

USE OF 3D SCANNING AND REVERSE ENGINEERING FOR THE PROTOTYPING OF MECHANICAL PARTS

Parras, D. ¹; Romero, L. ²; Cavas, F. ¹; Nieto, J. ¹; Cañavate, F.J.F. ¹; Fernández-Pacheco, D.G. ¹

¹ Universidad Politécnica de Cartagena, ² Universidad Nacional de Educación a Distancia

A 3D scanner permits to capture the shape and characteristics of any type of volume or environment and to build a three-dimensional model by the aid of a specific software. While each type of technology has its advantages and is used for various purposes, with all of them it is necessary to establish a reference system between the object and the scanner.

The information obtained by the 3D scanner consists on a point cloud which is further processed in order to determine the way in which the points are joined and generate the model. This process is known as reconstruction.

In order for a 3D scanner to be useful for many applications, its accuracy must be characterized. This requires a comparison between the model created from the scanner's sensing and the scanned real object. Most experts agree the triangulation laser as the most accurate technology.

In the present work a three-dimensional reconstruction of some mechanical pieces by using a scanner based on laser triangulation technology is performed. Subsequently, these reconstructions will be prototyped using a 3D printing machine in order to detect differences with respect to initial models.

Keywords: laser; reconstruction; hardware; point cloud

UTILIZACIÓN DEL ESCANEADO 3D E INGENIERÍA INVERSA PARA EL PROTOTIPADO DE PIEZAS MECÁNICAS

Un scanner 3D permite capturar la forma y características de cualquier tipo de volumen o ambiente y construir un modelo tridimensional del mismo mediante la ayuda de un software específico. Si bien cada tecnología posee sus ventajas y se utiliza para diversos fines, en todas ellas es necesario establecer un sistema de referencia entre el objeto y el escáner.

La información obtenida por el scanner 3D consiste en una nube de puntos que posteriormente es procesada mediante lo que se conoce como reconstrucción, pudiendo determinar así la forma en que están unidos los puntos y generar el modelo. Para que un escáner 3D pueda ser útil en diversas aplicaciones, debe ser examinada su precisión. Esto requiere una comparación entre el modelo creado a partir de la detección del escáner y el objeto real escaneado, coincidiendo todos los expertos en señalar la triangulación por láser como la tecnología más precisa.

En el presente trabajo se realiza la reconstrucción tridimensional de una serie de piezas mecánicas mediante un escáner basado en la tecnología de triangulación por láser para, posteriormente, ser prototipadas mediante una máquina de impresión 3D y poder observar los errores respecto a los modelos iniciales.

Palabras clave: láser; reconstrucción; hardware; nube de puntos

1. Introducción

El diseño y modelado en tres dimensiones es algo que ha estado presente desde hace tiempo en el mundo del diseño y la mecánica principalmente, y ha servido para recrear con total precisión objetos antes de su fabricación, pudiendo así hacer modificaciones sin coste alguno (salvo el del tiempo empleado para ello), y recreando tanto el objeto como el entorno para comprobar cómo quedaría una vez realizado.

Una vez se ha avanzado en la etapa del diseño y la creación de objetos, surge la necesidad de replicar objetos ya existentes, la fabricación de piezas de recambio de máquinas o sistemas diseñados por otros, objetos comerciales, de los cuales no se poseen los diseños originales. En tal caso se tiene que recurrir al diseño 3D mediante PC, requiriendo paciencia y habilidad en su manejo. En consecuencia, y para dar una solución efectiva a este problema, surgieron los escáneres 3D.

Un escáner 3D es un aparato capaz de capturar la forma y características físicas de un objeto real existente a base de explorar su superficie y tomar medidas en ella respecto a unos puntos de referencia. Existen dos tipos fundamentales de escáneres 3D: los que trabajan por contacto y los que lo hacen sin contacto, pero en este trabajo se tratan fundamentalmente los escáneres por triangulación que son un tipo particular de escáner sin contacto y son los que se utilizan en el mundo de la impresión 3D. El escáner por triangulación utiliza un láser que rebota contra el objeto a escanear y cuya luz es captada por una cámara que pasa cada imagen capturada a un software de reconstrucción. En dicho software se reubica la nube de puntos de luz generada por el rayo láser.

El siguiente paso en el campo de las tres dimensiones ha sido la llegada de las impresoras 3D. Estos artefactos permiten llevar a la realidad los objetos diseñados previamente en el ordenador, pudiendo así generar incluso formas imposibles que sin una impresora nunca habrían podido ser llevadas a cabo, al menos de una sola pieza y sin montajes. La fabricación digital puede ser definida como un “proceso computacional que transforma elementos materiales”. En general, este proceso se puede realizar a través de dos sistemas: sustractivos o aditivos. Los sistemas sustractivos extraen material y se asocian a las máquinas de control numérico (CNC). Los sistemas aditivos solidifican material y se vinculan a las máquinas de prototipo rápido (PR) (Domínguez et al., 2013; García, 2011).

Recientemente, también se están utilizando robots industriales controlados por ordenador para producir directamente elementos de construcción a partir de los datos de diseño. Estos robots trabajan con una gran flexibilidad y una enorme gama de herramientas y materiales, por lo que tienen un gran potencial en el diseño digital y existen muchos investigadores que se encuentran trabajando en este campo (Gramazio y Kohler, 2008; Willmann et al., 2013).

El proceso que se llevará a cabo en este estudio para la obtención de los modelos prototipados es el siguiente:

1. Digitalización de las piezas mecánicas para la obtención de las nubes de puntos.
2. Técnicas de tratamiento y reconstrucción geométrica de las nubes de puntos generadas por los sistemas de digitalización (ingeniería inversa).
3. Generación de un fichero STL para que el equipo de fabricación aditiva pueda interpretar la información geométrica (triangularización) modelada en CAD.
4. Orientación en máquina y generación del código de CNC por parte del equipo de fabricación aditiva.
5. Fabricación del componente.
6. Limpieza y postprocesado (eliminación del material de soporte y mejora del acabado y endurecimiento en el caso de que la tecnología lo requiera).
7. Comparación entre los modelos finales prototipados y las piezas mecánicas originales.

2. Materiales y métodos

2.1. Determinación de las piezas mecánicas para realizar el estudio

El objeto de este trabajo consiste en, partiendo de una serie de piezas mecánicas reales, definir el proceso para la obtención de una réplica de las mismas mediante el uso de la digitalización, ingeniería inversa (reconstrucción) e impresión 3D. Posteriormente, se pretende realizar una comparación entre los modelos finales creados y los objetos reales escaneados y estudiar la problemática del proceso. Para ello se utilizan tres piezas de diferentes características con la finalidad de abordar correctamente cada una de las técnicas empleadas en el proceso: un plato de garras, una rueda dentada y un motor pequeño (Figura 1).

Figura 1: Plato de garras, rueda dentada y motor pequeño



2.2. Sistemas de digitalización en entornos mecánicos

La función básica de los sistemas de digitalización es recuperar las coordenadas de miles o millones de puntos de la superficie de un objeto. Estas coordenadas espaciales de los puntos de los objetos se pueden extraer principalmente mediante las siguientes tecnologías (Bernal, 2004): el palpado mecánico, la fotogrametría, los sistemas de visión óptica y los sistemas láser de triangulación y telemetría.

En algunos casos es posible la utilización de sistemas digitalizadores de ultrasonidos, pudiendo obtenerse precisiones de una décima a una velocidad de mil puntos por segundo. Sin embargo, tienen rangos de medida reducidos y son muy dependientes de las condiciones ambientales lo cual limita enormemente su empleo en la industria (Beaufils, 1995).

La digitalización y el uso del escáner 3D se ha extendido poco a poco desde la industria, en especial la del automóvil, a otros campos. Desarrollado como un sistema que analiza y toma datos de la forma de un objeto, este tipo de escáner recopila información imprescindible a la hora de construir modelos tridimensionales.

Los sistemas de digitalización se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Sistemas o escáneres 3D por contacto (palpado mecánico): son los que examinan la superficie con un elemento denominado palpador que se apoya sobre los objetos a escanear.
- Sistemas o escáneres 3D sin contacto: son escáneres que no requieren contacto con el objeto. Los hay de varios tipos, aunque el que resulta de mayor interés es el escáner por triangulación, dado su uso en la impresión 3D.

En la Figura 2 se puede observar una clasificación más detallada de los sistemas de digitalización.

Figura 2. Clasificación de los sistemas de digitalización

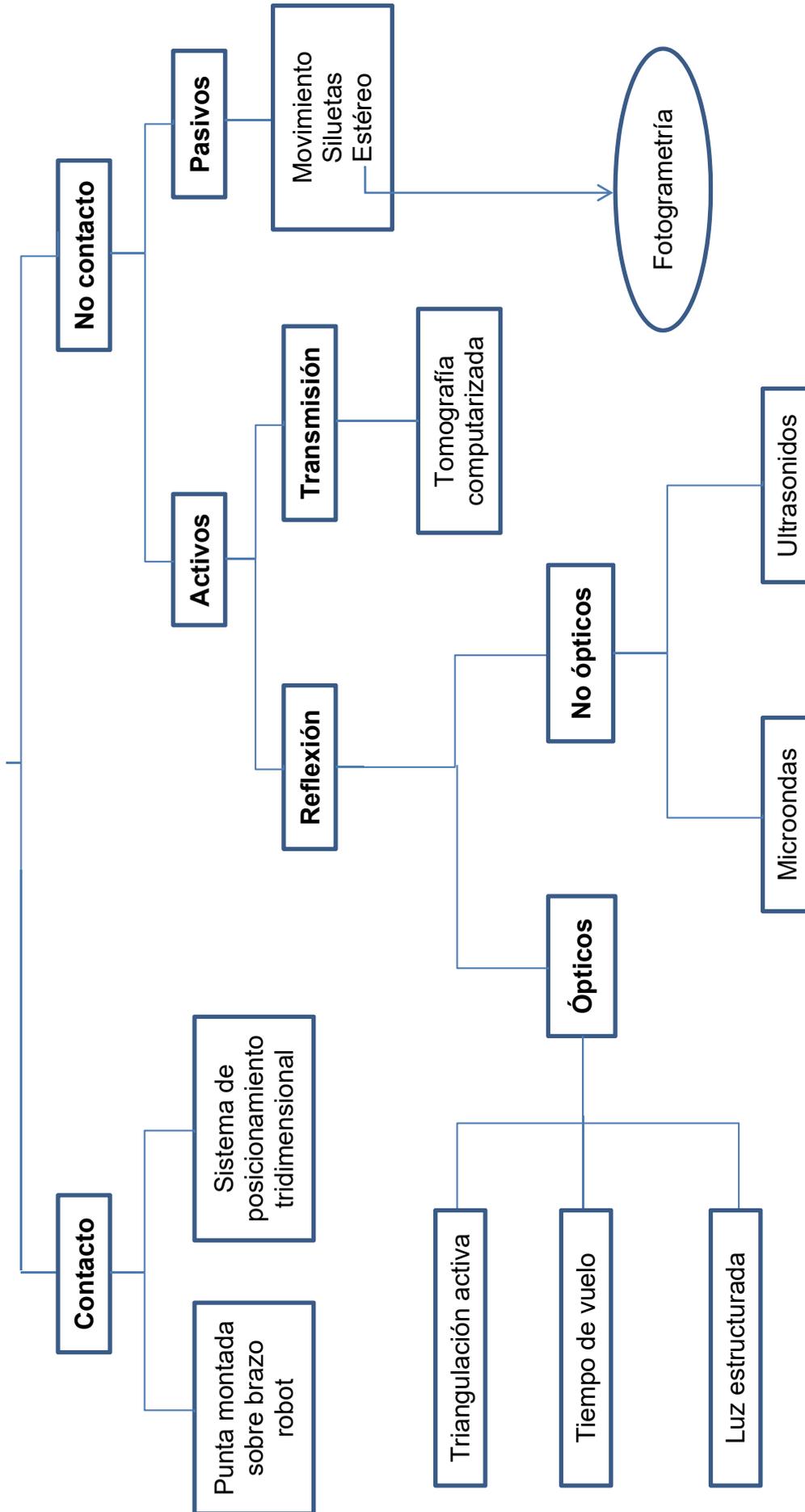


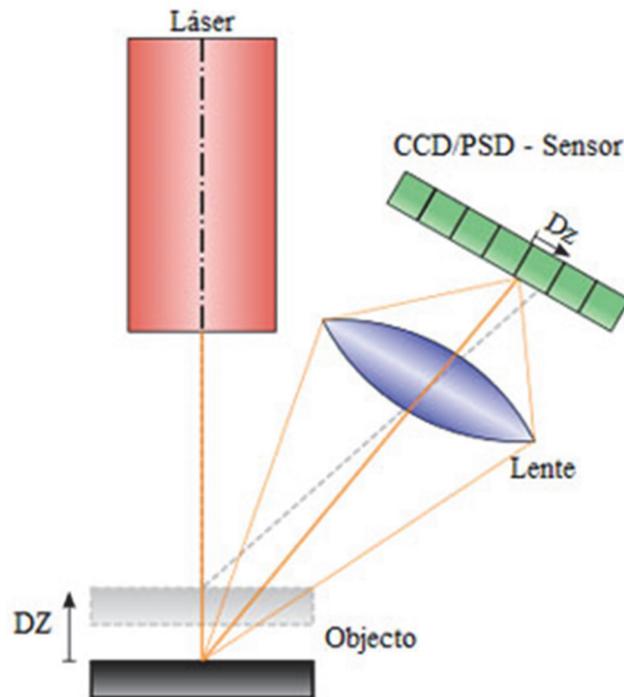
Tabla 1. Tabla comparativa de las principales tecnologías de digitalización

Tipo de Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
Palpador táctil punto a punto	Muy preciso (1/100 mm) Independiente del color y la textura Óptimo para la digitalización de piezas mecánicas	Muy lento (30 pts /seg) Presión de contacto. Volumen de trabajo limitado Necesidad de corregir el radio del palpador
Fotogrametría	Rango de medida elevado Campos de aplicación	Baja precisión Lento
Sistemas ópticos. Luz estructurada	Muy rápido (hasta 50.000 pts/seg) Distancia de trabajo variable Mide objetos móviles Tamaño de escena grande	Depende del aspecto de la superficie Precio Precisión variable Post-procesado complejo Utilización compleja
Ultrasonidos	Precio Versatilidad Amplias posibilidades de medición (medio gaseoso, líquidos)	Rango de medida muy estrecho (máximo 2m) Muy dependiente de la resonancia acústica del material y de las condiciones ambientales Precisión variable
Láser por puntos	Buena precisión (1/10 mm) Relativamente rápido (de 50 a 300 pts/seg) Distancia de trabajo variable	Dependiente del acabado y aspecto de la superficie Precio Poco adaptado para relieves complejos Precisión variable. Sensible a los ruidos
Láser por planos	Muy rápido (hasta 10.000 pts/seg) Distancia de trabajo variable Buena precisión (1/10 mm)	Depende del acabado y aspecto de la superficie Precio Sensible a los ruidos. Precisión variable Utilización delicada
Telemetría láser	Grandes rangos de medida Buena precisión a gran distancia (hasta 300m) Muy rápido (hasta 200.000 pts/seg)	Depende del aspecto de la superficie Precio muy elevado
Interferometría	Alta precisión	Precio muy elevado y utilización compleja

Como se puede observar en la Tabla 1, los sistemas de digitalización con tecnología láser aportan en este campo altas velocidades en la obtención de datos y precisiones elevadas, motivo por el cual se ha optado por esta tecnología para la obtención de las piezas mecánicas.

En cierto modo poseen un funcionamiento parecido al de una cámara, pero en lugar de recopilar información sobre el color y la luz, lo hacen sobre la geometría de un objeto (Figura 3).

Figura 3: Esquema de funcionamiento de los escáneres 3D por triangulación.



Se usa un láser que rebota contra el objeto del cual se quiere analizar su forma, los datos se recogen con el sensor del escáner 3D y éste los pasa al ordenador para que sean analizados mediante software.

El láser utilizado, en lugar de ser un punto, proyecta una línea sobre la superficie del objeto que se está escaneando. Como las superficies tridimensionales no son planas, los puntos que conforman esta línea están más distantes unos de otros y también del sensor. Esta información es captada por el escáner que almacena así información sobre el relieve del objeto (Escáner 3D, 2015).

El resultado final de este proceso será una nube de puntos del objeto seleccionado. Para este trabajo se ha empleado el escáner HandyScan (Figura 4), el cual permite obtener resultados también en modo facetado.

Figura 4. Escáner HandyScan.



2.3. Ingeniería inversa. Reconstrucción de los modelos

Una vez alcanzada esta etapa, es necesario emplear algún tipo de software que permita aplicar técnicas de tratamiento y reconstrucción geométrica de las nubes de puntos generadas por los sistemas de digitalización empleados. Para este trabajo se utilizó el software de ingeniería inversa Geomagic Design Direct, el cual combina sin problema el procesamiento de datos escaneados activo, diseño CAD, capacidades de edición de mallas y puntos 3D, diseño completo de modelado, construcción de conjuntos y creación de dibujos 2D, todo ello en un paquete conjunto (Geomagic, 2016).

El programa proporciona el procesamiento de datos escaneados y herramientas de edición en un paquete CAD de modelado directo nativo y completo. Esta combinación de funcionalidad CAD y análisis 3D puede ajustar ventanas de desarrollo de productos, catalizar la eficacia de los procesos, facilitar la colaboración y comercializar los productos más rápidamente.

Los usuarios pueden analizar o importar nubes de puntos directamente en la aplicación y usar el conjunto de herramientas de empujar/tirar dinámico para crear y editar rápidamente modelos sólidos. Sin un árbol de historial complejo que les contenga, los usuarios también pueden modificar diseños sobre la marcha y cambiar parámetros sin restricciones. El software puede personalizarse mediante una serie de complementos de terceros, y se integra fácilmente con los principales paquetes de CAD externos.

2.4. Fabricación aditiva o impresión 3D

Los procesos convencionales de fabricación de componentes se basan en el empleo de recursos con gran capacidad de elementos de control para conseguir niveles de precisión y fiabilidad muy elevados. La utilización de sistemas informáticos en las fases de ingeniería de diseño, fabricación y simulación de un producto, en combinación con otras técnicas basadas en la mecatrónica, han conseguido elevar los sistemas de producción a niveles elevados de eficacia.

No obstante, todavía existen algunas limitaciones en los procesos de fabricación, ya que en función del tamaño del lote a fabricar y la complejidad geométrica del componente, en ocasiones nos vemos obligados a utilizar procesos y utillajes que encarecen el coste final del elemento.

Actualmente se disponen de procesos de transformación con los que se puede arrancar, deformar, fundir y unir el material base del componente, y desde hace unos años, también se puede acumular por deposición el material allí donde es necesario, es decir, a partir de un modelo virtual en 3D, se puede fabricar el componente añadiendo el material según sea el volumen sólido del modelo diseñado.

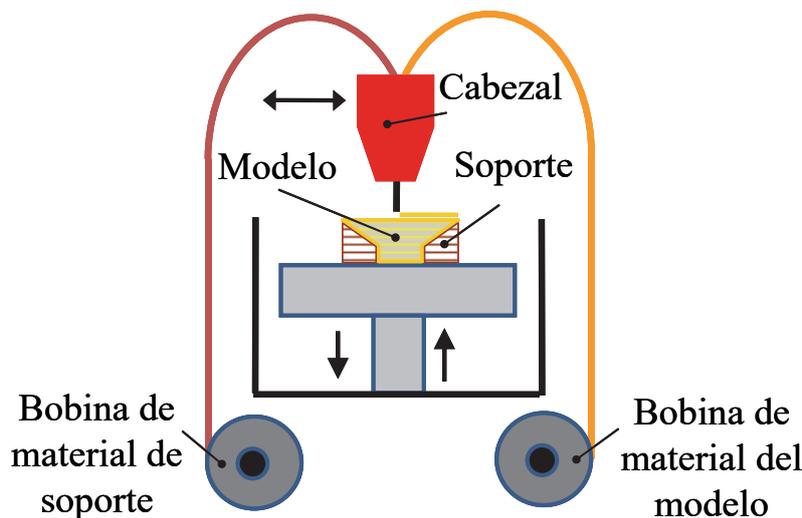
Las tecnologías actuales de tipo aditivo se basan en el principio de dispersión-acumulación. Los procesos de aporte de material o aditivos son aquellos que solidifican un material, originalmente en estado sólido, líquido o en polvo, por capas sucesivas dentro de un espacio predeterminado y con procedimientos electrónicos. Estos métodos también son conocidos con el acrónimo MIM derivado de su denominación en inglés Material Increase Manufacturing, y su clasificación se puede realizar atendiendo a dos factores diferentes, como son el material de partida y el proceso de obtención del modelo (ver Tabla 2).

Tabla 2. Procesos de fabricación aditiva según el material de partida.

MATERIAL	HERRAMIENTA	PROCESOS	NOMBRE
Líquido	Radiación ultravioleta de un láser	Solidificación	Estereolitografía (Stereolithography o SLA)
			Sistema de creación de sólidos (Solid Creation System o SCS)
			Impresión láser ultra violeta de sólidos (Solid Object Ultraviolet Laser Printer o SOUP)
	Lámpara de luz ultravioleta		Fotopolimerización (Solid Ground Curing o SGC)
	Impresión por inyección (Inkjet Rapid Prototyping o Poly jet)		
Sólido	Cabezal de extrusión	Fundido / solidificado	Modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modeling o FDM)
	Cabezal de Inyección		Modelado con cabezal de inyección
	Laminación	Tallado y adhesión	Fabricación por laminación (Laminated Object Manufacturing, o LOM)-(Selective Deposition Lamination o SDL)
Polvo	Aglutinante (posible color)	Unión	Impresión tridimensional (3D Printer)
	Láser	Sinterizado	Sinterizado por láser (Selective Laser Sintering o SLS-DMLS)

Para este trabajo se decide utilizar la tecnología de Deposición de Hilo Fundido-FDM (Figura 5) debido a su buena relación calidad-coste.

Figura 5. Funcionamiento de la tecnología de Deposición de Hilo Fundido.



La deposición del hilo enrollado en una bobina, se realiza a través de la boquilla de un cabezal térmico que se desplaza según el plano (XY). La plataforma va descendiendo (plano Z) en pequeños incrementos según la altura de la capa definida.

El espesor de capa es: 0.13 - 0.25mm (para ABS); 0.18 - 0.25mm (para ABSi); 0.18 - 0.25mm (para PC); 0.25mm (para PPSU). El tamaño máximo del modelo es de 914x610x914 mm.

Pueden utilizarse los siguientes materiales termoplásticos: ABS, ABSi, ABS-M30, ABS-ESD7, PC-ABS, PC-ISO, ULTEM 9085. Las propiedades del ABS son: módulo de elasticidad: 1627 Mpa; tensión de rotura: 22 Mpa; elongación: 6 %; módulo de Flexión: 1834 Mpa; resistencia al impacto: 214 J/m; temperatura de deflexión: 76-90 °C.

3. Resultados

3.1. Digitalización de las piezas mediante escáner 3D por triangulación láser

En las Figuras 6, 7 y 8 se pueden observar los resultados obtenidos de la digitalización de las tres piezas mecánicas seleccionadas mediante el uso del HandyScan.

Figura 6. Nube de puntos y reconstrucción inicial obtenida para el plato de garras

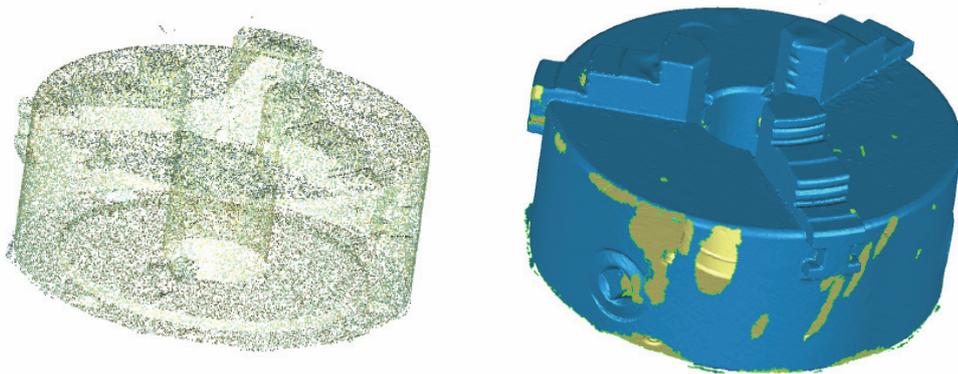


Figura 7. Nube de puntos y reconstrucción inicial obtenida para la rueda dentada

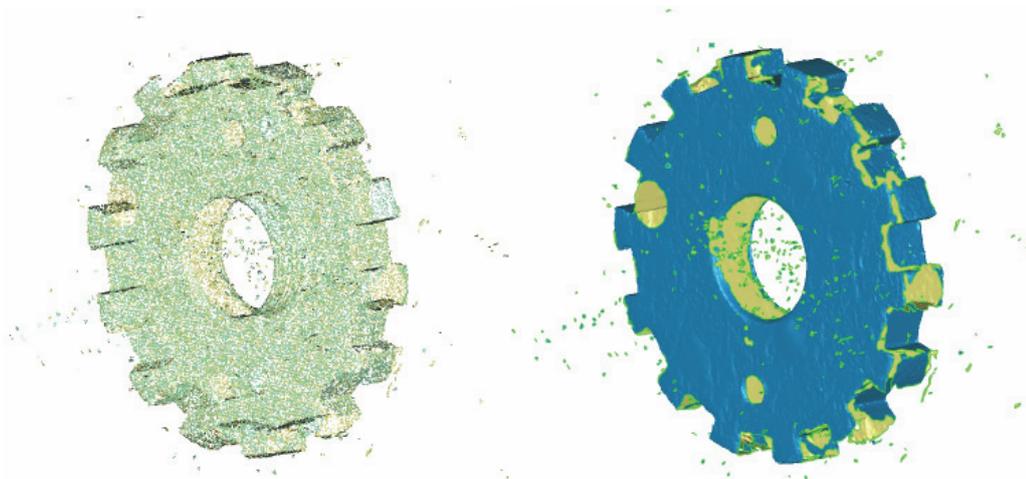
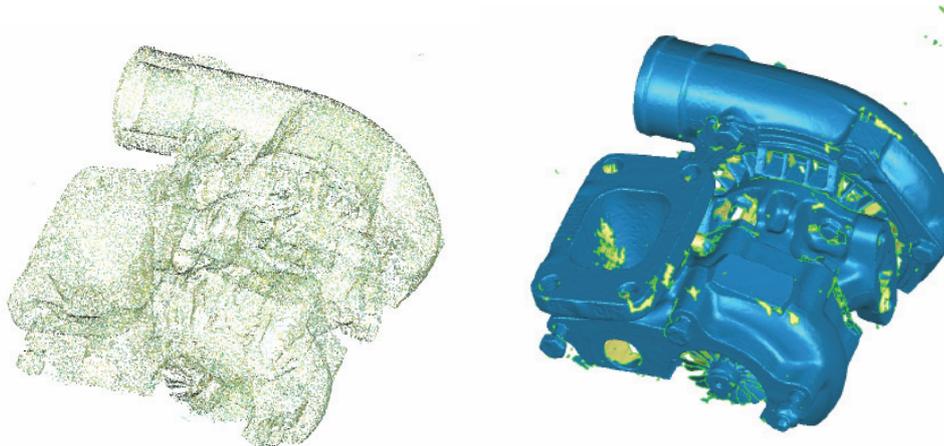


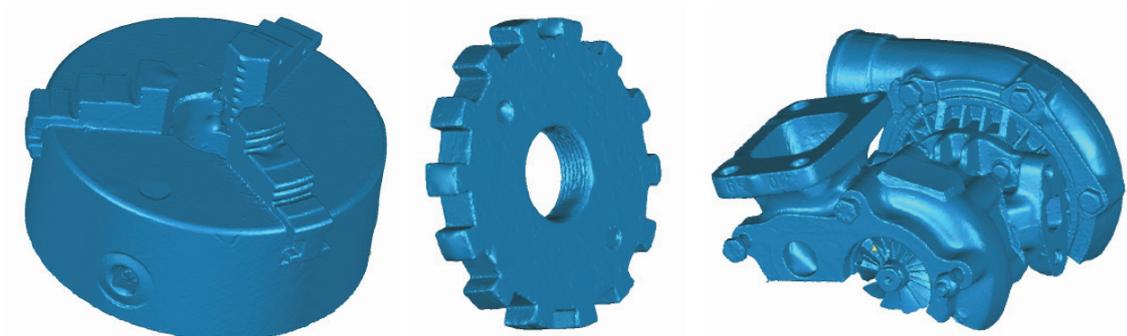
Figura 8. Nube de puntos y reconstrucción inicial obtenida para el motor



3.2. Tratamiento y reconstrucción geométrica de las nubes de puntos generadas por los sistemas de digitalización

Como ya se ha comentado anteriormente, una vez obtenidos los modelos tridimensionales mediante escaneo digital, es necesario el procesado de los mismos para eliminar el ruido, rellenar los huecos, suavizar bordes y aristas, etc. El software utilizado es Geomagic Design Direct, y las reconstrucciones 3D finales son las representadas en las Figura 9.

Figura 9. Tratamiento y reconstrucción geométrica del plato de garras, rueda dentada y motor



3.3. Prototipos finales obtenidos mediante impresión 3D

Una vez obtenidos los modelos 3D finales mediante el uso del software de ingeniería inversa, se debe generar un fichero STL para que el equipo de fabricación aditiva pueda interpretar la información geométrica (triangularización) modelada en CAD. La tecnología utilizada para la impresión ha sido FDM (Fused Deposition Modelling) y el material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno).

Posteriormente, se realiza una orientación en máquina y generación del código de CNC por parte del equipo de fabricación aditiva. Los resultados de las tres piezas vienen representados en las Figuras 10, 11 y 12.

Figura 10. Prototipo final plato de garras

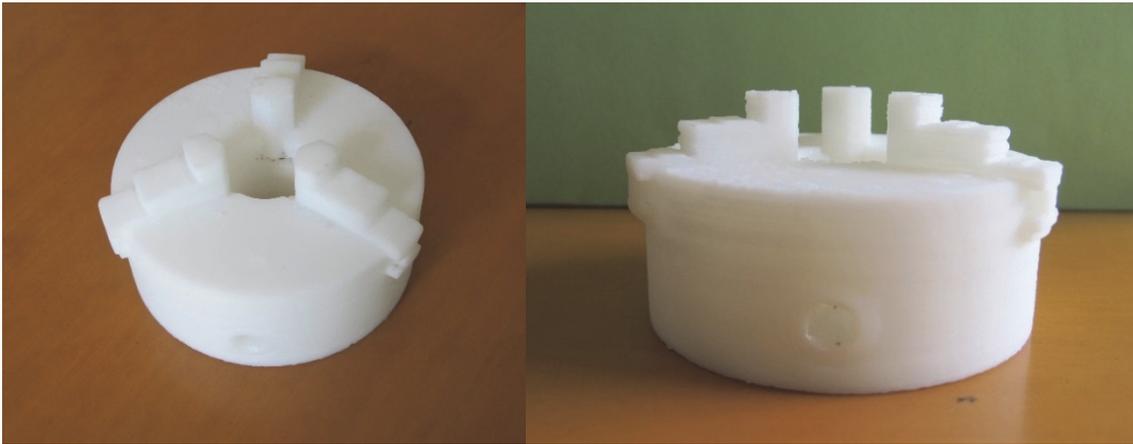


Figura 11. Prototipo final rueda dentada

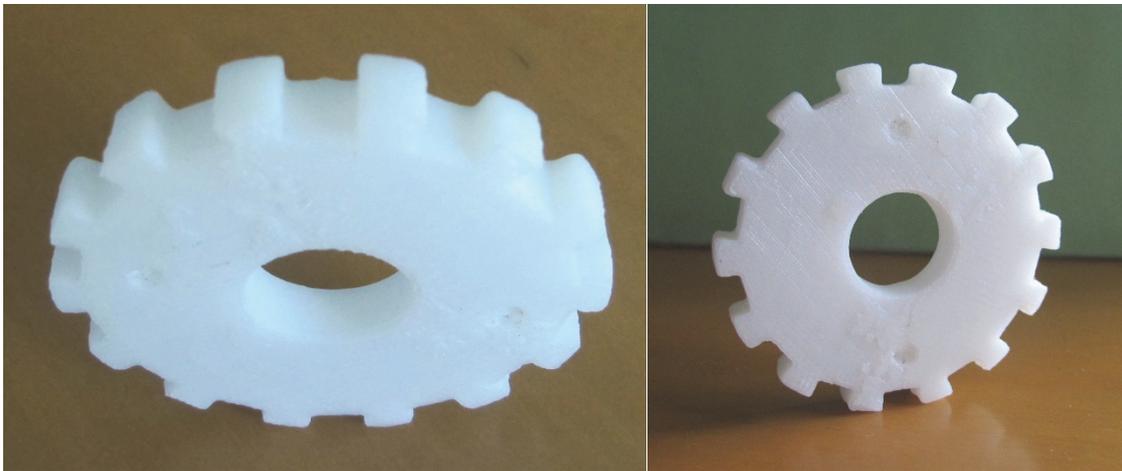
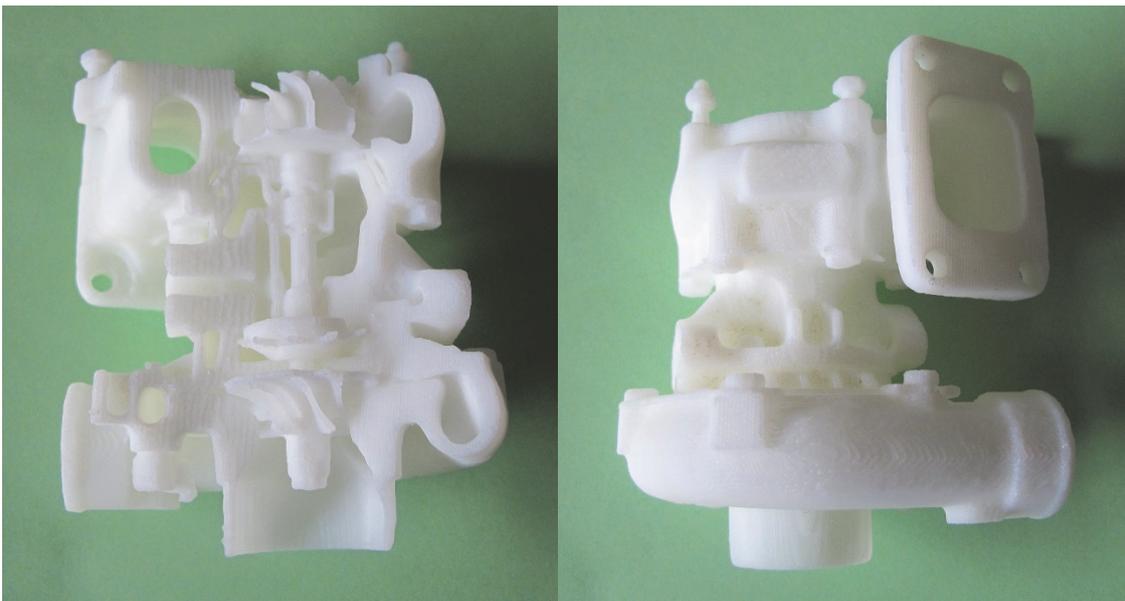


Figura 12. Prototipo final motor



3.4. Análisis y discusión de los resultados obtenidos.

En los últimos años se han observado avances significativos en las tecnologías de escaneo 3D. Como los escáneres están en continua evolución, se ha experimentado una gran mejora en su resolución, tiempo de escaneo y precisión. Sin embargo, el proceso de escaneo todavía es complejo y difícil de manejar, requiriéndose un alto nivel de experiencia por parte del usuario y llevar a cabo tediosos pasos.

Un gran desafío en el escaneo 3D de objetos es capturar su geometría completa. Una correcta captura de la superficie del objeto requiere que el usuario rote alrededor del mismo, capturándolo desde distintos puntos de vista.

Esto es un proceso tedioso en el cual se requiere que el usuario esté continuamente verificando y volviendo a escanear pequeñas partes que no fueron capturadas correctamente. Este problema surge fundamentalmente debido a la accesibilidad del escaneo en partes del objeto que están ocultas y no pueden ser escaneadas.

Como ya se ha comentado a lo largo de este trabajo, el objetivo final en el uso del escáner es la obtención de una nube de puntos lo suficientemente completa como para que el objeto en cuestión quede correctamente definido. Posteriormente, será necesario el uso de un software para el tratamiento y reconstrucción geométrica de las nubes de puntos generadas por los sistemas de digitalización. La precisión obtenida y el tiempo empleado en ambos procesos están directamente relacionados, es decir, cuanto mejor sea el proceso de escaneo y más densa sea la nube de puntos, menor será el tiempo dedicado a la reconstrucción del objeto, y viceversa.

Por otro lado, para que un escáner 3D pueda ser útil para varias aplicaciones, debe ser caracterizada su precisión. Esto requiere una comparación entre el modelo creado mediante el proceso de digitalización y el objeto real que ha sido escaneado.

Galantucci et al. (2014) proponen un proceso de 4 etapas para la verificación del escáner, que incluye analizar el error de operación, la reproductibilidad del error, error del sistema de control y error del sistema de escaneo. El error final será, por consiguiente, una suma de todos esos errores.

En el caso de este estudio, al realizar la comparación entre los modelos finales prototipados y las piezas mecánicas originales, se observa que los resultados obtenidos son bastante satisfactorios. En el caso del plato de garras y la rueda dentada, sólo hay pequeñas alteraciones en el trazado de los pequeños orificios, debido a que al escáner le cuesta bastante obtener información dentro de los mismos. En el caso del motor el tema es bastante más complicado debido a que hay muchas zonas ocultas que no han podido ser escaneadas y por lo tanto no aparecen en el prototipo final. Todas esas partes no han podido ser añadidas en la reconstrucción debido a que no existía suficiente información, aunque en cualquier caso el modelo final se considera más que aceptable.

4. Conclusiones

Los sistemas de digitalización con tecnología láser aportan altas velocidades en la obtención de datos y precisiones elevadas, por lo que es la tecnología que se utiliza para la obtención de las piezas mecánicas mediante impresión 3D.

Una vez escaneadas las piezas y antes de obtener el archivo STL de las mismas, es necesario utilizar un software de ingeniería inversa para intentar eliminar los posibles errores de los sistemas de escaneo y el ruido existente. Una de las grandes limitaciones al hacer uso de estos sistemas es la digitalización de las zonas ocultas, circunstancia que se podría solventar realizando cortes, secciones o roturas en las piezas (como en el caso del motor empleado para este estudio).

Los resultados obtenidos se consideran muy satisfactorios, sobre todo teniendo en cuenta algunas de las limitaciones de las tecnologías empleadas.

REFERENCIAS

- Beaufils, P. (1995). La numérisation de formes tridimensionnelles. *Industries et Techniques*, 756.
- Bernal, C. (2004). *Análisis de las perspectivas de utilización de técnicas de ingeniería inversa en la representación conceptual de tuberías industriales normalizadas*. Tesis doctoral no publicada, UNED, Madrid, Spain.
- Domínguez, I.A., Romero, L., Espinosa, M.M., & Domínguez, M. (2013). Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción. *Revista de la construcción*, 12, 39-53.
- Escáner 3D: Tipos y Aplicaciones. (2015). Obtenido el 15 de abril de 2016, desde <http://frax3d.com/escaner-3d-tipos-y-aplicaciones>
- Galantucci, L.M., Lavecchia, F., Percoco, G., & Raspatelli, S. (2014). New method to calibrate and validate a high-resolution 3D scanner, based on photogrammetry. *Precision Engineering*, 38, 279-291.
- García, R. (2011). Fabricación digital de modelos constructivos: análisis de equipos y procesos. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia (Colombia)*, 59, 145-157.
- Geomagic software. (2016). Obtenido el 15 de abril de 2016, desde <http://www.geomagic.com/en/>
- Gramazio, F., & Kohler, M. (2008). *Digital Materiality in Architecture*. Zürich: Lars Müller Publishers.
- Willmann, J., Gramazio, F., Kohler, M., & Langenberg, S. (2013). Digital by Material. En: Brell-Çokcan, S. & Braumann, J. (eds.), *Rob | Arch 2012: Robotic Fabrication in Architecture, Art, and Design*, (pp. 12-27). Vienna: Springer Vienna.