométricos que con mayor frecuencia aparecen en el proceso de fabricación los que no son considerados en la precisión de elaboración de las piezas, por lo que el objetivo del presente trabajo está encaminado a definir los errores geométricos que aparecen en las piezas producto de su elaboración y establecer la relación que existe entre las tolerancias geométricas y dimensionales en la precisión de fabricación.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El tema de la determinación y prescripción de los errores permitidos en cuanto a la forma geométrica y posición relativa de las superficies de las piezas, es de mucho interés en las producciones mecánicas y un factor determinante en la garantía de la intercambiabilidad y los costos de producción. Las piezas donde su configuración y dimensiones finales se obtienen mediante proceso de mecanizado generalmente están previstas de errores en cuanto a su forma geométrica. Las desviaciones de la forma geométrica o posición que ocurren en las piezas después del mecanizado deben ser enmarcadas dentro de ciertos límites de tolerancia, por lo que es necesario definir con claridad cuáles son los errores geométricos que se producen en las piezas y como se establecen dentro de estos límites (Bedolla y col., 2005).

### **2.1. Tolerancias geométricas**

Muchas veces las tolerancias dimensionales no son suficientes para comprobar si una determinada característica está geoméricamente de acuerdo con la finalidad de algún producto, ya sea en el montaje o en funcionamiento. Para complementarlas son utilizadas las tolerancias geométricas, que definen mejor una forma, orientación o posición de un elemento, pudiendo ser en relación a otro elemento o no (Hernández, 2010). Por eso es necesario que para lograr los parámetros exigidos al producto fabricado, se establezcan junto con las tolerancias dimensionales (NC 16-30, 1980), las tolerancias geométricas o de forma y posición de las superficies.

La calidad de elaboración de cualquier pieza se determina por las dimensiones de los parámetros obtenidos en su elaboración y se caracteriza por la precisión de estas dimensiones, forma geométrica y calidad de las superficies en su conjunto. Las imprecisiones en las dimensiones y formas geométricas aparecen en la elaboración debido a causas diferentes y su valor depende de en gran medida de las propiedades de la pieza y de las condiciones tecnológicas de su fabricación (González Pérez, y Toscano-Alfonso, 2003) y (Tolerancias Dimensionales y Geométricas, 2016).

Las tolerancias geométricas deberán especificarse solamente en aquellos requisitos que afecten a la funcionalidad, intercambiabilidad y posibles cuestiones relativas a la fabricación; de otra manera, los costos de fabricación y verificación sufrirán un aumento

innecesario. El uso de ellas permitirá un funcionamiento satisfactorio y la intercambiabilidad, aunque las piezas sean fabricadas en talleres diferentes y por distintos equipos y operarios. En cualquier caso, habrán de ser tan grandes como lo permitan las condiciones establecidas para satisfacer los requisitos del diseño.

Para conseguir una forma geométrica perfecta de los sólidos metálicos es preciso antes que todo, que los metales sean perfectamente homogéneos y que el deslizamiento relativo entre la herramienta y la superficie que se trabaja fuera con regularidad geométrica en las condiciones del momento y sobre todo en el mantenimiento de las distancias recíprocas.

En la fabricación se producen irregularidades geométricas que pueden afectar a la forma, posición y orientación de los diferentes elementos constructivos de las piezas. La tolerancia dimensional aplicada a una medida ejerce algún grado de control sobre desviaciones geométricas. Por ejemplo: tiene efecto sobre el paralelismo y la planicidad. Sin embargo, en algunas ocasiones la tolerancia dimensional no limita suficientemente las desviaciones geométricas; por tanto, en estos casos se deberá especificar expresamente una tolerancia geométrica, teniendo prioridad sobre el control geométrico que ya lleva implícita la dimensional (Toscano-Alfonso, 2007) y (González-Pérez y Toscano-Alfonso, 2004)

Las tolerancias geométricas son aquellas que acotan la forma de las superficies y la posición relativa entre ellas durante la fabricación de la pieza, o montaje de varias. Aplicada a un elemento, define la zona de tolerancia dentro de la cual el elemento (superficie, eje, o plano de simetría) debe estar contenido. La zona de tolerancia geométrica puede presentar un carácter bidimensional o tridimensional (NC 16-68, 1982) y (NC 16-17, 1981). Estas controlan la forma, posición u orientación de los elementos a los que se aplican, pero no sus dimensiones, en otras palabras podríamos definir la tolerancia geométrica de un elemento, una pieza, superficie, eje, plano de simetría, etc., como la zona de tolerancia dentro de la cual debe estar contenido dicho elemento. Dentro de la zona de tolerancia el elemento puede tener cualquier forma u orientación, salvo si se da alguna indicación más restrictiva.

Según la (NC 02-03-08, 1978) estas pueden ser de forma, de posición u orientación y acumulativas pueden formar parte de la tolerancia dimensional y su valor numérico puede superar a estas. El símbolo y el valor numérico de la tolerancia, así como la representación de la base de referencia se inscriben en un recuadro, el que se divide en dos o tres partes, dependiendo de la desviación de que se trate.

## **2.2. Las tolerancias de forma**

En la actualidad se incluyen en los diseños de las piezas y mecanismos los valores permisibles de imprecisiones geométricas de las superficies, que permiten lograr la funcionalidad de la pieza. Las tolerancias de forma controlan las desviaciones de la forma del elemento geométrico que tiene la superficie de la pieza. Se clasifican de la siguiente forma y aparecen representadas en la figura 1 (Sistema Interamericano de Metrología, 2016).

- a) La tolerancia de rectitud: es utilizada para definir cuanto se desvía en una pieza una línea cualquiera de una cara de referencia de la pieza.

- b) La tolerancia de planicidad: es utilizada para definir en cuanto se desvía una superficie de una pieza en relación con un plano de referencia y se aplica únicamente a superficies planas para componentes mecánicos que requieren una superficie no ondulada.
- c) La tolerancia de circularidad: es utilizada para definir cuanto se desvía en una pieza en un círculo cualquiera en un cilindro referenciado, para componentes mecánicos que se encajan en otra pieza y ejecutan movimiento de revolución. Pueden ser ejes, agujeros, etc.
- d) La tolerancia de cilindricidad: es utilizada para definir la desviación que puede tener una pieza a lo largo de su eje de rotación en una superficie circular referenciada. Vale aclarar que esta tolerancia geométrica es usualmente empleada en cilindros rectos y poco usada en conos. En esferas y óvalos se adopta la tolerancia de forma de la superficie.

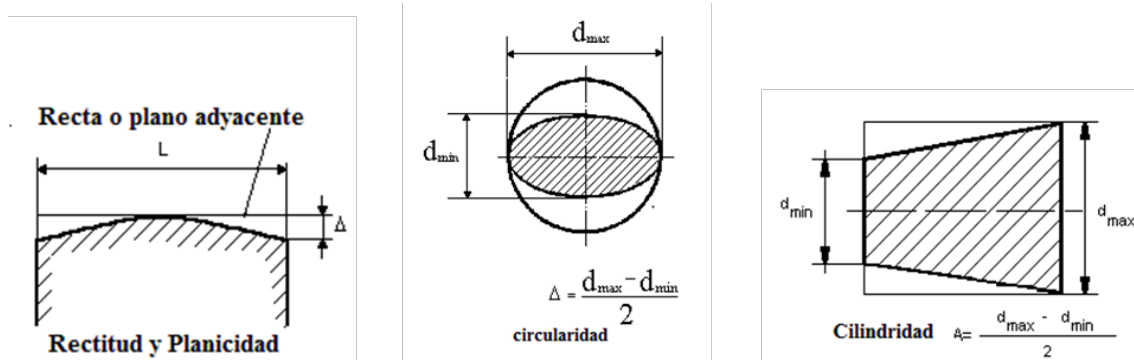


Figura 1. Representación de las tolerancias de forma

### 2.3. Las tolerancias de posición u orientación.

A diferencia de las tolerancias de forma que se han visto anteriormente, estas se definen refiriéndolas a otros sistemas que bien pueden ser una línea o un plano, llamados líneas o plano de referencia. Se clasifican de la siguiente forma y aparecen representadas en la figura 2 (Sistema Interamericano de Metrología, 2016).

- a) Tolerancia de paralelismo: es una tolerancia geométrica de orientación (posición) que es aplicada a dos o más elementos, tomando siempre una de ellas como referencia para el posicionamiento paralelo de las demás
- b) Tolerancia de perpendicularidad: es aplicada a dos o más elementos, teniendo siempre uno de ellos como referencia para el posicionamiento perpendicular de las demás.
- c) Tolerancia de inclinación: que es aplicada a dos o más elementos, teniendo siempre uno de ellos como referencia para el posicionamiento de las demás en un ángulo cualquiera que servirá de referencia para la aplicación de la tolerancia. Ese ángulo no debe ser alguno de los dos casos especiales de inclinación (perpendicularidad y paralelismo).

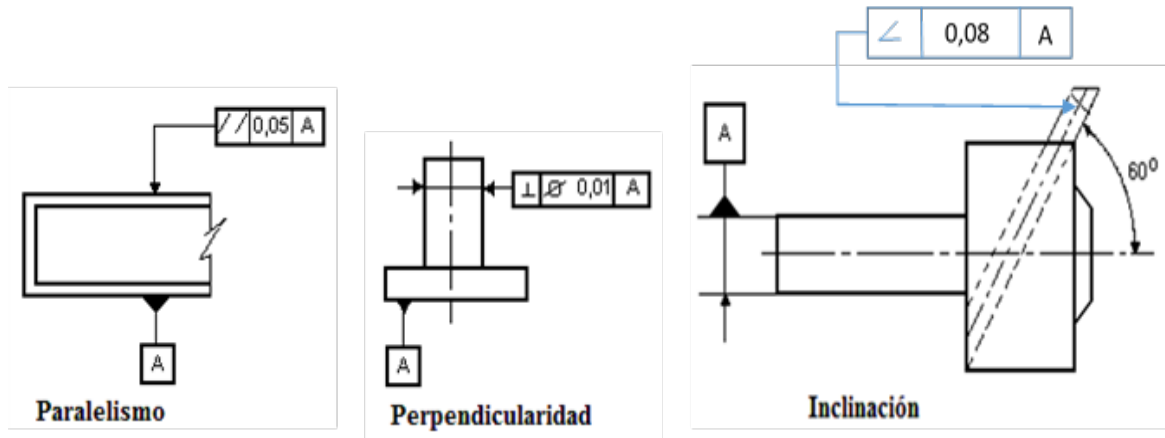


Figura 2. Representación de las tolerancias de posición.

#### 2.4. Las tolerancias acumulativas.

Estas controlan desviaciones combinadas de forma y posición en su interacción conjunta. Las tolerancias de pulsación por lo general son evaluadas en las direcciones radial y axial, representan las variaciones que puede tener una superficie, ya sea cónica, circular, etc., en una vuelta alrededor de su eje, en correspondencia con la superficie ideal la cual constituye el sistema de referencia. Se clasifican según las siguientes:

- a) Axial o radial en una dirección dada.
- b) Axial o radial completa.
- c) Forma de un perfil dado.
- d) Forma de una superficie dada.

Con la verificación de la pulsación, pueden cubrirse igualmente, irregularidades de circularidad, cilindridad, etc, siempre que las mismas no superen, la tolerancia de pulsación especificada.

Según la norma (NC 16-68, 1982) existen 16 grados de precisión para designar las tolerancias de forma y posición, las que se representan con números romanos del I al XVI y la magnitud depende de la dimensión, del grado de precisión y del nivel de precisión geométrico relativo (Molitor et al., 2009).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La indicación de tolerancia dimensional y geométrica es totalmente independiente, aunque puede darse el caso de que un elemento cumpla una vez fabricado la tolerancia dimensional, pero no la geométrica y viceversa. En la figura 3 se observa un conjunto de tolerancias dimensionales y geométricas que acotan la pieza y que están interrelacionadas (Gomez, 2017).

En muchos casos se observa que los diámetros de cualquier sección de un eje se encuentran dentro de una zona de tolerancia dimensional. Sin embargo, las tolerancias geométricas de rectitud del eje y redondez de diseño se encuentran rebasadas en la ejecución final de la pieza, por lo que no será aceptable desde este punto de vista.

Este principio de independencia entre tolerancias dimensionales y geométricas es recogido expresamente en la literatura (Toscano-Alfonso, 2007). A pesar de esta teórica independencia, son frecuente los casos en los que si ha de existir cierto tipo de relación entre las tolerancias dimensionales y geométricas, sobre todo cuando se requiere para

una adecuada funcionalidad del mecanismo diseñado. El acoplamiento de dos elementos depende de las medidas reales de las piezas (tolerancias dimensionales) y de los errores de forma y posición de los elementos a acoplar (tolerancias geométricas).

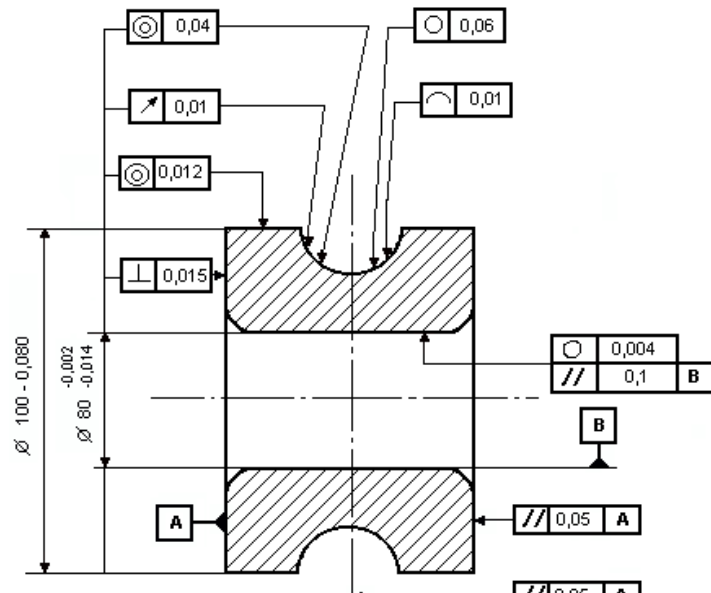


Figura 3. Pieza acotada con tolerancias dimensionales y geométricas

Como resultado a evaluar existen diferentes principios y requisitos que pueden tomarse para determinar la relacionan entre ambas tolerancias, como los que a continuación se describen:

- Principio de independencia: Consiste en que cada requisito dimensional o geométrico especificado sobre un dibujo debe ser respetado por sí mismo, al margen de otros que pueda haber, excepto en el caso en que esté especificada una relación particular. Por lo tanto, sin una relación particular especificada, la tolerancia geométrica se aplica sin tener en cuenta la medida del elemento, y ambos requisitos se consideran independientes.
- El Principio de tolerancias fundamentales: establece el principio de relación entre tolerancias dimensionales y geométricas.
- Principio de máximo material: se aplica a elementos que van a acoplarse entre sí, con la idea de garantizar su perfecto ajuste o montaje. Las condiciones más desfavorables para que se produzcan problemas en un acoplamiento eje/agujero surgen cuando ambas piezas se fabrican con el máximo material posible que permiten sus tolerancias dimensionales (condición de máximo material, CMM). El objetivo fundamental del principio de máximo material, es establecer condiciones de diseño que garanticen el montaje de dos piezas, que deben acoplar entre sí, teniendo en cuenta las tolerancias dimensionales de las piezas, y determinando en función de ellas, los valores de tolerancias geométricas necesarias para garantizar el montaje de las piezas y abaratar la fabricación y el proceso de verificación.

El Principio de máximo material establece unas condiciones de montaje específicas que corresponden a las más desfavorables: Condiciones de máximo material y errores de forma y posición máximos; para garantizar de esta forma

que siempre se pueda realizar el montaje. De esta forma, si las medidas efectivas de los elementos acoplados se alejan de los límites de máximo material, la tolerancia geométrica especificada puede incrementarse sin perjudicar las condiciones de montaje.

- d) Principio de mínimo material: se aplica con el objetivo de garantizar el espesor mínimo de la pieza de cara a evitar problemas de rotura o fatiga por disminución de la resistencia mecánica de diseño. Al igual que en el caso de máximo material, es aplicable a tolerancias de situación y orientación de elementos que forman parte de un conjunto. Se dice que un elemento está en condiciones de mínimo material, cuando se fabrica con la menor cantidad de material posible que permiten sus tolerancias dimensionales.
- e) Requisito de la envolvente: El requisito de la envolvente exige que la envolvente de forma perfecta en condición de máximo material no se sobrepase. Afecta únicamente a tolerancias de forma y establece una forma límite del elemento para unos valores determinados de las tolerancias dimensionales (los que corresponden a máximo material) de manera que esta especificación determina la forma extrema que puede tener el elemento. Sólo afecta a tolerancias de forma del elemento.

Está muy bien definida en la literatura la correspondencia que existe entre los grados de Tolerancia dimensional y los grados de tolerancia de la Forma y Posición, la cual está en función de la precisión geométrica relativa. Las tolerancias geométricas están definidas en función de los niveles de la precisión geométrica relativa que se requiera en la fabricación. Los niveles de precisión geométrica relativa se expresan en tres categorías: Los de precisión geométrica relativa normal, elevada o alta. El grado de tolerancia geométrica *normal* será un grado menos que el asignado a la tolerancia dimensional, dos grados menos para *elevada* y tres grados menos para *alta*, o sea si la tolerancia dimensional es IT7 la tolerancia de la forma geométrica con presión relativa normal será VI, para la elevada V y para la alta IV.

La magnitud de las tolerancias geométricas son parte componente de las tolerancias dimensionales y por tanto se asignan en por ciento de estas según la precisión geométrica relativa que sea elegida y difiere para superficies planas y cilíndricas. Todo lo cual se puede constatar en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1.** Relación entre precisión geométrica relativa y magnitud de la tolerancia dimensional

<i>Precisión geométrica relativa</i>	<i>% de la magnitud de la tolerancia dimensional</i>	
	<i>En piezas planas</i>	<i>En piezas cilíndricas</i>
Normal (A)	60%	30%
Elevada (B)	40%	20%
Alta (C)	25%	12%

#### **4. CONCLUSIONES**

1. Constituye un requisito especificar las tolerancias geométricas solamente en aquellos casos que afecten a la funcionalidad, intercambiabilidad y posibles



cuestiones relativas a la fabricación, ya que de otra manera, los costos de fabricación y verificación sufrirán un aumento innecesario.

2. Es necesario para lograr los parámetros exigidos en el producto fabricado, se establezcan de conjunto las tolerancias dimensionales y las tolerancias geométricas o de forma y posición de las superficies.
3. Existe un grupo de principios y requisitos que establecen cierto tipo de relación entre las tolerancias dimensionales y geométricas, sobre todo cuando se requiere lograr una adecuada funcionalidad del mecanismo diseñado.
4. Existe una correspondencia entre los grados de tolerancia dimensional y los grados de tolerancia de la forma y posición, lo cual está en función de la precisión geométrica relativa utilizado.

## **REFERENCIAS**

- Bedolla, J., Szwedowicz, D., Martínez, E., Cortés, C., Ondulaciones de la zona de tolerancia de superficies de revolución de elementos mecánicos., Memorias de XI Congreso Internacional anual de SOMIM, pp. 46, Morelia, México, 2005.
- Gomez, J., Una mirada a las normas sobre dimensionado y tolerancias geométricas., DYNA, Vol. 74, No 153, 2017, pp. 7-18.
- González-Pérez, R.R., y Toscano-Alfonso, J.M., Mediciones Técnicas I., Vol. I, Editorial Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2003, pp. 151-185.
- González-Pérez, R.R., y Toscano-Alfonso, J.M., Mediciones Técnicas II., Vol. II, Editorial Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2004, pp. 454-485.
- Hernández, F., Metrología Dimensional., Editora ISPJAE, Vol. I., 2010, pp. 282-319.
- Molitor, M., Coello, N., Szyminski, S., y Wengler, S., Messtechnik Die ingenieurtechnischen Grundlagen, Universitat Magdeburg, Alemania, Vol. XVII, Editorial Shaker Verlag, 2009, pp. 251-257.
- NC 16-30., Ajustes y tolerancias., 1980, pp. 1-30.
- NC 16-68., Tolerancias de forma y posición., 1982, pp. 1-27.
- NC 02-03-08., Representación en los planos de las tolerancias de forma y posición de las superficies., 1978, pp. 1-25.
- NC 16-17., Tolerancias de la forma y la posición de las superficies., 1981, pp. 1-18.
- Toscano-Alfonso, J.M., Irregularidades de forma y posición., Editorial Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Vol. I, 2007, pp. 15-32.
- Sistema Interamericano de Metrología., 2016, pp. 6-12. Disponible en: <http://www.simmetrologia.org.br/spanol/index.php>
- Tolerancias Dimensionales y Geométricas, 2016, pp. 1-8. Disponible en: <https://mantenim.files.wordpress.com/2007/11/toleranciascim2.pdf>