

## Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Six Sigma para el diseño de un robot cartesiano de Impresión 3D utilizando TI.

José Ángel-De La Garza Macedo<sup>a</sup>, Jesús Adán-Lovera García <sup>a</sup>, Jorge Edmundo-Mastache Mastache<sup>bc</sup>, Karina-Balderas Pérez<sup>b</sup>, Jesús-Namigtle Jiménez<sup>bc</sup>

<sup>a</sup>Estudiante Maestría en Administración de Tecnologías de Información, Universidad de Ixtlahuaca CUI, angel.garza@uicui.edu.mx, Toluca, Estado de México, México.

<sup>b</sup>Universidad de Ixtlahuaca CUI, karina.balderas@uicui.edu.mx, Ixtlahuaca, Estado de México, México.

<sup>c</sup>TECNM-Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, jorge.mastache@tesjo.edu.mx, Jocotitlán, Estado de México, México.

### Resumen

El desarrollo y maquinado de piezas es un sector importante, el cual forman parte del desarrollo en la industria y en particular en cualquier actividad productiva. En el presente artículo se desarrolló aplicando la metodología DMAIC de Lean Six Sigma para el diseño de un robot cartesiano de Impresión 3D utilizando TI para su monitoreo en tiempo real, el cual consiste en un sistema mecánico en donde se muestra el ensamblaje de todos los componentes, el sistema eléctrico el cual muestra todos los componentes electrónicos y su conexión, y el sistema programación en donde se configuraron todos los parámetros y características del robot cartesiano para su correcto funcionamiento, así mismo se muestran las pruebas a las que fue sometido el robot con fines de observar el desempeño de la máquina.

De igual forma se desarrolló e implemento un sistema IoT de monitoreo a distancia, conformado por placas de programación como el ESP32-cam, el esp01, módulo relay y arreglo de servomotores.

### Palabras clave

- DMAIC, IoT, FDM, Impresora 3D, TI

### Abstract

The development and machining of parts is an important sector, which is part of the development in the industry and particularly in any productive activity. This article was developed by applying the DMAIC methodology of Lean Six Sigma for the design of a Cartesian 3D Printing robot using IT for real-time monitoring, which consists of a mechanical system where the assembly of all components is shown. , the electrical system which shows all the electronic components and their connection, and the programming system where all the parameters and characteristics of the Cartesian robot were configured for its correct operation, and the tests to which the robot was subjected are also shown. purposes of observing the performance of the machine.

Likewise, an IoT remote monitoring system was developed and implemented, made up of programming boards such as

the ESP32-cam, esp01, relay module and servomotor arrangement.

### Keywords

- DMAIC, IoT, FDM, 3D printer, TI

### 1. INTRODUCCION

La impresión 3D, es una tecnología emergente que en el último año tuvo un avance importante, que poco a poco va creciendo y demostrando que es una herramienta indispensable, e importante en el desarrollo de piezas con distintos propósitos, esta tecnología te permite abaratar costos de manufactura, con una gama de materiales distintos de acuerdo al uso al que se le vaya a dar a la pieza. Esta tecnología permite crear objetos tan comunes como soportes y fundas para celulares, juguetes, herramientas, decoraciones y también hasta piezas que requieren una manufactura más refinada, maquetas arquitectónicas, autopartes, prótesis médicas, y refacciones de todo tipo.

La impresión 3D o la Fabricación aditiva, es un proceso de manufactura que lleva como objetivo crear o producir piezas en el momento, utilizando el diseño asistido por computadora o como bien se le conoce CAD, esta nueva tecnología de fabricación crea objetos o piezas a base de capa tras capa por lo general de plástico, resinas y metal [1].

Hoy en día este tipo de producción, se utiliza particularmente en sectores donde la personalización y el tiempo son factores claves en la manufactura de piezas, existen distintos métodos de impresión 3D, de acuerdo al material utilizado para la creación de estas piezas.

#### • Sinterizado Láser Selectivo (SLS).

La tecnología Sinterizado Selectivo por Láser (SLS), funciona de tal forma que un láser funde y compacta el consumible, en este caso ese material es poliamida en polvo, la máquina dirige un láser sobre una pequeña capa de material, fundiendo únicamente el área de la pieza que se está fabricando, esto sin tocar el sobrante de polvo que a su vez funciona como soporte para la pieza [2].

#### • Estereolitografía (SLA).

Este método de impresión, es uno de los más conocidos como Impresión 3D de Resina, este sistema es parecido al (SLS), ya que también cuenta con un láser que se encarga de solidificar o curar las resinas que son utilizadas, cuando la resina es expuesta a una determinada longitud de onda de luz, se acoplan cadenas moleculares formando la pieza [2].

#### • Polyjet.

Este tipo de impresión 3D fusiona la mecánica de las impresoras (FDM) y el material utilizado en la impresión (SLA), a través de un inyector va depositando capas de resina y a su vez se expone a una luz ultravioleta para endurecerla,

de esa forma se va formando la pieza, este tipo de manufactura tiene como ventaja que las piezas quedan con acabados lisos, con mucho mayor detalle que las (FDM) y más resistentes, ya que utiliza resinas [3].

- **Sinterizado Directo de Metal Láser (DMLS).**

Por lo general este tipo de impresión es confundido con (SLS) puesto que su principio de funcionamiento es el mismo, su principal e importante diferencia es el material con el que se fabrican las piezas, la impresión (SLS) utiliza polvo de plásticos, cerámica o de vidrio y la impresión (DMLS) utiliza polvo de metales como lo son: el acero, cobalto, cromo, aluminio, titanio y el Inconel, la máquina lanza un rayo láser que funde el polvo de metal así formando piezas en metal [2].

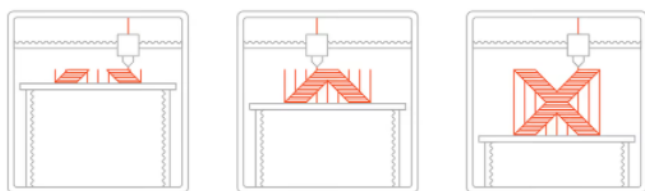
## 2. DESAROLLO

### 2.1. Impresión 3D Tipo FDM.

La Impresión 3D (FDM) “Modelado por Deposición Fundida” es la más barata, común y conocida, ya que esta tecnología utiliza como materia prima algunos plásticos, su principio de funcionamiento cuenta de un extrusor que derrite e inyecta el plástico derretido capa por capa y a su vez moviendo el cabezal a lo largo de las coordenadas específicas, situando el material fundido sobre una cama caliente en donde se solidifica así formando piezas [4].

Los plásticos utilizados en la impresión 3D (FDM) son muy variados, como lo son el PLA, ABS, PETG, ASA, TPU y un sinfín de combinaciones de plásticos, con los que es posible imprimir de acuerdo al uso de las piezas a crear, este plástico viene en forma de filamento enrollado en un carrete con un diámetro de 1.75 mm o de 3 mm de acuerdo a la configuración de la impresora a utilizar.

Fig. 1 Proceso de impresión 3D.



Fuente: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

El funcionamiento de las impresoras 3D (FDM) y todos los anteriores, se rigen por una mecánica de 3 ejes X, Y, y Z, que cuenta con un extrusor el cual permite derretir el plástico a través de estos ejes de movimiento, deposita el plástico en una cama caliente generando capas de plástico y así conseguir una pieza en plástico, existen distintos tipos de impresoras 3D (FDM) de acuerdo al tipo de configuración en la que se encuentran posicionados los motores.

### 2.2. Problemáticas de la impresión FDM.

Existen muchos problemas ocasionados por distintas circunstancias debido a que esta tecnología cuenta con un sinfín de variables a configurar, por lo cual, es importante encontrar una estabilidad entre todas estas variables para que cualquier impresión pueda salir de la mejor manera posible.

- **Warping.**

El warping es uno de los principales problemas en la impresión 3D FDM, esta falla se caracteriza por una deformación o pandeo de las capas que están en contacto con la cama caliente, este problema es más común en los materiales que requieren de temperaturas muy elevadas como es el ABS y que tienden a deformarse al momento de que se enfrían

- **Delaminación o Cracking.**

La delaminación o cracking es una falla de impresión 3D, que se refiere al rompimiento o desunión entre las capas de la impresión.

Este error se puede derivar de varias situaciones con respecto a las temperaturas, por lo que es recomendable darles importancia a las temperaturas referidas del fabricante del filamento, he incluso por una mala configuración de medidas del nozzle, este defecto suele pasar con plásticos que tienen un alto punto de fusión, ya que entre más alta sea la temperatura, es más difícil poder controlar los cambios de temperatura.

- **Desplazamiento de capas o layer shift.**

El desplazamiento de capas es un problema generado por el hardware de la máquina y consiste en que el eje X o Y se desplacen, cambiando el punto de origen o referencia en una altura determinada, ocasionado que la pieza quede chueca o desfasada.

- **Bamboleo en el eje Z o Z-wobble.**

El Z-wobble es una falla por hardware derivada del eje Z, esta deformación se presenta en pequeñas ondulaciones periódicas en dirección del mismo eje, es importante saber identificar la falla, dado que al tener problemas de extrusión puede generar una deformación similar, pero sin ser periódica.

- **Hilillos o Stringing.**

El stringing es un problema de una mala configuración de los parámetros de una pieza que se va a imprimir, esta falla consiste en que se generan hilos del mismo material al momento en que el extrusor se mueve de una pieza a otra, arrastrando residuos creando estos hilillos

- **Sobrecalentamiento o overheating.**

El overheating es un problema que se caracteriza por un sobrecalentamiento del material, este error da como resultado una deformación ocasionando que el centro de cada capa se hunda, por lo cual, es importante tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante respecto al uso del material.

• **Pie de elefante.**

El pie de elefante se caracteriza por generar una expansión del material en el plano horizontal en las primeras capas de la impresión.

**2.3. Lean Six Sigma.**

Lean Six Sigma es una metodología de mejora de procesos que combina los principios de Lean Manufacturing y Six Sigma. Lean Manufacturing se centra en la eliminación de desperdicios, mientras que Six Sigma se centra en la reducción de la variación.

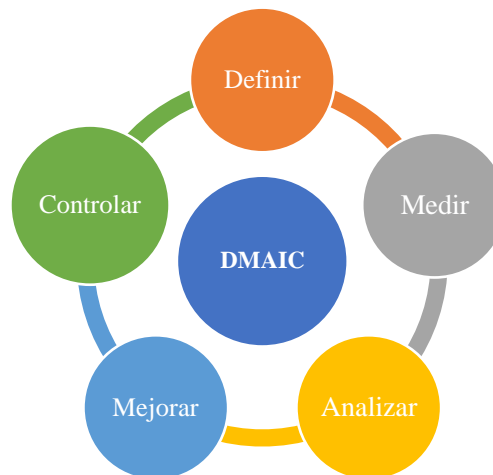
La metodología Lean Six Sigma se utiliza para mejorar el rendimiento de los procesos, reduciendo los costes, mejorando la calidad y aumentando la satisfacción del cliente, se basa en un ciclo de mejora continua llamado DMAIC.

**2.3.1. Metodología DMAIC**

El DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) es la metodología de mejora de procesos usado por Six Sigma, y es un método iterativo que sigue un formato estructurado y disciplinado basado en el planteamiento de una hipótesis, la realización de experimentos y su subsecuente evaluación para confirmar o rechazar la hipótesis previamente planteada [5].

- Definir: Identificar el problema o la oportunidad que se desea mejorar.
- Medir: Recopilar datos para comprender el estado actual del proceso.
- Analizar: Identificar las causas raíz del problema.
- Mejorar: Implementar una solución para abordar las causas raíz.
- Controlar: Monitorear el proceso para garantizar que la mejora se mantenga.

Fig. 2 Metodología DMAIC.



Fuente: Propia.

**3. Resultados**

**3.1. Definir**

Se definen los principales parámetros, que se utilizarán para la implementación de la metodología DMAIC, ya que estos parámetros son los primordiales, los cuales son los que generan alteraciones importantes, si su configuración no es precisa.

• **Parámetro Temperatura de extrusión**

Las impresoras 3D, deben ser capaces de alcanzar las temperaturas necesarias para poder derretir el material utilizado, tomando en cuenta que el ABS es el plástico con una temperatura de derretimiento más alto de 250 °C.

• **Parámetro Ventilación de Capa**

Este proceso requiere de un ventilador, el cual se encarga de enfriar el plástico recién extruido, con el fin de endurecerlo lo más rápido posible y que no se deforme demasiado considerando que se tiene piezas con voladizos, en donde el plástico se puede deformar por la gravedad.

• **Parámetro Retracción**

Este parámetro es importante, ya que es el encargado de retraer el filamento uno milímetro justo al momento en que el extrusor se traslada a otra posición con el propósito de que no deje residuos en el transcurso de ese movimiento.

• **Parámetro Temperatura de Cama**

La cama de impresión requiere de una temperatura, la cual nos ayuda a que la pieza que se está imprimiendo tenga una buena adherencia a la base como también, que la pieza no se deforme por cambios muy bruscos de temperatura, así conservando la forma deseada.

### • Parámetro Velocidad de Impresión

Este parámetro nos demuestra cuál es la máxima velocidad de impresión en mm/s de una pieza, sin que pueda llegar a presentar deformaciones o bajar la calidad de la misma.

### 3.2. Medir

Se recopilan algunos datos del proceso de impresión, para comprender como es el proceso actual de una máquina de fabrica Anet A8:

- Los parámetros iniciales:
  - Altura de capa = 0.2 mm
  - Recuentos de línea de pared = 2
  - Capas superiores = 2
  - Capas inferiores = 2
  - Densidad de relleno = 10%
  - Temperatura de impresión PLA = 210 °C
- Mediciones parámetro de retracción:

En el software Cura el cual es utilizado para estas pruebas, el parámetro de retracción por defecto cuenta con 6.5 mm de retracción, si dejar de lado que esta distancia de retracción se pude modificar, pero para cuestiones practicas se utiliza este parámetro con sus valores predeterminados.

Aplicándolo a la impresora de referencia Anet A8, en donde estando el parámetro desactivado, el resultado de hilillos que se generan en el área en donde no hay pieza, es alrededor de un 90%.

Fig. 3 Retracción desactivada.



Fuente: Propia.

Activando este parámetro, nos arroja una mejora considerable, sin dejar de lado que aun se presenta un 10% de hilillos, en donde se involucran otros parámetros para poder un resultado limpio.

Fig. 4 Retracción activada.



Fuente: Propia.

Ejecutando la misma prueba en la Impresora 3D desarrollada por nosotros, estando el parámetro desactivado nos muestra alrededor de un 60% de hilillos.

Fig. 5 Retracción desactivada.



Fuente: Propia.

Con la retracción activada, elimina un 99% de todos los hilillos, esto denotando que no se requirió de ningún otro parámetro para llegar a este resultado.

Fig. 6 Retracción activada.



Fuente: Propia.

### • Mediciones parámetro de ventilación de capa

El software Cura cuenta con el parámetro de ventilación de capa, el cual nos entrega dos estados, el cien por ciento del ventilador y apagado.

Aplicando esta prueba a la impresora de referencia Anet A8, arrojando que, con la ventilación desactivada, a partir de un ángulo de 50° se empieza a generar deformaciones y colgaduras del plástico. Activando la ventilación no presenta deformaciones hasta un ángulo de 70°.

Fig. 7 Ventilación Anet A8.



Fuente: Propia.

Aplicando la misma prueba a la maquina desarrollada por nosotros, con la ventilación desactivada alrededor del ángulo de 50°, empieza a generar deformaciones mínimas llegando al ángulo de 70° se cuelga más el filamento. Activando la ventilación nos muestra que al llegar hasta el ángulo 80° se presenta una mínima deformación en la pieza.

Fig. 8 Ventilación Maquina propia.



Fuente: Propia.

- En el proceso de impresión, la maquina sufre de mucha vibración lo cual repercute en la calidad de la pieza.
- En ciertos puntos de la impresión, en donde se encuentran voladizos la ventilación de capa no enfría del todo el plástico, generando escurrimientos de plástico.
- En velocidades altas de impresión, los ejes de movimiento generan mucha inercia, provocando muchas vibraciones.
- Con algunos materiales, la cama no alcanza la temperatura óptima para una buena adherencia.
- En algunas ocasiones en donde llega a ver cortones de energía, el proceso de impresión se pierde por completo.
- El proceso de impresión utiliza siempre tener filamento para poder imprimir la pieza, por lo que llega a pasar que se acaba el material, y la impresora sigue imprimiendo sin material.

### 3.3. Analizar

Las causas de los resultados de la Anet A8, se subdividen en tres secciones diferentes:

#### • Causas Mecánicas

- Material estructural: la maquina cuenta con un marco de acrílico, el cual no disipa vibraciones ni da rigidez estructural.
- Tensores de correas: no cuenta con un sistema que permite controlar la tensión de las correas de los ejes X y Y.

#### • Causas eléctricas

- Fusible: no cuenta con fusible de protección.
- Tipo de drivers: tiene drivers A4988, los cuales son drivers básicos, y no entregan una buena resolución de movimientos.
- Tipo de puerto: La única forma de transferir los archivos es por puerto Micro SD
- Tipo de pantalla: LCD2004 es una pantalla muy básica, que con el tiempo los pixeles se dañan.
- Bits: placa de 8 bits, la cual representa una velocidad de procesamiento limitada.
- Temp. Max del extrusor: 250°C, en donde hay materiales que ocupan temperaturas más altas.
- Mosfet de potencia: es el que tiene la placa base, el cual viene limitado, es muy lento el proceso de calentamiento del extrusor como el de la cama.

- TL-smoother: No cuenta con este módulo, tomando en cuenta que los drivers que ocupa pueden generar ruido y generando mala calidad en las piezas.

#### • Características en Firmware

- Versión de Marlin: Basado en Marlin 1.2, el cual es una versión antigua y limitada.
- Protección de temperatura: No cuenta con protección
- Recuperación de impresión: No cuenta con recuperación de impresión al tener corte de energía.
- Pausa de impresión: No hay forma de poder pausar el proceso de impresión.
- Método de calefacción: BangBang simplemente es un control de encendido y apagado para el control de la temperatura.
- Terminal comandos: No cuenta con una forma de meter comandos al sistema para ciertas funciones.
- Sensor de Filamento: No tiene forma de detectar si tiene filamento.

### 3.4. Mejorar

En el diseño y desarrollo de este robot cartesiano se tomaron en cuenta algunas debilidades con las que contaba el Modelo Anet A8 (Impresora 3D de fabrica), con el fin de poder implementar justamente la mejora de estas deficiencias y poder tener un sistema más completo, atacando las debilidades, las cuales generan demasiados errores y problemas en el proceso de impresión con el modelo ya mencionado.

#### • Mejoras Mecánicas

- Material estructural: marco de aluminio con conexiones impresas en 3D (PLA).
- Tipo de extrusor: extrusión directa, con BMG para mejorar la fuerza de extrusión.
- Tensores de correas: cuenta con tensores para mejorar el movimiento de los ejes.
- Tipo de calibración: semiautomática, la cual ayuda a que la pieza quede bien ajustada a la cama.

#### • Mejoras Eléctricas

- Fusible: cuenta con un fusible externo, para evitar sobrecargas.
- Tipo de Drivers: driver TMC2208, los cuales son silenciosos y alcanzan mejores resoluciones.
- Tipo de puerto: cuenta con USB, SD y Micro SD.
- Tipo de pantalla: TFT touch, que permite una mejor manipulación.
- Bits: cuenta con 32 bits, la cual soporta más funciones.
- Temperatura Max de la cama: alcanza hasta 110°C, para mejor adherencia con distintos materiales.
- Temperatura máxima del extrusor: alcanza 275°C para trabajar con plásticos más complejos.
- Mosfet de Potencia: cuenta con modulo aparte, el cual nos permite un proceso de calentamiento más rápido.



- TL-smoother: modulo que elimina ruido a los motores para un mejor funcionamiento.

#### • Mejoras Firmware

- Versión de Marlin: cuenta con Marlin 2.0, una versión más reciente y más funciones.
- Sistema de protección de temperatura: la maquina detecta algún problema de calentamiento y frena todos los procesos.
- Recuperación de impresión por corte de energía: la maquina tiene la capacidad de reanudar el proceso después de un corte de energía.
- Pausado de impresión: permite pausar el proceso por cualquier cuestión.
- Método de calefacción: Cuenta con un control PID, el cual eficiente el control de temperatura.
- Terminal para comandos: permite meter comandos, para realizar algún proceso específico.
- Sensor de filamento: cuenta con un sensor capaz de determinar si tiene filamento para continuar con el proceso de impresión.

#### • Sistema IoT

Se incorporo un sistema IoT, para la telemetría y telecontrol del robot, se utilizará una placa ESP32-cam para mostrar la imagen del robot, dos servomotores sg90 que moverán a la cámara para tener una vista más amplia del entorno, un módulo relay para el encendido y apagado del robot, que serán controlados por un módulo ESP8266-01, esto para poder monitorear en tiempo real el funcionamiento de la máquina.

### 3.5. Controlar

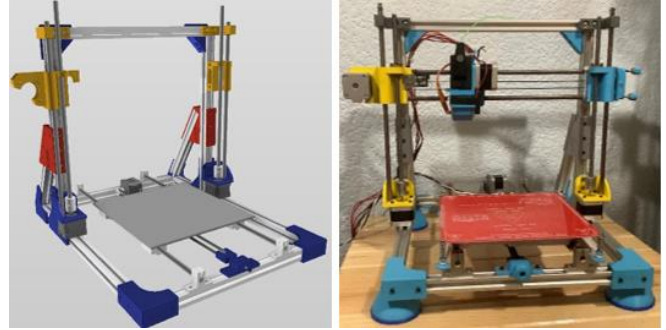
Esta etapa de Control se llevo a la acabo a la par de unas pruebas a las que se sometieron las dos impresoras, en la cual se monitoreo el desempeño de la impresora, en diferentes exámenes, poniendo a prueba justamente las mejoras previamente misionadas, observando los siguientes parámetros:

- Temperatura de extrusión
- Ventilación de capa
- Retracción
- Temperatura de cama
- Velocidad de impresión

### 3.6. Pruebas

Se muestra el prototipo de la impresora 3D, simulado y en fisico, el ensamblaje y construcción de la misma.

Fig. 9 Impresora 3D CAD-FISICO.



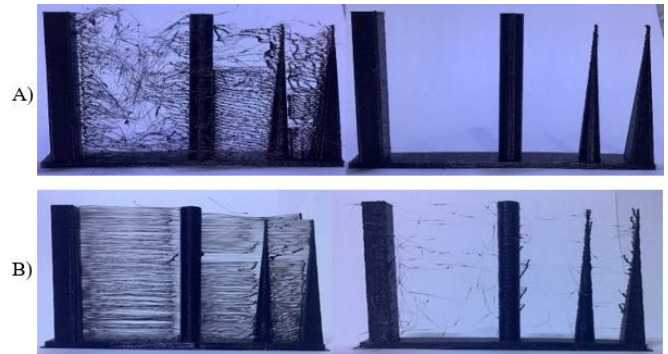
Fuente: Propia.

### 3.7. Casos de uso

Se aplicaron distintos casos de uso, para visualizar más a profundidad como las diferencias entre la impresora Anet A8 y la desarrollada por nosotros.

#### • Parámetro de Retracción

Fig. 10 Parámetro de retracción.



Fuente: Propia.

En el inciso a se presenta el parámetro de retracción activada y desactivada en la impresora desarrollada por nosotros, en la cual se aprecia perfectamente como este parámetro cumple al cien por ciento de su cometido, el no generar hilillos el trasladarse. Por otro lado, en el inciso B, podemos observar la Anet A8, con el parámetro de retracción activado o no, sigue dejando mínimos hilillos en la pieza.

#### • Parámetro ventilación de capa

Fig. 11 Parámetro ventilación de capa.



Fuente: Propia.

En el inciso A, se aplicó esta prueba activando y desactivando el ventilador de capa, en el cual podemos observar que con nuestra impresora llega a tener ligeras deformaciones o colgaduras en los voladizos más pronunciados. En el caso de la Anet A8 si se presenta deformación con la ventilación desactivada, generando que el plástico se cuelgue.

• **Tabla de comparación**

Tabla 1 Comparación "Casos de uso"

| Parámetros de Impresión  | PLA Robot cartesiano | ABS Robot cartesiano | PLA Anet A8 | ABS Anet A8 |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| Temperatura de extrusión | ✓                    | ✓                    | ✓           | ✓           |
| Ventilación de Capa      | ✓                    | ✓                    | ✓           | —           |
| Retracción               | ✓                    | ✓                    | —           | —           |
| Temperatura de Cama      | ✓                    | ✗                    | ✓           | ✗           |
| Velocidad de Impresión   | ✓                    | ✓                    | ✓           | ✗           |

Fuente: Propia.

Como se observa en la tabla de resultados, el robot cartesiano con aplicaciones en la impresión 3D cumple con la mayoría de todos los test de impresión a los que fue sometida, esto gracias a todos los sistemas y mejoras acopladas con las que

las impresoras de gama baja no cuentan, tomando en cuenta que la prueba que no pudo completar se realizó con el material más complejo para imprimir el ABS, sin dejar de mencionar que existen muchas impresoras de gama media o alta que tampoco son capaces de imprimir este tipo de materiales.

En los resultados obtenidos por la impresora Anet A8, considerada de las máquinas más importantes por ser la pionera en la tecnología 3D, refiriéndose a máquinas de uso particular, cuenta con bastantes deficiencias que a lo largo de su manipulación se tienen que tener mejoras y mantenimiento constante para conseguir resultados aceptables.

**4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En conclusión, la metodología DMAIC ha sido una herramienta fundamental para el éxito de este proyecto. Su enfoque sistemático y basado en datos ha permitido desarrollar una impresora 3D con características superiores a las de fábrica. Este proyecto es un ejemplo del potencial de la metodología DMAIC para la innovación y la mejora de procesos en diversos campos.

El sistema IoT, nos permitió monitorear a distancia el robot cartesiano tomando en cuenta que únicamente funciona en una red local, contemplando su monitoreo dentro del área de la red, cabe mencionar que existen sistemas más completos para monitoreo para este tipo de sistemas con precios elevados, por lo que se trató de optimizar en el sistema IoT con herramientas más comunes de encontrar.

**5. REFERENCIAS**

[1] V. Fernández y P. Méndez. “Guía para la mejora de la calidad de fabricación en impresoras 3D de bajo coste”. Universidad Politécnica de Madrid. 2020 [En línea]. Disponible en: [https://oa.upm.es/57873/1/TFG\\_VICTOR\\_FERNANDEZ\\_PACHECO\\_MENDEZ.pdf](https://oa.upm.es/57873/1/TFG_VICTOR_FERNANDEZ_PACHECO_MENDEZ.pdf). [Accedido: 01-Marzo-22]

[2] F. Rodríguez. “Impresión 3D, Una introducción”. Universidad Nacional Autónoma de México. 2018. [En línea]. Disponible en: [http://olimpia.cuautlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m9/IMPRESION%203D\\_UNA%20INTRODUCCION.pdf](http://olimpia.cuautlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf). [Accedido: 10-abril-22].

[3] “Tecnologías de impresión 3D”. [En línea]. Disponible en: <https://www.tridimx.com/tecnologias/> [Accedido: 18-abril-22].

[4] “Tipos de impresoras 3D: las 7 tecnologías de impresión 3D”. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>. [Accedido: 13-abril-22].

[5] McCarty, T. M., Daniels, L. M., & Bremer, M. A. (2004).  
“Six Sigma Black Belt Handbook”. McGraw-Hill.