

La capacidad del proceso como criterio de calidad en parámetros de piezas en bruto: Caso de estudio

The capacity of the process as a quality criterion for raw parts parameters: a case study

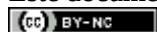
Lilian Chaviano Tovar¹, Silvio del Risco Alonso¹, José Castelló González^{1,*}, Ricardo del Risco Alfonso¹, Juan Ortega Zayas Bazán²

¹Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas (CEEFREP). Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Carr. Circunvalación Norte km 5½. Camagüey, Cuba.

²Fábrica de Candados y Cerraduras (FCC), Carr. Circunvalación Norte km 8½. Camagüey, Cuba.

*Autor de correspondencia: jose.castello@reduc.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 5 diciembre 2020 **Aceptado:** 20 enero 2021 **Publicado:** 4 febrero 2021

Resumen

Actualmente la evaluación de los procesos en piezas se realiza fundamentalmente mediante los correspondientes coeficientes de capacidad; son resultado del cómputo de las comparaciones de determinada dispersión, de la tendencia central del proceso y de la tolerancia de especificación. Los parámetros se distinguen según el potencial del proceso y su capacidad. Todo proceso de fabricación, además de presentar cierto grado de variabilidad inherente o natural, también puede tener otros tipos de variabilidad. Estas variaciones no se pueden eliminar completamente, pero se pueden controlar y mantener bajo ciertos márgenes; ello puede ser verificado mediante el análisis o estudio de la capacidad del proceso. El objetivo del presente trabajo fue aplicar el análisis de la capacidad del proceso como medida de la calidad de piezas en bruto en lo referido a su forma y dimensiones, y con ello validar la importación o no, de un perfil de una aleación de base cobre, destinado a la fabricación de candados. Se emplearon como métodos el control estadístico del proceso y el cálculo de la capacidad del proceso, lo que derivó en el resultado de una capacidad del proceso no adecuada. Estos resultados permitieron concluir que con la aplicación del mencionado análisis se pudo demostrar por qué no resulta conveniente la importación del perfil con esas denominaciones.

Palabras clave: Calidad, tolerancias de dimensión y forma, coeficiente de capacidad del proceso

Abstract

Nowadays, the evaluation of the processes is mainly carried out by means of the corresponding capacity coefficients, which are the result of the comparison computation (with certain dispersion) for the central process trend and the specifications tolerance. The parameters are characterized according to the process potential and capacity. Each manufacturing process (beside certain inherent or natural variability grade) can also have other types of variability. These variations cannot be completely eliminated, but they can be controlled and maintained under certain range; it can be verified by analyzing or studying the process capacity. The objective of this work was to apply the analysis of the process capacity, as a measure of the quality of raw parts, with respect to

their shape and dimensions; with the purpose of validating the import of cooper based alloys profiles for manufacturing padlocks. The used methods were the statistic control and the calculation of the process capacity. They showed an inadequate process capacity. These results allowed concluding about the non-convenience of importing profiles with these dimensions.

Keywords: Quality, dimension and shape tolerances, process capacity coefficient

1. Introducción

En la actualidad las industrias se encuentran inmersas en una competencia comercial y tecnológica, por lo que se necesita ajustar los sistemas de medición y desarrollar tecnologías que permitan lograr resultados satisfactorios en los sistemas de control de la calidad. Existen muchas herramientas que pueden ser utilizadas para las posibles mejoras y diagnósticos, pero una de las principales es el uso de técnicas estadísticas, las cuales vienen a lo largo de los años mejorando los sistemas operacionales, además de permitir hacer los productos fabricados más competitivos [1].

En el ciclo de proyección de un producto se tienen en cuenta un importante número de aspectos o factores, que van desde las influencias externas relacionadas con su concepción, que abarca lo definido por el cliente y por las normas nacionales e internacionales, las buenas prácticas de capacitación, los contratos de los suministradores, pasando por la consideración de los requisitos funcionales, el establecimiento de las dimensiones y tolerancias, lo que junto a otros aspectos conforman la documentación de diseño; los procesos de manufactura, el control estadístico del proceso hasta el control de las piezas por separado, las mediciones, las especificaciones de las máquinas y las capacidades de los procesos de fabricación en la verificación. En las últimas décadas, se añade con gran relevancia la concepción del desarrollo sustentable. En este contexto, el planeamiento de productos modernos tiene cada vez más en cuenta estos problemas, buscando las soluciones más amigables con el medio ambiente y que socialmente sean mejor aceptadas [2].

Los productos son cada vez más complejos, y diseñarlos y fabricarlos es cada vez más difícil. Se hace necesario en la fase de diseño, la presencia de técnicos con un alto nivel tecnológico; ello se acentúa cuando se trata del desarrollo de nuevos productos, en lo cual se involucran varias funciones de las empresas, relacionadas con ese proceso de desarrollo y algunas tienen un papel determinante. Una de ellas es el proceso de manufactura, en el cual intervienen máquinas y recursos humanos en el procesamiento directo. El diseño del proceso de fabricación también resulta extremadamente complicado porque el número de procesos involucrados es elevado y el producto acumula la variabilidad de cada uno de los subprocesos. Como consecuencia, hay un alto costo de afectación a la calidad por no cumplir con las especificaciones y ello obliga a centrarse en los procesos que originan tal resultado, analizando las actividades que realmente agregan valor al producto: los materiales, los métodos, los criterios y flujos de trabajo, la actitud de trabajo, las máquinas y otras [3].

En la mayoría de los procesos de mecanizado, la procedencia (referida principalmente al tipo de elaboración previa), condiciones generales (dadas fundamentalmente por el material, con sus propiedades inherentes) y la garantía de las exigencias dimensionales y de forma de la pieza en bruto, constituyen elementos condicionantes de la calidad final del producto a obtener [4,5]. Durante las operaciones de maquinado intervienen un conjunto de factores, entre los cuales se encuentran los dispositivos de fijación y posicionamiento, que aseguran la adecuada basificación y con ello, que se alcancen las dimensiones y ubicaciones relativas de superficies, orificios y otras. Por eso resulta necesario asegurar que la pieza en bruto permita cumplir adecuadamente con esa fijación y posicionamiento, tal como sucede en el caso objeto de estudio del presente trabajo.

Se han desarrollado muchos métodos y herramientas informáticas para la asignación de las tolerancias [6,7]. El producto obtenido se acepta cuando está en un margen de tolerancias, lo que significa que esta no tendrá una medida exacta a la pronosticada. El propósito de los intervalos de tolerancia es el de admitir un margen para las imperfecciones en la manufactura del producto, ya que se considera imposible la precisión absoluta desde el punto de vista técnico, o bien no se recomienda por motivos de eficiencia; es una buena práctica de ingeniería el especificar el mayor valor posible de tolerancia mientras el componente en cuestión mantenga su funcionalidad, dado que cuanto menor sea el margen de tolerancia, la pieza será más difícil de producir y por lo tanto, más costosa [8]. El análisis de la capacidad del proceso ha jugado un papel muy importante, asegurando la calidad de manufactura de los productos. La capacidad del proceso mide la habilidad del proceso para obtener productos dentro de las especificaciones de diseño. La capacidad del proceso es una técnica que tiene aplicación no solo en la planeación de la fabricación, sino también en muchas partes del ciclo productivo, incluye el diseño del producto y del proceso, la búsqueda de proveedores, etc. En todo proceso de fabricación, además de existir un cierto grado de variabilidad inherente o natural, también pueden estar presentes otros tipos de variabilidad. Estas variaciones no se pueden eliminar por completo, pero se pueden controlar y mantener bajo ciertos márgenes, lo cual puede ser verificado mediante el análisis o estudio de la capacidad del proceso.

En la interpretación de la tolerancia para Taguchi, el cliente se encuentra en primer plano. Para él no es suficiente que el parámetro de calidad se encuentre dentro de los límites de tolerancia, sino que el producto y el proceso deben ser lo suficientemente robustos, de forma que tiendan a alcanzar el valor objetivo [8].

El objetivo del presente trabajo es validar la importación de un perfil de una aleación de base cobre, destinado a la fabricación de candados. En las pruebas de fabricación (elaboración por maquinado en una máquina tipo “transfer”) con dicho perfil, surgieron problemas principalmente con la fijación y posicionamiento de las piezas en bruto, lo que originó interrupciones y afectación a la precisión de los mismos. Comenzó a manifestarse una disminución en la productividad y en la calidad del producto. Se hizo necesario realizar la determinación de las características desde el punto de vista de composición, dureza, parámetros geométricos y dimensionales del perfil, cuya denominación comercial es CW614N, a fin de verificar si estos se ajustaban a las exigencias tecnológicas de las piezas brutas para la fabricación del cuerpo de los candados. Los resultados obtenidos en los ensayos para determinar la dureza y la composición, confirmaron lo establecido para el perfil. Se procedió entonces al estudio de las particularidades de las dimensiones y de la geometría, aplicándose los criterios acerca de la capacidad del proceso como vía de confirmar la pertinencia o no de la adquisición de estos perfiles.

2. Materiales y Métodos

Para el análisis geométrico y dimensional del perfil y con el propósito de determinar sus características, se llevaron a cabo las siguientes tareas:

1. Estudio de la documentación técnica entregada por el suministrador de los perfiles empleados originalmente, que constitúan a estos efectos, el patrón de referencia.
2. Análisis de la basificación del nuevo perfil para determinar los posibles elementos a controlar.
3. Estrategia de control de la calidad a utilizar para determinar los parámetros geométricos y dimensionales del nuevo perfil, empleando como método la determinación de la capacidad del proceso (C_p), con la expresión:

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{LS-LI}{6\sigma} \quad (1)$$

donde:

σ : es la desviación estándar de la población

Para la comparación se toman los valores:

$C_p \geq 2$ Calidad 6 σ máximo de calidad

$1 < C_p < 1,33$ Parcialmente adecuado

Teniendo en cuenta la forma de instalación de la pieza bruta para la elaboración de los cuerpos de los candados, que toma como superficies de basificación principal las determinadas por los radios del perfil (R1 y R2) (ver Figura 1), se determinó la fluctuación de sus valores. Otros parámetros medidos fueron la simetría respecto a ambos ejes y el espesor (E) del perfil. Se concede preponderancia a las desviaciones en el valor de los radios, porque pueden conducir a una indeseada variación en los esfuerzos de apriete, teniendo en cuenta las características del dispositivo de fijación y sus elementos de sujeción; ello puede permitir desplazamientos durante las operaciones, que son causa directa de errores en la precisión de las dimensiones a obtener en el cuerpo del candado.

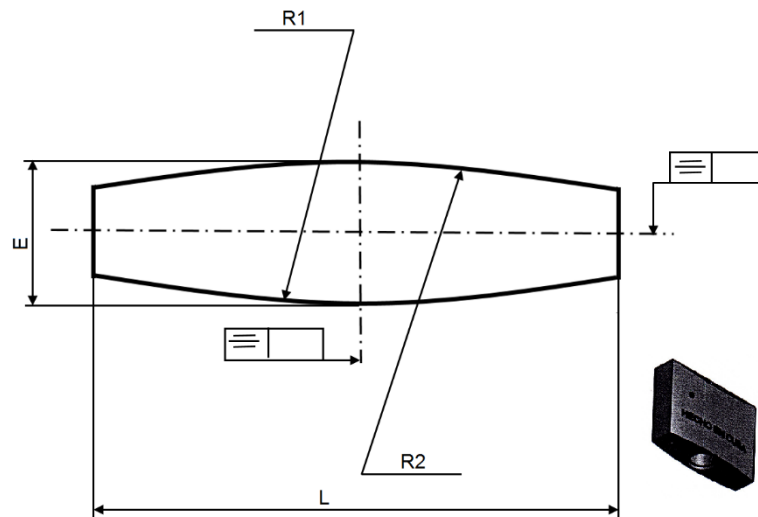


Fig.1 Esquema de la sección transversal del perfil y parámetros geométricos

Por consiguiente, se tomaron veinticinco muestras aleatorias de cuerpos semielaborados del nuevo perfil, a las cuales se les comprobaron los parámetros anteriormente mencionados y se midió en cinco posiciones diferentes cada uno de ellos. Aunque el perfil original nunca dio problemas durante el proceso de elaboración y por tanto se garantizaba con los mismos la calidad del producto, se tomó una muestra de pieza bruta ya elaborada, a la que se le realizaron las cinco mediciones de los parámetros antes referidos y se corroboró que se encuentran entre los rangos de tolerancias exigidos, por lo que es válida la consideración de que este sea el patrón de referencia. Las mediciones fueron tomadas con un perfilómetro DC-3000 DRO. Los resultados de las mediciones fueron procesados en Statgraphics en su versión Plus 2.1. A modo de ejemplo, se muestra en las tablas y figuras siguientes, los resultados para los radios 1 y 2 del nuevo perfil, objeto de análisis.

3. Resultados y Discusión

Radio 1

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis estadístico para el radio 1 y los mismos aparecen graficados en las figuras 2 y 3. Para el radio 1 se muestra el gráfico de dispersión de las tolerancias (ver Figura 2), que indica las variaciones de cada una de las muestras con respecto a los límites de especificación, señalados con las líneas de color rojo. Su posición está dada por LSE = 173,70 mm y LIE = 171,02 mm, lo que denota una gran dispersión fuera de los límites establecidos.

Tabla 1. Resultados de la medición del radio 1

<i>Período</i>	<i>#1-25</i>
LSC: +3,0 σ	178,212
Línea Central	174,378
LIC: -3,0 σ	170,544

0 fuera de límites

$C_p = -0,0790554$ Capacidad del proceso no adecuada

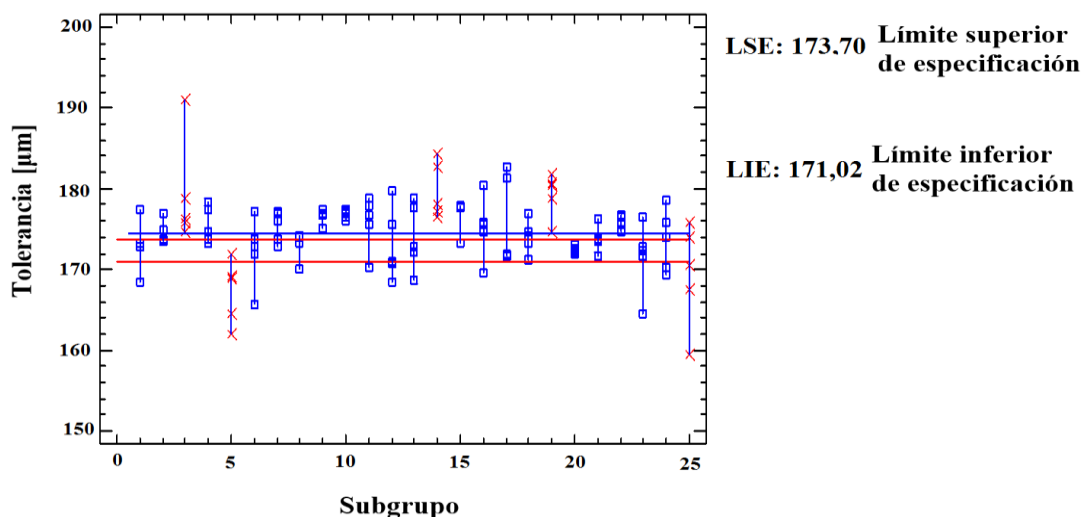


Fig.2 Dispersión de la tolerancia para el radio 1

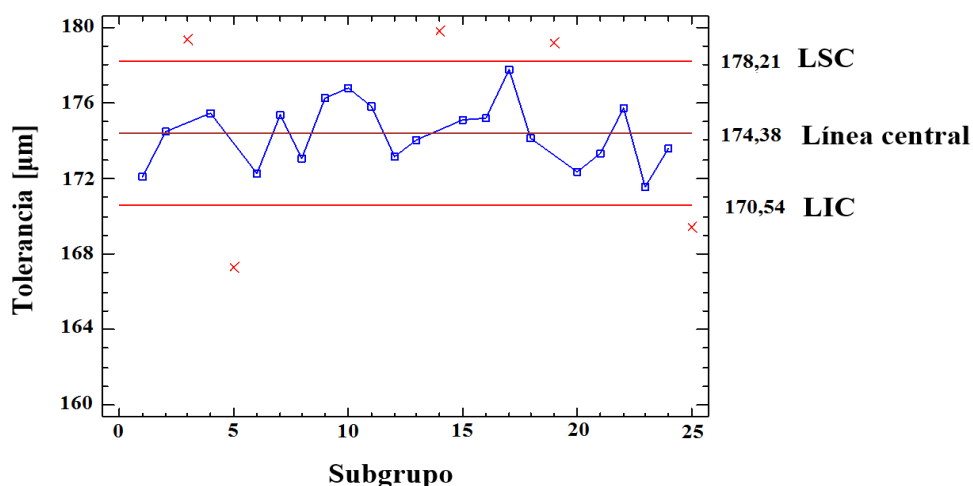


Fig.3 Variación de la tolerancia para el radio 1

En la Figura 3 se muestra el gráfico correspondiente al análisis estadístico de la variación de la tolerancia. Se puede apreciar que existen muestras cuyos valores están fuera de los límites superior (LSC) e inferior de control (LIC). El valor de la capacidad del proceso (C_p) fue -0,0790554, lo cual permite afirmar que el mismo está completamente fuera de control pues no se ubica en el rango entre $1 < C_p < 1,33$, que determina que el proceso pueda considerarse parcialmente adecuado.

Radio 2

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis estadístico para el radio 2 y los mismos aparecen en las Figuras 4 y 5.

Tabla 2. Resultados de la medición del radio 2

Período	#1-25
LSC: +3,0 sigma	183,58
Línea Central	177,194
LIC: -3,0 sigma	170,808

0 fuera de límites

$C_p = 0,0941932$ Capacidad del proceso no adecuada

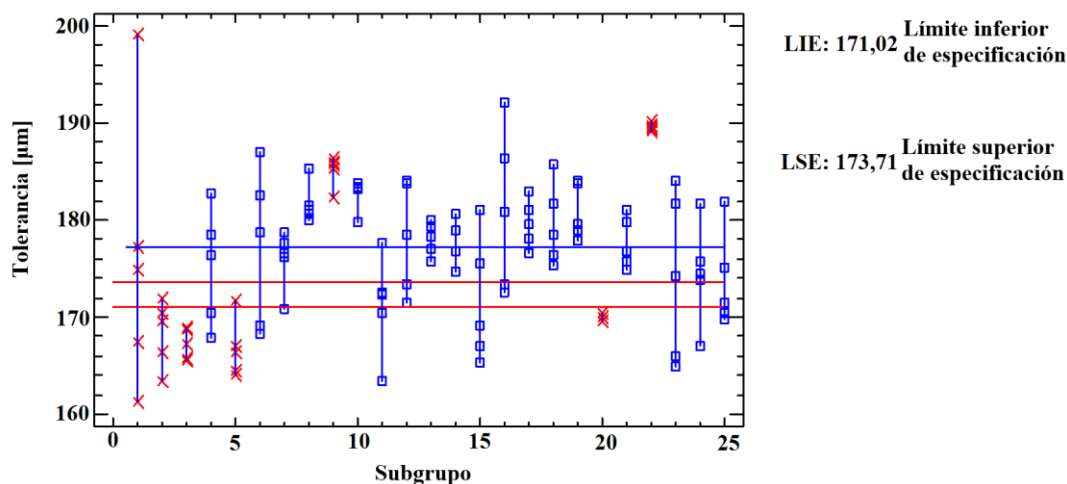


Fig.4 Dispersión de la tolerancia para el radio 2

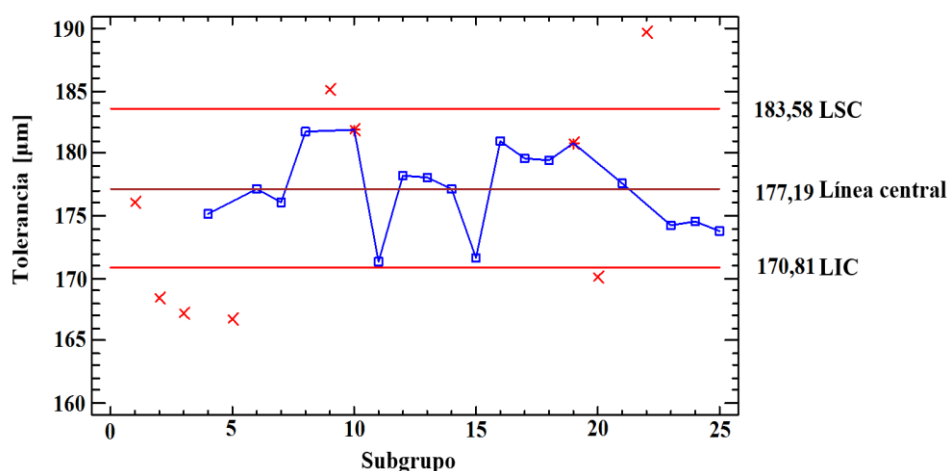


Fig.5. Variación de la tolerancia para el radio 2

Los resultados del radio 2 del nuevo perfil, para el caso de la dispersión de las tolerancias, se aprecian en la Figura 4, con un comportamiento igualmente desfavorable. La Figura 5 corresponde a los resultados del análisis estadístico en el que se mantiene la misma tendencia negativa. Al calcular la capacidad del proceso (C_p) resulta un valor que tampoco se corresponde con el rango para un proceso parcialmente adecuado.

El eje de simetría respecto a los dos radios es también determinante para conseguir una invariabilidad de la posición del perfil de la pieza bruta del cuerpo del candado, así como el espesor. Los resultados de la medición de la simetría y el espesor también se procesaron; la determinación de la capacidad del proceso se hizo a través de la expresión para determinar la misma, obteniéndose como resultado $C_p = 0,3997$; resultado que permite asegurar que la misma no es adecuada en lo concerniente a la simetría. Se realizó la medición del espesor (E), como resultado de lo cual, se obtuvo una diferencia significativa al comparar los valores de las muestras del nuevo perfil respecto al valor especificado. De esta forma:

Error absoluto del espesor = Media de las muestras – Media de especificación (patrón)

Error absoluto del espesor = 17,4702 - 17,14 = 0,3302 mm

Al determinar la capacidad del proceso, el valor obtenido fue de 0,02; por consiguiente, respecto al espesor, el proceso en el nuevo perfil se considera fuera de control.

Conclusiones

En el presente trabajo quedó demostrado que los índices de capacidad del proceso confirman que ningún proceso se encuentra espontáneamente bajo control; es necesario un esfuerzo sistemático para eliminar las causas de esta variabilidad. La ventaja de tener un proceso bajo control es que su resultado es estable y predecible. En este caso, se cumplió con el objetivo de aplicar la capacidad del proceso como criterio de calidad para una toma de decisión respecto a un perfil que sirve de pieza en bruto en la fabricación de candados. El resultado demostró que no se cumple con los requerimientos para su fabricación y que por tanto a los efectos de dar solución a este problema se deben tomar las decisiones que correspondan en el aspecto de la contratación con el proveedor.

Referencias

1. Hernández, C., Da Silva, F., *Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad*. Tecnología Química, 2016. 36(1): p. 130-145. DOI: <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2016.1.%25x>.
2. Garetti, M., Rosa, P., Terzi, S., *Life cycle simulation for the design of product-service systems*. Computers in Industry, 2012. 63(2012): p. 361-369. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2012.02.007>.
3. Nafisi, M., *Advanced Applications in Manufacturing Engineering. Manufacturing Engineering Requirements in the Early Stages of New Product Development-A Case Study in Two Assembly Plants*, 2018. Cambridge: Elsevier. ISBN: 9780081024157. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102414-0.00005-7>.
4. Wang, D., Prediction of cumulative surface location error at the contact zone of in-process workpiece and milling tool. International Journal of Mechanical Sciences, 2020. 177(2020): p. 105543. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105543>.
5. Chaudhari, R., Hashimoto, F., *A novel work holding method for hard turning using the shoe-centerless concept*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2018. 67(1): p. 113-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.03.024>.

6. Wang, Y., *Tolerance Allocations on Products: A Life Cycle Engineering Perspective*. 26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference. Procedia CIRP, 2019. **80**(2019): p. 174-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.089>.
7. Umaras, E., Barari, A., Guerra, M.S., *Intelligent Design Tolerance Allocation for Optimum Adaptability to Manufacturing Using a Monte Carlo Approach*. International Federation of Automatic Control. IFAC PapersOnLine, 2019. **52**(10): p. 165-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.017>.
8. Illés, B., Glistau, E. y Coello, N., *Logística y Gestión de la Calidad*, 2012. Miskolc: Universidad de Miskolc. ISBN 978-963-358-007-3.

Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses entre los autores, ni de los autores con las entidades que guardan relación con el contenido del artículo.

Contribución de los autores

Lilian Chaviano Tovar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2177-5169>

Participó en la conceptualización del trabajo, en la conducción de la investigación y en la preparación del manuscrito.

Silvio del Risco Alonso. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7228-7360>

Participó en la investigación, su diseño metodológico y curación de datos. Análisis de los resultados.

José Castelló González. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8399-7034>

Participó en la conceptualización del trabajo, en las coordinaciones y facilitación de los recursos. Análisis de resultados y en la redacción del manuscrito.

Ricardo del Risco Alfonso. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0225-9281>

Participó en la conceptualización del trabajo y en la investigación. Revisión del manuscrito.

Juan Carlos Ortega Zayas Bazán. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7138-4166>

Participó en la conceptualización del trabajo y en el análisis de los resultados.