



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

DOI de la Revista: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

**SISTEMA ESTANDARIZADO PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE ESCANEADO,
DIGITALIZACIÓN E INGENIERÍA INVERSA**

**STANDARDIZED SYSTEM FOR THE OPTIMIZATION
OF SCANNING, DIGITIZATION AND REVERSE
ENGINEERING PROCESSES**

Isaac Luz Ramírez Jiménez
CIATEQ Posgrado, México

Hugo Arcos Gutiérrez
Universidad Marista de San Luis Potosí, Mexico

Isaías Emmanuel Garduño Olvera
Universidad Marista de San Luis Potosí, Mexico

Fernando Sebastián Chiwo González
Universidad Marista de San Luis Potosí, Mexico

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10024

Sistema Estandarizado para la Optimización de Procesos de Escaneo, Digitalización e Ingeniería Inversa

Isaac Luz Ramírez Jiménez¹

isaac.ramirez@ciateq.mx

<https://orcid.org/0009-0001-0117-717X>

Centro de Investigación CIATEQ
México

Hugo Arcos Gutiérrez

hugo.arcos@ciateq.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4267-4850>

Universidad Marista de San Luis Potosí
México

Isaías Emmanuel Garduño Olvera

isaias.garduno@ciateq.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8944-7954>

Universidad Marista de San Luis Potosí
México

Fernando Sebastián Chiwo González

fernando.chiwo@ciateq.mx

1958@umaslp.maristas.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1990-163X>

Universidad Marista de San Luis Potosí
México

RESUMEN

La presente investigación tiene como estudio el tema de escaneo y digitalización en materia de procesos para la ingeniería inversa y la inspección de piezas mecanizadas, estas actividades resultan esenciales en los trabajos relacionados con la liberación de producto terminado, ya que nos permiten visualizar en primer instancia y de manera real objetos por medio de modelos 3D virtuales, para poder analizarlos, dimensionarlos e incluso reproducirlos (Quintanilla, 2017) estos procesos serán descritos como parte del desarrollo de este artículo. El plus a esta presente investigación es cuando se realizan actividades para la obtención de un producto final a partir de piezas físicas; lo cual no siempre resulta fácil, ya que no se cuenta con plano alguno de fabricación, y es donde se recurre al proceso que se denomina Ingeniería Inversa (Reversing). En donde Reversing se refiere a dar la vuelta al proceso de elaboración de un producto final, y la principal motivación es obtener el conocimiento suficiente sobre un producto final para poder reproducir de manera total o parcial el objeto analizado de manera más fiel posible (Garrote, 2018). El origen de esta tecnología no es nuevo, ya que se ha usado desde las primeras civilizaciones, cuando se comenzaron a replicar herramientas y maquinas, teniendo como auge el periodo de la segunda guerra mundial, y hoy en día su campo de aplicación se ha centrado en la industria moderna y en la recuperación del patrimonio cultural de la humanidad.

Palabras clave: ingeniería inversa, inspección dimensional, escaneo, digitalización

¹ Autor principal.

Correspondencia: fernando.chiwo@ciateq.mx

Standardized System for the Optimization of Scanning, Digitization and Reverse Engineering Processes

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the scanning and digitalization, aimed to process in reverse engineering, as well as the inspection of machined pieces. These activities are essential in different tasks related to the release of the final product, since they allow us to visualize the objects, by using virtual 3D models, and at the same time analyze them, sizing them and even replicate them. (Quintanilla, 2017) These processes will be described as part of the development of this article. The importance of this investigation is when a final product is obtained from physical pieces, which is not an easy process, because there is not a manufacturing plane, there is when the reverse engineering process is needed. (Reversing) The principal motivation of this process is to obtain enough knowledge about a final product, and then replicated it as similar as possible. (Garrote, 2018). The origin of this technology is not new, due to it has been used since the very first civilizations, when the replicas of tools and machines started, being the Second World War the boom of this technology. Now a days the range of application has been focused on the modern industry and the recovery of the world cultural heritage.

Key words: reverse engineering, dimensional inspection, scanning, digitalization

Artículo recibido 15 enero 2024

Aceptado para publicación: 10 febrero 2024

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Inversa es aquel proceso donde se lleva a cabo un análisis, medición y pruebas de reconstrucción y/o reproducción de una pieza preservando el diseño original con sus características y detalles. (3Dalia, 2021).

Históricamente la ingeniería inversa ha sido desarrollada por civilizaciones poderosas e ingeniosas, en donde el estudio de cómo están contruidos los objetos que se desean replicar, permiten que se comprenda en un menor tiempo el porqué de cada componente, reduciendo los tiempos que involucra el diseño y sobre todo las pruebas de funcionabilidad, pues el objeto ya está diseñado y funciona, lo que abre la puerta a replicarlo en su totalidad obteniendo el mismo resultado o algo aún mejor que es replicar y mejorar el diseño original, lo cual permitía generar una mayor ventaja ya sea productiva o en aplicaciones bélicas (Creaform3D, 2021)

La ingeniería inversa como tal no nació en el mundo de la ingeniería del software. Desde que se han fabricado aparatos o dispositivos mecánicos, el interés por conocer su funcionamiento interno y detallado ha motivado a llevar a cabo procesos de ingeniería inversa para comprender el funcionamiento. (Garrote , 2018).

En la actualidad se recurre a esta técnica con la finalidad de obtener la máxima información de un producto, no solo se enfoca en el producto si no que involucra todos los periféricos que en el intervinieron, los cuales son:

Proceso de fabricación, componentes, interacción de los componentes y el producto, materiales, tratamientos superficiales, tratamientos térmicos y un análisis de funcionamiento.

Englobando todos estos periféricos, se tendría información útil aun cuando no se conoce información previa del producto a analizar.

En el proceso de la ingeniería inversa se trabaja en un sistema que va de lo general, y conforme se va analizando y comprendiendo se llega a conocer lo específico de cada componente de un producto.

La ingeniería inversa no siempre se utiliza para innovar, o mejorar un producto, En un mercado global tan competitivo como el que vivimos, las empresas buscan constantemente la manera de rentabilizar sus procesos y aumentar beneficios económicos. Una de las formas de alcanzar estos objetivos consiste en acortar los plazos de entrega, y en general ahorrar tiempo (y por lo tanto dinero) en el desarrollo y



fabricación de productos. La reducción de estos plazos pasa por hacer un uso de métodos y procedimientos modernos y tecnológicos que ayuden en el ahorro. (Flores, 2024)

El prototipado rápido y las técnicas de ingeniería inversa se consideran fundamentales a la hora de optimizar el ciclo de desarrollo de producto. A diferencia de la ingeniería directa, la ingeniería inversa parte del producto final para su modificación y mejora. Dentro de este campo existen muchas técnicas y maquinaria para obtener y analizar la información del producto. (Flores, 2024)

En la revisión de trabajos previos, (Velazquez, Jimenez, & Ontiveros, 2021), expone que la ingeniería inversa podría potencializar la enseñanza de la Metrología, el diseño y la fabricación.

Mattia Mercante usa la reproducción 3D para reemplazar piezas perdidas de esculturas y obras de arte en el mundialmente famoso Instituto Opificio de Florencia; así, los visitantes pueden contemplar las obras de arte como idearon los artistas. (FormLabs, 2018)

El desarrollo y la innovación tecnológica ha sido en gran medida al uso de la ingeniería inversa e incluso puede utilizarse para malas prácticas como lo podría ser el espionaje industrial y la piratería. Una tendencia que parece indudable es que a medida que vaya aumentando la cuota de comercio mundial asiático, también aumentara en el mundo el suministro de artículos piratas. (Marquand, 2002)

Países asiáticos han desarrollados laboratorios de Ingeniería inversa para el desarrollo de un sin fin de productos que se comercian en muchas partes del mundo, para replicarlos y comercializarlos directamente ellos.

El problema de investigación que el presente artículo pretende abordar es la falta de un proceso estandarizado el cual busca satisfacer las necesidades idóneas para la realización de los procesos de escaneo y digitalización en donde nuestras mediciones se realizarán en campo y se tiene considerado que pueden influir factores externos como la temperatura y la iluminación. El Dr. Yoshio Kondo, señala que el objetivo de la estandarización de los procesos en las organizaciones es lograr alcanzar procedimientos y tácticas definidas para obtener bienes y servicios a precios razonables. (Kondo, 1994)

La profundización de este tema busca reducir los tiempos para la entrega de los resultados obtenidos en los servicios de ingeniería relacionados al escaneo y digitalización, este trabajo de manera general es lento pero preciso, por tal motivo será necesario crear una nueva metodología la cual ayudará a la

realización de esta actividad y permitirá obtener los mejores resultados con procesamiento de la información recabada.

La optimización del proceso sin afectar los resultados finales será de gran utilidad, ya que de manera laboral se pueden reducir los tiempos de entrega con los clientes y permitirá poder incrementar la capacidad de respuesta de los servicios, en donde se ve una reducción de costos al realizar el servicio en una sola visita en caso de que esa planta. Según la ISO, los procesos son un conjunto de actividades relacionadas entre sí o que interactúan, transformando elementos de entrada en elementos de salida. (Norma Internacional ISO, 2015)

A manera de resumen el presente artículo busca dar respuesta a que si la aplicación de un nuevo proceso estandarizado en los servicios de escaneo y digitalización realizados en el laboratorio de ingeniería virtual y manufactura pueden reducir los tiempos de ejecución y la confiabilidad del proceso.

METODOLOGIA

El presente proceso emplea un diseño experimental, con un enfoque cualitativo con estudio longitudinal, en donde se analizó un elemento de estudio en 12 diferentes escenarios, tomando en cuenta factores externos como la temperatura, empleando como instrumento de recolección de datos y post procesamiento el equipo compac scan Atos II de la marca Gom.

El elemento de estudio en todas sus iteraciones cumplió con criterios de repetibilidad, denotando que el proceso empleado es confiable y preciso. En donde se define como Repetibilidad de los resultados de las mediciones: a la cercanía entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud por medir, efectuadas en las mismas condiciones de medición. (LLamosa, 2007)

La seguridad de los datos obtenidos está basada en la utilización correcta de la metodología apropiada con los procesos correctos para poder determinar que son confiables y precisos los procesos. (Micheli, 2009)

Los instrumentos de medición realizan compensaciones térmicas en base a sus sensores internos, sin embargo, por más que los sensores y el efecto de la compensación sean de alta calidad no están exentos de errores e incertidumbre. (Brambilla, 2017)

Gráfico 1.- Proceso de Escaneo, digitalización e inspección dimensional.

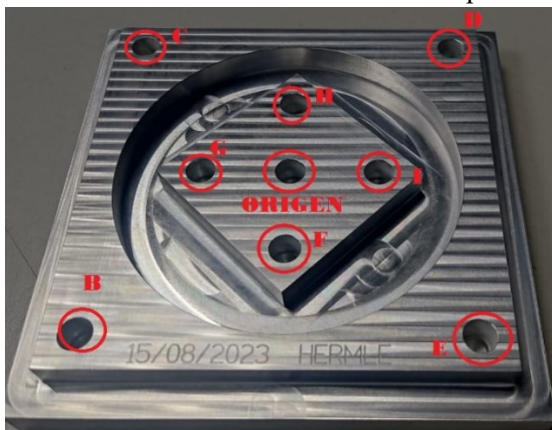
PROCESO ESTANDAR PARA: ESCANEO, DIGITALIZACION E INSPECCION DIMENSIONAL		
Paso 1 Instalación del equipo	Paso 2 Calentamiento del equipo	Paso 3 Calibración del equipo
Paso 4 Limpieza de la pieza	Paso 5 Mateado de la pieza	Paso 6 Colocación de targets
Paso 7 Estabilización térmica de la pieza/ambiente	Paso 8 Escaneo de la pieza	Paso 9 Limpieza de la pieza
Paso 10 Poligonización de la pieza	Paso 11 Inspección dimensional en software	Paso 12 Generación de reporte dimensional

El seguimiento del proceso paso a paso nos permitió en gran medida eliminar la posibilidad de un sesgo en el diseño del estudio de investigación el cual hubiese podido afectar directamente en la información que fue recopilada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

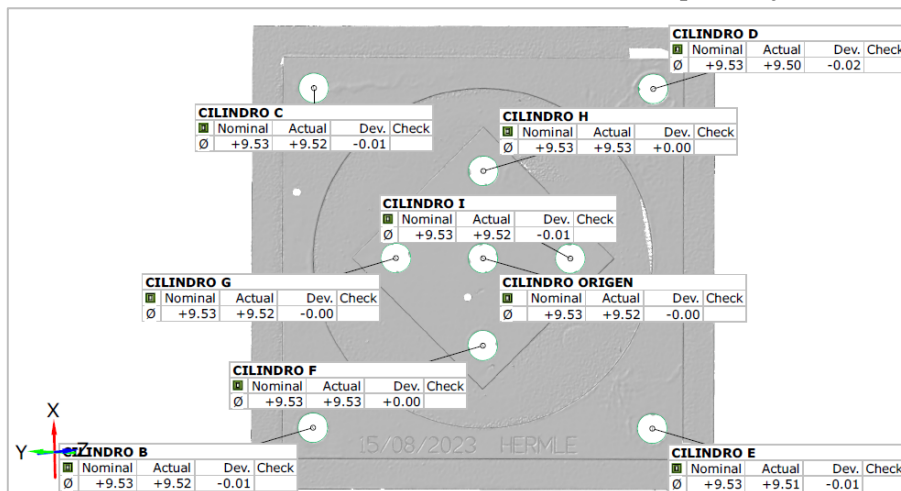
El caso abordado muestra una de las zonas de interés donde se presenta la mayor cantidad de variaciones en una pieza como en este ejemplar de estudio, la mayor variación corresponde a la zona de barrenos, ya que la generación de un barreno se crea por el promedio de la superficie que es visualizada, y esta medida no solo afecta la dimensión que se tiene posterior a la inspección del diámetro del cilindro generado, y este repercutirá en la posición cartesiana que se pueda tener de dicho barreno, pues el centro del mismo es determinado por el cilindro que fue generado por medio de lo que ha visualizado y promediado con un best fit el escanear Atos II.

Gráfico 2.- Barrenos de interés de una pieza mecanizada de aluminio con zonas de interés.



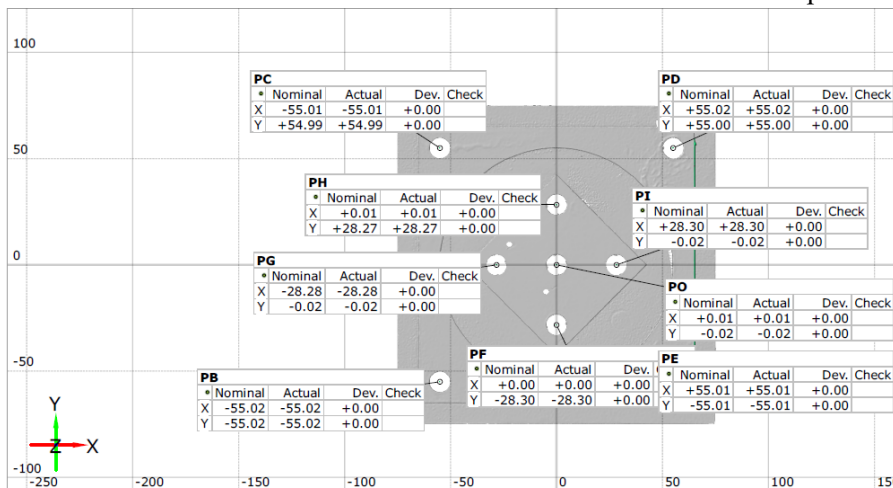
En el siguiente grafico se observa el comportamiento dimensional de cada cilindro inspeccionado; en donde se muestra del lado izquierdo de cada cota la medida nominal del mismo (9.53 mm) y del lado derecho el valor actual que obtiene al realizar la medición.

Gráfico 3.- Medidas diametrales en cubo de verificación para 3 ejes en iteración 1



En el segundo grafico de esta iteración se observa la posición en el plano cartesiano del origen de cada cilindro, como se mencionó anteriormente, la generación del cilindro para su inspección dimensional no solo nos permite obtener su valor diametral, si no que nos muestra donde se encuentra posicionado en el plano cada cilindro.

Gráfico 4.- Posición cartesiana de cilindros en cubo de verificación para 3 ejes en la iteración 1.



Este estudio muestra que los resultados pueden verse afectados por muchos factores externos como lo es realizar mediciones sin que el equipo calibrado, que el delta de temperatura entre la primera medición y la última medición sea mayor a 6 °C, ruido o mala calidad en la obtención de la malla, selección errónea de la superficie para conformar el cilindro, entre otros factores.

A continuación, se presentan los resultados de las iteraciones obtenidos por medio del compac scan Atos II.

Tabla 1.- Resultados de iteraciones en medida de diámetros (9.53mm) de pieza de aluminio.

ITERACION	Cilindro								
	ORIGEN	B	C	D	E	F	G	H	I
1	9.52	9.52	9.52	9.5	9.51	9.53	9.52	9.53	9.52
2	9.51	9.51	9.52	9.5	9.5	9.51	9.51	9.51	9.51
3	9.51	9.52	9.51	9.48	9.45	9.52	9.52	9.51	9.51
4	9.51	9.52	9.52	9.51	9.49	9.52	9.52	9.51	9.52
5	9.52	9.54	9.51	9.49	9.42	9.52	9.52	9.53	9.53
6	9.52	9.52	9.52	9.5	9.51	9.53	9.52	9.53	9.52
7	9.52	9.52	9.51	9.51	9.52	9.51	9.52	9.52	9.52
8	9.51	9.52	9.52	9.52	9.52	9.52	9.51	9.51	9.51
9	9.52	9.62	9.52	9.52	9.52	9.52	9.51	9.51	9.51
10	9.52	9.53	9.53	9.52	9.53	9.52	9.52	9.52	9.52
11	9.51	9.52	9.5	9.5	9.52	9.52	9.51	9.51	9.51
12	9.51	9.5	9.5	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
PROMEDIO	9.515	9.528333	9.515	9.505	9.5	9.519167	9.515833	9.516667	9.515833
DESVIACION STD	0.0049	0.0091	0.0087	0.0111	0.0309	0.0064	0.0049	0.009	0.0064
ERROR RELATIVO	0.0518	0.0959	0.091	0.1173	0.3258	0.0672	0.0518	0.0943	0.0673

Gráfico 5.- Reporte dimensional obtenido por medio de CMM.

El. No.	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Up/Lo	Z-Coord. Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error
58		CILINDRO B Gauss	8	55.010	-54.993	-4.502	9.522
				89.974	89.831	0.171	
61		CILINDRO C Gauss	8	55.009	55.000	-4.502	9.521
				89.871	90.011	0.129	
64		CILINDRO D Gauss	8	-55.016	55.006	-4.500	9.517
				90.181	89.951	0.188	
67		CILINDRO E Gauss	8	-55.004	-54.999	-4.501	9.525
				90.017	89.994	0.018	
70		CILINDRO F Gauss	8	0.005	-28.285	-4.500	9.523
				89.946	89.954	0.071	
73		CILINDRO G Gauss	8	28.290	0.001	-4.501	9.521
				89.968	89.922	0.084	
76		CILINDRO H Gauss	8	-0.003	28.296	-4.500	9.508
				89.991	90.344	0.344	
79		CILINDRO I Gauss	8	-28.288	0.000	-4.503	9.524

Resultados obtenidos mediante la inspección dimensional de una mesa de coordenadas (CMM), los valores subrayados en amarillo corresponden al objeto de estudio en el orden de B a I y su relación en orden descendente.

Como se puede observar en ambas tablas de resultados, el promedio que se tiene en la medida final de cada barreno es similar y arroja una diferencia entre ambos sistemas CMM y el escáner una diferencia promedio de 0.01 mm.

Tabla 2.- Promedio de medidas diametrales obtenidas por el escáner y la CMM.

	B	C	D	E	F	G	H	I	Promedio
Compac Scan Atos II	9.52	9.515	9.504	9.499	9.519	9.516	9.518	9.516	9.513375
CMM Mitutoyo	9.522	9.521	9.517	9.525	9.523	9.521	9.508	9.524	9.520125

La interpretación de la desviación estándar muestral que se presenta con respecto al promedio de las medidas diametrales es no mayor 0.01 mm en promedio.

El nuevo proceso arroja un error relativo máximo de 0.01 mm el cual nos indica que el proceso que se está siguiendo es confiable y sus resultados son muy precisos.

Por tal motivo con estos valores obtenidos permiten tener una mayor confianza del nuevo proceso de escaneo y digitalización que se ha estado empleando para la obtención de los datos aquí mostrados.

Con base a estos resultados estadísticos obtenidos se puede justificar y validar que el nuevo proceso permitirá tener un proceso optimo, el cual podrá asegurar la confiabilidad en la medición obtenida y por ende la reducción de tiempos al no tener que verificar las medidas con otros métodos de inspección dimensional.

CONCLUSIONES

El objetivo general de la presente investigación consistió en la elaboración de una nueva metodología que permitiera disminuir los tiempos generales en los cuales se ejecutaban los trabajos relacionados al escaneo y la digitalización de las piezas en procesos de inspección e ingeniería inversa.

Dicho proceso se desarrolló con un escáner de la marca Gom; el proceso fue simulado en 12 iteraciones diferentes escogidos aleatoriamente, donde se replicaba cada paso del proceso de operación elaborado.

Del cual se obtuvieron los datos de intereses, para al término de este ejercicio poder realizar un análisis.

En nuestro ejercicio de escaneo e inspección dimensional aleatorio se obtuvieron valores menores de error relativo de 0.09% (menor al 1%), lo cual nos indica que la calidad de la medición es buena y precisa.

Para el caso de nuestro ejercicio de escaneo e inspección la desviación estándar obtenida es menor a 0.01 lo cual nos indica que los valores que se obtuvieron se encuentran muy cerca del valor central, por tal motivo el proceso nos muestra que el proceso que se está empleando es eficaz para ser empleado como herramienta de medición.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 3Dalia. (7 de julio de 2021). <https://3dalia.com>. Obtenido de <https://3dalia.com/ingenieria-inversa-todo-lo-que-necesitas-saber/>
- Brambilla, N. (2017). Acondicionamiento ambiental de un laboratorio de metrología dimensional: seño, implementación y evaluación de funcionamiento. *CEMETRO*.
- CreaForm. (27 de abril de 2022). *Creaform Ametek*. Obtenido de [creaform3d.com](https://www.creaform3d.com): <https://www.creaform3d.com/blog/es/que-es-ingenieria-inversa/>
- Creaform3D. (27 de abril de 2021). *Creaform3D*. Obtenido de <https://www.creaform3d.com>: https://www.creaform3d.com/blog/es/que-es-ingenieria-inversa/#Donde_se_utiliza_la_ingenieria_inversa
- Flores, P. (2024). Ingeniería inversa y prototipado. *Ingeniería inversa y prototipado*. Universidad de Málaga, Málaga.
- FormLabs. (26 de junio de 2018). <https://formlabs.com/>. Obtenido de FormLabs: <https://formlabs.com/blog/how-3d-printing-brings-antiquities-back-to-life/>
- Garrote , R. G. (2018). *Reversing Ingeniería Inversa*. Bogotá: Editoria Ra Ma .
- Kondo, Y. (1994). Control de la calidad en toda la compañía: sus antecedentes y su desarrollo.
- LLamosa, L. (Agosto de 2007). Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados. Pereira, Colombia.
- Lopez, E., & Bracamontes, L. (2020). La ingeniería inversa como metodología para potencias la enseñanza de la metrología. *Simposio de metrología, 2-8*.
- Marquand, R. (9 de Enero de 2002). China´s pirate industry thriving. Beijing.
- Micheli, E. (31 de Diciembre de 2009). Estadística aplicada a la investigación. Lima, San Miguel, Perú.
- Norma Internacional ISO. (2015). Norma Internacional ISO 9001:2015. En O. i. normalización.
- Quintanilla, R. E. (01 de Febrero de 2017). Diseño e implementación de prototipo escaner 3D. Santa Tecla, La Libertad, El Salvador .
- Velazquez, L., Jimenez, E., & Ontiveros, S. (2021). *On the reverse engineering and engineering education in general*. Brazil: Road.



Hernandez, G. (2021). Uso de escaneo 3D y manufactura aditiva para el prototipado de protesis, México.

Borja, V. (1997)” Redesign Supported by data models with particular reference to reverse engineering. PhD Thesis, Loughborough University,