

ANÁLISIS DE ESPECÍMENES MEDIANTE EL CONTROL DE CALIDAD, ELABORADOS CON MANUFACTURA ADITIVA: CASO DIDÁCTICO

ANALYSIS OF SPECIMENS THROUGH QUALITY CONTROL, MANUFACTURED WITH ADDITIVE MANUFACTURING: DIDACTIC CASE

Jesús Vicente González Sosa

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
jvgs@azc.uam.mx

José Ángel Hernández Rodríguez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
hrja@azc.uam.mx

Martha Hanel González

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
mhanel@azc.uam.mx

Recepción: 29/octubre/2020

Aceptación: 27/noviembre/2020

Resumen

La manufactura aditiva es una tecnología de la innovación industrial que permite establecer nuevas oportunidades de progreso en el área de ingeniería industrial, sin duda es de gran interés analizar dicho proceso para mantener la mejora continua tanto en el sector industrial como en el sector académico ya que ofrece oportunidades enfocadas en estrategias educativas. En este artículo se describen y aplican conocimientos en los temas de control de calidad que permiten analizar el proceso de la manufactura aditiva como un caso didáctico. En el que se estudia especímenes para la evaluación de un ensayo de impacto en material ABS. En ésta se utilizan herramientas tales como la medición y análisis de capacidad del proceso. Los resultados obtenidos de las mediciones muestran de manera puntual la importancia de aplicar conocimientos de la ingeniería industrial para la solución de problemas tangibles y a su vez forman parte fundamental para casos didácticos al estudiar las asignaturas vinculadas de forma directa con la industria.

Palabras Clave: Didáctica, herramientas de calidad, mejora continua, procesos industriales, prototipaje 3D.

Abstract

Additive manufacturing is a trend of industrial innovation that allows to establish new opportunities for progress in the area of industrial engineering, it is certainly of great interest to analyze this process to maintain continuous improvement in the industrial sector as in the academic sector, which offers educational strategies. This article describes and applies knowledge in the subjects of quality control that allow to analyze the additive manufacturing process as a teaching case, which studies specimens for the evaluation of an impact test on ABS material. Tools such as process capacity measurement and analysis are used. The results show in a timely manner the importance of applying knowledge of industrial engineering for the solution of tangible problems and in turn is part of teaching cases to study in subjects directly linked to the industry.

Keywords: 3D prototyping, didactics, continuous improvement, industrial processes, quality tools.

1. Introducción

En la actualidad los casos de estudio forman parte esencial en el desarrollo profesional, las cuales muestran estrategias didácticas que involucran procesos académicos con la industria y con ello mejorar las condiciones de análisis para la ingeniería industrial. De acuerdo con [Carrizo, 2018], los procesos de calidad son sistemas que permiten obtener la satisfacción de los clientes con productos y servicios; por ende, es necesario analizar casos didácticos para que la sociedad académica mantenga una mejora continua en sus procesos de enseñanza, que se reflejan de forma directa con la industria.

Las herramientas del control de calidad como la metrología y el análisis de capacidad de procesos, se engloban la mayor parte en el desarrollo de este artículo, el cual ofrece datos relevantes, manteniendo y mejorando las tendencias de análisis en procesos industriales y académicos, haciendo hincapié en el conocimiento

generado y da pauta a la competitividad en los diversos sectores de las sociedades inmersas en la ingeniería industrial [García, 2015].

Los instrumentos de medición en la metrología como parte de la calidad son fundamentales para el desarrollo de un análisis para casos de estudio como el que se presenta y establecen las condiciones para obtener resultados acertados en las mediciones dentro de los procesos de fabricación [Loaiza, 2016].

Asimismo, se ha determinado que en estos tiempos el ámbito de los procesos de calidad y su gestión son de interés predominante para la educación a nivel superior, dado que permiten enriquecer los métodos de aprendizaje en la ingeniería industrial como parámetros de mejora continua en las sociedades académicas [Barroso, 2007]. La intención de involucrar a la calidad en la educación se da por el constante avance e innovación de la tecnología, como un indicador de mejora.

La calidad es un modelo representativo del mundo industrial que se refleja en los campos de aplicación que permite determinar las características específicas en un producto para generar la competitividad en el sector industrial, que responde a las necesidades y demandas de la sociedad. [García, 2018].

Los conceptos básicos de la calidad y casos de estudio ofrecen vestigios para la educación inmersos en los casos de estudio [Espinoza, 1990,] que logran generar bases de datos para analizar de manera puntual aspectos directamente relacionados con la ingeniería, haciendo énfasis en la manufactura aditiva como parte básica del análisis didáctico que ofrece este artículo.

2. Métodos

El método que se utiliza para desarrollar este artículo se enfoca en el uso de casos mediante la experimentación, en donde se llevan a cabo ensayos a especímenes para determinar la funcionalidad, calidad, proceso y tendencias en la fabricación del producto.

Por lo cual, se toman a consideración algunos temas relacionadas con los procesos de calidad, en específico la metrología y el análisis de capacidad de procesos, con la finalidad de obtener bases de datos que reflejen la importancia de la ingeniería industrial a partir de casos de estudio.

La metodología de trabajo se representa a través del diagrama que se visualiza en la figura 1. Muestra los pasos a desarrollar para el caso de estudio y formar con ello el inicio de una base de datos para el apoyo en los procesos didácticos como ejemplo de aplicación. Se identifican las evaluaciones que son los pasos fundamentales en donde se aplican las herramientas de los procesos de calidad para analizar el producto en cuestión y su proceso de fabricación.



Figura 1 Metodología de trabajo para el caso de estudio. *Elaboración propia.*

El caso de estudio son especímenes para el ensayo mecánico denominado impacto, mostrados en la figura 2, fabricados por medio de manufactura aditiva con el proceso de impresión 3D, para su análisis con temáticas de la ingeniería industrial, en específico, con la calidad.



Figura 2 Especímenes para analizar. *Elaboración propia.*

El análisis del sistema involucra al producto y al proceso de prototipado, como eje principal de estudio en el caso didáctico, mostrando las herramientas fundamentales de la ingeniería, para identificar el método didáctico y tendencia de análisis en la industria.

Aplicación de la metodología al caso de estudio didáctico de los especímenes

En esta sección se describe paso a paso los puntos de la metodología en el caso didáctico de los especímenes para los productos fabricados por medio de la manufactura aditiva.

La aplicación se describe en la tabla 1, en donde cada una de las etapas contiene la información necesaria para la comprensión del caso y su enfoque hacia el sector didáctico en la ingeniería industrial con los procesos de calidad.

Los equipos y herramientas utilizadas para su aplicación en este caso de estudio se muestran en la figura 3; dichos equipos se encuentran en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para el desarrollo de las actividades que involucran la investigación de este caso de estudio, utilizando una impresora 3D marca Zortrax, calibrador pie de rey de 6 pulgadas y pirómetro laser.

Herramientas de calidad; metrología y análisis de capacidad de procesos

Metrología: es una ciencia que se dedica a la medición, basada en estándares localizados en normas, generalmente internacionales y la forma en la que se aplicó

a los especímenes, es de la siguiente forma. La medición de las probetas se ejemplifica en la figura 4.

Tabla 1 Metodología en los especímenes impresos.

Etapa	Descripción
Investigación del producto y proceso de fabricación	Se realiza una búsqueda de información relacionada con las probetas para ensayos mecánicos de impacto, elaborados con manufactura aditiva y se determina que es un caso específico, en donde la configuración para su fabricación contiene una diversidad de parámetros a controlar y analizar.
Análisis e identificación del problema	La fabricación de los especímenes tiene la característica de una no homogeneidad en su obtención, que permite analizar el caso y reflejarlo en el sector educativo.
Fabricación del producto (especímenes)	Se realiza la fabricación de 50 especímenes con la variación en el relleno para su elaboración en manufactura aditiva, por medio de impresión 3D.
Identificación de parámetros en el proceso de fabricación	Los parámetros para considerar en la evaluación de los especímenes, con respecto al proceso de fabricación son: <ul style="list-style-type: none"> • Control de relleno • Control de temperatura de la cama de impresión • Tipo de filamento (marca, diámetro) • Control de temperatura del filamento • Temperatura dl ambiente • Tiempo de impresión
Evaluación con metrología	Se realizan 150 mediciones en los especímenes para la aplicación de la metrología con calibrador pie de rey.
Evaluación con el análisis de capacidad de procesos	Para la misma cantidad de especímenes, 50, se lleva a cabo el proceso para determinar gráficamente la calidad relacionada con la capacidad del proceso de manufactura aditiva con la impresión 3D.
Interpretación de resultados	La interpretación se establece por medio de los gráficos obtenidos en el análisis con las herramientas de los procesos de calidad identificados para su aplicación en este caso didáctico con los especímenes
Bases de datos recabados	Los datos recabados se toman en cuenta para su aplicación de los procesos educativos como casos de estudio que se podrán analizar con estos métodos o con alguno otro que se involucra con la calidad y su desarrollo. La base de datos se encontrará alojada en la red, para mantener un acceso accesible a esta información y aprovecharla en los sectores que involucran a la ingeniería industrial.



a) Impresora Zortrax b) Calibrador c) Pirómetro

Figura 3 Equipos utilizados el desarrollo del análisis de los especímenes.



Figura 4 Secciones para medir de los especímenes.

Las medidas realizadas a las probetas de la figura 4, se hicieron conforme a la norma ASTM D638, figura 5. Y las medidas obtenidas con los instrumentos de medición se muestran en tabla 1.

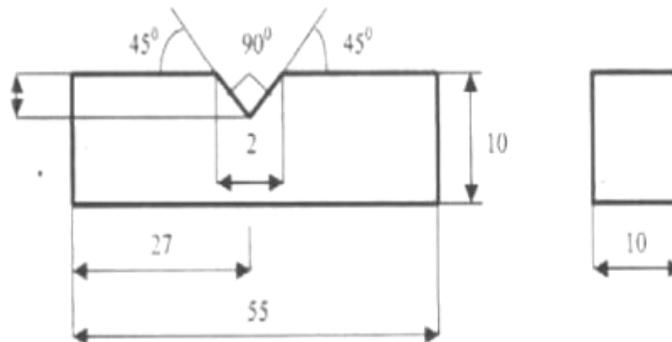


Figura 5 Medidas del espécimen del ensayo impacto, acotación mm.

Tabla 1 Medidas realizadas a los especímenes.

No.	L [mm]	A [mm]	t [mm]
1	55.01	10.04	9.83
2	54.94	10.07	9.81
3	54.99	10.08	9.83
4	54.94	10.06	9.81
5	55.03	10.09	9.83

La tabla 1 contiene los promedios de las mediciones realizadas a los especímenes fabricados por medio de la manufactura aditiva, que se evalúan en los ensayos de impacto. La variación en el porcentaje está detallada en la tabla 2.

Tabla 2 Porcentaje de error de las mediciones de los especímenes.

No.	L [%]	A [%]	t [%]
1	0.01	0.37	1.69
2	0.10	0.69	1.88
3	0.01	0.75	1.75
4	0.10	0.63	1.88
5	0.05	0.94	1.69

De acuerdo con lo que se muestra en la tabla 2, las tolerancias para los especímenes registrados en normas ASTM están en un rango de [0.1-0.2] mm, por lo cual las mediciones que se observan en la tabla 1 y 2 están dentro de la tolerancia y ello indica que se deben analizar otros puntos además de la metrología como parte de la medición, contemplándolo para otro análisis en otros trabajos con enfoques semejantes a este. Un método más para analizar se describe en los siguientes párrafos, mostrando la importancia y aplicación del control de calidad en los procesos de manufactura aditiva por medio del prototipado 3D.

Análisis de capacidad de procesos

Indica la capacidad de un proceso con respecto a la calidad, en el caso de la maquinaria y los equipos, se utiliza lo que se conoce como “capacidad de la máquina”.

La capacidad de proceso se define como el comportamiento de un proceso durante cierto periodo de tiempo, el cual está controlado estadísticamente.

Existen diferentes métodos para el análisis de la capacidad de procesos, los cuales identifican la capacidad real de la calidad de un producto por medio de los siguientes diagramas:

- Distribuciones de frecuencia.
- Gráficos de control.
- Gráficos que muestran valores especificados.

En lo que respecta a las distribuciones de frecuencia, indican la distribución de la capacidad para calcular el promedio y la desviación estándar, sin embargo, no involucra los cambios con el tiempo.

La parte esencial del análisis es el uso de las gráficas, que permiten enriquecer el proceso de análisis para controlar el sistema de la manufactura aditiva. Por otro lado, con respecto al análisis de la capacidad del proceso se tiene el índice de la capacidad del proceso, C_p , como un factor predominante, se calcula mediante ecuación 1.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (1)$$

Donde, $\hat{\sigma}$ es la desviación estándar estimada. La ecuación 1 se aplica cuando hay límites superior e inferior en la especificación, en la que LIE es el límite inferior de la especificación, LSE es el límite superior de la especificación, \bar{x} la media del proceso. La ecuación 2 se utiliza cuando sólo hay un límite en la especificación.

$$C_p = \frac{\bar{x} - LIE}{3\hat{\sigma}} \text{ o } C_p = \frac{LSE - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} \quad (2)$$

El índice de capacidad de procesos se divide en categorías conforme a los valores obtenidos en las ecuaciones anteriores, se presenta la tabla 3 con los valores y su descripción. La tabla 3 muestra el factor que se aplicará a los especímenes considerados en el caso de estudio, para el análisis de capacidad de proceso.

Tabla 3 Valores del C_p .

Valor de C_p	Clase	Descripción
$C_p > 1,67$	Especial	Se apunta a una capacidad del proceso de 1,67 o más cuando se pretende un control de ppm, una fracción de unidades defectuosas del orden de millonésimas, o una fiabilidad muy alta. Esta calidad es demasiado elevada para fines generales.
$1,67 \geq C_p > 1,33$	A	Calidad muy buena. Se puede reducir la inspección.
$1,33 \geq C_p > 1,0$	B	Calidad bastante buena. Es suficiente la inspección por muestreo.
$1,0 \geq C_p > 0,67$	C	Se producirán algunas unidades defectuosas. C_p debe aumentar a 1,0 o más.
$0,67 \geq C_p$	D	Calidad muy mala.

Al aplicar el análisis de medición como herramienta en los procesos de calidad se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la figura 6.

Procesar datos		Rendimiento			
LEI	36.05			Esperado Largo plazo	Esperado Corto plazo
Objetivo	37		Observado		
LES	37.05	PPM < LEI	40000.00	1663.62	20.39
Media de la muestra	37.1234	PPM > LES	540000.00	579553.08	610477.83
Número de muestra	50	PPM Total	580000.00	581216.69	610498.23
Desv.Est. (Largo plazo)	0.365628				
Desv.Est. (Corto plazo)	0.261615				

Capacidad largo plazo		Capacidad corto plazo	
Pp	0.46	Cp	0.64
PPL	0.98	CPL	1.37
PPU	-0.07	CPU	-0.09
Ppk	-0.07	Cpk	-0.09
Cpm	0.04		

Figura 6 Datos obtenidos del análisis de capacidad de procesos

En los datos que se muestran en la figura 6 se observa que el número de partes no conformes con el proceso tiene un valor muy alto y ello conlleva a que el índice de capacidad da lugar a deducir que el proceso tiene una calidad muy mala, por lo que se tendrán que realizar nuevos análisis para mejorar la condición del proceso en manufactura aditiva. Por otro lado, se utiliza el método de Capability Sixpack, para determinar el C_p y Ppm con respecto a las mediciones realizadas en los especímenes, para el caso de la longitud, en ancho y espesor, lo cual se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de C_p y Ppm para las medidas del espécimen.

Dato	C_p	Ppm
Longitud	0.60	74120.63
Ancho	0.58	306775.29
Espesor	0.79	971755.23

De la tabla 4 se logra identificar que las medidas correspondientes al C_p tiene un proceso aceptable de calidad en la medición de la longitud, mientras que para el caso del Ppm el proceso se ve afectado en mayor grado cuando se realiza la medición del espesor, dado que presenta cerca de las 1000 piezas no conformes en cuanto a la calidad deseable para su evaluación.

Los parámetros obtenidos por medio de los dos análisis anteriores ofrecen tendencias significativas para mejorar los procesos, en función de la metrología considerando diversos elementos para trabajar en ello.

Es de esperarse que el análisis para estos especímenes se amplíe y con esto identificar nuevas metodologías para mejorar la calidad del proceso de manufactura aditiva, mostrando que es una herramienta factible para los aspectos didácticos en la ingeniería y las áreas que se involucran en estos procesos.

3. Resultados

Los resultados destacados en la aplicación de los procesos de calidad en un caso de estudio, ofrece la ventaja de almacenar datos para una mejora en los procesos subsecuentes, tanto en la parte didáctica como en la aplicación de la manufactura aditiva, utilizando impresión 3D. La figura 7 muestra la aplicación de la capacidad en el control de tiempos para la medición de los especímenes.

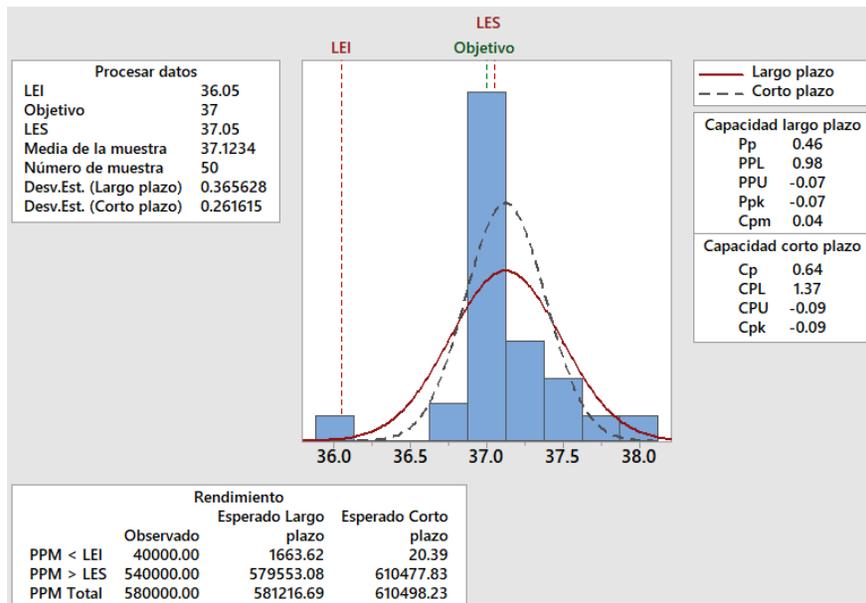


Figura 7 Informe de capacidad en tiempos en la medición en los especímenes.

Lo observado en la figura, da pauta a mejorar los procesos de metrología, aunado a ello se identifica que los valores de la desviación estándar son favorables, dado que son datos mínimos que se traducen como una buena tendencia del proceso, con respecto a la muestra de 50 especímenes. En la gráfica se detecta que las mediciones se encuentran dentro de los límites y es este caso en específico con un huelgo cerca del limite superior, mostrando una calidad aceptable, con un enfoque

de mejora como ya se había mencionado con anterioridad. Por otro lado, se realizó un análisis de capacidad de procesos para las mediciones del espécimen, en cuanto a la longitud, el ancho y el espesor de esta misma, identificándose en la figura 8 con los diagramas de seis análisis de capacidad normal.

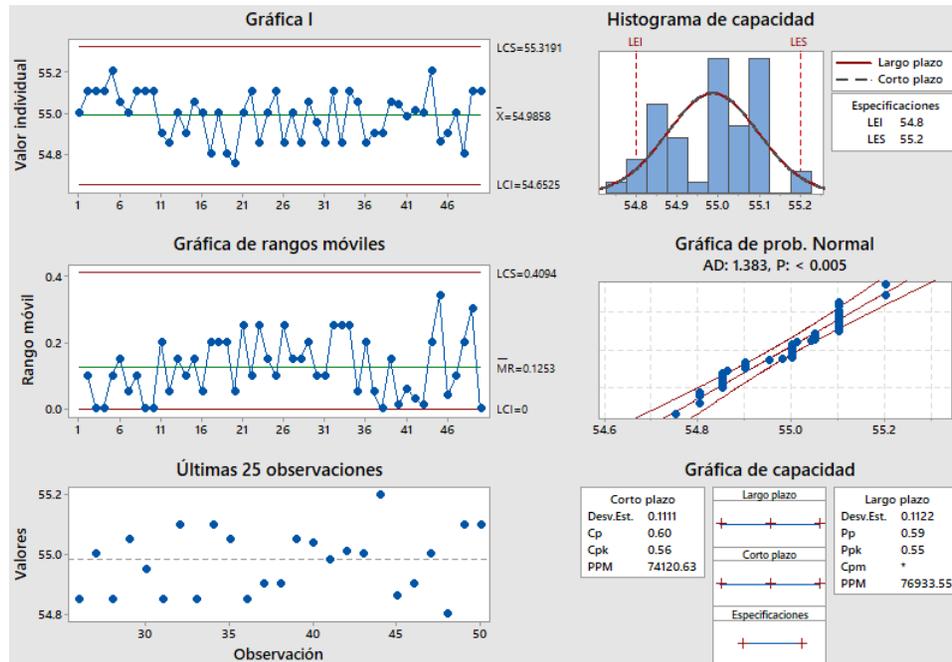


Figura 8 Capability Sixpack para le medición de la longitud.

En el histograma de capacidad que se muestra en la figura 8, por ejemplo, se distingue la frecuencia de mediciones realizadas a los especímenes de probetas, tomando en cuenta que las probetas con medición de 55 y 55.1 mm son las que lograron una frecuencia mayor.

A su vez se deberá trabajar en dos situaciones, mejorar el proceso para medición y analizar los parámetros en el proceso de fabricación de los especímenes, aunado a ello se identifica una tolerancia dimensional aceptable. Sin embargo, de acuerdo con los procesos de calidad los valores cercanos a los rangos del limite superior e inferior no siempre se obtiene una calidad sobresaliente.

Con esta información, la tendencia en los análisis de procesos de capacidad tiene variantes que muestran áreas de oportunidad para mejorar los informes mostrados e identificar nuevas aplicaciones en los procesos didácticos.

Por último, cabe resaltar que el valor del C_{pk} , para las tres mediciones se muestran en la tabla 5, lo cual permite identificar que sección es crítica en el proceso de medición, dado que el C_{pk} es un indicador que muestra si el proceso está dentro de los límites establecidos y el valor que identifica la mayor calidad en este parámetro es $C_{pk} > 1.33$.

Tabla 5 C_{pk} para las mediciones de longitud, ancho y espesor.

Dato	C_{pk}
Longitud	0.56
Ancho	0.17
Espesor	-0.64

De la tabla 5, se identifica claramente que la medición del espesor por medio de la metrología no es adecuada, no existe calidad alguna en ello, por lo tanto, deberán realizarse nuevos análisis en esa sección, tanto de calidad como de proceso para la longitud y ancho, que igualmente es crítico, pero al observar los gráficos los límites superior e inferior se alojan en un rango de menor índice de error, sin embargo, no se deben dejar de estudiar.

4. Discusión

La mayor cantidad de metodologías que se utilizan como casos de estudio se enfocan de manera directa con ejercicios de libros o prácticas de laboratorio, sin embargo en este trabajo se hace uso de un caso específico tangible de investigación que permite obtener información para desarrollar un caso de estudio, con la finalidad de que los estudiantes de nivel superior de las carreras de ingeniería cuenten con bases de datos alojados en un espacio libre como aporte en el desarrollo académico que se vinculará con el entorno industrial.

Al analizar el trabajo, se observa que el caso tenía por obviedad que el producto seleccionado cumplía con la calidad específica, por hacer uso de un proceso automático como lo es el prototipado 3D como parte de la manufactura aditiva, sin embargo, surge como resultado que el proceso tiene una calidad mala en función al análisis realizado.

Cabe resaltar que los procesos evaluados cumplen con criterios precisos para el sector industrial, en donde se trabaja de manera constante con la calidad, como un ente de gran relevancia para la industria. Por otro lado, como caso de estudio ofrece tendencias de mejora para nuevos análisis tanto cualitativos como cuantitativos, en la determinación de parámetros para mejorar la calidad del espécimen seleccionado, además el prototipado 3D tiene una importancia relevante en el proceso y la funcionalidad de los equipos que elaboran un prototipo.

Es indudable que el sector académico está ligado con la industria, para fomentar nuevas metodologías de estudio.

5. Conclusiones

Las conclusiones que se obtuvieron en este trabajo se describen en los siguientes puntos de manera específica:

- El uso de la metodología para el caso de estudio tiene una secuencia adecuada para los elementos que se evalúan, facilitando el uso de la información para mantener un énfasis durante el desarrollo del trabajo y su culminación.
- La elección de los procesos de calidad (metrología, análisis de capacidad de procesos), se fundamentan al ofrecer un caso práctico en un proceso de manufactura aditiva que aún no tiene estándares estrictos para su evaluación, lo presentado ofrece nuevos análisis para el prototipado 3D.
- El proceso de manufactura aditiva, impresión 3D, tiene la característica de obtener un producto con parámetros específicos que se pueden variar para mejorar la elaboración del espécimen, sin embargo, en este caso de estudio, después del análisis, se llega a la conclusión de que existen más variantes con las que se debe trabajar para mejorar la calidad del producto y cumplir las características ideales de la calidad, en lo correspondiente a un proceso de manufactura tangible y real.
- Los resultados obtenidos al aplicar los procesos de calidad dan tendencias de mejora contemplando dos casos específicos, el control y análisis de la calidad.

- ✓ El proceso de fabricación
 - ✓ Los instrumentos de medición
 - ✓ Los equipos de fabricación
 - ✓ El personal que ejecuta las operaciones de medición
 - ✓ El personal que aplica los procesos de calidad
- Con lo anterior, se observa que existe una diversidad de tendencias de mejora para un caso de estudio de esta índole, con el propósito de mantener la mejora continua.
 - Con respecto a los resultados, se obtienen datos representativos para seguir trabajando y mejorar las condiciones para determinar estándares al momento de elaborar especímenes como los que se trabajaron en este caso de estudio, como se observó al realizar el análisis del C_P y C_{PK} .
 - Los parámetros ideales para el caso del C_P deben ser mayor 1.6 y para el caso del C_{PK} debe ser mayor o igual a 1.33, en el caso didáctico se obtuvo un error del 60.73% para el C_P y 57.89% para C_{PK} , lo cual indica que se debe hacer hincapié en el control inmerso en la fabricación del espécimen y la capacitación adecuada del personal para el uso de los instrumentos de medición y por último la estandarización de los equipos e instrumentos para el desarrollo de las mediciones.
 - Estructurar nuevas metodologías de análisis para casos didácticos que involucren procesos y equipos industriales para lograr un crecimiento en las metodologías de aprendizaje a nivel superior.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Barroso, R.C., Un análisis crítico sobre los modelos de gestión de la calidad en la educación. *Innovación Educativa*, No. 41, 19-29, 2007.
- [2] Carrizo D., Alfaro A., Método de la calidad en una metodología de Desarrollo de software: un enfoque práctico. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, No. 1, 114-129, 2018.
- [3] Espinoza G., Carlos L., Control total de calidad: conceptos y requisitos. *Tecnología en Marcha*, No. 2, 31-35, 1990.

- [4] Díez E., Aseguramiento de calidad en la construcción de sistemas basados en el conocimiento: un enfoque práctico. *Revista Latinoamericana de Software*. No. 5, 167-206, 2013.
- [5] García C. F., Juárez H. S.C., Salgado G.L. Gestión escolar y calidad educativa. *Revista Cubana Educación Superior*, no. 2, 206-216, 2018.
- [6] García O. F., Vallejo B. M., Mora C.E., La calidad desde el diseño: principios y oportunidades para la industria farmacéutica. *Estudios Gerenciales*, no. 31, 68-78, 2015.
- [7] Loaisa C. S., Mesa G. D. H., Pérez C.W. Instrumentación de un péndulo tipo Izod, para evaluación de la Resistencia al impacto de polímeros. *Scientia et Technica*, ISSN 01221-1701, 2016.
- [8] López, G. R. La calidad total en la empresa moderna. *Perspectivas*, no. 2, 67-81, 2005.