

CONSTRUCCIÓN DE UN ESCÁNER ROTATIVO 3D PARA PROCESOS DE INGENIERÍA INVERSA DE ELEMENTOS MECÁNICOS

CONSTRUCTION OF A 3D ROTATING SCANNER FOR REVERSE ENGINEERING PROCESSES OF MECHANICAL ELEMENTS

CONSTRUÇÃO DE UM SCANNER ROTATIVO 3D PARA PROCESSOS DE ENGENHARIA REVERSA DE ELEMENTOS MECÂNICOS

Resumen

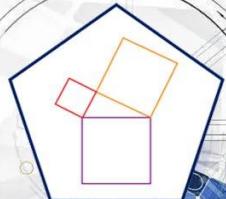
El estudio abordó la construcción e implementación de un escáner rotativo 3D con el objetivo de mejorar los procesos de ingeniería inversa y su integración en entornos educativos. Se utilizó software libre para su construcción, lo que ofreció flexibilidad en el diseño y adaptabilidad en su uso. La metodología incluyó el uso de tecnologías CAD CAM, diseño mecánico y control numérico computarizado, con el fin de desarrollar una herramienta didáctica precisa y eficiente. Los resultados mostraron que el escáner capturó con alta calidad objetos tridimensionales, facilitando el análisis y la producción de modelos mecánicos. Las conclusiones indicaron que el uso de escáneres 3D rotativos puede potenciar la innovación en la educación técnica, al tiempo que se recomienda continuar con el desarrollo de aplicaciones adicionales para impulsar la investigación y el aprendizaje práctico en ingeniería inversa.

Mg. Nancy Rodríguez Sánchez
nrodriguez.istt@gmail.com
Instituto Superior Tecnológico
Tungurahua
Orcid: [0000-0002-3287-6037](https://orcid.org/0000-0002-3287-6037)

Mg. Giovanni Hidalgo Castro
giovanni.hidalgo@ister.edu.ec
Instituto Superior Tecnológico
Rumiñahui
Orcid: [0000-0002-3372-6591](https://orcid.org/0000-0002-3372-6591)

REVISTA TSE'DE
Instituto Superior Tecnológico
Tsa'chila
ISSN: 2600-5557

Palabras clave: digitalización tridimensional, modelos 3D, prototipado mecánico.



Periodidad Semestral

Vol. 7, núm. 2

revistatsede@tsachila.edu.ec

Recepción: 02-05-2024

Aprobación: 07-10-2024

Publicación: 25-12-2024

URL:

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada Internacional. 4.0



Abstract

The study addressed the construction and implementation of a 3D rotary scanner with the aim of improving reverse engineering processes and their integration into educational environments. Free software was used for its construction, which offered flexibility in design and adaptability in its use. The methodology included the use of CAD CAM technologies, mechanical design and computerized numerical control, in order to develop an accurate and efficient didactic tool. The results showed that the scanner captured three-dimensional objects with high quality, facilitating the analysis and production of mechanical models. The findings indicated that the use of rotary 3D scanners can boost innovation in technical education, while further development of additional applications to boost research and hands-on learning in reverse engineering is recommended.

Keywords: three-dimensional digitization, 3D models, mechanical prototyping.

Resumo

O estudo abordou a construção e implementação de um scanner rotativo 3D com o objetivo de melhorar os processos de engenharia reversa e sua integração em ambientes educacionais. Para sua construção, utilizou-se software livre, que oferecia flexibilidade no design e adaptabilidade em seu uso. A metodologia incluiu o uso de tecnologias CAD CAM, projeto mecânico e controle numérico computadorizado, a fim de desenvolver uma ferramenta didática precisa e eficiente. Os resultados mostraram que o scanner capturou objetos tridimensionais com alta qualidade, facilitando a análise e produção de modelos mecânicos. Os resultados indicaram que o uso de scanners 3D rotativos pode impulsionar a inovação na educação técnica, enquanto o desenvolvimento de aplicativos adicionais para impulsionar a pesquisa e o aprendizado prático em engenharia reversa é recomendado.

Palavras-chave: digitalização tridimensional, modelos 3D, prototipagem mecânica.

Introducción

El escaneo 3D es una tecnología versátil con múltiples aplicaciones y métodos. Los avances recientes han permitido el desarrollo de soluciones de bajo costo y alta precisión, así como la combinación de diferentes tecnologías para mejorar la calidad y la precisión de los modelos 3D. La calibración y optimización de los factores de escaneo son esenciales para obtener datos precisos y útiles en diversas aplicaciones. Los escáneres 3D pueden clasificarse en varias categorías según su principio de funcionamiento, como escáneres basados en imágenes, escáneres de luz estructurada, y escáneres láser (Verykokou y Ioannidis, 2023; Lipowiecki et al., 2023). Se han desarrollado métodos de escaneo 3D de bajo costo utilizando fluidos a base de agua y rotación, lo que permite la reconstrucción de objetos con formas irregulares. (Gonçalves y Haueisen, 2023).

La implementación de escáneres 3D en procesos de ingeniería inversa es un avance significativo para mejorar la precisión y eficiencia en la reconstrucción digital de elementos mecánicos (Cieślik et al., 2023; Mishchuk et al., 2023). Sin embargo, uno de los problemas más frecuentes es la dificultad para capturar geometrías complejas y la limitación en la accesibilidad de dispositivos robustos y portátiles para aplicaciones industriales (Botía y Rincón, 2020). Esta investigación aborda la construcción de un escáner rotativo 3D, que permite superar las barreras asociadas a la captura de objetos de gran tamaño y alta precisión.

El desarrollo de escáneres rotativos ha mostrado avances importantes en la ingeniería inversa, facilitando la creación de réplicas de piezas mecánicas con alta fidelidad (Ramírez et al., 2024). Estos dispositivos permiten capturar la geometría completa en

una sola rotación, lo que no solo mejora la consistencia de los datos, sino también la repetibilidad del proceso. La construcción de un escáner de bajo costo, adaptado a las necesidades académicas e industriales, justifica esta investigación en el contexto de las exigencias tecnológicas actuales (Saavedra y Chamarro, 2021).

Diversos estudios destacan la importancia de la ingeniería inversa como herramienta para optimizar el diseño y la manufactura de piezas mecánicas (Vorkapić et al., 2023; Pourmostaghimi et al., 2023). En aplicaciones industriales, como la fabricación de plantillas ortopédicas, se han utilizado escáneres 3D personalizados que mejoran significativamente los procesos de diseño y producción (Pilco, 2021). Sin embargo, la mayoría de las soluciones existentes se centran en aplicaciones específicas, lo que subraya la necesidad de desarrollar dispositivos más versátiles que puedan adaptarse a una amplia gama de usos.

En el ámbito de la ingeniería inversa, la precisión en la captura de datos es crucial. Según García et al. (2021), los escáneres 3D ópticos han revolucionado la manera en que se modelan objetos físicos, especialmente en la digitalización de piezas con geometrías complejas. No obstante, la portabilidad sigue siendo una limitación para muchos de estos dispositivos, lo que resalta la ventaja de los escáneres rotativos en entornos donde el espacio es reducido y la accesibilidad es esencial. Las soluciones móviles y estacionarias que utilizan múltiples sensores de profundidad permiten la generación rápida de modelos 3D completos de objetos. Estas soluciones son eficientes y permiten el escaneo en tiempo real, lo cual es crucial para la generación de datos de entrenamiento para algoritmos de aprendizaje automático (Szmuc et al., 2023).

Además de la portabilidad, la facilidad de uso es otro factor clave para el éxito de los escáneres 3D en la ingeniería inversa. Dispositivos como los basados en técnicas de triangulación han mostrado ser eficaces en la creación de modelos tridimensionales de alta precisión, pero requieren una configuración técnica considerable (Navarro Latorre, 2019). Este proyecto propone un diseño más simplificado y accesible, orientado tanto a la formación académica como a la aplicación industrial.

La relevancia de esta investigación también se manifiesta en su capacidad para fomentar la innovación. Como argumentan Monroy et al. (2024), la ingeniería inversa permite a las empresas analizar tecnologías existentes para desarrollar nuevos productos y mejorar los actuales. El uso de escáneres rotativos 3D no solo abre la posibilidad de mejorar los procesos de diseño, sino que también optimiza la producción de piezas industriales de manera más eficiente y con menores costos (Verykokou y Ioannidis, 2023).

La literatura reciente muestra que el escaneo 3D ha tenido un impacto positivo en múltiples campos, incluyendo la arquitectura, la medicina y la industria automotriz (Montiel, 2019). Estos avances justifican la necesidad de desarrollar escáneres que puedan ser aplicados de manera flexible en diversas áreas, asegurando que las instituciones educativas puedan preparar a los futuros ingenieros con las herramientas más avanzadas y efectivas.

El propósito de esta investigación es diseñar y construir un escáner rotativo 3D que permita la captura precisa de elementos mecánicos complejos. A través de la implementación de esta tecnología, se busca mejorar los procesos de ingeniería inversa en el ámbito académico y profesional, facilitando la creación de modelos

tridimensionales de alta calidad y reduciendo los tiempos y costos asociados. Este trabajo pretende contribuir al desarrollo de tecnologías accesibles y versátiles para la formación de ingenieros, integrando soluciones innovadoras y eficientes que mejoren los procesos de manufactura y diseño.

Metodología

La aplicación de esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de CNC (Control Numérico Computarizado) del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, situado en Ambato, Ecuador, donde se realizó la construcción e implementación del escáner 3D rotativo para fines didácticos. El estudio fue de tipo experimental, con un diseño cuasi-experimental enfocado en la creación y prueba de una herramienta educativa.

El nivel de investigación fue tecnológico-aplicado, orientado a resolver problemas específicos relacionados con la enseñanza de procesos de ingeniería inversa. La población de estudio incluyó a 30 estudiantes de la carrera de Mecánica Industrial, de los cuales se seleccionó una muestra de 10 estudiantes de quinto semestre, utilizando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Las variables de estudio incluyeron la precisión del escaneo, el tiempo de captura de datos y la calidad de los modelos digitales generados. Para la construcción del escáner, se emplearon tecnologías de diseño mecánico con SolidWorks®, (Dassault Systèmes, 2022)., lo que permitió visualizar y perfeccionar el diseño antes de la fabricación. El corte láser fue utilizado para crear las partes estructurales del escáner, utilizando MDF de alta densidad. En cuanto al sistema de rotación, se aplicaron motores paso a paso controlados por una tarjeta Arduino Uno, programada para

automatizar el giro y la captura de coordenadas desde diferentes ángulos (Arduino, 2024).

El software MeshLab (software que digitaliza coordenadas y generar archivos sólidos), (MeshLab, 2021), fue utilizado para visualizar las nubes de puntos generadas, que posteriormente se transformaron en modelos 3D en formato STL (estereolitografía).

Se utilizaron técnicas innovadoras, mediante sensores de radiofrecuencia, para asegurar la captura precisa de los detalles geométricos de los objetos escaneados.

Los datos recopilados se analizaron utilizando el software MeshLab, para evaluar la precisión del escaneo en términos de desviación estándar y ajuste a los modelos físicos. Se realizaron comparaciones bibliográficas con escáneres comerciales de uso industrial para validar la calidad de los resultados obtenidos. Los métodos de análisis estadístico incluyeron la prueba t de Student para medir la diferencia significativa entre las capturas de diferentes objetos y configuraciones del escáner. Se registraron los tiempos de escaneo y el grado de detalle de los modelos tridimensionales obtenidos, lo que permitió evaluar el funcionamiento en contextos educativos y profesionales.

Finalmente, los datos fueron organizados en tablas y gráficos para una mejor visualización de los resultados, y se elaboraron diagramas para ilustrar el proceso de diseño, construcción y funcionamiento del escáner rotativo 3D, asegurando que la metodología fuera replicable en futuras investigaciones o aplicaciones educativas.

Resultados y Discusión

Se detalla desde la concepción de la idea hasta la integración del escáner rotativo 3D para su uso en el ámbito educativo, para lo cual se procede con los pasos indicados en la Figura 1:

Figura 1

Pasos del proceso



Nota: Los pasos en la construcción del escáner 3D son representados en seis pasos.

Selección de Software y Diseño Inicial:

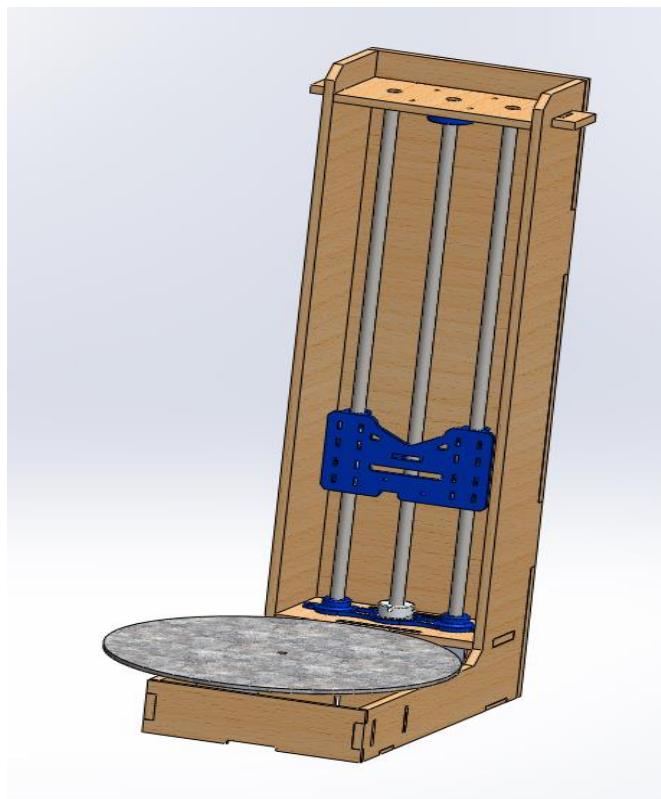
Se realizó una investigación exhaustiva para seleccionar el software adecuado para la construcción del escáner 3D. Se diseñó un prototipo del escáner utilizando software CAD Solidworks ®, considerando las especificaciones técnicas de los componentes electrónicos y funcionales requeridas tales como la altura de escaneo, estabilidad de la estructura en el movimiento, además de la facilidad de construcción del chasis del escáner por medio de tecnologías de corte por medio de láser CO2. A continuación, en la Figura 2 se muestra el diseño en software para validar la estructura mecánica del prototipo.

Adquisición de Materiales:

Se considera para el diseño la adquisición local de los componentes electrónicos y en esta etapa del desarrollo se identificaron y adquirieron los materiales necesarios para la construcción del escáner 3D, incluyendo componentes mecánicos, electrónicos e instalación de software.

Figura 2

Escáner diseñado en el software



Nota: La figura muestra una estructura diseñada en software
CAD a ser usada como maqueta del prototipo

Construcción del Escáner:

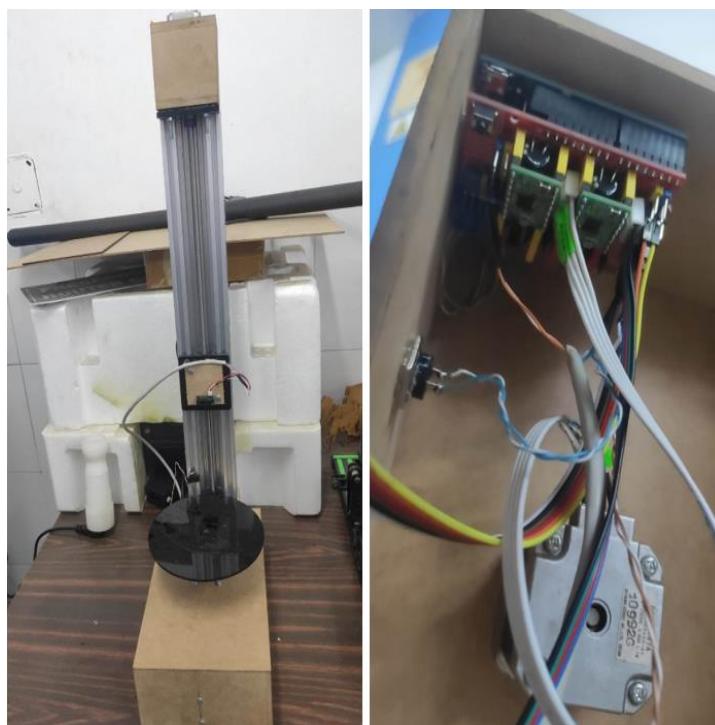
Conforme con las especificaciones del diseño, en cuanto a la estructura, se procedió a la construcción física del escáner 3D donde los componentes fueron fabricados con tecnologías de corte láser CO₂ y por medio de modelado por deposición fundida mediante la impresora Anet E10. Seguidamente se procede al ensamble de los componentes de acuerdo con los planos previamente establecidos.

La máquina presenta una estructura híbrida compuesta por elementos metálicos y MDF, siendo esta combinación fundamental para conferir rigidez y permitir el

desplazamiento vertical del sensor, en la Figura 3 se puede observar la estructura. La elección meticulosa de componentes mecánicos, adquiridos de máquinas CNC, busca asegurar la cohesión y funcionalidad óptima del conjunto. Adicionalmente, en la parte inferior se ha destinado un espacio específico para albergar las conexiones electrónicas necesarias que posibilitan el movimiento y funcionamiento preciso de la máquina.

Figura 3

Prototipo de escáner 3d rotativo



Nota: A la izquierda se muestra la estructura externa del prototipo, a la derecha se muestra las conexiones electrónicas correspondientes al esquema planteado.

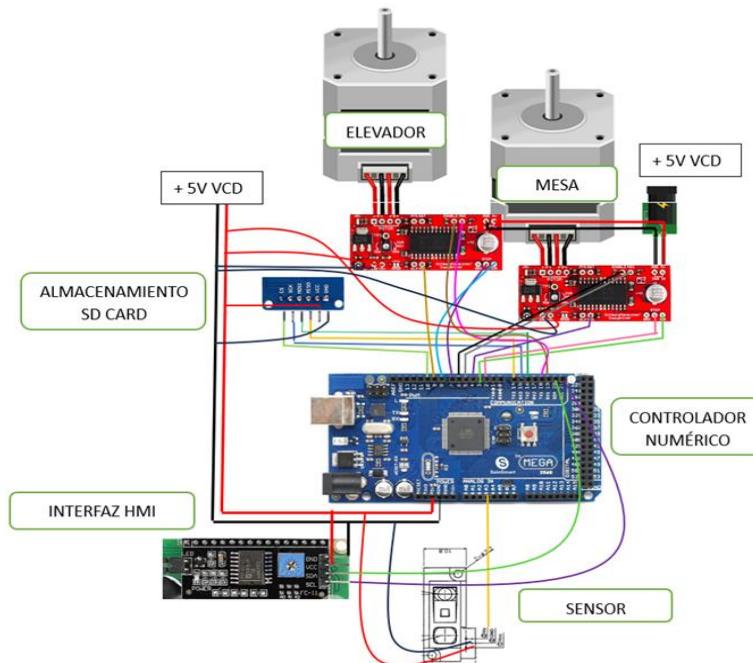
Diseño electrónico:

El esquema detalla las interconexiones electrónicas entre el controlador numérico y los actuadores, representados por los dos motores NEMA. Estos motores desempeñan dos funciones: uno se encarga del giro, mientras que el otro controla la elevación del sensor, permitiendo la captura de datos a diversas alturas de trabajo. En paralelo, el sistema incorpora una tarjeta de almacenamiento de datos, encargada de registrar la información de distancia captada por el sensor.

Para asegurar el funcionamiento integrado, el sistema depende de una fuente de alimentación que suministra energía tanto a los motores como a la electrónica. Este suministro de corriente es esencial para el movimiento preciso de los motores y la operación óptima de la parte electrónica, que está configurada para registrar datos en función del grado de giro de la base rotatoria. Además, se destaca que la toma de datos se realiza de manera específica durante la elevación del sensor a lo largo de la altura del objeto que está siendo escaneado en ese momento. Se muestra en la Figura 4 el esquema de las conexiones necesarias para el funcionamiento del escáner rotativo, en la cual se puede observar la parte de controlador numérico y los actuadores que en este caso son los motores NEMA, considerando que el almacenamiento de datos se da por medio de la interfaz HMI donde se almacenan por medio de una tarjeta SD para su lectura posterior por medio del software MeshLab que es un software utilizado para la digitalización de coordenadas físicas de objetos, transformándolas en modelos digitales 3D.

Figura 4

Esquema del controlador numérico computarizado



Nota. La figura muestra el diagrama del sistema de control electrónico mostrando la interconexión de componentes como el elevador, mesa, almacenamiento SD, interfaz HMI, Arduino, controlador numérico y sensor.

Fragmento de programación

La programación en Arduino para un escáner rotativo 3D implica controlar los motores, la adquisición de datos y el almacenamiento de los datos en el dispositivo tarjeta SD en este caso. El archivo "datos.txt" se abre en modo escritura en cada iteración del bucle y se cierra después de escribir los datos. Se puede apreciar un fragmento de programación en la Figura 5.

Figura 5

Fragmento de programación

```
void loop()
{
    int vertDistance=40; //Recorrido total deseado del eje z
    int noZSteps=200; //No de pasos z por rotación. Distancia = numpasos*0,01 mm/paso
    int zCounts=(200/1*vertDistance)/noZSteps; //Número total de zCounts hasta que el eje z regresa a casa
    //int thetaCounts=400;
    int thetaCounts=200;
```

Nota: Se muestra la una sección del código de programación de los cálculos para el movimiento del eje z.

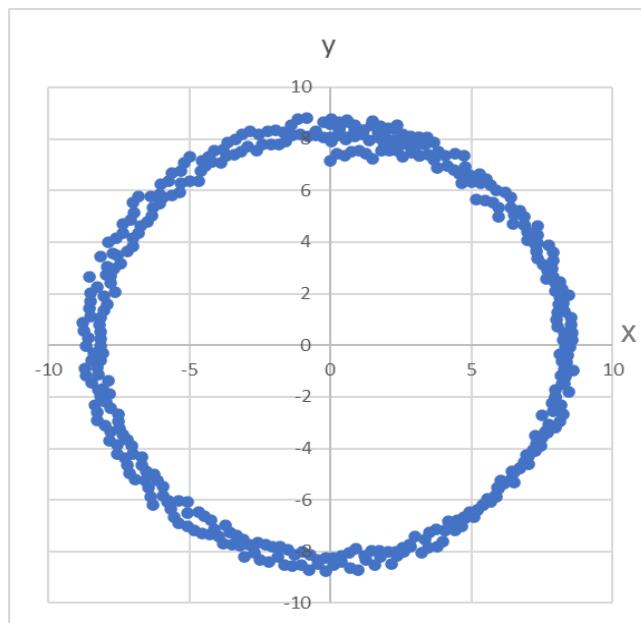
Pruebas de Funcionamiento:

Se llevaron a cabo pruebas para verificar la calidad de la imagen capturada por el escáner y la precisión de las medidas obtenidas para estas pruebas se tomó como patrón una figura cilíndrica de 50 cm de alto por 16 mm de diámetro. Como resultado del escaneo se obtiene una matriz de puntos con una resolución de 0,2 mm por paso de revolución y 0,2 por paso en el eje z como se puede observar en la gráfica de puntos x,y . En la Figura 6 a continuación se puede observar la curva que generan los puntos como coordenadas.

Una vez obtenido el archivo.txt se procede a digitalizar esta matriz de puntos en el software Tinkercad plataforma web CAD (Diseño Asistido por Computadora) de acceso libre que permite crear el mallado de los puntos obtenidos para crear una figura en 3D con extensión STL (Tinkercad, 2024). En la Figura 7 se muestra la captura del modelo en formato de archivo STL generado a base de las coordenadas de puntos en los ejes de trabajo x, y, z.

Figura 6

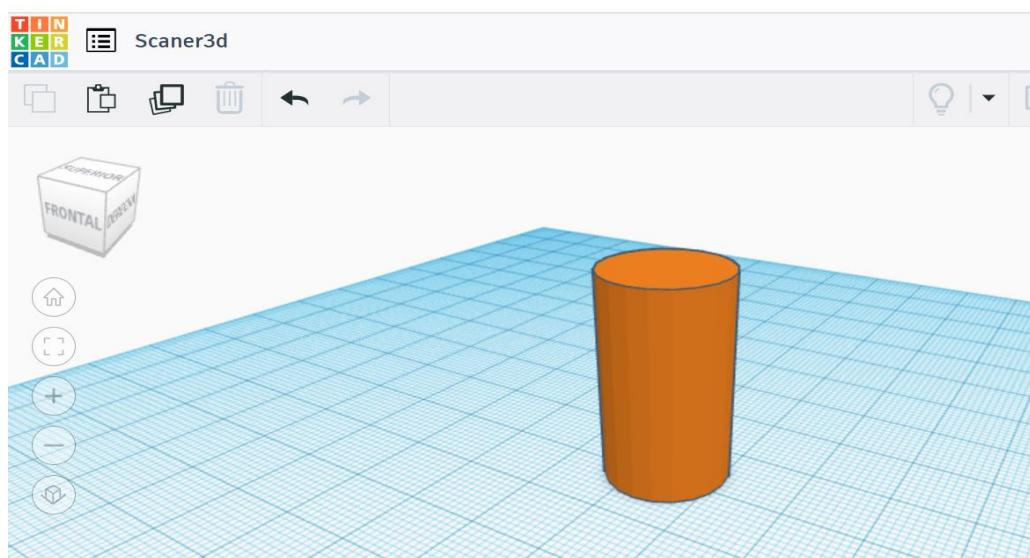
Gráfica de coordenadas x y



Nota: Se muestra los puntos de coordenadas escaneadas por medio del sensor de radiofrecuencia que determina la distancia del modelo

Figura 7

Digitalización del Modelo 3D



Nota: Mediante el uso del programa Thinkercad se visualiza el archivo generado en formato STL, que es ampliamente usado en impresión 3D

Después de las pruebas de funcionamiento se ha determinado que el intervalo de grabación de datos en Z movimiento/paso lineal de 0,01 mm. y en Giro de la mesa 0,9 grados/paso es el adecuado para obtener suficientes puntos para su posterior post proceso mediante software para su mallado y generación de cuerpos tridimensionales.

La experiencia práctica de los estudiantes dentro de este proyecto se puede fortalecer por medio de estrategias lúdicas para transmitir los conocimientos con la participación de los docentes y estudiantes para que el escáner 3D se use como un material didáctico dentro de las diferentes asignaturas. El proceso de escaneo puede ser lento dependiendo de la resolución y número de datos adquiridos, especialmente para objetos complejos o de gran tamaño, lo que podría limitar su uso en entornos educativos donde se requiere eficiencia.

Conclusiones

Las conclusiones de esta investigación subrayan la importancia del escaneo 3D y la ingeniería inversa como herramientas fundamentales en la era digital, destacando su implementación en entornos educativos para preparar a los estudiantes ante los desafíos del mundo laboral. La adopción de escáneres 3D rotativos ha demostrado ser efectiva para potenciar la comprensión práctica de la ingeniería inversa, lo que capacita a los estudiantes en áreas como el diseño de productos, la manufactura y la innovación tecnológica.

Las pruebas realizadas con un objeto cilíndrico de referencia confirmaron que el escáner es capaz de generar una matriz de puntos con alta precisión, logrando resoluciones de 0,2 mm por paso en el eje Z y en las revoluciones. Esto es adecuado

para aplicaciones educativas, donde se requiere una buena calidad de escaneo para la posterior digitalización en modelos 3D.

La metodología utilizada, que incluyó desde la selección de software hasta la integración del escáner en el laboratorio, facilitó un proceso de aprendizaje práctico y efectivo. Este avance tecnológico no solo proporciona a los estudiantes la oportunidad de adquirir experiencia valiosa en tecnologías CAD CAM, sino que también fortalece sus habilidades en diseño mecánico y control numérico computarizado.

A pesar de su efectividad, el tiempo requerido para escanear objetos complejos o de gran tamaño es considerable, lo que podría limitar su uso en clases donde se necesita mayor eficiencia. Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el uso de escáneres 3D en otras áreas educativas y exploren nuevas aplicaciones en la industria, dado que los resultados obtenidos son beneficiosos para la formación integral de los estudiantes y su preparación para el mercado laboral.

Referencias Bibliográficas

Arduino. (2024). *Arduino Uno Overview*. Recuperado el 01 octubre de 2024, de
<https://www.arduino.cc>

Botía, J. y Rincón, G. (2020). Obtención de un modelo 3D de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Sede Vivero Edificio Decanatura y Laboratorios por medio de escáner láser terrestre (Trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá.

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c7260bd-6a1d-4518-a98a-e00e19c8437f/content>

Cieślik, W., Mielcarzewicz, D. and Rawecki, M. (2023). Reverse engineering as a modern methods of test bed modernization. *Combustion Engines*. <https://doi.org/10.19206/ce-171521>

Dassault Systèmes. (2022). SolidWorks 2022: Features and Benefits. Recuperado el 07 de febrero 2024, de <https://www.solidworks.com>

García, I., Domínguez, M. y Espinosa, M. (2021). Escáneres ópticos 3D de mano en ingeniería inversa. *Proyecta 56: An industrial design journal*, 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.25267/P56-IDJ.2021.i1.3>

Gonçalves, R. and Haueisen, J. (2023). Three-Dimensional Immersion Scanning Technique: A Scalable Low-Cost Solution for 3D Scanning Using Water-Based Fluid. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23063214>

Lipowiecki, I., Rządkowski, W., Zapał, W. and Kowalik, M. (2023). Combining the Technology of Long-Range Laser 3D Scanners and Structured Light Handheld 3D Scanners to Digitize Large-sized Objects. *Advances in Science and Technology - Research Journal*. <https://doi.org/10.12913/22998624/166186>

MeshLab. (2021.). MeshLab: Open Source Mesh Processing. Recuperado el 15 de diciembre 2023, de <https://www.meshlab.net>

Mishchuk, Y., Sorochenko, A. and Berezovsky, Y. (2023). Use of reverse engineering methods in the process of restoration of machine parts. *Girnichi, Budivelni*,

Dorozhni Ta Meliorativni Mashini. 101, 53–59

<https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0501>

Monroy, M., Pinzger, M. y Arciniegas, J. (2024). Ingeniería inversa aplicada en función del contexto. *Ingeniería y Competitividad*, 26(1).

<https://doi.org/10.25100/iyc.v26i1.12840>

Montiel, C. (2019). Construcciones con impresora 3D como herramienta de innovación en el futuro (Trabajo de Fin de Grado). Escuela Superior de Arquitectura.

Universidad Politécnica de Valencia.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/135081/Andreu%20-%20CSA-F%20CONSTRUCCIONES%20CON%20IMPRESORA%203D%20COMO%20HERRAMIENTA%20DE%20INNOVACI%c3%93N%20EN%20EL%20FUTURO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Navarro Latorre, S. (2019). *Diseño, montaje y calibrado de un escáner 3D*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/127969>

Pilco, J. (2021). Diseño de un escáner 3D para el análisis biomecánico de la huella plantar para la producción de plantillas ortopédicas utilizando el método de impresión 3D. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, 9(15), 107-118. <https://doi.org/10.5380/relainep.v9i15.79059>

Pourmostaghimi, V., Heidari, F., Khalilpourazary, S. and Qazani, M. (2023). Application of evolutionary optimization techniques in reverse engineering of helical gears: An applied study. *Axioms*, 12(3), 252. <https://doi.org/10.3390/axioms12030252>

Ramírez, I., Arcos, H., Garduño, I. y Chiwo, F. (2024). Sistema Estandarizado para la Optimización de Procesos de Escaneo, Digitalización e Ingeniería Inversa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 6606-6615.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10024

Raza, S., Amjad, M., Ishfaq, K., Ahmad, S. and Abdollahian, M. (2023). Effect of three-dimensional (3D) scanning factors on minimizing the scanning errors using a white LED light 3D scanner. *Applied Sciences*, 13(5), 3303.
<https://doi.org/10.3390/app13053303>

Szmuc, T., Mrówka, R., Brańska, M., Ficoń, J. and Pięta, P. (2023). A novel method for fast generation of 3D objects from multiple depth sensors. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 13(2), 95–105.
<https://doi.org/10.2478/jaiscr-2023-0009>

Tinkercad. (2024). Tinkercad: Free Online 3D Design Tool. Recuperado el 05 de abril de <https://www.tinkercad.com>

Verykokou, S. and Ioannidis, C. (2023). An Overview on Image-Based and Scanner-Based 3D Modeling Technologies. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23.
<https://doi.org/10.3390/s23020596>

Vorkapić, M., Živojinović, D., Kreculj, D., Ivanov, T., Baltić, M. and Simonović, A. (2023). Application of additive technology and reverse engineering in the realization of damaged obsolete parts. *FME Transactions*.
<https://doi.org/10.5937/fme2301031v>

Saavedra, R. y Chamarro, C. (2021). Diseño e Implementación de un Escáner 3D para modelado geométrico de Objetos didácticos para la cátedra de Anatomía Práctica de la Carrera de Odontología de la Universidad Internacional Tres Fronteras. *Anais do XVIII Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (Latinoware 2021)*.
<https://doi.org/10.5753/latinoware.2021.19927>