

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Estudio de viabilidad y retorno de inversión para la selección de un equipo de manufactura 3D para el área de mantenimiento industrial en la empresa Artytecno S.A.S

Emmanuel Herrera Gómez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecatrónico

Asesor
Elkin Edilberto Henao Bravo

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica
Medellín, Colombia
2021

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

En el siguiente informe de práctica se presenta el estudio de viabilidad y retorno de inversión para la selección y compra de un equipo de impresión 3D para el área de mantenimiento industrial en una de las empresas de corte textil más grandes de Colombia, esta es, Arte y Tecnología de moda (Artytecno S.A.S), además se centra en la realización de un proceso de ingeniería inversa y de diseño asistido por computadora para la obtención de la información geométrica digitalizada de un repuesto en específico, que posteriormente se manufactura usando una impresora 3D.

El desarrollo del proyecto se realiza en dos partes, inicialmente, mediante requerimientos exigidos por el área de mantenimiento industrial, se realizan las debidas comparaciones de tres diferentes impresoras 3D existentes en el mercado, y mediante estas se busca demostrar la viabilidad y retorno de inversión de los equipos en un número N de piezas a imprimir. La segunda parte se compone de un método heurístico para capturar la información geométrica de un objeto o pieza, en esta parte se realizaron procesos de calcado para obtener de forma exacta el contorno del componente, después con el apoyo de software CAD se diseñó sobre este perímetro el archivo digital del repuesto.

Terminando este proyecto, se demostró la viabilidad de seleccionar una impresora 3D como tecnología de manufactura para la elaboración de repuestos y componentes para el área de mantenimiento, asimismo, se calculó el retorno de inversión de cada impresora presentando resultados de recuperación rápidos, finalmente, se concluye exitosamente con la generación del volumen físico y digital del componente usado en este trabajo.

Palabras clave: Impresora 3D, Retorno de inversión, CAD, Viabilidad, Ingeniería Inversa

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Me gustaría agradecer a los docentes Sebastián Vélez García, Diego Andrés Hincapié Zuluaga, Jorge Andrés Sierra del Rio, Elkin Edilberto Henao Bravo, Wimar Alberto Moreno Silva por los conocimientos impartidos en las aulas de clase, por su dedicación en formar cada día profesionales éticos e íntegros y por su apoyo en el desarrollo y conclusión de mi carrera profesional.

Este proyecto no hubiera sido posible sin el soporte recibido por Juan David Toro Buriticá, Alejandro Patiño Arcila y todos mis compañeros del área de mantenimiento industrial de la compañía Artytecno S.A.S.

Además, agradecer a mi familia y amigos por el apoyo incondicional en mi vida académica y personal.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

CAD Diseño Asistido por Computadora
CAM Fabricación Asistida por Computadora
FDM Modelado por Deposición Fundida
SLA Estereolitografía
SLS Sinterizado Selectivo por Laser
PLA Ácido Poliláctico
ABS Acrilonitrilo Butadieno Estireno
TPU Poliuretano Termoplástico
HIPS Poliestireno de Alto Impacto
PETG Polietileno de Tereftalato
STL STereoLithography
mm Milímetros
g Gramos
kg Kilogramos
COP Pesos Colombianos

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
Generalidades	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos.....	7
Organización de la tesis.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9
Ingeniería inversa	9
Diseño Asistido por Computadora (CAD).....	10
Fabricación Asistida por Computadora (CAM).....	10
Impresión 3D.....	10
Estereolitografía	11
Sinterizado selectivo por láser	12
Modelado por deposición fundida.....	12
3. METODOLOGÍA.....	14
Proceso de ingeniería inversa	17
Proceso de Viabilidad económica y retorno de inversión.....	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Resultados de ingeniería inversa	23
Resultados de viabilidad económica y retorno de inversión	27
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	32
Conclusiones	32
Recomendaciones	33
Trabajo Futuro.....	33
REFERENCIAS	34

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

Generalidades

Hoy en día, los niveles de producción industrial crecen según la demanda de sus productos, debido a esto, diferentes sectores industriales se ven en la necesidad de aumentar su volumen de fabricación en tiempos de ejecución cortos sin descuidar la calidad de estos, en consecuencia, se debe de garantizar la capacidad y disponibilidad de las máquinas y equipos de elaboración, para esto cada industria crea o contrata un área de mantenimiento industrial, pero ¿Qué es el mantenimiento industrial?

Según García Palencia “Mantenimiento son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico los equipos de producción, herramientas y demás propiedades físicas de las diferentes instalaciones de la empresa” (García Palencia, 2006, pág. 2), para desempeñar todas sus actividades, el área de mantenimiento industrial cuenta con un presupuesto mensual, semestral o anual estipulado por la organización, a causa de esto es de vital importancia que una de sus principales responsabilidades sea generar actividades para el cumplimiento estricto del presupuesto o reducción del mismo, por tal motivo el área de mantenimiento industrial debe velar por la reparación y/o fabricación de componentes de desgaste para reducir y/o ahorrar dinero del presupuesto objetivo, dentro de estas actividades de reducción y ahorro es el campo en donde está centrado este trabajo.

Ahora bien, la importancia de este trabajo se centra en implementar un sistema de impresión 3D que funcione con la técnica de modelado de deposición fundida (FDM) para generar ahorros monetarios dentro del área de mantenimiento industrial de la empresa Artytecno S.A.S, simultáneamente, realizar procesos de ingeniería inversa apoyados en herramientas computacionales para el diseño y producción de un repuesto específico del área de mantenimiento.

No obstante, cabe resaltar que muchos componentes poseen un alto costo por parte de los proveedores, sea bien por temas de importación o complejidad de manufactura, hay repuestos con precios elevados para la función que cumplen, y es de ahí donde surge la siguiente pregunta: ¿Qué métodos de fabricación de fácil uso y acceso se pueden implementar para producir repuestos y así generar ahorros en los presupuestos del área de mantenimiento?

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Basado en lo anterior, este trabajo se centra en demostrar la viabilidad y retorno de inversión que tiene una máquina de impresión 3D dentro del equipo de mantenimiento industrial, así mismo se destacan los resultados obtenidos al realizar un proceso de ingeniería inversa para la captura de la información geométrica de un objeto.

Objetivos

Objetivo General

Demostrar la viabilidad y retorno de inversión de la compra de una impresora 3D para el área de mantenimiento industrial de la empresa Artytecno S.A.S.

Objetivos Específicos

- Seleccionar tres impresoras 3D que trabajen mediante la técnica de modelado por deposición fundida.
- Sintetizar mediante ingeniería inversa las dimensiones de la cubierta de potenciómetro de danzarina.
- Componer diseño 3D de la cubierta de potenciómetro en un software CAD.
- Validar el correcto anclaje de la pieza en la máquina extendedora de tela.
- Calcular el retorno de inversión de tres impresoras 3D en un número N de piezas a imprimir con estas mismas.

Organización de la tesis

El capítulo 2 de este trabajo se centra en abordar las cuestiones teóricas que sustentan y esclarecen los temas principalmente tratados. Se hace una definición clara basada en la literatura científica, sobre el significado de ingeniería inversa, diseño asistido por computadora, fabricación asistida por computadora y sobre que es la impresión 3D y sus diferentes técnicas. El capítulo concluye con la definición y explicación de la técnica de modelado por deposición fundida FDM.

En el capítulo 3 se presenta la metodología que se tuvo para alcanzar cada uno de los objetivos planteados anteriormente, se resalta que no se concretó la compra de la impresora 3D y no se pudieron realizar procesos propios en el apartado de la manufactura asistida por computadora y de la impresión física del componente.

El capítulo 4 presenta el orden en que se obtuvieron los resultados, partiendo desde la primera actividad generada por el jefe inmediato para la realización del proyecto hasta la conclusión de este, al final se presenta el componente impreso y funcional y además se

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

aclara que debido al retraso en el proceso de compra de la impresora 3D el proceso CAM y de impresión se realizaron fuera de la empresa.

Finalmente, el capítulo 5 se centra en presentar las conclusiones del proyecto de prácticas, recomendaciones tanto para la empresa como para la institución y los trabajos futuros que surgieron a raíz de este informe.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se encontrarán los diversos conceptos teóricos utilizados para la realización del proyecto, abarcando temas de ingeniería inversa hasta la manufactura del componente.

Ingeniería inversa

Desde su inicio la humanidad ha aprendido mediante los procesos de observación el cómo funciona nuestro entorno, desde este punto de vista se puede enmarcar la definición de ingeniería inversa como el proceso que busca comprender y conocer el funcionamiento de un componente, dispositivo y/o pieza de una maquina o equipo para realizar mejoras, modificaciones o duplicados.

La ingeniería inversa tiene diversas definiciones y cada definición tiene su propio método (Escobar Bonilla & García Rivera, 2016, pág. 25).

Según Changming “la denominada ingeniería inversa, originada en la medición de precisión y la inspección de calidad, es el modelo físico o modelo de producto que se ha transformado en modelo de ingeniería CAD, y sobre esta base, se han realizado productos físicos para análisis, transformación y reingeniería de procesos” (Changming, 2010, pág. 1). A su vez Betancur Rodríguez define que “la ingeniería inversa es una metodología utilizada como complemento en el diseño y manufactura de productos y artefactos, especialmente cuando estos elementos están compuestos por superficies libres o complejas” (Betancur Rodríguez, 2011, pág. 6).

Por otra parte, Xiuyuan dice que, “mediante el análisis inverso y la investigación sobre un producto objetivo, se deduce y obtienen los elementos de diseño del producto como el flujo de procesamiento, la estructura organizacional, las especificaciones de desempeño funcional, etc., para producir productos con funciones similares, pero no idénticas. La ingeniería inversa se deriva del análisis de hardware en los campos comercial y militar. Su objetivo principal es derivar los principios de diseño de productos directamente del análisis de productos terminados sin un fácil acceso a la información de producción necesaria.” (Xiuyuan, 2020, pág. 1).

Debido a que hay diferentes métodos para la aplicación de la ingeniería inversa y que dicha metodología está asociada con su definición, se tienen diferentes herramientas tecnológicas que se usan para hacer el proceso de captura de la información geométrica de un objeto físico mediante la obtención de datos a través de escáneres laser, digitalizadores

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ópticos, palpadores, brazos de contacto y mesas de medición de coordenadas (Betancur Rodríguez, 2011, pág. 8).

Diseño Asistido por Computadora (CAD)

En la actualidad es de vital importancia simplificar y agilizar los procesos de diseño, para esto han surgido diferentes softwares que permiten llevar esta tarea a cabo.

El termino CAD (Computer Aided Design o Diseño Asistido por Computadora) hace referencia a una herramienta software que, mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, a su vez permite manipular de manera sencilla los elementos geométricos diseñados (Bonilla, 2003, pág. 2).

Los sistemas CAD se han convertido en parte fundamental para la industria debido a sus altas necesidades de mejorar la calidad de los productos, disminuir costos y acortar los tiempos de diseño, para alcanzar estos objetivos la implementación de estas tecnológicas informáticas es de vital importancia para lograr reducir los costos (tiempo y dinero) en el desarrollo de los productos (Albarrán Ligeró, 2008, pág. 35).

Fabricación Asistida por Computadora (CAM)

El termino CAM (Computer Aided Manufacturing o Fabricación Asistida por Computadora), implica el uso de computadores y tecnología de cómputo para ayudar en la fase directa de fabricación de un producto, es el puente que comunica directamente al CAD con el lenguaje de programación de las máquinas y herramientas de manufactura con una intervención mínima del operario. (Mercado Bautista, 2020, pág. 8).

Impresión 3D

En el mundo de la impresión 3D se pueden obtener muchas piezas distintas y funcionales, estas pueden ser para la reparación de equipos, para la confección de joyas, vestimenta, muebles, máquinas, alimentos, prótesis, etc., las impresoras 3D son usadas en muchos campos en la actualidad, por ejemplo, cuando se daña la pieza de un equipo, no hay necesidad de comprar toda la máquina, mediante la impresión 3D se puede obtener una réplica al instante (Sánchez Bejarano, 2019, pág. 1).

La impresora 3D es un artefacto y/o máquina que tiene la capacidad de imprimir modelos y componentes completos en 3D, esta tecnología integra los campos CAD y CAM como medio para la ejecución de todo el proceso sistemático de impresión 3D.

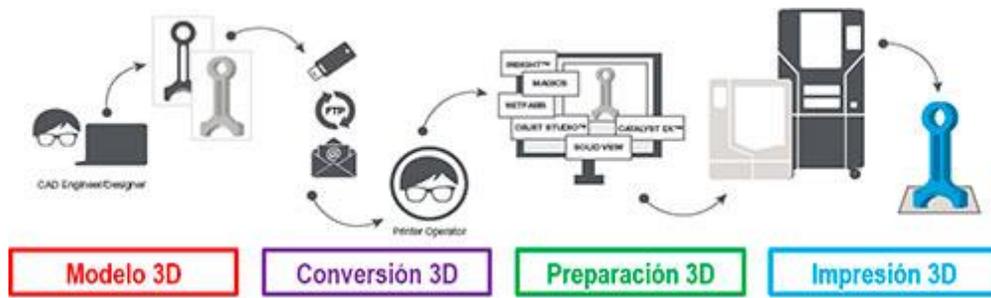


Figura 1, Proceso de impresión 3D, tomada de (Intelligy, 2021)

Como se observa en la Figura 1, el proceso de impresión 3D comienza mediante el uso del CAD para la digitalización del objeto, una vez obtenido el sólido se realiza un proceso de conversión del tipo de extensión usado por el software CAD a la extensión STL, la cuál es la que contiene la información geométrica que representa el objeto digital.

Posteriormente se hace la preparación 3D usando la tecnología CAM para traducir toda esta información digital al lenguaje de la impresora 3D y así esta pueda materializar la pieza digitalizada.

En la actualidad no existe una técnica definitiva de impresión, así como tampoco un único tipo de insumo de material para la impresión 3D (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018, pág. 33).

Estereolitografía

La estereolitografía o SLA, también llamada fabricación óptica, basa su funcionamiento en fotopolímeros en estado líquido viscoso que son capaces de cambiar a un estado sólido mediante su exposición a la luz (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018, pág. 35).

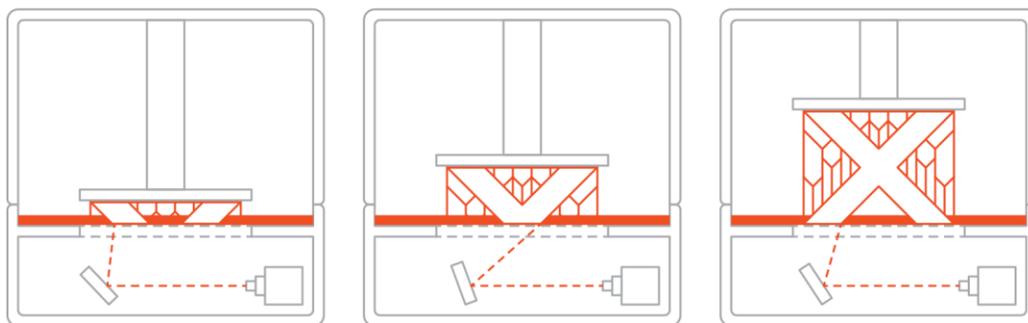


Figura 2, Proceso de impresión por SLA, tomada de (All3DP, 2020)

El funcionamiento de esta técnica consiste en la solidificación del fotopolímero mediante el uso de un láser como fuente generadora de luz. En la Figura 2 se representa dicho proceso,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

por lo general esta técnica inicia sumergiendo una pequeña parte de la base de impresión de la máquina y el líquido viscoso, a continuación, se genera el haz de luz que mediante unos reflectores dibuja una sección transversal del modelo 3D en la base de impresión sumergida, endureciendo a su vez el fotopolímero, este proceso se hace repetitivamente añadiendo capas consecutivas y así dar forma al objeto digitalizado.

Sinterizado selectivo por láser

El sinterizado selectivo por láser o SLS es otra técnica de prototipado rápido que fabrica las piezas por capas. En este caso este sistema usa como material de base un polvo hecho de diferentes materiales, un láser es el encargado de sinterizar las partículas de las áreas seleccionadas en cada capa transversal, causando que estas se fusionen y solidifiquen. Esta técnica para la generación de piezas es similar al de la estereolitografía, la principal diferencia es que en lugar de usar un fotopolímero se hace el uso de un polvo como insumo principal (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018, págs. 36-37).

Modelado por deposición fundida

La técnica de impresión de modelado por deposición fundida o FDM es la más conocida en el mercado (Sánchez Bejarano, 2019, pág. 4).

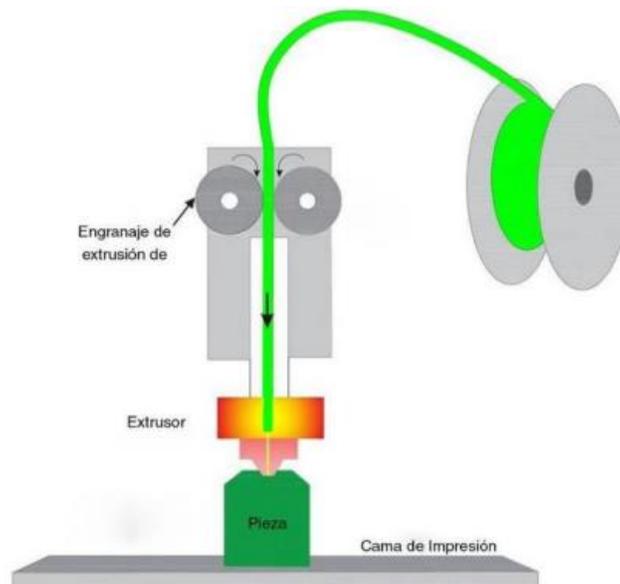


Figura 3, Funcionamiento FDM, tomado de (Pérez Sánchez, 2018, pág. 14)

El FDM también es una técnica aditiva, construye capa por capa secciones del área transversal del objeto digitalizado, en este proceso se usa un filamento de plástico o de metal que es introducido en una boquilla o extrusor, este componente cuenta con una resistencia interna que emite el calor necesario para que el material de aporte alcance su

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

punto de fusión, además, el extrusor tiene un mecanismo que permite controlar el flujo de material que vierte como se evidencia en la Figura 3. Las impresoras usadas para este tipo de técnica de impresión cuentan con la ayuda de motores y elementos mecánicos controlados electromecánicamente para producir desplazamientos en los ejes X, Y, Z (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018, pág. 37).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

Partiendo por una actividad asignada por parte del jefe inmediato del área de mantenimiento industrial de la empresa Artytecmo S.A.S en su sede bodega la 97 se da inicio al proyecto presentado en este informe.

Esta actividad es asignada en búsqueda de generar una reducción en los costos generados por el componente presentado en la Figura 4, esto debido a que dicha pieza se reemplaza constantemente por daños irreparables en la misma.



Figura 4, Cubierta de potenciómetro de danzarina, tomada de fuente propia.

El componente de la Figura 4 se conoce como cubierta de potenciómetro de danzarina, esta pieza sirve como elemento protector.

El dispositivo que protege este repuesto es un potenciómetro que es usado como un transductor para controlar la velocidad de los motores de alimentación de tela en la máquina presentada en la Figura 5.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Figura 5, Máquina extendedora de tela XLS125 de Gerber Technology, tomada de fuente propia.

Como se expuso anteriormente, la pieza presentada en la Figura 4 presenta constantemente daños irreparables, esto sucede por mala operación por parte de los colaboradores y/o desgaste normal de los ejes del componente señalado en la Figura 6, el cual se cae o dejan caer sobre la cubierta de potenciómetro de danzarina.



Figura 6, Rodillo libre, tomada de fuente propia.

Este rodillo presentado en la Figura 6 es un componente usado a medida que el colaborador vea pertinente su uso, primordialmente su función consiste en mejorar las condiciones de extendido de diferentes tipos de telas, a su vez, este tiene diferentes puntos de anclaje y es el mismo operario que debe mover manualmente dicho componente. En la Figura 7 se puede observar que tan cercano esta este rodillo con respecto a su posición de reposo (cuadro amarillo Figura 7) y la cabeza del potenciómetro de danzarina (cuadro verde Figura 7).

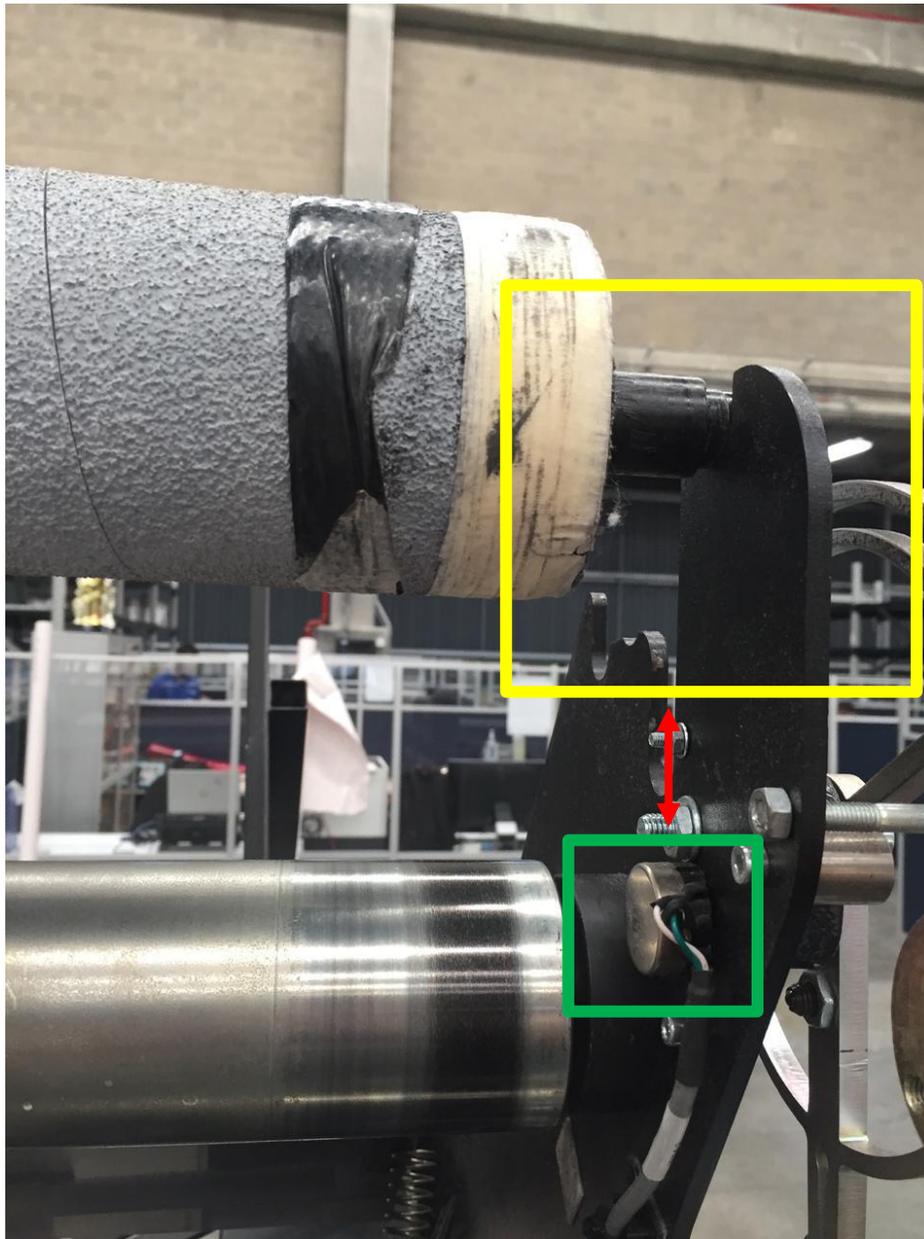


Figura 7. Cercanía del rodillo libre en su posición de reposo con la cabeza del potenciómetro de danzarina, tomada de fuente propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Con base a la necesidad generada por los daños presentados en la cubierta de potenciómetro de danzarina, el problema planteado en este trabajo consiste en realizar el modelado CAD e impresión 3D de dicha pieza comprobando su funcionalidad, a su vez presentar mediante una tabla comparativa el retorno de inversión de una impresora 3D para el área de mantenimiento industrial con respecto al componente presentado en la Figura 4.

Proceso de ingeniería inversa

Se realizó el proceso de ingeniería inversa a la cubierta de potenciómetro de danzarina mediante un método heurístico. Este método es válido en los procesos de ingeniería inversa debido a que se centra en aprender sobre lo descubierto, en el caso de este proyecto se enfoca en descubrir cuáles son las desviaciones geométricas obtenidas en el diseño de la cubierta de potenciómetro y corregirlas hasta obtener un resultado final.

En primera instancia se decide realizar una réplica de la pieza original, al no contar con herramientas tecnológicas para capturar la información geométrica del repuesto, se realizó un proceso de calcado del componente debido a la compleja forma de esta, y se midieron las pocas medidas exactas que se podían obtener de esta.

Se calcó inicialmente el contorno del componente en una hoja en blanco, siguiendo su perímetro con un lapicero de punta delgada, se plasmó la forma de la pieza en el papel, con una regla se tomaron medias sobre este como se puede ver en la Figura 8 y se completó el plano con las medidas tomadas de la pieza.

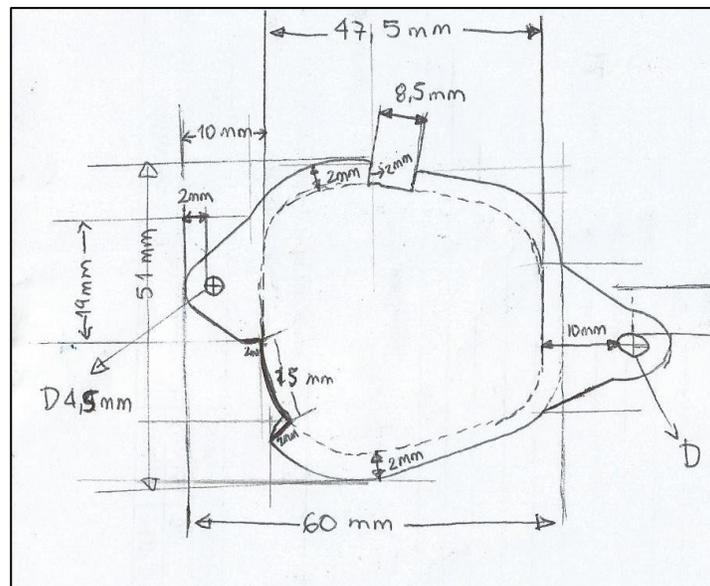


Figura 8, Primer plano realizado del contorno de la pieza, tomado de fuente propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Posteriormente se realizó el diseño tridimensional de la pieza usando el software *Creo Parametric*, siguiendo las medidas captadas se obtuvo el diseño 3D que se puede observar en la Figura 9.

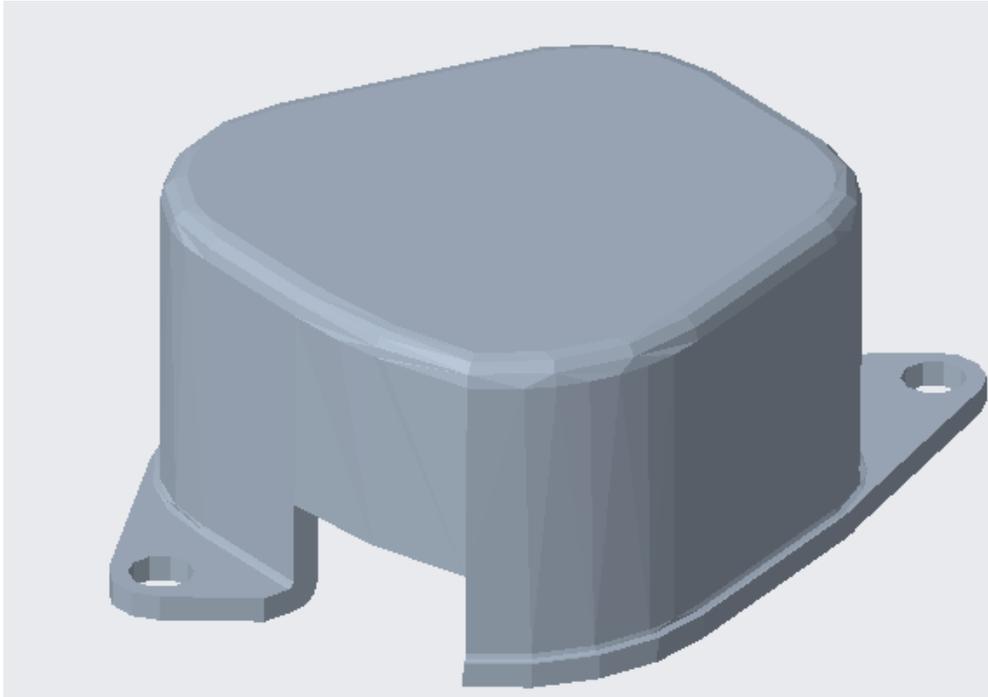


Figura 9, Diseño 3D de la cubierta obtenida con las medidas del primer plano, tomada de fuente propia.

Finalizando se realizó la impresión del componente por fuera de la compañía, esto debido a que por asuntos internos la aprobación de la compra se concretó en la última semana de estadía en la empresa. Una vez con el componente físico se evidenció que esta tenía un mayor volumen que la pieza original y no se alojaba en el espacio pertinente para esta.

Al no obtener resultados cercanos a lo necesitado, se decidió probar otro método de calcado, este consistía en situar el componente en una hoja en blanco y por su parte posterior darle golpes leves al contorno de la pieza con un martillo o llave boca fija, al hacer esto se iba reflejando golpe tras golpe el perímetro exacto del componente, continuamente se resaltó este con un lapicero y se dibujó una línea horizontal aproximadamente de 20 milímetros debajo de esta como referencia guía para el proceso de diseño en el software, esta línea se puede observar en la Figura 10.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

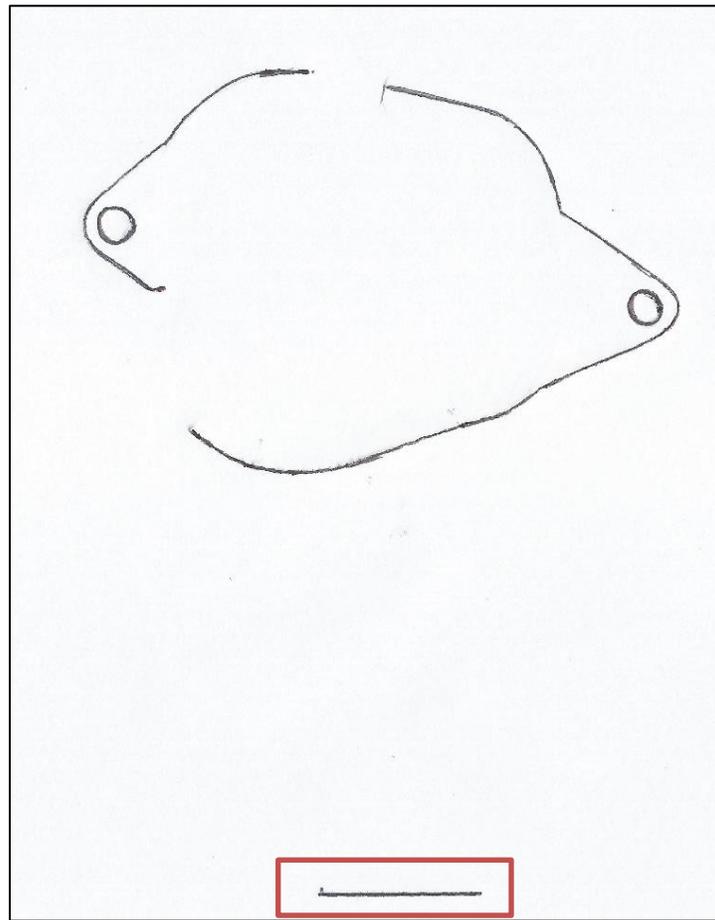


Figura 10, Perímetro y línea guía para diseño, tomada de fuente propia

Una vez obtenido el contorno de la pieza y de dibujar la línea de referencia cerca del perímetro realizado (línea encerrada en cuadro rojo en la Figura 10), se escaneó esta hoja para posteriormente añadirla como imagen a un plano de dibujo en el software CAD, en dicho plano de dibujo se realiza una línea con las mismas dimensiones que la referencia y se escaló la imagen para que estas coincidieran exactamente en tamaño.

En consecuencia, se obtuvo un diseño más aproximado al real, se imprimió y esta nueva pieza mostro resultados satisfactorios, donde solo tenía un desfase de 2mm en una de sus perforaciones de sujeción, una vez garantizada una mayor exactitud de las dimensiones del componente, se realizó un proceso de rediseño en el archivo existente, se corrigió el desfase, se mejoró el acabado y se redujo la altura de la pieza sin afectar su funcionalidad, este resultado se puede evidenciar en el componente del lado derecho de la Figura 13.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Proceso de Viabilidad económica y retorno de inversión

Conociendo que una de las especificaciones requeridas era encontrar una impresora 3D de bajo costo, se decidió presentar tres impresoras que hagan uso de la técnica de modelado por deposición fundida (FDM), debido a que es el método más económico y usado en el mercado (Sánchez Bejarano, 2019, pág. 3). A continuación, se observó cuáles eran las impresoras 3D que tenían mejor relación calidad-precio en diferentes foros y blogs en la web, de las diferentes impresoras encontradas se seleccionaron las siguientes tres: ANYCUBIC I3 MEGA S, CREALITY 3D ENDER-3 y la ARTILLERY GENIUS. Estas tres impresoras se escogieron debido a sus bajos precios, la aceptación que generan en las personas en diferentes blogs y sitios web, el amplio campo comercial que hay de estas en el país y el cumplimiento de los requerimientos exigidos por el área de mantenimiento industrial.

En este punto se realizó un cuadro comparativo, el cual se evidencia en la Tabla 1, en este se presentaron las cualidades principales de una impresora 3D las cuales son: técnica de impresión, volumen de impresión, materiales de impresión, resolución, formato de entrada, software para el proceso de CAM, velocidad de impresión, alimentación, reanudación de paro y precio del equipo.

Tabla1
Comparativo Entre Las Tres Impresoras 3D Seleccionadas.

	ANYCUBIC I3 MEGA S	CREALITY 3D ENDER-3	ARTILLERY GENIUS
Técnica de Impresión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Modelado por deposición fundida (FDM)	Modelado por deposición fundida (FDM)
Volumen de impresión	210 X 210 X 205 mm	220 X 220 X 250 mm	220 X 220 X 250 mm
Materiales de impresión	TPU, PLA, ABS, HIPS, Madera	PLA, ABS, TPU, Madera	PLA, ABS, PETG, TPU
Resolución	50 micras (0.05 mm)	100 micras (0.1 mm)	50 micras (0.05 mm)
Formatos de entrada	.STL, .OBJ, .DAE, .AMF	.STL, .OBJ, .JPG, g-code	.STL
Conectividad	Tarjeta SD, Puerto USB(Expertos)	Tarjeta SD, Puerto USB	USB, Tarjeta TF, USB Stick
Software de corte	Cura	Cura, Repetier-Host, Simplify 3D	Cura, Repetier-Host, Simplify 3D
Velocidad de impresión (Velocidad máxima)	100 mm/s	180 mm/s	150 mm/s

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Alimentación	110-220 V AC, 50/60 Hz	100-265 VAC, 50-60hz	110 - 240 VAC, 50/60 Hz
Reanudación de paro	Si	Si	Si
Precio	219,00 \$ desde la página oficial de la marca (\$ 811.800 COP)	\$ 1.279.250 COP (Con una empresa de componentes electrónicos de Medellín)	\$ 1.980.000 COP *IVA incluido (Con una empresa de Bogotá)

Posteriormente se realiza el cálculo del valor que tendría el componente de la Figura 4 mediante impresión 3D, para esto se pesó la pieza original y se le agrego un 30% más de su peso con el fin de obtener un amplio margen de error al desconocer cuanto podría pesar dicho componente mediante la técnica de impresión FDM, para lo anterior se usó la Ecuación 1, donde P es el peso que tendría la pieza por FDM y Ppo representa el peso original de la pieza en gramos.

$$P = Ppo + (Ppo * 0.3) \quad (1)$$

Una vez obtenido P se divide su resultado con respecto al peso por el que viene la materia prima (por lo general esta viene en rollos de filamentos de 1kg y tiene un valor promedio de \$90.000 COP) para obtener el número de piezas que saldrían por tambor, para lo anterior se usó la Ecuación 2, donde NT representa el número de piezas por tambor y Pt representa el peso del tambor en gramos.

$$NT = \frac{Pt}{P} \quad (2)$$

Después obtener el número de piezas por tambor NT , se dividió el número de estas por el precio que tiene cada cilindro de materia prima, así se obtuvo el valor que tendría cada componente al ser impreso mediante la tecnología FDM sin considerar el valor por hora que tiene un ingeniero en manufactura, para este cálculo se usó la Ecuación 3, donde VC es el valor que tendría la cubierta de potenciómetro de danzarina sin la respectiva consideración y Prt es el precio que tiene cada cilindro de materia prima.

$$VC = \frac{Prt}{NT} \quad (3)$$

Se considera que el tiempo máximo que dispondría un ingeniero en manufactura para imprimir este componente sería un total de una hora, por lo tanto se suma esta hora de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

trabajo a VC para encontrar el precio que tendría la cubierta de potenciómetro, para esto se hace uso de la Ecuación 4, donde Vf es el valor final que tendría la pieza mediante FDM y $Vhim$ es el precio por hora de un ingeniero en manufactura.

$$Vf = VC + Vhim \quad (4)$$

A continuación, con la ayuda del área de compras de mantenimiento industrial de la compañía, se obtuvo el valor que tiene la pieza original con el proveedor certificado, la cual tiene un precio de \$142.000 COP.

Una vez obtenido dichos precios se calculó la ganancia por pieza que se obtendría mediante la impresión 3D con respecto al objeto original, esta ganancia se calculó usando la Ecuación 5, donde G es la ganancia por pieza y Vpo es el valor que tiene la cubierta de potenciómetro de danzarina con el proveedor certificado.

$$G = Vpo - Vf \quad (5)$$

Para calcular el retorno de inversión que tendría cada impresora 3D seleccionada anteriormente en un número N de componentes se utilizó la Ecuación 6, donde RN es el retorno de inversión en un número de piezas, Pe es el precio de la impresora 3D y $Vhid$ es el valor por hora de un ingeniero en diseño.

$$RN = \frac{Pe + (Vhid * 4)}{G} \quad (6)$$

Se multiplicó el $Vhid$ por cuatro debido a que fue el tiempo que tomo el diseño y rediseño de la cubierta de potenciómetro realizado en este proyecto, además como solo se necesita una vez el diseño, se le suma este valor al precio de la impresora como se puede evidenciar en el numerador de la Ecuación 6.

Para conocer los valores de $Vhim$ y $Vhid$ se usó la página web co.talent.com la cuál es una página de búsqueda de empleos en Colombia y en esta se pueden obtener el salario promedio hora de diferentes profesiones basados en las ofertas laborales que se postean en la página, se encontró que, la hora de un ingeniero en diseño tiene un valor de \$18.462 COP y la hora de un ingeniero en manufactura tiene un valor de \$10.462 COP.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de ingeniería inversa

Se realizó el proceso CAD de la cubierta de potenciómetro, mediante el uso de software se obtuvo un primer resultado como se evidencia en la Figura 11.



Figura 11, Primer resultado de diseño CAD, tomada de fuente propia.

La Figura 11 fue el primer resultado obtenido mediante CAD, en la Figura 12 se puede observar este elemento impreso y comparado junto el original, este elemento se descartó debido a que supero las dimensiones con respecto a la pieza original y sus perforaciones no coincidían con los de la máquina, por tal motivo este elemento no encajaba en su respectiva posición.



Figura 12, Resultado inicial (pieza lado izquierdo) VS elemento original (pieza lado derecho), tomado de fuente propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Al cambiar el método de ingeniería inversa para la obtención de medidas más exactas con respecto a las originales, se llegó al resultado del componente izquierdo presentado en la Figura 13, esta vez la pieza demostró una aproximación más exacta pero aun así no encajó adecuadamente en la estructura, por esto la cubierta se ve con un pequeño corte en la Figura 13 en una de sus perforaciones, este recorte fue usado para medir cuanta distancia se debía corregir en el diseño CAD y llegar a un resultado final, la distancia a corregir era de 2mm.



Figura 13, Segundo resultado (pieza lado izquierdo) VS resultado final (pieza lado derecho), tomado de fuente propia.

Una vez corregido la distancia de una de sus perforaciones en el software CAD, se realizaron cambios leves en el diseño, estos se implementaron para mejorar la estética de la cubierta, reforzar las perforaciones de estas y como se puede observar en la Figura 13 lado derecho, disminuir el volumen del componente reduciendo la altura de esta sin afectar su funcionalidad. El resultado CAD final obtenido se puede observar en la Figura 14.

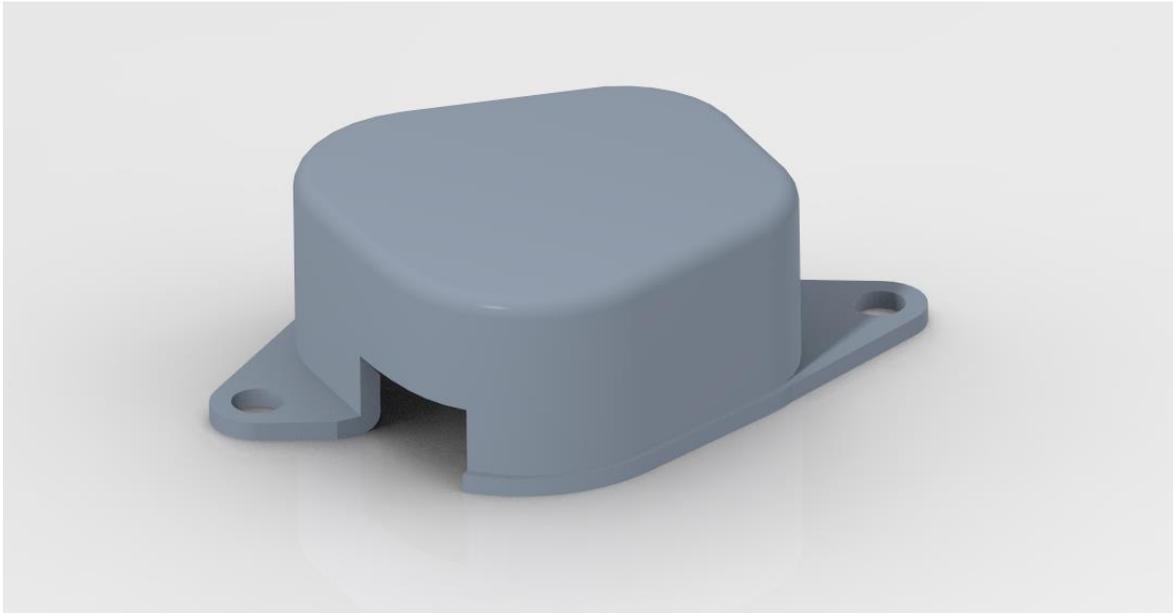


Figura 14, Resultado final de diseño CAD, tomado de fuente propia

Una vez impresa la cubierta con el diseño final, se instaló está en la máquina, la Figura 15 evidencia el potenciómetro a proteger y las Figuras 16 y 17 demuestran el encaje perfecto del componente en su respectivo espacio.

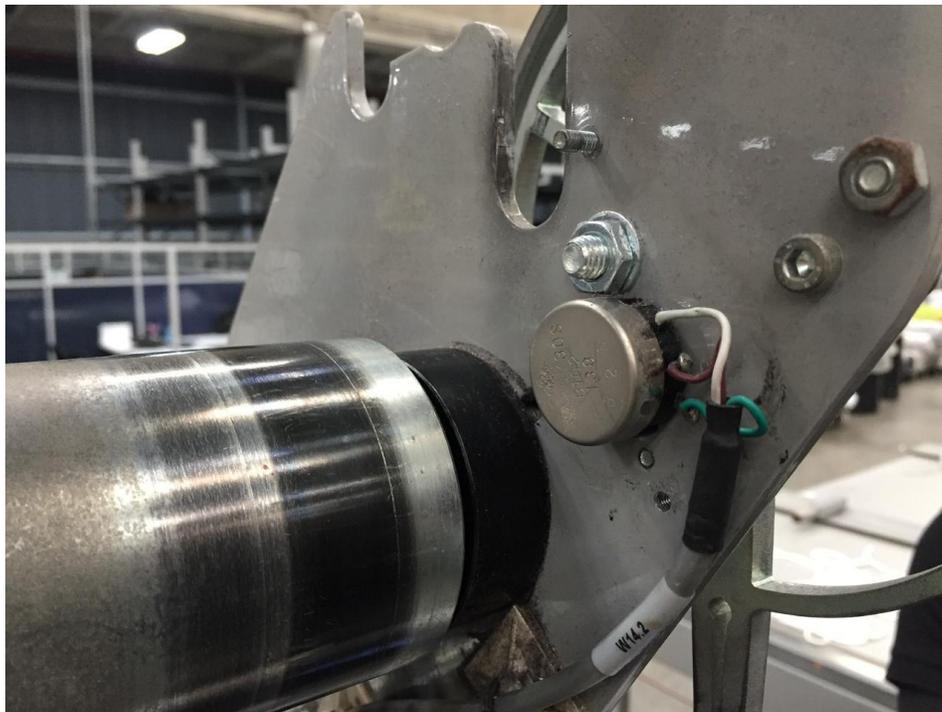


Figura 15, Potenciómetro de danzarina a proteger, tomada de fuente propia.

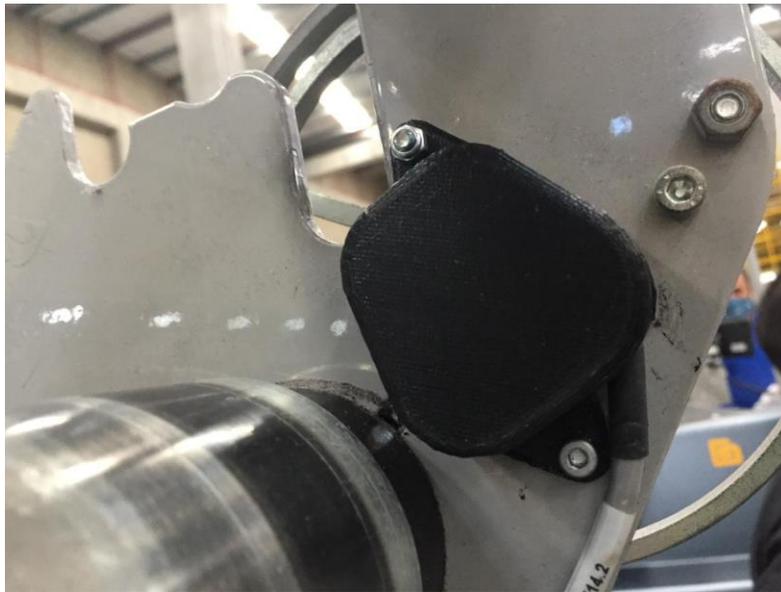


Figura 16, Pieza final montada en máquina, tomada de fuente propia.

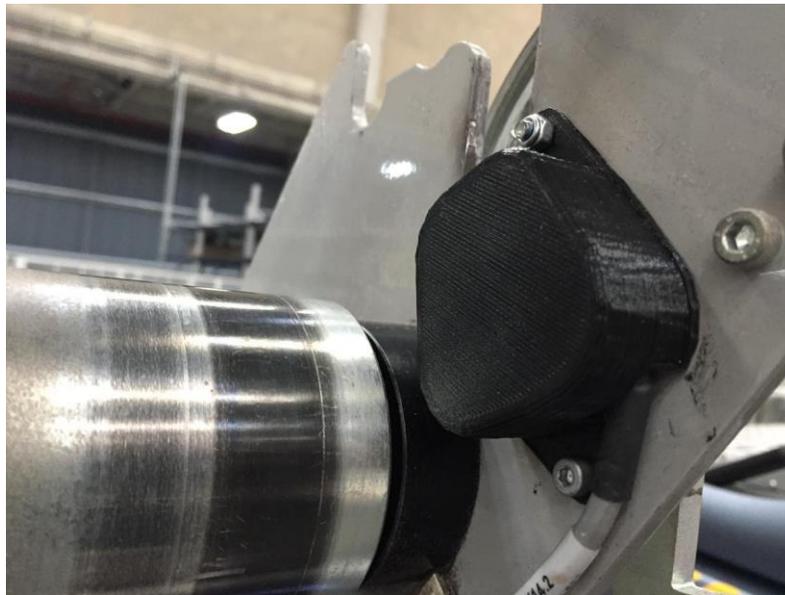


Figura 17, Pieza final montada en máquina, tomada de fuente propia.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y cumplieron con la funcionalidad de proteger un elemento de la máquina, las piezas para validar los procesos fueron impresas fuera de la empresa y no superaron un valor de \$25.000 COP, esto afirma que la inclusión de la impresora 3D dentro del área de mantenimiento es viable.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Resultados de viabilidad económica y retorno de inversión

Principalmente se comenzó pesando la pieza original como se evidencia en la Figura 18, para esto se usó una gramera que se tiene en el área de bodega de telas de la empresa, esta cuenta con las respectivas calibraciones al día y como se evidencia tiene un peso de 11.65g.



Figura 18, Peso de la pieza original, tomada de fuente propia.

Se continuó realizando una tabla comparativa de tres máquinas de impresión 3D, sabiendo que en el mercado hay muchas más impresoras, el jefe inmediato del área específica que solo requiere que se le presenten 3 equipos como se evidencia en la Tabla 1, en esta se evidencia también el cumplimiento de varios de los requisitos planteados, uno de estos es que cada impresora funcionara a través de la técnica FDM, otro requisito se centraba en que el volumen de impresión superara una área de 150 X 150 X 150 mm, además que las impresoras puedan trabajar tanto con ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS es un plástico altamente resistente a los impactos) como con PLA (Ácido Poliláctico o PLA es un polímero o bioplástico utilizado para hacer envases) y que cada máquina se pueda conectar al software CURA para realizar los procesos CAM, como se evidencia en la Tabla 1 las maquinas presentadas cumplen con estas exigencias.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para el cálculo del retorno de inversión que tendría cada una de las maquinas presentadas en la Tabla 1 solo imprimiendo la pieza presentada en la Figura 4, se realizó una suposición de cuánto podría pesar la cubierta de potenciómetro si es impresa mediante estos equipos, para esto se le suma un 30% más al propio peso del componente inicial, usando la Ecuación 1 se obtuvo un resultado aproximado de 16g como se evidencia a continuación:

$$P = 11.65g + (11.65g * 0.3)$$

$$P = 15.145 g$$

$$P \cong 16g$$



Figura 19, Peso de la cubierta de potenciómetro de danzarina impresa en 3D, tomada de fuente propia.

En la Figura 19 se puede evidenciar el peso que tiene la cubierta de potenciómetro de danzarina haciendo uso de la impresión 3D. Con este resultado se verifica que la suposición realizada para saber el peso del componente fue acertada y que el resultado de P encontrado anteriormente es valido para el estudio del retorno de inversión presentado en este proyecto.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 2

Ganancia por pieza y precio por impresión 3D

Peso de la pieza		16g
Peso de la materia prima		1000g
Precio promedio materia prima	\$	90.000 COP
Precio proveedor	\$	142.000 COP
Precio Impresión 3D	\$	12.000 COP
Ganancia por pieza	\$	130.000 COP

Como se evidencia en la Tabla 2, se obtuvo el valor del costo que tendría la cubierta de potenciómetro mediante impresión 3D, para este precio se despreciaron diferentes variables que pueden influir directamente en el costo real de la pieza, estas variables son: el consumo energético de la máquina y el tiempo de duración de la impresión.

Para hallar el valor del precio de la pieza por impresión 3D, primero se encontró el número de cubiertas que podrían imprimirse con un tambor de materia prima, este valor es encontrado mediante la Ecuación 2, el resultado obtenido es de aproximadamente igual a 62 componentes por rollo de materia prima como se evidencia a continuación:

$$NT = \frac{1000g}{16g}$$

$$NT = 62.5 \text{ componentes}$$

$$NT \cong 62 \text{ componentes}$$

Usando la Ecuación 3 se realizó una división entre el precio promedio de materia prima y el número de piezas que se obtendrían de mil gramos de materia para encontrar el valor unitario de la cubierta de potenciómetro sin tener en cuenta el precio por hora del ingeniero de manufactura que operaría la impresora 3D, el resultado tiene un valor aproximado de \$1.500 COP y se puede observar a continuación:

$$VC = \frac{\$90.000}{62}$$

$$VC = \$1.451$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$VC \cong \$1.500$$

Para conocer el valor aproximado que tendría la cubierta de potenciómetro de danzarina, se realizó una suma al valor anteriormente hallado del precio de una hora que cotiza un ingeniero de manufactura en el país, el valor del componente se calculó usando la Ecuación 4 y se obtuvo un resultado de aproximadamente \$12.000 COP y este proceso se puede evidenciar a continuación:

$$Vf = \$1.500 + \$10.462$$

$$Vf = \$11.962$$

$$Vf \cong \$12.000$$

Una vez obtenido el valor de la pieza se realiza el cálculo de la ganancia generada por esta con respecto al valor que tiene la misma con el proveedor de la empresa, este resultado se calculó usando la Ecuación 5 como se muestra a continuación:

$$G = \$142.000 - \$12.000$$

$$G = \$130.000$$

Se obtuvo un resultado positivo ya que se tendrá una reducción de costos mediante la impresión 3D de la cubierta de potenciómetro de danzarina de \$130.000 COP como se evidencia en la Tabla 2.

Usando la Ecuación 6 y los precios que tiene cada una de las impresoras 3D presentadas en la Tabla 1 se obtuvieron los resultados para conocer cuantas piezas debe imprimir cada máquina para recuperar su inversión, estos resultados son aproximados al entero por encima más próximo y se evidencian en la Tabla 3.

Tabla 3
Retorno de inversión de cada máquina

	ANYCUBIC I3 MEGA S	CREALITY 3D ENDER-3	ARTILLERY GENIUS
Recuperación de inversión en unidades impresas	7	11	16

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Como se puede observar en la Tabla 3 el número de piezas a imprimir por cada impresora 3D es de pocas unidades, con estos resultados se verifica que el ahorro es alto y que es viable tener una impresora 3D en el área de mantenimiento.

En la empresa Artytecno S.A.S se esta teniendo un cambio promedio de 3 cubiertas de potenciómetro de danzarina en sus máquinas extendedoras de telas al mes. Con la información anteriormente dada y con los resultados obtenidos en la Tabla 3 se obtiene lo siguiente:

El retorno de inversión de la impresora ANYCUBIC I3 MEGA S se da en un lapso de 3 meses.

El retorno de inversión de la impresora CREALITY 3D ENDER-3 se da en un lapso de 4 meses.

El retorno de inversión de la impresora ARTILLERY GENIUS se da en un lapso de 6 meses.

Como resultado final se recomendó seleccionar a la impresora ANYCUBIC I3 MEGA S debido a que es la que cumple con todas las especificaciones requeridas y presenta un retorno de inversión en un tiempo y número de piezas a imprimir más corto.

El proceso de adquisición del equipo se vio retrasado esperando la aprobación de este y en el tiempo de prácticas profesionales no se pudo concretar la compra.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

Actualmente el mercado de las impresoras 3D aumenta de forma exponencial, el uso de estos dispositivos como herramienta de manufactura precisa, versátil y sin altas complejidades ha llamado la atención del sector industrial a nivel mundial, generando así que estas sean integradas a diferentes áreas de la industria. De la identificación y evaluación de esta técnica se obtiene que integrar este tipo de maquina a los procesos realizados por parte del área de mantenimiento industrial de la empresa Artytecno S.A.S es viable y que a su vez estas tienen un alto porcentaje de retorno de inversión para la empresa, a pesar de que estos dispositivos se vean limitados por su área y volumen de impresión y sus tiempos altos de manufactura, son equipos que aportan de manera positiva al área, generando ahorros monetarios y permitiendo mayor flexibilidad y creatividad al personal técnico y profesional para potenciar el rendimiento industrial.

Por otra parte, el proceso realizado de ingeniería inversa apoyado mediante el diseño asistido por computador tuvo resultados exitosos, concluyendo que la técnica usada para capturar la información de la geometría de la cubierta es totalmente funcional cuando no se tienen herramientas especializadas para esto.

La selección de las tres impresoras presentadas en este trabajo cumple con cada una de las especificaciones requeridas, de esta forma, las impresoras 3D que trabajan mediante la técnica de modelado por deposición son una buena opción como herramienta de producción a nivel industrial.

El retorno de inversión realizado en este trabajo solo se centra en la impresión de un solo tipo de pieza, esto quiere decir que dentro del área se podrían diseñar y generar diferentes tipos de componentes que generarían un retorno de inversión más rápido. Por lo tanto, como es evidenciado, las diferentes impresoras presentadas tuvieron un retorno de inversión rápido, al solo tener que imprimir entre 6 a 15 piezas de cubierta de potenciómetro para dar retorno económico a la adquisición.

En lo que respecta a componer el diseño 3D de la cubierta de potenciómetro, la tecnología de diseño asistido por computador es una herramienta imprescindible para apoyar los procesos de ingeniería inversa, gracias a esta se realizó el modelado 3D de la pieza, de este modo, se obtuvo un diseño digital real del componente y este sirvió como base para el

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

proceso de fabricación asistida por computador en la etapa final de manufactura de la cubierta.

En lo que respecta a componer el diseño 3D de la cubierta de potenciómetro, la tecnología de diseño asistido por computador es una herramienta imprescindible para apoyar los procesos de ingeniería inversa, gracias a esta se realizó el modelado 3D de la pieza, de este modo, se obtuvo un diseño digital real del componente y este sirvió como base para el proceso de fabricación asistida por computador en la etapa final de manufactura de la cubierta.

Finalmente, dentro de los resultados expuestos, se mostró el correcto acoplamiento de la pieza fabricada en la máquina extendidora de tela, dejando en evidencia que todo el proceso realizado de ingeniería inversa, diseño e impresión 3D fueron ejecutados correctamente para cumplir los estándares de alta calidad exigidos por la empresa.

Recomendaciones

- Luego de conocer la dificultad de realizar el proceso de captación de la información de la geometría de la pieza sin herramientas especializadas, se recomienda hacer uso de estas, sea mediante terceros o si se dispone del equipo para evitar procesos de rediseños.
- Se recomienda profundizar sobre cual técnica de impresión 3D es mejor para cada tipo de componente que se plantee imprimir.
- Para la empresa Artytecno se encomienda la realización de una base de datos con los archivos STL de los diferentes repuestos que deseen imprimir.
- Realizar un estudio a más profundidad, sin evitar variables importantes, cuanto sería el costo de la cubierta de potenciómetro mediante impresión 3D
- Para el ITM, recomiendo generar más guías de evaluación en el periodo de prácticas, permitiendo así, hacer sentir al estudiante más acompañado por la institución.

Trabajo Futuro

- Generar un estudio que permita conocer el valor exacto de cualquier pieza impresa en 3D.
- Incorporar la tecnología 3D la realización de productos textiles.
- Incorporar al área de mantenimiento una impresora 3D para piezas metálicas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- Albarrán Ligeró, J. (2008). *Fundamentos del KBE (Knowledge Based Engineering)*. Sevilla.
- All3DP. (9 de Abril de 2020). *All3DP*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
- Betancur Rodríguez, M. (2011). *Ingeniería inversa aplicada: Metodología y aplicaciones industriales*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Bonilla, A. (2003). *Herramientas de Diseño e Ingeniería*. Zamudio.
- Bordignon, F., Iglesias, A. A., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas*. Buenos Aires: UNIPE: Editorial Universitaria.
- Changming, Z. (2010). Research on injection mold design based on Reverse Engineering. *2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, 1.
- Escobar Bonilla, L. J., & García Rivera, C. E. (2016). *Diseño e Implementación de un Protocolo de Ingeniería Inversa*. Bogota: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- García Palencia, O. (2006). *El Mantenimiento General*. Colombia: Uptc.
- Intelligy. (2021). *Intelligy*. Obtenido de <https://intelligy.com/servicio-de-impresion3d>
- Mercado Bautista, J. D. (2020). *Evolución de los softwares de simulación para el Diseño y Construcción en la Industria*.
- Pérez Sánchez, L. (2018). *Diseño e Impresión 3D en cerámica*. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.
- Sanchez Bejarano, J. (2019). *Impresoras 3D la nueva era tecnológica*. Cali.
- Xiuyuan, W. (2020). The Reverse Design and NC Machining of Industrial Products Based on Reverse Engineering. *IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, 1704-1707.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Emmanuel H.

FIRMA ESTUDIANTES

FIRMA ASESORES

Erkin E. Henao B.

Entrega informe final
Práctica Profesional.

FECHA ENTREGA: 27 de julio de 2021