

## **ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EN EL CONTROL DIMENSIONAL DE PIEZAS CÓNICAS.**

### **ESTIMATION OF THE UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN THE DIMENSIONAL CONTROL OF CONICAL PARTS.**

<sup>1</sup>Mauricio D. Chiliquinga M., <sup>2</sup>Edison D. Mañay Ch.

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Centro de Estudios de Posgrado  
e – mail: <sup>1</sup>mdchiliquinga@espe.edu.ec, <sup>2</sup>edmanay@espe.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, X Edición 2021, No. 6 (09)

#### **Resumen**

El éxito de las empresas está en la calidad de los productos. Es por ello que, se apalancan en el conocimiento de la metrología, que es la ciencia que estudia las mediciones. El objetivo de esta investigación es verificar las características dimensionales de una pieza cónica y de acuerdo a las especificaciones tomar decisiones de conformidad.

Los elementos de máquinas, se caracterizan por tener tolerancias exigidas a cotas fundamentales muy estrechas, alcanzando en algunas de ellas valores por debajo de los cinco micrómetros en piezas de uso aeronáutico. Es por ello que, para la inspección por contacto de la pieza cónica se usó una máquina de medición por coordenadas (CMM).

Es importante conocer la incertidumbre de medición para el control de calidad. Metrologicamente la incertidumbre es un parámetro que acompaña al resultado alineada y ajustada a las tolerancias que son los límites de aceptación vinculados a una pieza específica. En este artículo, para estimar la incertidumbre, se aplica y se interpreta los resultados en base a la norma ISO-10012 de modo que se determine si el producto se encuentra en la zona de conformidad o no. Hay que tomar en cuenta que las imprecisiones métricas abren una enorme brecha al desperdicio gastando significativamente los recursos de la organización.

**Palabras Clave:** Calidad, incertidumbre, medición, metrología, tolerancia.

#### **Abstract**

*The exit of the companies is in the quality of the products. That is why they leverage the knowledge of metrology, which is the science that studies measurements. The objective of this investigation is to verify the dimensional characteristics of a conical part and, according to the specifications, to make conformity decisions.*

*The machine elements are characterized by having tolerances required at very narrow fundamental levels, reaching values below five micrometers in parts for aeronautical use in some of them. For this reason, a coordinate measuring machine (CMM) was used for the contact inspection of the conical part.*

*Knowing the uncertainty of measurement is important for quality control. Metrologically, uncertainty is a parameter that accompanies the result aligned and adjusted to the tolerances that are the acceptance limits linked to a specific piece. In this article, to estimate the uncertainty, the results are applied and interpreted based on the ISO-10012 standard in order to determine if the product is in the conformity zone or not. It must be taken into account that metric inaccuracies open a huge gap to waste, significantly expending the organization's resources.*

**Keywords:** Quality, uncertainty, measurement, metrology, tolerance.

## 1. Introducción

La presente investigación tiene por finalidad establecer el valor de incertidumbre en la medición de piezas de forma cónica. Toda medición lleva implícita una incertidumbre [1]. Es un parámetro vital para mantener el control y el aseguramiento de la calidad en la producción. [2]

Las crecientes exigencias de calidad imponen la utilización de tolerancias cada vez más pequeñas y con frecuencia hay que trabajar con relaciones  $T/2U$  inferiores a diez. [3]

En los procesos para control de calidad se manifiesta, constantemente la necesidad de sistemas más acertados para evaluar las características geométricas de los productos industriales [4]. Entre la diversidad de medios la máquina de medición por coordenadas o CMM (Coordinate Measuring Machine) es el medio más eficaz. Es un instrumento de medición directa que utiliza un palpador, que es un captador de posición por contacto [4], permite localizar puntos sobre cualquier tipo de superficie, con el fin de realizar un control de calidad de una determinada pieza manufacturada.

De acuerdo a la norma internacional ISO 10012 acreditadora de los sistemas de calidad de medición para laboratorios especializados en mediciones, especifica que el valor de incertidumbre debe ser de 3 a 10 veces menor al semi intervalo de tolerancia asignado a la pieza a medirse como se muestra en la figura 1, siendo este el criterio de aceptación o rechazar los elementos medidos. [5]



Figura 1. Tolerancia de diseño e incertidumbre de una medida.

**Nota.** Adaptado de Errores, incertidumbres y evaluación de la conformidad (p.97), por Sánchez et al., 2019, Revista Española de Metrología, 1, 93-103.

Se recomienda que el equipo de medición empleado para la verificación de una característica concreta tenga 10 veces menos incertidumbre que la tolerancia

a verificar. [5]

## Fundamentación teórica

**Metrología.** Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medida y su campo de aplicación. [7]

**Incetidumbre de medición.** Según el VIM, es el parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente al mensurando. [2]

*Incetidumbre estándar:* incetidumbre del resultado de una medición expresado como desviación estándar.

*Evaluación tipo A (de incetidumbre):* método de evaluación de incetidumbre por análisis estadístico de serie de observaciones.

*Evaluación tipo B (de incetidumbre):* método de evaluación de incetidumbre por otras vías diferentes al análisis estadístico de serie de observaciones. [8]

**Estimación.** Lleva a cabo un conjunto de operaciones con el objetivo de determinar (aproximar) el valor de una magnitud. El valor de la medición depende de su correcta realización y una interpretación adecuada. [8]

**Medición.** Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud. [7]

**Magnitud.** Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que es susceptible de ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. [2]

**Mensurando.** El propósito de una medición es determinar el valor de una magnitud, llamada el mensurando, el cual es el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. La definición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición. [9]

**Fuentes de incertidumbre**

Una vez determinados el mensurando, el principio, el método y el procedimiento de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre.[1]

Éstas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo:

- Los resultados de la calibración del instrumento.
- La incertidumbre del patrón o del material de referencia.
- La repetibilidad de las lecturas.
- La reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos.
- Características del propio instrumento, como resolución, histéresis, deriva, etc.
- Variaciones de las condiciones ambientales.
- La definición del propio mensurando.
- El modelo particular de la medición.
- Variaciones en las magnitudes de influencia

**Cálculo de la incertidumbre**

Principalmente se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre: El Método de Evaluación Tipo A está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras el Método de Evaluación Tipo B comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre, se supone una distribución con base en experiencia o información externa al metrologo. [9]

Para la presente investigación se evaluación la incertidumbre en base al tipo A, se estima basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición a través de métodos estadístico.

**Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar**

La incertidumbre de una magnitud de entrada  $X_i$  obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales.

Para el cálculo de la incertidumbre no se puede dar una recomendación general para el número ideal de las repeticiones ( $n$ ), ya que éste depende de las condiciones y exigencias (meta para la incertidumbre) de cada medición específica [1]. Hay que considerar que:

- Aumentar el número de repeticiones resulta en una reducción de la incertidumbre.
- Un número grande de repeticiones aumenta el tiempo de medición, que puede ser contraproducente, si las condiciones ambientales u otras magnitudes de entrada no se mantienen constantes en este tiempo.
- En algunos casos se recomienda o se requiere que  $n$  sea mayor de 10 en donde las mediciones son de alta exactitud.

Para la evaluación de la incertidumbre, hay que tomar en cuenta que toda variable aleatoria responde a una cierta ley de distribución que se expresa a través de la denominada función de distribución normal o simplemente función de densidad de probabilidad de  $X$ , la cual se define de la siguiente forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right)} \quad (1)$$

Donde:  $f(x)$  se denomina función de densidad de probabilidad. En la figura 2, se representa la distribución normal, que indica la probabilidad de que la variable  $\mu$  tome valores fuera del intervalo  $\mu \pm 3\sigma$  es prácticamente cero [10].

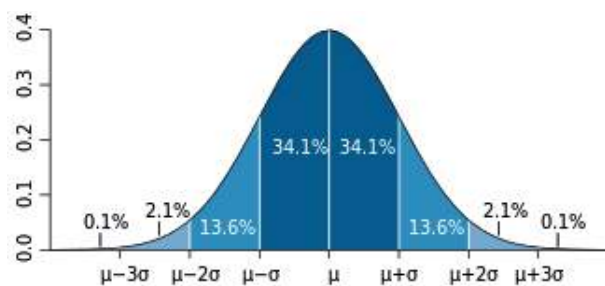


Figura 2. Distribución de probabilidad alrededor de la media en una distribución  $N(\mu, \sigma^2)$ .

*Nota.* Adaptado de Distribución normal [Fotografía], por Wikipedia, 2019, ([https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n\\_normal](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_normal)).

La función de distribución normal es utilizada en el cálculo de la incertidumbre cuando:

- Existe un estimado de observaciones repetidas de un proceso que varía aleatoriamente.
- También cuando un estimado en forma de un intervalo de confianza de un 99 % (u otro) de probabilidad sin especificar la distribución. [10]

**Nivel de confianza**

El factor para un nivel de confianza dado se obtiene a partir de la distribución t de Student con  $n-1$  grados

de libertad, siendo n el número de mediciones, o bien de la distribución normal, si el número de reiteraciones es suficientemente grande. [11]

**Distancia radial**

La distancia radial es la medida existente entre dos objetos con ubicación distinta.

Matemáticamente es la longitud de un segmento de recta comprendido entre dos o más puntos en el espacio. [12]

$$d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \tag{2}$$

**Media Aritmética**

La media o el valor medio que resulta de un número de medidas se define como la suma de los resultados dividido entre el número de medidas [13]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i f_i)}{n} \tag{3}$$

**Desviación Estándar**

La desviación estándar del promedio de las muestras, es la función estadística utilizada para la cuantificación de la incertidumbre estándar de medición. [10]

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{4}$$

La incertidumbre estándar de la media se estima en este caso por [10]:

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \tag{5}$$

**Incertidumbre Estándar de Medición**

El valor de incertidumbre se la obtiene mediante la multiplicación de la incertidumbre estándar de medición por un valor de nivel de confianza. [14]

$$u = s(\bar{x}) * t_{n-1;99\%} \tag{6}$$

Donde:

- u: Valor de incertidumbre estándar de la medición.
- s(x): Desviación estándar de la media.
- t<sub>n-1,99%</sub>: Nivel de confianza al 99 % y grados de libertad de n-1.

**2. Materiales, fuentes y métodos**

La incertidumbre se obtiene en función de la norma ISO 10012. El cual indica el procedimiento para calcular el valor de incertidumbre en base al factor de confianza.

Para el cálculo de la incertidumbre se debe obtener un número suficiente de datos en diferentes posiciones. El conjunto de datos obtenidos se utiliza en el cálculo de la distancia radial, la media aritmética, desviación estándar, desviación estándar de la media, distribución normal e incertidumbre, que permiten establecer el criterio si la pieza manufacturada se encuentra en la zona de conformidad o no.

Una máquina de medición por coordenadas permite la medición con precisión, exactitud de las dimensiones de una pieza manufacturada. Por lo cual se emplea una CMM (Figura 3) con las siguientes características: exactitud del 99,8913% y repetibilidad de 0,13017752 mm, el cual cumple con los estándares de control de calidad [14].



Figura 3. CMM de control de calidad

**3. Resultados y Discusión**

Cuando se da a conocer el resultado de la medición de una cierta cantidad física, es indispensable dar una indicación cuantitativa de la calidad del resultado, para que pueda tenerse una idea de su confiabilidad. Sin esto, es imposible hacer comparaciones de dichos resultados, ya sea entre ellos mismos, o con valores de referencia. Por ello debe existir un procedimiento comprensible y aceptado generalmente que lleve a una evaluación y expresión apropiada de la incertidumbre. [15]

En la norma internacional ISO 10012 encargada de especificar los requerimientos genéricos y asesoramiento para los procesos de medición y



conformación metrológica de los equipos de medición, se establece parámetros para obtener la incertidumbre de medición. En la presente se va a realizar la prueba de cálculo de error de conicidad para determinar la incertidumbre de dichas mediciones.

En la Figura 4, se presenta el elemento cónico utilizado en el análisis.

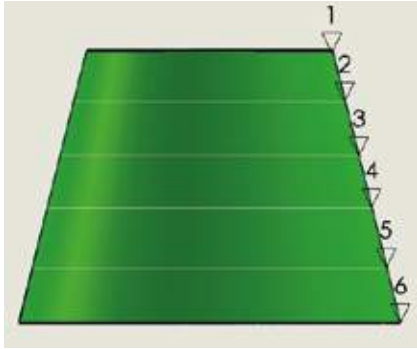


Figura 4. Pieza cónica, elemento de prueba

**Nota.** La pieza de análisis tiene una forma cónica y se la encuentra en los acoples para aseguramiento de herramientas de corte sobre centros de mecanizado CNC.

El proceso de medición consiste en tomar 12 puntos indistintos por cada nivel, 6 niveles por cono, con un total de 72 lecturas, como se muestra en la Figura 5.

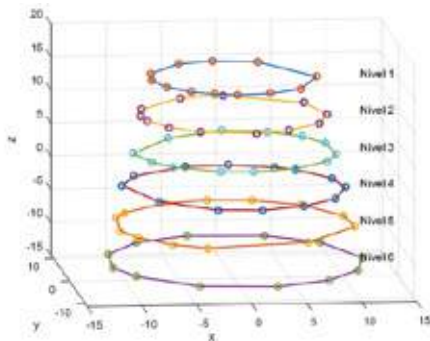


Figura 5. Pieza cónica, elemento de prueba

En las Tabla 1, se presenta los datos obtenidos en las mediciones del cono de (32,58 mm de altura, 22.21 mm de radio mayor y 12.81 mm de radio menor) y una tolerancia de  $\pm 0.3$  mm emitida por el fabricante.

Figura 4. Representación de las curvas de la fuerza/masa vs. energía de impacto para la estructura tubular.

Punto	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Distancia Radial	Orden de Mayor a Menor	Distribución Normal
Nivel 1						
1	7,544	0	15,2	16,9691466	17,0506339	1,43607128
2	5,313	-5,194	15,2	16,9187944	17,0115666	3,67170273
3	2,313	-6,95	15,2	16,8728323	17,011161	3,69926406
4	-0,688	-7,35	15,2	16,8978059	16,9782075	5,81235599
5	-2,688	-6,825	15,2	16,87738	16,9691466	6,23576421
6	-4,688	-5,669	15,2	16,88653	16,9635233	6,43815836
7	-6,588	-3,431	15,2	16,9178458	16,9178458	6,03318421
8	-7,519	-0,431	15,2	16,9635233	16,9178458	5,98800697
9	-7,194	2,569	15,2	17,0115666	16,8978059	4,81339542
10	-4,066	6,569	15,2	17,0506339	16,88653	4,04921968
11	-0,819	7,594	15,2	17,011161	16,87738	3,42726743
12	3,181	6,863	15,2	16,9782075	16,8728323	3,12691394
Nivel 2						
1	7,094	4,625	9,681	12,8622402	12,897815	2,67752963
2	8,462	-0,375	9,681	12,8634299	12,8908111	3,13183235
3	7,188	-4,375	9,681	12,8269143	12,8634299	5,03568695
4	3,944	-7,281	9,68	12,7393037	12,8622402	5,11518229
5	0,944	-8,25	9,681	12,7544266	12,8461481	6,07004917
6	-4,056	-7,25	9,681	12,7567785	12,8322585	6,62044408
7	-6,575	-5,025	9,681	12,7358946	12,8269143	6,74308647
8	-8,138	-2,025	9,681	12,8081782	12,8081782	6,73186995
9	-8,444	-0,025	9,681	12,8461481	12,7567785	3,95428587
10	-7,975	2,975	9,681	12,8908111	12,7544266	3,78844977
11	-3,744	7,656	9,681	12,897815	12,7393037	2,76711388
12	0,256	8,419	9,681	12,8322585	12,7358946	2,55420982
Nivel 3						
1	0,256	9,212	4,163	10,1122228	10,1511226	3,84011334
2	4,256	8,169	4,163	10,1082474	10,500628	3,92626172
3	7,119	5,919	4,163	10,1511226	10,1490636	4,00783803
4	8,775	2,919	4,163	10,1415854	10,1415854	4,62430983
5	9,019	-2,081	4,163	10,1490636	10,1122228	6,74182683
6	7,738	-5,081	4,163	10,1500628	10,1082474	6,93606389
7	4,5	-7,969	4,163	10,05413	10,0824934	7,31525357
8	0,5	-9,119	4,163	10,0367689	10,05413	5,96786646
9	-2,5	-8,8	4,163	10,0508989	10,0508989	5,73026414
10	-6,5	-6,431	4,163	10,046807	10,046807	5,41509531
11	-8,056	-4,188	4,163	9,98844577	10,0367689	4,600601
12	-9,181	-0,188	4,163	10,0824934	9,98844577	1,29661788
Nivel 4						
1	-9,875	1,813	-1,356	10,1312058	10,1952132	3,1473493
2	-8,25	5,813	-1,356	10,182937	10,186648	3,73004446
3	-3,013	9,594	-1,356	10,1470065	10,182937	3,98855907
4	0,988	9,9	-1,356	10,0411593	10,1622183	5,38916546
5	4,988	8,7	-1,356	10,1197273	10,1470065	6,21123289
6	6,75	7,45	-1,356	10,1441479	10,1441479	6,33172304
7	9,462	3,45	-1,356	10,1622183	10,1312058	6,70598348
8	10,081	-0,55	-1,356	10,186648	10,1197273	6,7762148
9	8,444	-5,55	-1,356	10,1952132	10,0777349	5,08858366
10	5,206	-8,481	-1,356	10,0433328	10,0433328	2,75245776
11	1,206	-9,913	-1,356	10,0777349	10,0411593	2,61739865
12	-2,794	-9,544	-1,356	10,0365885	10,0365885	2,34413351

Nivel 5						
1	-3,794	-10,081	-6,875	12,7783654	12,8989039	2,56122011
2	-6,794	-8,3	-6,875	12,7402536	12,882573	3,69815843
3	-9,438	-5,044	-6,875	12,7194106	12,8666064	4,88897038
4	-10,588	-2,044	-6,875	12,78864	12,8610477	5,28886022
5	-10,119	3,956	-6,875	12,8572828	12,8572828	5,54781964
6	-9,1	5,956	-6,875	12,8666064	12,8238834	6,99292229
7	-4,856	9,675	-6,875	12,8238834	12,8101126	6,95572039
8	-0,856	10,775	-6,875	12,8101126	12,7918772	6,30881775
9	3,144	10,319	-6,875	12,7918772	12,78864	6,13390674
10	7,269	8,081	-6,875	12,8610477	12,7783654	5,49075176
11	10,45	3,081	-6,875	12,882573	12,7402536	2,73484724
12	10,744	-1,919	-6,875	12,8989039	12,7194106	1,54380722
Nivel 6						
1	10,6	-4,919	-12,394	17,0343123	17,1205843	0,7601365
2	7,363	-9,044	-12,394	17,0181944	17,0472001	3,76431339
3	2,363	-11,356	-12,394	16,9750918	17,0343123	4,42043794
4	-4,637	-10,619	-12,394	16,9669139	17,0181944	5,13769782
5	-9,756	-6	-12,394	16,8757451	16,9900786	5,8377921
6	-11,288	-2	-12,394	16,8828368	16,9810249	5,86546681
7	-10,838	4	-12,394	16,9432429	16,9750918	5,82734538
8	-7,6	8,738	-12,394	16,9624255	16,9669139	5,70355306
9	-2,6	11,313	-12,394	16,9810249	16,9624255	5,60217078
10	4,4	10,756	-12,394	16,9900786	16,9432429	4,94005588
11	8,975	7,513	-12,394	17,0472	16,8828369	1,97620898
12	11,8	0,513	-12,394	17,1205842	16,8757451	1,68510974

A partir de las coordenadas (x,y,z), se calcula la distancia radial (d) mediante la Ecuación 2, es la distancia entre el centro del cono (punto de origen (0,0,0) de la pieza) y el punto sondeado. En la Figura 6, se presenta la distancia radial con respecto al origen de la pieza. La distancia radial es un valor fundamental para los cálculos siguientes.

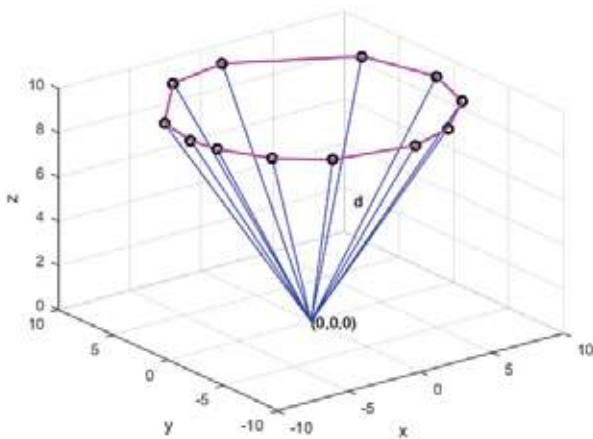


Figura 6. Distancia radial del Nivel 2 con respecto al punto de origen.

En las Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, se presenta los resultados que se aproximan a la campana de Gauss en base a los cálculos aplicados con la Ecuación 1.

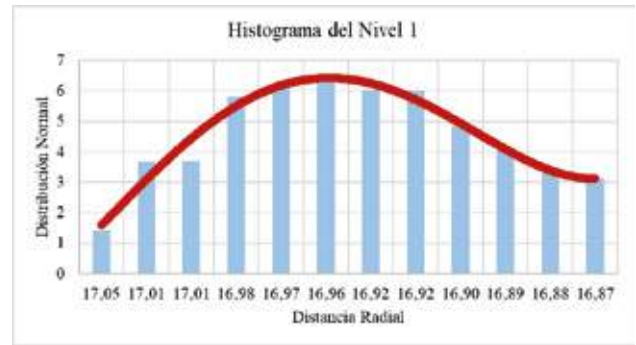


Figura 7. Distribución normal estándar del nivel 1.



Figura 8. Distribución normal estándar del nivel 2.



Figura 9. Distribución normal estándar del nivel 3.

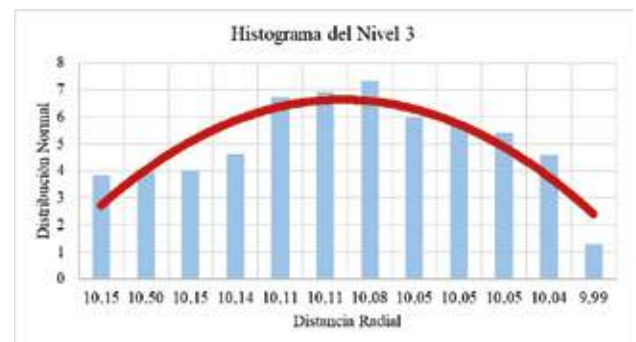


Figura 9. Distribución normal estándar del nivel 3.



Figura 10. Distribución normal estándar del nivel 4.

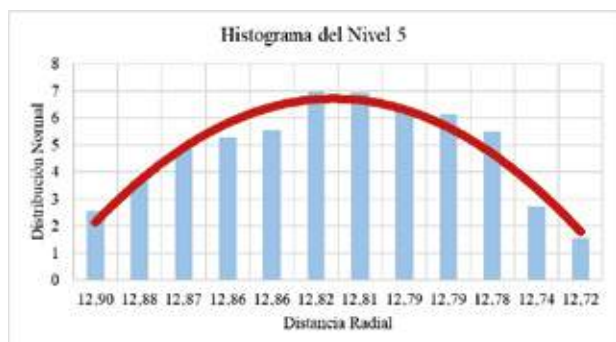


Figura 11. Distribución normal estándar del nivel 5.

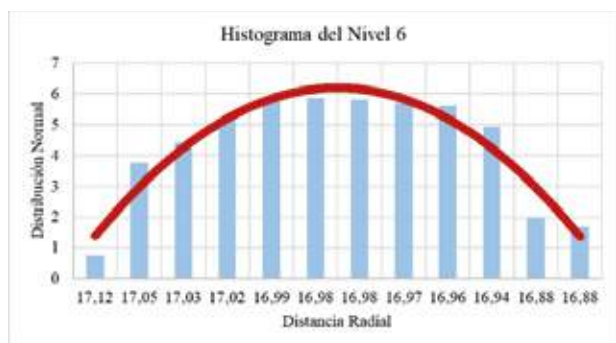


Figura 12. Distribución normal estándar del nivel 6.

Se puede visualizar en las Figuras 7-12, que el valor real de medición para una determinada posición se encuentra dentro del rango de la Distribución Normal Estándar ya que no supera la tolerancia de 0.3mm, la finalidad es validar el valor de incertidumbre de cada muestra.

Para obtener un resultado concluyente de la incertidumbre de medición con la CMM, tomamos los resultados de la distribución normal de Tabla 1, por cada nivel y aplicamos las ecuaciones 3, 4, 5, 6.

De acuerdo a la tabla de nivel de confianza [6], valores críticos de la distribución t de Student y según los grados de libertad “n-1”, es decir un grado de libertad de 11 de acuerdo a las 12 lecturas por cada nivel y con un factor de confianza del 99% (3,11), todos estos datos son específicos para muestras

menores de 20 lecturas, se obtiene los datos necesarios para la ecuación 6.

En la Tabla 2, se presenta los resultados con una incertidumbre al 99 % de nivel de confianza.

Tabla 2. Resultado de Incertidumbre al 99 % de confianza

Muestra	Promedio	Desviación Estándar	Desviación Media	Incertidumbre 99 %
Nivel 1	16,94628 0	,059411	0,01715	0,0533
Nivel 2	12,81784 0	,058456	0,016874	0,05248
Nivel 3	10,08932 0	,054103	0,015618	0,048572
Nivel 4	10,12232 0	,058816	0,016978	0,052804
Nivel 5	12,81824 0	,056768	0,016387	0,050965
Nivel 6	16,98313 0	,06798 0	,01962	0,06103

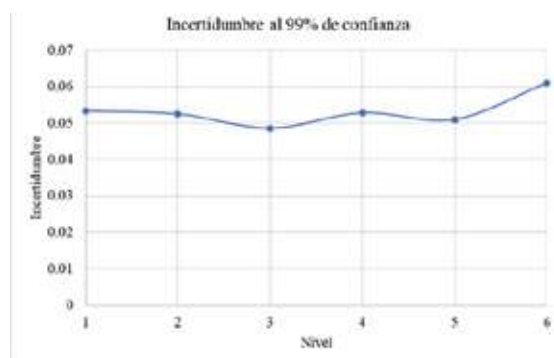


Figura 13. Incertidumbre al 99% de confianza.

El cono utilizado para la prueba tiene una tolerancia de  $\pm 0.3\text{mm}$  emitido por el fabricante y de acuerdo con el criterio de seguridad de la norma ISO 10012, el valor de la incertidumbre debe ser como mínimo 3 veces menor al semi-intervalo o al valor medio de la tolerancia, es decir, tres veces menor a 0.3 mm.

Como se puede observar en la Tabla 2 y en la Figura 13, en las 72 muestras tomadas (12 por cada nivel), el valor de incertidumbre al 99 % de nivel de confianza varía entre 0.048 mm y 0.061mm, siendo estos datos aproximadamente 3 veces menor al valor medio de la tolerancia establecida por el fabricante, por lo que se puede indicar que las mediciones realizadas por el CMM proyectan un valor de medida muy cercano a la real y estos se encuentran dentro del criterio de aceptación de la norma ISO 10012.

#### 4. Conclusiones

En cualquier medición siempre se tiene presente una serie de errores procedentes de distintas fuentes:



el mensurando, el instrumento de medida, las condiciones ambientales, el operador.

Para expresar el resultado de medición de una magnitud física, es obligado dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del mismo ya que, sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con valores de referencia.

Las mediciones deben expresarse, en general, en la forma  $Y \pm U$ , donde  $Y$  es el resultado más probable (normalmente el valor medio de una serie de mediciones) y  $U$  es la incertidumbre de medida asociada al mismo. Cuanto menor sea la incertidumbre  $U$  del resultado de la medida más amplia será la zona de conformidad, de modo que las piezas tendrán una mejor calidad.

El valor de incertidumbre calculado es de 3 veces menor a la tolerancia con un nivel de confianza al 99%, por lo cual el cono medido se encuentra dentro de la zona de conformidad y cumple con los estándares de calidad; lo que ayuda a mejorar, asegurar el nivel de calidad de los productos manufacturados y de esta manera tomar las decisiones idóneas en cuanto aceptar o rechazar las piezas.

## 5. Referencias

- [1] Schmid, W. A., & Lazos, R. (2000). Guía para estimar la incertidumbre de la medición. CENAM, El Marquez, Qro., México.
- [2] Hipp, J., Hill, C., & Hall, M. (2007). Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. España. NIPO.
- [3] Sánchez Pérez, Ángel & de Vicente y Oliva, Jesús & Prieto, Emilio. (2012). Errores, incertidumbres y evaluación de la conformidad. Revista Española de Metrología, 1, 93-103.
- [4] Onaciu, T. (2004). Sistemas para la adquisición de puntos en máquinas de medir por coordenadas. Informador Técnico, 68, 29–35. <https://doi.org/10.23850/22565035.811>
- [5] Sevilla-Hurtado, L. (2001). Análisis comparativo y propuesta metodológica para la evaluación de incertidumbres en métodos de medida indirecta de ángulos (Doctoral dissertation, Universidad de Málaga).
- [6] Sevilla, J. M. O. (2014). La incertidumbre en la medida de una magnitud y el método de Montecarlo. Técnica Industrial, 306, 54-64.
- [7] IMNC, N. M. (2008). Vocabulario internacional de metrología—Conceptos fundamentales y generales, términos asociados (VIM).
- [8] Cuello Mejía, D. A. (2015). Metodología para la estimación de incertidumbre en la calibración en un laboratorio de metrología. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
- [9] Acosta Ortega, J. R. (2009). Investigación de los elementos que actúan sobre la incertidumbre de la medición (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).
- [10] Ruiz, S. S., & Avila, L. F. (2001). Incertidumbre de la medición: teoría y práctica. Maracay: L&S Consultores.
- [11] Hernández, M. M. P. (2012). Estimación de incertidumbres. Guía GUM. Revista Española de Metrología, 1(3), 113-130.
- [12] Flack, D. (2001). Measurement Good Practice Guide No. 42. CMM Verification. National Physical Laboratory.
- [13] Mook, W. G. (Ed.). (2002). Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico (Vol. 1). IGME.
- [14] Chiliquinga Malliquinga, M.D. & Jara Ramos, W. M. (2017). Diseño e implementación de una celda de manufactura flexible de orden aleatorio y distribución en línea con control de calidad para prácticas de FMS en el laboratorio De CNC. [Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga].
- [15] Miranda, J. (2001). Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales. Instituto de Física, UNAM, México.



## 6. Biografía



<sup>1</sup>Mauricio Chilibingua. – Ingeniero en Mecatrónica, Maestrante en Electrónica y Automatización mención Redes Industriales (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Desarrollador Electrónico en Person Technology en Salcedo, Ecuador.



<sup>2</sup>Edison Mañay. – Ingeniero en Mecatrónica, Maestrante en Electrónica y Automatización mención Redes Industriales (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Fundador de Alfa Soluciones e Ingeniería, Consultor en proyectos de Automatización y redes IoT en Salcedo, Ecuador.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN	
Fecha recepción	23 abril 2021
Fecha aceptación	14 junio 2021