



TESIS PROFESIONAL

**SCANNER 3D PARA LA
FABRICACIÓN DE
COMPONENTES MECÁNICOS
MEDIANTE INGENIERÍA
INVERSA**



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



SCANNER 3D PARA LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MARTÍNEZ DE LA
TORRE

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:
LICENCIADO (A) EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

Presenta:

JUAN CARLOS TEPEZILA GARCÍA

Asesores:

**M.I.I. CÉSAR ARGÜELLES LÓPEZ
ING. JOSÉ ANTONIO DE LA ROSA GONZÁLEZ
ING. JOSÉ MANUEL LÁZARO VÁZQUEZ.**

Martínez de la Torre, Veracruz (marzo 2022)

FICHA TÉCNICA

Estudiante

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Tepezila

García

Juan Carlos

No. de control: 17010043

Carrera: Ingeniería Mecatrónica

Correo: 17010043@tecmartinez.edu.mx

Asesor(es) y/o colaboradores ITSMT

M.I.I. César Argüelles López

Ing. José Antonio de la Rosa González

Ing. José Manuel Lázaro Vázquez.

Datos del lugar donde se desarrolló el proyecto

Nombre o razón social

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MARTÍNEZ DE LA TORRE

Dirección (calle, número, colonia, ciudad, código postal)

Camino a Cartago S/N, Ejido Vega Redonda, C.P.93610, Martínez de la Torre, Veracruz de Ignacio de la Llave, México.

Asesor externo: M.C.I.M. Hemet Bautista Ruíz

Departamento: Ingeniería Mecatrónica

Cargo: Jefe de división de carrera de Ingeniería Mecatrónica

Correo: mecatronica@tecmartinez.edu.mx

Teléfono y extensión: +52 2321545041

FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL

	Liberación de Proyecto para la Titulación Integral	Pág. 1/1
---	--	-------------

Martínez de la Torre, Veracruz a 20 de Mayo de 2022

C. ING. LIBNI MERARI GONZÁLEZ GALICIA

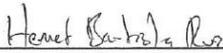
Jefe(a) de la División de Estudios Profesionales o su equivalente en los Institutos Tecnológicos Descentralizados

PRESENTE

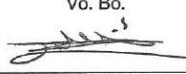
Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado:	Juan Carlos Tepezila García
Carrera:	Ingeniería Mecatrónica
No. De control:	170I0043
Nombre del proyecto:	Scanner 3D para fabricación de componentes mecánicos mediante ingeniería inversa
Producto:	9. Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación de nuestros egresados.


 ATENTAMENTE
 Héctor Barrios Ros
 Jefatura de División de Carrera de Ingeniería Mecatrónica


 JEFATURA DE CARRERA
 ING. MECATRÓNICA

Vo. Bo. 	Vo. Bo. 	Vo. Bo. 
M.I.I. César Argüelles López	Ing. José Antonio De La Rosa González	Ing. José Manuel Lázaro Vázquez

* Solo aplica para el caso de tesis o tesina
C.c.p.- Expediente

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
 DE MARTÍNEZ DE LA TORRE
RECIBIDO
 06 JUN 2022
 DEPARTAMENTO DE SERVICIO SOCIAL
 Y REFERENCIAS PROFESIONALES
 Recibido:  Hora: 12:23 p.m.

F-11-07REV.04

F-11-07 Rev. 4

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE ENTREGA DE TESIS EN SOPORTE DIGITAL

	Carta de Autorización de Entrega de Tesis en Soporte Digital	Página 1 de 1
---	--	---------------

No. de Oficio: DET/ITSMT/DA/IMT/067/2022

ASUNTO: Autorización de entrega

Martínez de la Torre, Ver., a 08 de junio de 2022.

C. JUAN CARLOS TEPEZILA GARCÍA
No DE CONTROL 17010043
EGRESADO (A) DE LA CARRERA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el Lineamiento para la Titulación Integral.

Por tal motivo se autoriza la entrega de la Tesis en soporte digital titulada:

Scanner 3D para fabricación de componentes mecánicos mediante ingeniería inversa

Dándose un plazo máximo de 30 días naturales a partir de la fecha de la expedición de la presente para realizar la solicitud del Acta de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE


Ing. José Antonio De La Rosa González
Presidente de Academia de Ingeniería
Mecatrónica

C.c.p. División de Estudios Profesionales
C.c.p. Archivo


JEFATURA DE CARRERA
ING. MECATRÓNICA


Ing. Hernet Bautista Ruiz
Jefe de Carrera de Ingeniería
Mecatrónica

F-11-09
Rev. 1

DEDICATORIA

Estoy gratamente agradecido con aquellos que me apoyaron desde el inicio, a mi madre y a mis mejores amigos. Espero que mis esfuerzos hayan valido la pena para hacerlos sentir orgullosos. ¡Gracias!

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que me ayudaron a llegar hasta el punto en el que me encuentro ahora, en la última etapa de mi carrera profesional, a punto de finalizar mis estudios, es por eso que deseo agradecer a todo el personal docente del ITSMT que durante mi estancia en la institución me brindó los conocimientos necesarios para finalizar con éxito la residencia profesional, sin duda todo lo aprendido sirvió para sentirme preparado. Finalmente quiero agradecer a mis asesores interno y externo, que me guiaron y ayudaron durante todo el proceso, el M.I.I César Argüelles López y el M.C.I.M Hemet Bautista Ruíz.).

RESUMEN

Un escáner 3D es un dispositivo de medición empleado para digitalizar objetos reales a representaciones tridimensionales mediante una nube de puntos, facilitando el estudio y obteniendo información importante de diseño. Son comúnmente usados en sectores como la ingeniería y medicina (ejemplo de ello es en la captura del rostro humano) por la necesidad de registrar información precisa de elementos que intervienen en un proceso, tanto para la investigación, como para el desarrollo de productos. Actualmente en el ITSMT no se cuenta con un escáner 3D, pese a que temas como ingeniería inversa son vistos en diferentes materias a lo largo del plan de estudios de ingeniería mecatrónica, es importante asegurar los estudiantes conozcan sobre estos temas, porque más allá de simplemente escanear, la ingeniería inversa realiza análisis de estructura, permite conocer cómo se diseñó una pieza, realiza análisis aerodinámicos, estudia a la competencia, etc. En definitiva, el disponer con un dispositivo de estos en la formación académica incrementa los recursos de los estudiantes para desarrollar proyectos y ahorrar tiempo, si a esto se le suma el uso de impresoras 3D, las posibilidades incrementan significativamente. Contar con un laboratorio de electrónica con variedad de dispositivos asegurará la máxima enseñanza a las nuevas generaciones de estudiantes de ingeniería Mecatrónica. Por este motivo, el propósito de este proyecto es construir un escáner 3D para aplicar ingeniería inversa y digitalizar objetos mecánicos. El producto final cuenta con el aditamento de una mesa giratoria, diferenciándose de los típicos escáneres manuales en los cuales hay que desplazarse alrededor de toda la pieza para cada captura de imagen. La información técnica, el proceso de diseño (metodología), la elaboración de bosquejos, simulación en software CAD, redacción de manuales y construcción del prototipo son solo algunas etapas que se describen conforme se avanza en este documento.

Palabras Clave: *ingeniería inversa, escáner, digitalización, nube de puntos.*

ABSTRACT

A 3D scanner is a measurement device used to digitalize real objects into three-dimensional representations through a point cloud, facilitating study and obtaining important design information. They are used in sectors such as engineering and medicine (an example of this is in the capture of the human face) due to the need to record precise information on elements that intervene in a process, both for research and for product development. Currently the ITSMT does not have a 3D scanner, despite the fact that topics such as reverse engineering are seen in different subjects throughout the mechatronics engineering curriculum, it is important to ensure that students know about these topics, because beyond simply scanning, reverse engineering performs structure analysis, allows knowing how a part was built, performs aerodynamic analysis, studies the competition, etc. In short, having one of these devices in academic training increases the resources of students to develop projects and save time, if this is added to the use of 3D printers, the possibilities increase significantly. Having an electronics laboratory with a variety of devices will ensure maximum education for the new generations of mechatronics engineering students. For this reason, the purpose of this project is to build a 3D scanner to reverse engineer and digitalize mechanical objects. The final product has the addition of a rotary table, differing from typical manual scanners in which you have to scan around the entire part for each image capture. The technical information, the design process (methodology), the elaboration of sketches, simulation in CAD software, writing of manuals and construction of the prototype are just some of the stages that are described as this document progresses.

Keywords: *reverse engineering, scanner, digitalization, point cloud.*

CONTENIDO

FICHA TÉCNICA	V
FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL	VI
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE ENTREGA DE TESIS EN SOPORTE DIGITAL	VII
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTOS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CONTENIDO	XII
LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE CUADROS	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
4.1 OBJETIVO GENERAL	5
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
5. HIPÓTESIS	5
6. MARCO TEÓRICO	6
6.1 Ingeniería inversa.....	6
6.1.1 Historia de la ingeniería inversa.....	8
6.1.2 Proceso general de la ingeniería inversa	10
6.1.3 Aplicaciones de la ingeniería inversa.....	16
6.2 Escáner 3D	18
6.2.1 Tipos de escáneres 3D.....	21
6.3 Software 3D	23
6.3.1 Software de escaneado 3D	25
6.4 Tecnologías de escaneado 3D.....	27
6.4.1 Método de triangulación láser	27
6.4.2 Luz estructurada	29
6.5 Kinect.....	30
6.6 Arduino	35
6.6.1 Entradas	35

6.6.2 Salidas	35
6.6.3 Alimentación	35
6.6.4 Comunicación.....	35
6.6 Plataforma giratoria	36
6.6.1 Motor	36
6.6.2 Driver	38
6.6.3 Rodamientos.....	40
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
7.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	41
6.1.1 Investigación de los escáneres 3d dominantes en el mercado.....	42
6.1.2 Generación de características	43
6.1.3 Presentar la propuesta según el punto anterior.....	44
6.1.4 Diseñar el dispositivo.....	44
6.1.5 Selección de los componentes.....	47
6.1.6 Construcción del prototipo.....	50
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
9. CONCLUSIÓN	63
10. RECOMENDACIONES.....	64
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
12. ANEXOS	69
Especificaciones	71
Requerimientos del Kinect	71
Uso del sensor Kinect.....	72
Conexión del Kinect con pc.....	73
Uso de la mesa de rotación.....	74
Instalación del software KScan 3D.....	76
Descripción del Software KScan3D	79
Realizar la conexión del software con Kinect	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Uso de un escáner 3D manual para la digitalización de un automóvil.	7
Figura 2.- Escaneo de la cabeza de una persona.....	9
Figura 3.- Diagrama general de la ingeniería inversa.....	10
Figura 4.- Escáner 3D.....	11
Figura 5.- Procesamiento de datos de la figura 3.....	12
Figura 6.- Modelo 3D de una pieza mecánica.....	12
Figura 7.- MasterCAM, software 3D.....	13
Figura 8.- Mecanizado CNC de un modelo 3D.....	14
Figura 9.- Relación entre el prototipado rápido y la ingeniería inversa.....	15
Figura 10.- Aplicación de RE en medicina.....	16
Figura 11.- Modelado 3D.....	18
Figura 12.- Proceso de escaneado en la industria.....	19
Figura 13.- Nube de puntos y malla de triángulos.....	19
Figura 14.- Escáner de contacto.....	21
Figura 15.- Escáner sin contacto con base rotatoria.....	23
Figura 16.- Interfaz de KScan 3D.....	25
Figura 17.- Modelo 3D en MeshLab.....	26
Figura 18.- Método de triangulación láser.....	27
Figura 19.- Proceso de triangulación láser.....	28
Figura 20.- Método de luz estructurada.....	29
Figura 21.- Escaneo mediante luz estructurada.....	29
Figura 22.- Sensor Kinect de Xbox 360.....	30
Figura 23.- Ángulo no recomendado del lente del escáner con el objeto a escanear.....	32
Figura 24.- Vista superior de como se deben colocar Kinect y el objeto a escanear.....	33
Figura 25.- Forma ideal de colocar el kinect desde una vista lateral.....	33
Figura 26.- Uso de Kinect para la extracción de modelos de un maniquí.....	34
Figura 27.- Diseño de ropa sobre un modelo 3D de un maniquí.....	34
Figura 28.- Mesa rotatoria.....	36
Figura 29.- Motor Nema 17.....	37
Figura 30.- Pinout del motor Nema 17.....	37
Figura 31.- Driver A4988.....	39
Figura 32.- Driver DRV8825.....	39
Figura 33.- Rodamiento para cargas radiales (izquierda) y rodamiento para cargas axiales (derecha).....	40
Figura 34.- Metodología para el desarrollo del proyecto.....	41
Figura 35.- Bosquejo de la plataforma giratoria.....	44
Figura 36.- Bosquejos base rotatoria.....	45
Figura 37.- Chasis del escáner.....	45
Figura 38.- Base rotatoria del escáner.....	46
Figura 39.- Concepto general de la base rotatoria.....	46
Figura 40.- Motor Nema 17.....	47
Figura 41.- Driver A4988.....	48
Figura 42.- Rodamiento 51111.....	48
Figura 43.- Elemento antideslizante.....	48
Figura 44.- Fuente de poder 12V a 2A.....	49
Figura 45.- Disco de madera.....	49
Figura 46.- Arduino nano.....	49
Figura 47.- Kinect 2010.....	50

Figura 48.- Perfil de aluminio	50
Figura 49.- Base de madera de pino.....	51
Figura 50.- Base rotatoria.....	51
Figura 51.- Cubierta del motor.....	52
Figura 52.- Implementación de los rodamientos.....	53
Figura 53.- Vista superior de la mesa de rotación.....	53
Figura 54.- Pinout Driver A4988	54
Figura 55.-Resistencia SMD del A4988.	55
Figura 56.- Calibración del driver.....	56
Figura 57.-Circuito electrónico en PCB Wizard y circuito impreso.. ..	57
Figura 58.- Primer escaneado.....	58
Figura 59.- Escaneado final.....	58
Figura 60.- Motor nema 17 en KScan3D.....	59
Figura 61.- Manija mecánica vs modelo 3D.....	59
Figura 62.- Motor monofásico en buena iluminación vs original.....	60
Figura 63.- Motor monofásico en baja iluminación.....	60
Figura 64.- Molino mecánico 3d vs modelo original.....	61
Figura 65.- Malla de puntos de un molino mecánico.....	61
Figura 66.- Mesa de escaneo.....	62

LISTA DE CUADROS

Tabla 1.- Software complementos para ingeniería inversa.....	23
Tabla 2.- Modelos de escáneres 3D predominantes en el mercado.....	42

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería inversa (RE por sus siglas en inglés) es una forma diferente de estudiar elementos y comprender como funcionan, es un proceso que agiliza la extracción de información y más importante, la manipulación de estos datos. En ingeniería sirve para digitalizar objetos existentes del mundo real en el mundo digital, modificarlos, someterlos a diferentes escenarios, reconstruirlos y comprender como funcionan, en medicina facilita capturar el rostro humano para su análisis, estudiar los modelos 3D del cuerpo humano para fabricar prótesis que se ajustan perfectamente al paciente, en software permite tomar un programa del cual el código fuente o la documentación no está disponible y tratar de recuperar detalles sobre su diseño e implementación. De forma general, la RE es un proceso en el que un objeto (como un motor, el cuerpo humano, o un programa de software) se deconstruye de una manera que se revelan sus detalles más internos, como su diseño y arquitectura. Para propósitos de esta investigación se delimita el tema a la aplicación de la ingeniería inversa a la digitalización y estudio de elementos que existen en el mundo real, por lo que para el caso de software no se tratará más.

Habiendo mencionado todo esto, puede interpretarse que el propósito de RE es crear “copias” del modelo original, pero nada más lejos de la realidad. Este tipo de ingeniería con el uso de escáneres 3D permite digitalizar completamente elementos de la realidad transfiriendo una copia exacta visible a través de un modelo tridimensional.

La ingeniería inversa es el proceso de probar y analizar un sistema o un dispositivo para identificar, comprender y documentar su funcionalidad. RE es una herramienta eficiente en la evaluación comparativa industrial donde los productos de la competencia se analizan y evalúan en cuanto a rendimiento y costos. (Bani M. & Tutunji T, 2012, p.3)

El escáner convierte al objeto en una nube de puntos, o, en otras palabras, lo convierte en una nube de información que un software especializado puede interpretar para crear el modelo 3D, y de este poder manipularlo para cualquiera que sea el objetivo, desde crear una copia de seguridad del diseño, hasta restaurar objetos dañados para darnos una idea de cómo eran originalmente.

Los escáneres 3D hoy en día en el mercado se encuentra en demanda y presentan elevados costes. Por ello, una forma accesible de realizar prácticas de RE es usar el sensor de Microsoft Kinect, aunque no estaba originalmente destinado para esto, Kinect proporciona muy buenos resultados. y con ayuda de un software 3D cualquier persona con este dispositivo puede hacer prácticas y adentrarse en el tema.

Finalmente, este documento de investigación se encuentra organizado en 12 capítulos que sustentan el desarrollo de este proyecto. Lo siguiente es una descripción detallada de cada una de las partes.

- Del capítulo 2 al 4 se presenta la información relacionada a la propuesta y definición del proyecto desarrollado, el problema de la investigación donde se enuncia el problema de forma que se describe cual es la situación a atender y por qué debe ser solucionada, la justificación de porque se realizó, los objetivos a cumplir y la hipótesis.
- El capítulo 6 está destinado a todo el respaldo teórico que auxilia al desarrollo del proyecto de diseñar un escáner para digitalizar objetos mecánicos mediante ingeniería inversa. Temas como el proceso general de RE, aplicaciones, tipos de tecnologías de escaneado y software 3D son descritos en esta sección.
- En el capítulo 7 se describe con detalle, precisión y apego a la metodología seleccionada, las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto, que contribuyeron al logro de los objetivos planteados, la metodología y los pasos que se siguieron para realizar prácticas demostrables del escaneo 3D.
- En el capítulo 8 se muestran los resultados obtenidos y lo que se logró con la realización del proyecto
- El capítulo 9 es un recuento final de lo que se hizo en el trabajo destacando los hallazgos y aportaciones a la disciplina.
- Finalmente, del capítulo 10 al 12 se presenta las recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos obtenidos como finalización de dicho proyecto.

2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Si el desarrollo de una simulación requiere de implementar una pieza de la cual no se poseen planos técnicos, llevaría mucho tiempo capturar todas las medidas del objeto, si es que no sería imposible debido a la naturaleza de los instrumentos de medición, por ejemplo, si se quiere hacer el análisis de esfuerzos presente en un molino manual de granos, este elemento mecánico presenta una superficie con muchos desniveles y cambios de forma, por lo que “medirlo” sería muy complicado, aunado al posterior dibujo en software CAD. La forma más sencilla de lograr esta práctica sería tomar un molino de mano de granos y digitalizarlo mediante ingeniería inversa para obtener esa información de diseño y posteriormente realizar el análisis de esfuerzos, asociado a esto, actualmente en el ITSMT no se cuenta con un escáner 3D, sin embargo, dentro de la retícula de Ingeniería Mecatrónica hay asignaturas que abordan el tema de ingeniería inversa. Es importante que los estudiantes de ingeniería mecatrónica conozcan sobre este tema por razones de desarrollo de proyectos y el campo laboral. La ingeniería inversa puede acortar el tiempo de desarrollo del producto. Captura rápidamente un producto en formato digital 3D y exporta los datos para la creación rápida de prototipos, herramientas o fabricación.

Poniendo otro ejemplo: se está laborando es una empresa manufacturadora. Una pieza de una máquina falla y se necesita una pieza de repuesto. Pero el fabricante ha descontinuado la máquina y ya no fabrica piezas para ella. Una posible solución que se podría aplicar para no cambiar la máquina sería aplicar ingeniería inversa para mandar a fabricar una pieza de repuesto a partir de la pieza defectuosa, lo que evita que la máquina quede fuera de servicio y no detener el proceso por mucho tiempo.

3. JUSTIFICACIÓN

Los escáneres 3D de hoy en día son compactos, precisos, y permiten capturar la información total de un objeto en cuestión de minutos, es de esperarse que sean populares en ámbitos como la ingeniería o medicina. Solo por poner un ejemplo, en el diseño protésico, el escaneo tridimensional combinado con la impresión 3D permite crear prótesis que se ajusten perfectamente a la extremidad de la persona. Otra aplicación se encuentra en la industria dental, donde, gracias a los escaneos 3D se producen implantes, coronas y dentaduras postizas que se adaptan perfectamente a la mandíbula del paciente.

Por otro lado, durante el proceso de desarrollo de un producto, los diseñadores necesitan crear representaciones 3D del producto para tener una idea más clara de lo que se pretende fabricar. Comúnmente se utiliza el método de prueba y error, incluso modelado a cartón. Estos métodos no son eficaces y cuestan tiempo. Otra dificultad es crear un diseño desde cero en un software CAD. Con un escáner 3D se pueden tomar modelos existentes para analizar el producto y no empezar desde cero, o, en otras palabras, para optimizar el diseño. Si se daña la pieza de una máquina y el fabricante dejó de operar, con un escáner 3D se puede digitalizar la pieza dañada, para que con ingeniería inversa se reconstruya la pieza y así poder mandarla a fabricar con otro fabricante.

El propósito de este proyecto pretende construir una herramienta para realizar proyectos que requieran digitalizar piezas físicas, principalmente objetos mecánicos que son los más comúnmente usados en la carrera de Ingeniería Mecatrónica. Un escáner logra apoyar el desarrollo de proyectos ahorrando tiempo en la etapa de diseño, apoyando en la simulación de modelos, además, con el uso de impresoras 3D se pueden hacer recreaciones de piezas de difícil acceso o de elevados costos. Los estudiantes del ITSMT tendrán acceso a un laboratorio que ofrezca dispositivos de corte láser, máquinas tipo CNC, impresión 3D y ahora escaneo 3D. Este proyecto sustenta las prácticas relacionadas a las asignaturas de manufactura avanzada y CAD-CAM-CAE dentro del tema de ingeniería inversa. Finalmente se ofrece una nueva ventana de posibilidades para que los futuros proyectos de Ingeniería Mecatrónica consideren adentrarse dentro del mundo de la ingeniería inversa y el modelado 3D.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un escáner 3D usando un sensor Kinect para brindar soporte en el desarrollo de proyectos que requieran ingeniería inversa dentro del ITSMT, así como elaborar un manual para facilitar el uso del dispositivo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar el estado del arte de la aplicación de los escáneres 3D en ingeniería inversa y realizar un cuadro comparativo de los diferentes modelos disponibles en el mercado.
- Seleccionar el software que mejor se adapte a las necesidades.
- Diseñar una mesa de rotación para agilizar el proceso de escaneo.
- Elaborar un manual de usuario sobre el uso del dispositivo.
- Elaborar un manual de prácticas ejemplificando paso por paso el uso del escáner con el software y mostrando ejemplos.

5. HIPÓTESIS

La creación del escáner 3D ayudará a comprender a los estudiantes del ITSMT los principios de ingeniería inversa a través de prácticas de laboratorio, siendo motivación para el desarrollo de futuros proyectos de investigación y desarrollo tecnológico relacionados con la manufactura avanzada.

6. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo presenta la descripción y explicación de los conceptos, teorías y metodologías empleadas para el desarrollo del proyecto, además de conceptos que son importantes de conocer para comprender la importancia de la ingeniería inversa y toda la amplia variedad de oportunidades que esta ofrece.

6.1 Ingeniería inversa

La ingeniería inversa de un objeto consiste en el proceso de medición, digitalización y reconstrucción, que captura todas las características de una pieza en cuestión para posteriormente ser tratados en algún software 3D. Es una tecnología que reconstruye con la finalidad de estudiar el diseño y la estructura original. También tiene otras aplicaciones, pero en general todas se relacionan al diseño. Para Wang, (2011) *“La ingeniería inversa (RE) es un proceso de medición, análisis y prueba para reconstruir la imagen especular de un objeto o recuperar un evento pasado. Es una tecnología de reinención, una ruta que conduce a la reconstrucción y la reproducción”* (p.1).

El concepto lleva años en la industria, y es de esperarse. Cuando se diseña un producto desde cero siempre se empieza analizando lo que ya existe, es muy similar a la investigación científica. La ingeniería inversa toma algo preexistente y lo descompone para descubrir cada uno de sus secretos. Usualmente estos secretos son usados para hacer estudios, duplicar productos, hacer algo similar o simplemente para realizar mejoras. Para Eilam, (2005), la RE es una forma diferente de descubrir información: *“La ingeniería inversa se realiza generalmente para obtener el conocimiento faltante, ideas y filosofía de diseño cuando dicha información no esté disponible. En otros casos, la información se ha perdido o destruido.”* (p.3). En algunos casos, la información que se desea adquirir pertenece a alguien que no está dispuesto a compartir, por ejemplo, en sectores comerciales donde la innovación es parte fundamental en la supervivencia de las empresas. La RE en cierta forma permite estudiar los productos de la competencia, es por esta razón que grupos de personas interpretan que la RE solo sirve para “copiar”, lo que aquí ocurre un dilema ético del cual no se aborda más por no ser relevante para los fines de esta investigación.

Para ejemplificar el proceso de la RE solo basta con imaginar la siguiente situación: Se tiene una máquina de la cual una pieza importante está dañada y no se puede conseguir porque el fabricante ya no está operando, además de que la parte física no cuenta con los suficientes detalles técnicos, dibujos, planos o manuales para mandar a fabricar otra pieza similar. La ingeniería inversa puede conseguir información de esta pieza y generar un modelo 3D en algún software CAD para producirla.

El primer paso de la ingeniería inversa es la medición y adquisición de datos (fig. 1), la forma más eficaz de lograr esto es mediante el uso de algún escáner 3D, entre mayor sea la calidad del sensor mayor serán los datos que se puedan procesar. Esta información recopilada se analiza e interpreta por algún software. Una práctica bien lograda de ingeniería inversa requiere una amplia base de conocimiento sobre este tema para duplicar la pieza lo más parecida a la original.

Figura 1

Uso de un escáner 3D manual para la digitalización de un automóvil.



Tomado de IT3D Group, Scantech KSCAN20 para la digitalización 3D.

La ingeniería inversa sirve como punto de partida en el rediseño del producto, durante el cual se analiza el producto en términos de su funcionalidad, principios físicos, capacidad de fabricación y capacidad de ensamblaje, para propósito de entender completamente cada detalle del producto. En la industria, es estrictamente importante que las piezas recreadas sean idénticas, siempre que sea posible, para garantizar la misma funcionalidad y seguridad. De vez en cuando, las partes tienen la intención de integrar alguna mejora. En algunas circunstancias, la ingeniería inversa es una de las pocas opciones que los ingenieros tienen para realizar una tarea de mantenimiento.

6.1.1 Historia de la ingeniería inversa

Los orígenes de la ingeniería inversa son en gran parte desconocidos. En vez de haber sido desarrollado en un período o momento específico en el tiempo, el concepto de ingeniería inversa surgió de manera evolutiva.

Empezó como una forma de "Construye una trampa para ratones mejor". A medida que se desarrollaba un diseño, sería críticamente evaluado, examinado, cambiado, y así el diseño sería inevitablemente mejorado. Hoy en día, la ingeniería inversa se utiliza no como una herramienta para ser empleada para un problema existente, sino como metodología práctica a nuevos desafíos de piezas únicas (sin diseño o desarrollo de dibujos/moldes de computadora de repuestos y herramientas donde no existen). (Kamrani A. & Abouel E, 2006, p.88)

La RE fue comúnmente utilizada durante la Segunda Guerra Mundial y la Guerra Fría. Según Kumar A, Jain P. & Pathak P.(2013) *“En ocasiones los militares utilizaban partes de los dispositivos de otras naciones para copiar la tecnología, o simplemente para recopilar información”* p. 667.

A pesar de que la ingeniería inversa pudo haber surgido con aplicaciones militares, es cierto que su perfección en las técnicas de adquisición de información ha evolucionado gracias a las necesidades de las personas de establecer niveles de tolerancia definidos, aumentar la densidad y velocidad de los datos, las características de la pieza, la línea de visión y la facilidad de uso del dispositivo.

La primera tecnología de escaneo 3D se creó en la década de 1960...Debido a las limitaciones del equipo, a menudo tomaba mucho tiempo y esfuerzo escanear objetos con precisión. Después de 1985, fueron reemplazados por escáneres que podían usar luz blanca, láser y sombras para capturar una superficie determinada. (Milan Edl., et al, 2018, p.2).

A mediados de los noventa se habían convertido en un escáner de cuerpo completo. El primer escáner 3D, que llamaron REPLICA, se lanzó por primera vez en 1994. Permitía un escaneo rápido y de alta precisión de objetos muy detallados, logrando un gran progreso en el escaneo de franjas láser.

Una de las primeras aplicaciones fue capturar humanos para la industria de la animación. Cyberware Laboratories de Los Ángeles desarrolló este campo en los años ochenta con su Head Scanner (fig. 2).

Figura 2

Escaneo de la cabeza de una persona.



Fuente: Milan Edl., et al, 2018, p.2

En 1996, los escáneres 3D tomaron las tecnologías clave de un brazo operado manualmente y un escáner 3D (fig. 2). Este sistema resulto ser increíblemente rápido y flexible, además de ser el primero del mundo para la captura de realidad. Produce modelos complejos y texturiza esos modelos con color.

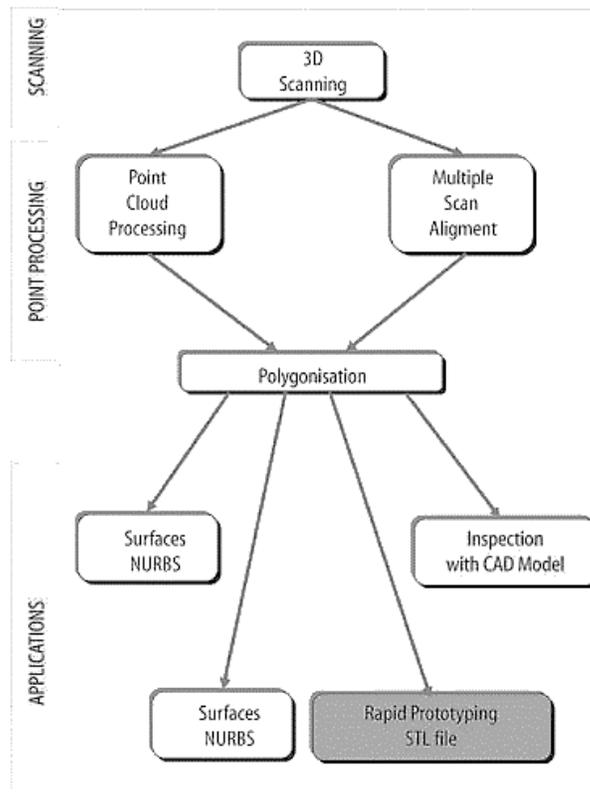
En los últimos años, el aumento de la potencia computacional, más memoria de computadora y dispositivos de escaneo de contacto o sin contacto de alta velocidad han provocado que su uso vaya siendo más recurrente en el diseño de automóviles, fabricación y aseguramiento de la calidad. La ingeniería inversa en la industria manufacturera aumenta día a día y también juega un papel importante en la promoción de la evolución industrial principalmente por las siguientes razones: madurez de la industria, avance de las tecnologías modernas y demandas en el mercado.

6.1.2 Proceso general de la ingeniería inversa

Diversos autores proponen la forma en que se desarrolla la ingeniería inversa, pero generalmente coinciden en ciertos puntos tales como una etapa inicial de escaneado, un procesado de la información colectada por el elemento digitalizador y el modelo 3D o etapa final. Para cualquier propuesta de proceso general de RE existe la ventaja de que se puede editar el modelo de superficie generado. Sin embargo, el error de forma (entre el modelo RP y los datos de la nube) siempre estará presente ya que no todos los productos finales son exactamente igual al original. La figura 3 muestra un ejemplo de un diagrama de proceso general de ingeniería inversa.

Figura 3

Diagrama general de la ingeniería inversa.



Fuente: (Raja V & Fernández, 2008, p. 4).

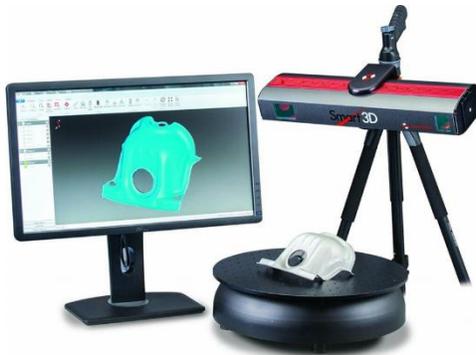
“Las tres fases son escaneado, procesamiento de puntos y desarrollo de modelos geométricos específicos de la aplicación” (Raja & Fernandes, 2008, p. 4).

6.1.2.1 Escaneado

Esta fase está relacionada con la estrategia de escaneo: seleccionar el escaneo correcto significa preparar la pieza a escanear y realizar el escaneo real para capturar información que describa todas las características geométricas de la pieza, como escalones, ranuras, bolsillos y agujeros. Se emplean escáneres 3D para capturar la geometría de la pieza (fig. 4), produciendo nubes de puntos que definen la superficie geométrica.

Figura 4

Escáner 3D.



Fuente: Tomada de internet.

Estos dispositivos de escaneo están disponibles como herramientas dedicadas o como complementos a las máquinas herramientas existentes controladas numéricamente por computadora (CNC).

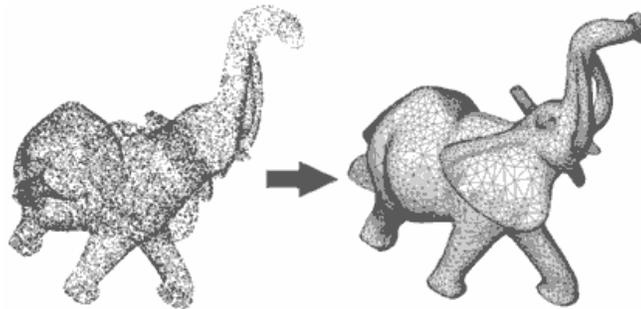
6.1.2.2 Procesamiento de puntos

Esta fase implica importar los datos de la nube de puntos, reduciendo el ruido de los datos recopilados y reducción del número de puntos. Estas tareas se realizan utilizando una gama de filtros predefinidos. Es extremadamente importante que los usuarios tengan muy buena comprensión de los algoritmos de filtro para que sepan qué filtro es el más adecuado para cada tarea. Esta fase también permite fusionar múltiples conjuntos de datos. A veces, es necesario realizar varios escaneos de la pieza para asegurar de que se haya escaneado todas las funciones necesarias. Esto implica rotar el objeto; por lo tanto, cada dato de escaneo se vuelve muy crucial. La planificación de escaneos múltiples tiene impacto directo en la fase de procesamiento de puntos. Buena planificación de datum para múltiples escaneos reducirá el

esfuerzo requerido en la fase de procesamiento de puntos y también evita la introducción de errores al combinar varios datos de escaneo. Una amplia gama de software comercial está disponible para el procesamiento de puntos. La salida de la fase de procesamiento de puntos es una nube de puntos limpia, fusionada para configurar en el formato más conveniente tal y como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Procesamiento de datos.



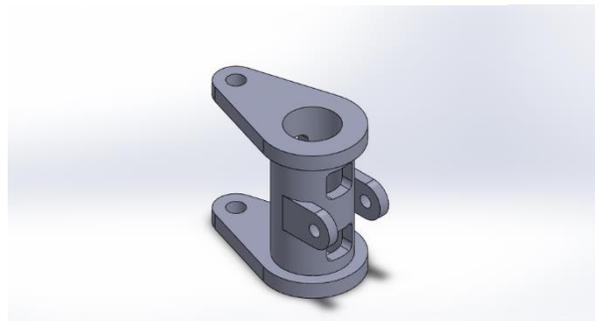
Fuente: Tomada de internet.

6.1.2.3 Desarrollo del modelo geométrico de la aplicación

De la misma manera que los desarrollos en tecnologías de prototipado rápido y herramientas están ayudando a acortar drásticamente el tiempo necesario para generar representaciones físicas a partir de modelos CAD (figura 6), las tecnologías de RE actuales están ayudando a reducir el momento de crear modelos CAD electrónicos a partir de representaciones físicas existentes. Siempre surgirá la necesidad de generar información CAD a partir de componentes físicos con frecuencia a lo largo de cualquier proceso de introducción de productos.

Figura 6

Modelo 3D de una pieza mecánica.



Fuene: Tomada de internet.

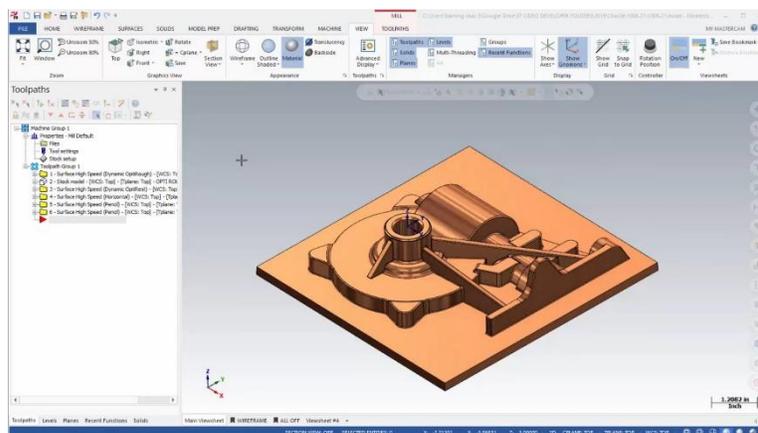
La generación de modelos CAD a partir de datos puntuales es probablemente la actividad más compleja dentro de RE porque se requieren potentes algoritmos de ajuste de superficies para generar superficies que representen con precisión la información tridimensional descrita dentro de los conjuntos de datos de nube de puntos. La mayoría de los sistemas CAD no están diseñados para visualizar y procesar grandes cantidades de datos puntuales; como resultado, nuevos módulos de RE o generalmente se necesitan paquetes de software discretos para el procesamiento de puntos.

“La generación de datos de superficie a partir de conjuntos de datos de nubes de puntos sigue siendo un proceso muy subjetivo, aunque están empezando a surgir algoritmos basados en características que permitirán a ingenieros interactuar con los datos de la nube de puntos para producir modelos sólidos completos para los entornos CAD actuales” (Raja & Fernandes, 2008, p. 4).

El software RE permite al usuario comparar los dos datos conjuntos (según el diseño y la fabricación). El resultado de esta fase es un modelo geométrico en uno de los formatos propietarios, como IGES, VDA, STL, DXF, OBJ, VRML, código ISO G, etc. Estos modelos generalmente son creados con un programa de diseño 3d (figura 7), que permite su visualización y edición.

Figura 7

MasterCAM, software 3D.



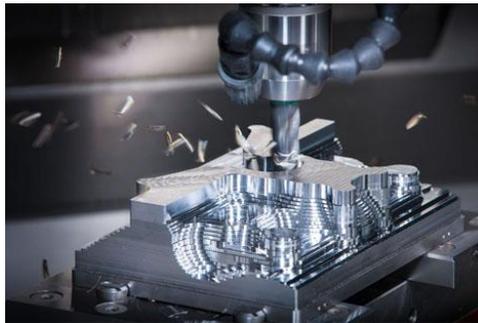
Fuente: Tomada de internet.

6.1.2.4 Prototipado

La última etapa de la ingeniería inversa, que, aunque muchos no la incluyen, representa parte fundamental en cualquiera que sea el proceso de RE. El prototipado permite construir la representación del modelo 3D capturado en la etapa anterior (fig. 8). Lo que permite “duplicar dicho modelo”.

Figura 8

Mecanizado CNC de un modelo 3D.



Fuente: Tomada de internet.

Los mecanizados 3d son una técnica de fabricación que se realiza a través de un sistema CNC o un robot industrial. Dichos medios son programados por el diseñador/programador 3d y el operario CNC los cuales proyectan y planifican velocidades y movimientos. El sistema necesita ser provisto de un bloque o material bruto (término utilizado en el sector), el cual mediante diferentes herramientas se va fresando o esculpiendo, es decir, a partir de un objeto va removiendo material hasta alcanzar la forma deseada. Los sistemas modernos incorporan un programa específico para realizar la programación, así pues, se utiliza un modelo o archivo 3d normalmente en formato STL como base y a partir de este modelo se calculan las trayectorias y velocidades que el sistema va a seguir. La elaboración de estas instrucciones ayudados por el ordenador es conocido como CAM.

6.1.2.4.1 Prototipado rápido

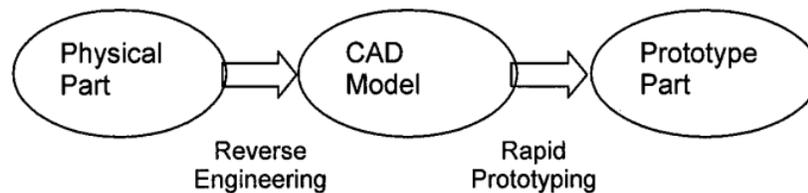
El prototipado rápido proporciona los medios para reducir drásticamente el tiempo de entrega necesario para producir un prototipo físico semifuncional. Es un proceso muy usado por su fácil uso y el ahorro de tiempo que presenta.

La habilidad para producir estos modelos en cuestión de horas es posible gracias a técnicas que implementan un proceso de fabricación aditiva. El prototipado rápido proporciona los medios para reducir drásticamente el tiempo de entrega necesario para producir un prototipo físico semifuncional. La habilidad para producir estos modelos en cuestión de horas es posible gracias a técnicas que implementan un proceso de fabricación aditiva.

Las técnicas del prototipado rápido construyen el modelo, una capa a la vez, de abajo hacia arriba. esta naturaleza aditiva proporciona cohesión con los tipos de datos creados por sistema de ingeniería inversa, ya que también se crean en intervalos de tiempo cortos. Como resultado, cualquier modelo se puede clonar rápidamente una vez que los datos han sido adquiridos con éxito por el sistema de ingeniería inversa (ver fig.9).

Figura 9

Relación entre el prototipado rápido y la ingeniería inversa.



Fuente: (Kamrani A. & Abouel E., 2006).

La impresión 3d es una técnica mediante la cual se construye un objeto tridimensional a partir de un modelo 3d virtual, realizado con la ayuda de un software especializado en modelado 3d. Normalmente dicho programa permite exportar un diseño 3d como un archivo 3d en formato stl o obj (.stl y .obj respectivamente), el cual es interpretado por otro programa y este mismo programa se encarga de transformar el volumen 3d del modelo 3d en ordenes de movimiento que la impresora 3d es capaz de interpretar y ejecutar. Tras realizar estos pasos el producto obtenido es un objeto que de forma aproximada representa el modelo tridimensional que habíamos realizado en el software de diseño.

Una de las ventajas de la impresión 3d es el hecho de usar un sistema de producción aditivo, la impresora 3d va superponiendo capa a capa una pequeña cantidad de material que se va endureciendo y dando forma a nuestro objeto 3d, por lo que podemos ahorrar en materia prima.

6.1.3 Aplicaciones de la ingeniería inversa

Las aplicaciones de ingeniería inversa con o sin contacto en la fabricación son extendidos. Numerosas aplicaciones adicionales de ingeniería inversa en la fabricación existen e incluyen: el diseño de grandes equipos cuyas medidas no pueden tomarse usando metrología, reemplazo de partes desgastadas o rotas para las cuales los datos CAD no están disponibles y la inspección de una pieza producida en comparación con su diseño CAD original, etc.

6.1.3.1 Aplicaciones médicas

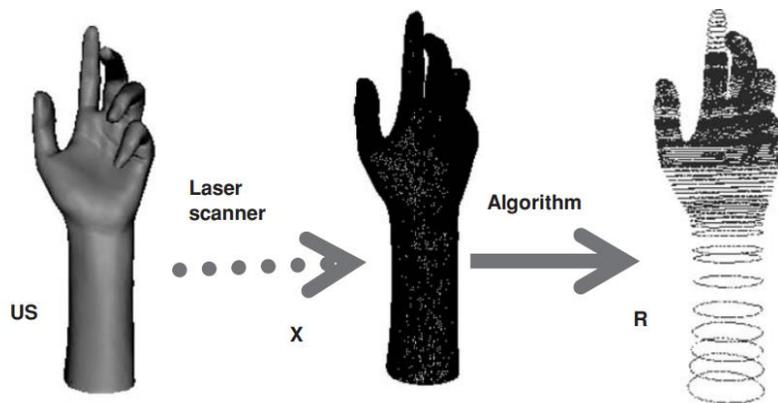
Se pueden fabricar prototipos de órganos internos, tumores o huesos a partir de datos de resonancia magnética para preparar a los médicos antes de ingresar a la sala de operaciones. Las razones por las que es importante usar RE en el sector de la medicina son por las siguientes razones:

- El modelo digital no existe
- La forma de los objetos médicos es muy compleja

Tal y como se muestra en la figura 10, el objetivo de RE en medicina consiste en construir un modelo 3D de una superficie desconocida tratando de ser lo más aproximado posible.

Figura 10

Aplicación de RE en medicina.



Fuente: Gibson, I. (2005). p.68

Según Gibson, I (2005). *“El proceso de RE comienza con una fase de adquisición de datos donde los datos de medición se recopilan del objeto físico. Algún preprocesamiento de estos datos es necesario para combinar múltiples mediciones desde diferentes puntos de vista. La fase más crucial del proceso es la transformación de los datos 3D en la nube a la representación CAD.”*. (p.68).

Para generar objetos físicos a partir de modelos CAD directamente, el prototipado rápido puede producir la parte física agregando capa por capa. El prototipado rápido (RP) es una tecnología emergente no tradicional método de fabricación y ha sido reconocido como una herramienta válida para acortar el tiempo de entrega de diseño para fabricar con eficacia.

6.1.3.2 Aplicaciones arqueológicas

Además, se ha utilizado la ingeniería inversa para replicar fósiles de dinosaurios antes de sacarlos de las rocas, utilizando datos escaneados. *“Esto se hizo en el caso de que, si el objeto real fuese a ser destruido durante la extracción de la roca, una réplica podría ser fabricado a partir de los datos de la computadora”* (Cooper, K., 2016, P.167)

6.1.3.3 Aplicaciones en la construcción.

La ingeniería inversa también se puede utilizar en construcción. La RE optimiza los procesos de fabricación en recuperación de superficies, además de que facilita la construcción virtual. En arquitectura sirve para examinar estructuras permitiendo llevar un seguimiento real de cómo se está comportando la estructura. También sirve para conocer el comportamiento de los materiales de un edificio o una vivienda ante posible desgaste mecánico o daños localizados.

6.1.3.4 Ingeniería inversa de software

La ingeniería inversa de software (SRE) es la práctica de analizar un sistema de software, ya sea en su totalidad o en parte, para extraer información de diseño e implementación. Un escenario SRE típico implicaría un módulo de software que ha funcionado durante años y lleva el registro de un negocio en sus líneas de código; desafortunadamente, el código fuente de la aplicación se ha perdido y se tiene que recuperar.

6.2 Escáner 3D

Los escáneres 3D son dispositivos de medición tridimensionales que se utilizan para capturar objetos del mundo real para que puedan ser remodelados o analizados en el mundo digital (ver figura 11). Se pueden utilizar para obtener mediciones 3D completas o parciales de cualquier objeto físico. La mayoría de estos dispositivos generan puntos o medidas de extrema y alta densidad en comparación con el tradicional "punto por punto" de otros dispositivos de medición.

El escáner se basa en la estereovisión (normalmente dos reproductores de imágenes digitales) y la proyección de luz estructurada para generar 3D. El escáner está controlado por un software de escaneo 3D que se ejecuta en una computadora. Un escáner 3D también es capaz de capturar el mapa de color de un objeto. Al fusionar el mapa de colores con el modelo 3D, se crea un modelo digital 3D en color. (LMI Technologies, 2013, p.13).

Figura 11

Modelado 3D.



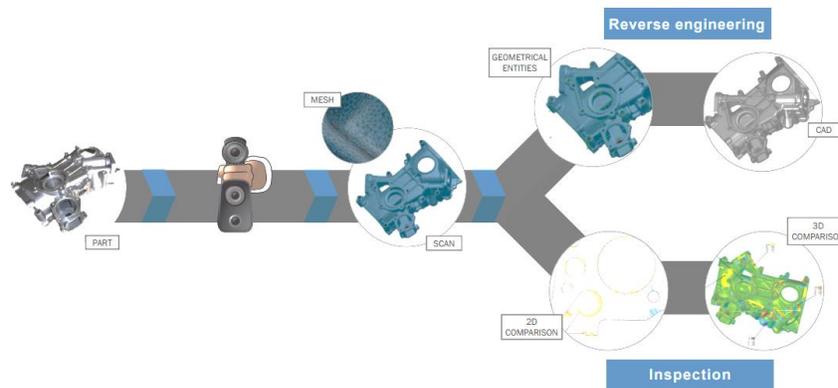
Fuente: (Creaform, 2015)

La medición 3D es posible debido a la recopilación de información sobre el objeto del mundo real utilizando un dispositivo de escaneo 3D. Las mediciones 3D precisas derivadas de un objeto escaneado son útiles para la inspección de materiales y el control de calidad. Si una tecnología de escaneo 3D es capaz de recopilar una gran cantidad de datos 3D del objeto escaneado, tiene la capacidad de recrear un modelo digital 3D preciso y de alta resolución del objeto del mundo real. Esto se conoce como visualización 3D.

El elemento primordial del escáner es su sensor 3D que utiliza óptica fija: una fuente de luz (normalmente láser) y al menos un generador de imágenes digitales para la adquisición de datos 3D. Los sensores 3D normalmente están precalibrados y operan en instalaciones de fabricación como parte de una línea de producción automatizada (fig. 12).

Figura 12

Proceso de escaneado en la industria.



Fuente: (Creaform, 2015)

Al igual que el ojo humano, un sensor 3D simplemente recopila y transmite los datos para procesarlos en una computadora o controlador externo que actúa como nuestro cerebro. Este "cerebro" toma los datos que genera el sensor 3D y los procesa para realizar mediciones, análisis o visualización. *“Los resultados del escaneo se representan utilizando datos tridimensionales no estructurados y de forma libre, generalmente en forma de nube de puntos o una malla triangular (fig. 13)”* (Creaform 2015, p. 6).

Figura 13

Nube de puntos y malla de triángulos.



Fuente: (Creaform, 2015)

Ciertos tipos de escáneres también adquieren información de color para aplicaciones en las que esto es importante. Las imágenes escaneos se incorporan a un sistema de referencia común, donde los datos se combinan en un modelo completo. El proceso, llamado alineación o registro, se puede realizar durante el escaneo en sí o como un paso de posprocesamiento.

El escaneo 3D se ha convertido en una herramienta fundamental en todos los pasos de la gestión del ciclo de vida de productos. Esto es especialmente cierto en la nueva generación de escáneres de posicionamiento automático verdaderamente portátiles. La capacidad del escaneo 3D para cerrar la brecha entre objetos físicos en el mundo real y el entorno de diseño digital se ha vuelto extremadamente valioso en una amplia gama de industrias tales como: aeroespacial, automotriz, productos de consumo, manufactura y las industrias pesadas entre las principales.

Algunas aplicaciones para sensores inteligentes 3D:

- Decisiones de control de calidad en la línea de producción de una instalación de fabricación.
- Escaneo 3D de troncos y tablas en aserraderos para tomar mejores decisiones de corte.
- Inspección de pavimento de carreteras y pistas de aeropuertos.

Aplicaciones para escáneres 3D:

- Juegos, animación y la industria del entretenimiento para CGI (Imágenes generadas por computadora).
- Fines de reproducción y archivo para las artes y la arqueología
- Ingeniería inversa al análisis de la construcción de un producto con el fin de desarrollar un producto / diseño similar o mejorado.

6.2.1 Tipos de escáneres 3D

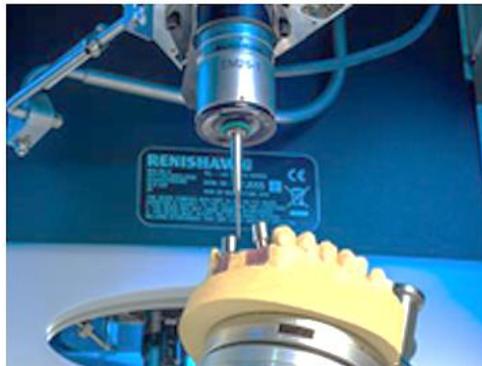
Para recrear con precisión la parte existente, un modelo computarizado (CAD) de la geometría de la pieza debe desarrollarse de alguna forma. Este archivo CAD proporciona las coordenadas de múltiples puntos en la superficie del producto, que, en un entorno de fabricación, se utiliza para desarrollar el dibujo del producto para rediseño o fabricación. La forma de obtener esta información es mediante dispositivos de medición 3D o en otras palabras escáneres 3D. Existen dos tipos distintos de escáneres: de contacto y sin contacto.

6.2.1.1 Escáneres de contacto

Estos dispositivos emplean sondas de contacto que siguen automáticamente los contornos de una superficie física (ver fig. 14).

Figura 14

Escáner de contacto.



Fuente: (Renishaw, 2020)

“En el mercado actual, los dispositivos de escaneo de sonda de contacto se basan en tecnologías CMM, con un rango de tolerancia de +0,01 hasta 0,02 mm” (Raja & Fernandes, 2008, p. 4).

El método de contacto, una forma tradicional de recopilar datos que se ha utilizado durante varios años. *“Los métodos de contacto generalmente miden la superficie del objeto usando una sonda de contacto... Las distancias lineales desde tres ejes hasta el objeto determinan la posición de la sonda, dando así coordenadas X, Y Z de la superficie” Kamrani A. & Abouel E. (2006), p.89 .*

Sin embargo, dependiendo del tamaño de la pieza escaneada los métodos pueden ser lentos porque cada punto se genera secuencialmente en la punta de la sonda. Las sondas de los dispositivos táctiles deben desviarse para registrar un punto; por tanto, se mantiene un grado de presión de contacto durante el proceso de exploración. Esta presión de contacto limita el uso de dispositivos de contacto porque los materiales suaves y táctiles como el caucho, no se pueden escanear con facilidad o precisión.

El software para sistemas de ingeniería inversa sin contacto simplifica enormemente la recopilación de datos. La mayoría de las piezas se componen de formas estándar como arcos, círculos, esferas y varillas. Un menú de formas estándar está generalmente disponible para que un usuario pueda especificar una de estas formas, medir varios puntos y luego haga que el software complete la forma. Esas formas que no son estándar se pueden digitalizar utilizando una de varias técnicas de escaneo en las que la pieza es trazada y se le indica al software que seccione la traza como planos paralelos, secciones radiales o círculos concéntricos. El mejor enfoque para digitalizar una forma compleja es dividirla en zonas simples y usar la apropiada técnica del escáner.

6.2.1.2 Escáneres sin contacto

Hoy en día existe una variedad de tecnologías de escaneo sin contacto físico con la parte disponibles en el mercado. Los dispositivos sin contacto utilizan láseres, ópticas y sensores de dispositivo de carga acoplada (CCD) para capturar datos puntuales. Estos sistemas miden puntos en la parte de la superficie calculando la posición de un punto láser proyectado sobre la superficie de una parte. El escáner láser proyecta un rayo sobre la superficie del objeto y luego inspecciona el haz reflejado usando un sensor que se coloca coaxial a la fuente.

Los escáneres portátiles se basan en dos cámaras para crear lo que se denomina visión estereoscópica. Esto permite que el dispositivo determine la posición del escáner en relación con puntos específicos que podrían ser objetivos de posicionamiento, características naturales o texturas del objeto. Algunos escáneres portátiles más nuevos utilizan una combinación de tipos de posicionamiento denominado posicionamiento híbrido.

Mecánicamente, los sistemas de escaneo láser pueden integrar la rotación de la parte escaneada (fig. 15). Nuevas tecnologías pueden colocar la fuente de láser en una sonda capaz de trasladarse a lo largo de todo el objeto, dándole la capacidad de adquirir datos dentro de profundidades concavidades. Este método de adquisición de datos geométricos proporciona mediciones de alta resolución en todo el volumen de trabajo.

Figura 15

Escáner sin contacto con base rotatoria.



Fuente: Tomada de internet

6.3 Software 3D

No existe un único software de RE que pueda satisfacer completamente los requisitos de procesamiento de datos RE y modelado geométrico. La selección del software depende de los requisitos específicos de los proyectos por esto, la tabla 1 muestra solo algún software complementario para RE.

Tabla 1

Software complementos para ingeniería inversa.

Aplicación	Aplicaciones principales	Software
Hardware control	Control de hardware RE para adquisición de datos. Normalmente, operaciones de procesamiento de datos básicos y también se proporcionan conversiones de datos.	Mitutoyo Cosmos, Hymarc, Metris Scan, Cyberware CyDir y GSI Crystal Studio

Manipulación de entidades CAD	Manipular entidades CAD que son extraídas de nubes de puntos y mallas poligonales. Las entidades CAD incluyen puntos, líneas de contorno, etc.	ICEM surf, Imageware y otros paquetes CAD como: UG, Pro Engineer y Solidworks.
Manipulación de polígonos	Edición de datos de polígonos en 3-D, modificación y optimización.	Magics RP, DeskArtes, Catia Shape Sculptor y Viscam RP.
Polígono y construcción de superficies NURBS	Proporcionar un conjunto completo de herramientas de procesamiento de datos de RE desde el trabajo con nubes de puntos y polígonos hasta la construcción de superficies NURBS e inspección 3D.	GSI Studio, CopyCAD, Rapidform, Geomagics, Polyworks (Modeler) and Paraform.
Procesamiento de imágenes de escaneo 2D y modelado 3D	Se utiliza para procesar imágenes de escaneo 2-D (CT / MRI) y reconstrucción 3D.	Mimics, Rapidform, BioBuild, Velocity2, Amira, Scan IP, Analyze y 3-D Doctors.
Inspección 3D	Se utiliza para inspección 3D, creación y análisis de mapas de errores, informes de inspección y documentación.	Metris Focus Inspection, Power INSPECT, PolyWorks Inspector y Geomagic Qualify.
Modelado de sólidos y superficies NURBS	Proporcionan herramientas de edición y modelado NURBS basadas en primitivas y entidades CAD básicas.	Pro Engineers, UG, Solidworks, Catia and Rhino.

6.3.1 Software de escaneado 3D

A continuación, se muestran los software de ingeniería inversa más comunes y usados para prácticas de escaneo 3D

Horus

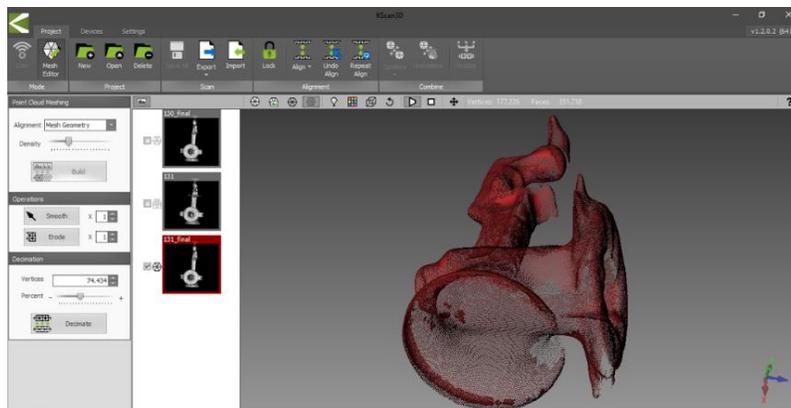
Horus es un software de procesamientos 3D. Se encarga de realizar todas las tareas necesarias para escanear. Es de código abierto y está escrito en el lenguaje de programación 'Python'. El programa está dividido en tres workbench o vistas. En la primera vista, "Scanning workbench", se puede apretar el botón de "play" y el programa se encarga de escanear el objeto. En la segunda vista, "Control workbench", se puede controlar y modificar diferentes parámetros de los diferentes elementos presentes. Aquí se puede interactuar directamente con elementos como el motor o los láseres enviando comandos 'G-code'. Por último, en la tercera vista, "Calibration workbench", se puede calibrar manualmente el escáner sin necesidad de ejecutar el "wizard" que se ofrece.

6.3.1.1 KScan3D

Con el software KScan3D y los sensores Kinect o Xtion, puede escanear objetos reales y exportar modelos 3D en minutos, así como en la figura 16. Con KScan3D, puede escanear, editar, procesar y exportar datos rápida y fácilmente.

Figura 16

Interfaz de KScan 3D.



Fuente: KScan 3D

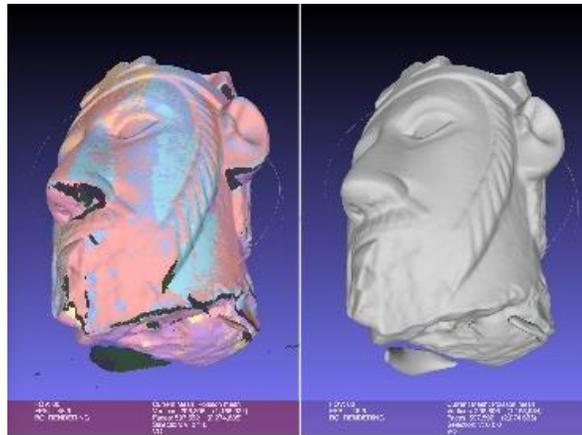
Algunas características de KScan3D son las siguientes:

- KScan3D puede capturar y alinear mallas 3D automáticamente.
- KScan3D permite eliminar puntos innecesarios, datos uniformes y más.
- KScan3D también permite combinar y finalizar mallas con una serie de configuraciones personalizables para obtener los resultados necesitados.
- Puede exportar las mallas finales en formatos .fbx, .obj, .stl, .ply y .asc para usar con software de modelado 3D.

6.3.1.2 MeshLab

MeshLab (fig.17) es un programa de procesamiento geométrico que se utiliza principalmente para tratar mallas, como, por ejemplo, nubes de puntos que se obtienen al escanear un objeto para conseguir un objeto más nítido. ‘MeshLab’ está escrito en ‘C++’ y es de código abierto, por lo que su uso es gratuito y los usuarios pueden modificar el código fuente para mejorar el programa. También cabe la posibilidad de utilizar el programa como una biblioteca en otros programas.

Figura 17.- Modelo 3D en MeshLab



Fuente: Tomada de internet.

Blender

Blender es un programa de herramientas software para gráficos de ordenador 3D. Permite crear y modificar diseños en 3D con una amplia serie de opciones, desde modelado 3D, pasando por simulaciones de fluidos y humo, hasta animaciones completas. Está escrito en los lenguajes de programación ‘C’, ‘C++’ y ‘Python’.

6.4 Tecnologías de escaneo 3D.

Las tecnologías más utilizadas en escáneres 3D comerciales son triangulación láser y luz estructurada, en las cuales no hay contacto entre el hardware y un objeto durante la adquisición de datos.

“En los métodos sin contacto, las imágenes de sección transversal 2-D y las nubes de puntos que representan la geometría de un objeto se capturan proyectando fuentes de energía (luz, sonido o campos magnéticos) sobre un objeto; entonces o el transmitido o él se observa la energía reflejada” (Raja & Fernandes, 2008, p. 37).

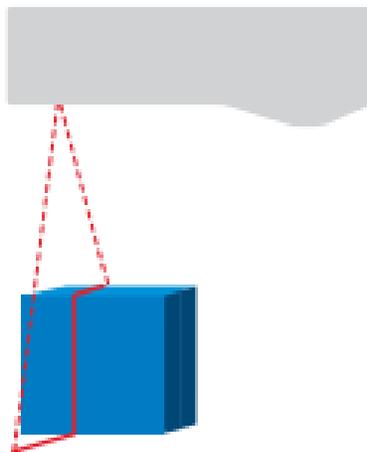
Los datos geométricos de un objeto se calculan finalmente mediante el uso de información de triangulación, tiempo de vuelo, interferencia de ondas y algoritmos de procesamiento de imágenes.

6.4.1 Método de triangulación láser

Los dispositivos de perfil de línea suelen utilizar una línea láser proyectada para crear un perfil de sección transversal para medir aspectos del contorno de un objeto (fig. 18). Mover un objeto debajo del láser crea muchos perfiles que se pueden combinar en una forma 3D completa.

Figura 18

Método de triangulación láser.



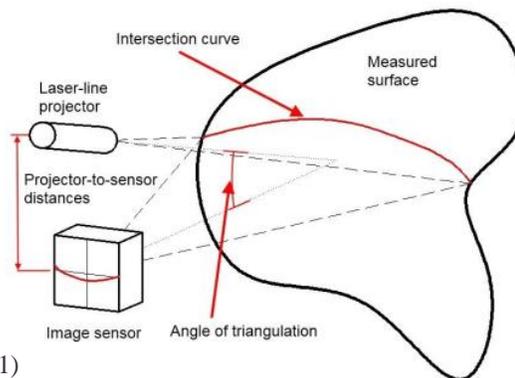
Fuente: (LMI Technologies, 2013)

La mayoría de los escáneres láser utilizan una triangulación geométrica sencilla para determinar las coordenadas de la superficie de un objeto. La triangulación es un método que emplea ubicaciones y ángulos entre fuentes de luz y dispositivos fotosensibles (CCD - cámara del dispositivo de carga acoplada) para calcular las coordenadas. El principio del método se basa en una fuente de luz de alta energía que se enfoca y proyecta un ángulo pre especificado (θ) sobre la superficie de un objeto y un dispositivo fotosensible detecta el reflejo del punto iluminado en la superficie.

Dependiendo de lo lejano esté el punto del objeto en que brilla el láser, incidirá en diversos sitios del campo visual de la cámara. Esta tecnología se llama de triangulación porque el punto donde brilla el láser, el emisor láser y la cámara forma un triángulo. (Morillo M., 2016, p.13)

Los componentes principales de los escáneres de este tipo constan de una cámara a color y el proyector de líneas láser. Para adquirir datos 3D de toda la superficie medida, el objeto gira alrededor del escáner y se forma una curva de intercepción a lo largo de toda la superficie medida. El procedimiento de medición de la geometría 3D consiste en proyectar el plano láser con proyector láser hacia la superficie de medición. Sobre la intercepción del avión láser y la curva de intersección de la superficie de medición se forma y se observa con la cámara colocada en el otro lado del basculante. La cámara debe fijarse en ángulo con respecto al eje óptico del proyector, de lo contrario la triangulación no es posible. Cuando se conoce la posición de la curva de intercepción en el sensor de imagen, se puede determinar la posición de los puntos en el espacio 3D calculado (fig. 19).

Figura 19.- *Proceso de triangulación láser.*

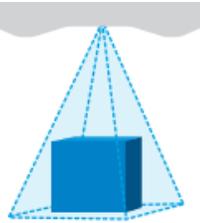


Fuente: Pavlovic & Mozina (2011)

6.4.2 Luz estructurada

Sus inicios retornan 40 años atrás y ha seguido un desarrollo progresivo hasta hoy. Todavía se investigan nuevas combinaciones de patrones que minimicen la reflexividad del objeto y que permitan analizar zonas más cóncavas e inaccesibles. Este tipo de tecnología utiliza la proyección de un patrón de luz determinado en el objeto y analizan la deformación del patrón para obtener el modelo (fig. 20). El reflejo se captura con una cámara y posteriormente mediante unos algoritmos se determina la posición de cada punto en el espacio 3d.

Figura 20.- Método de luz estructurada.

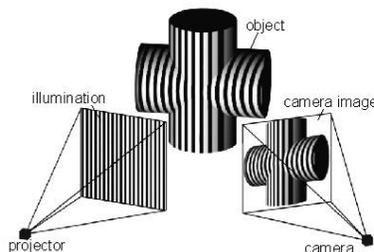


Fuente: (LMI Technologies, 2013)

“Gracias a la calibración, que realizamos antes de la obtención de la información, de la cámara y patrones, podemos calcular la profundidad de la escena a digitalizar. Para obtener buenos resultados con garantía es necesario conocer con precisión la localización exacta del proyector, que se mantendrá fijo durante el proceso de toma de información” (Morrillo M, 2015, p.15).

El principal problema de este tipo de herramientas al estudiar la deformación de un patrón interseccionado por cualquier objeto, es que se necesita un tipo de luz concentrada en un punto. No valdría como sistema de iluminación, cualquiera de los sistemas normales que se emplean actualmente, como bombillas, fluorescentes, etc. Estos están compuestos por ondas de diferentes frecuencias provocando que el haz se difumine por todo el entorno (fig. 21).

Figura 21.- Escaneo mediante luz estructurada



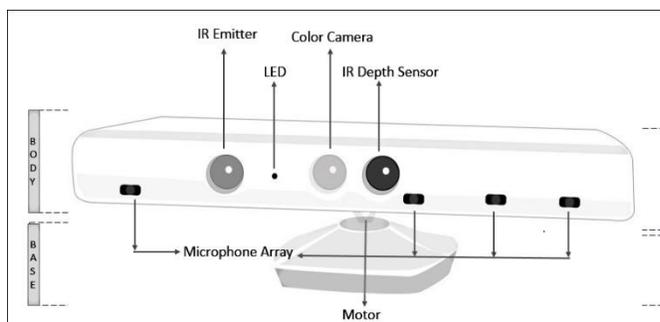
6.5 Kinect

Kinect (fig. 22) es un dispositivo complementario ofrecido por Microsoft como controlador para los sistemas de juego Xbox 360 y Xbox One de Microsoft. Kinect permite a los usuarios controlar juegos, películas y música con el uso de gestos corporales o comandos de voz, eliminando la necesidad de controladores estándar. La palabra "Kinect" es un acrónimo de "cinética" y "conectar". Utiliza datos de video y audio recopilados por su cámara y micrófono como entrada a la Xbox. Kinect es un controlador que puede controlar el sistema de juego al distinguir los gestos de un usuario, los comandos de voz, las características faciales, los datos del esqueleto y los movimientos de todo el cuerpo.

Además de su uso con Xbox, Kinect también se está utilizando en la investigación en campos como la salud de las tecnologías de la información, la educación, la automatización del hogar y la tecnología de la salud para ayudar a los pacientes en las tareas del hogar.

Figura 22

Sensor Kinect de Xbox 360.



Fuente: (Microsoft, 2010)

El Kinect contiene tres piezas vitales que trabajan juntas para detectar su movimiento y crear su imagen física en la pantalla: una cámara de video VGA en color RGB, un sensor de profundidad y un micrófono de matriz múltiple.

- La cámara detecta los componentes de color rojo, verde y azul, así como el tipo de cuerpo y las características faciales. Tiene una resolución de píxeles de 640x480 y una velocidad de fotogramas de 30 fps. Esto ayuda en el reconocimiento facial y el reconocimiento corporal.

- El sensor de profundidad contiene un sensor CMOS monocromático y un proyector de infrarrojos que ayudan a crear imágenes en 3D en toda la habitación. También mide la distancia de cada punto del cuerpo del jugador mediante la transmisión de luz infrarroja cercana invisible y midiendo su "tiempo de vuelo" después de que se refleja en los objetos.
- El micrófono es en realidad una matriz de cuatro micrófonos que pueden aislar las voces del jugador de otros ruidos de fondo, lo que permite a los jugadores usar sus voces como una función de control adicional.

Estos componentes se unen para detectar y rastrear 48 puntos diferentes en el cuerpo de cada jugador y se repite 30 veces por segundo.

6.5.1 Kinect en ingeniería inversa

A pesar de que los escáneres 3D de alta resolución están dominando el mercado hay dispositivos de acceso público de gran calidad. El sensor Kinect de Microsoft es popular por sus grandes funciones en relación a su bajo precio y respaldo teórico en la aplicación de proyectos dentro del mundo de la digitalización. Aunque este sensor no sea de grado industrial, los resultados de escaneo y tiempo lo posicionan como una buena opción para inicializarse con la ingeniería inversa.

“Debido al factor de que Kinect usa métodos ópticos para extraer información 3D, encontraría dificultades debido al camino recto de la luz, Kinect no es capaz de capturar información de profundidad si hay un obstáculo en línea recta al punto de escaneo... Varios ángulos son requeridos secuencialmente para obtener información 3D completa”
(Hsiao and Tsao, 2016, p.1)

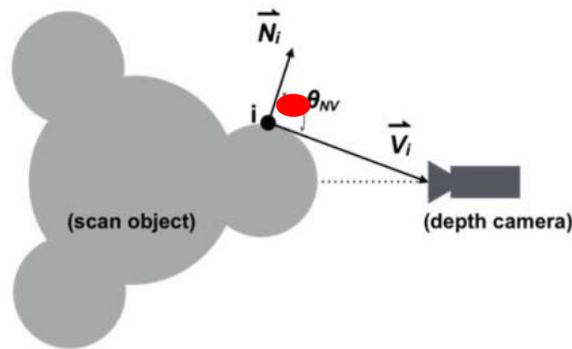
Por lo tanto, los datos 3d desde múltiples ángulos entrarán en un proceso de integración convertirse en objetos completos mediante ciertos algoritmos. esto llevará mucho tiempo durante el proceso de escaneo (además de que hay que rotar al objeto) y encontrará problemas técnicos durante el proceso de integración (dependiendo de la potencia del equipo).

Por otro lado, a pesar de los pequeños problemas que Kinect puede presentar, comparado con otros escáneres del mercado, este sensor es una perfecta solución para la relación de precio y eficiencia.

Durante un proceso de escaneado hay que tener en cuenta la forma del objeto, ya que en formas como la propuesta en la figura 23, el láser solo puede llegar hasta cierto punto, la zona roja mostrada en la imagen será vacío de información,

Figura 23

Ángulo no recomendado del lente del escáner con el objeto a escanear.



Fuente: Hsiao & Tsao, 2016

Debido a la razón de que hay un rango establecido entre la distancia entre la que se deben colocar el objeto y Kinect, se puede deducir de la siguiente fórmula siendo esta situación desde un plano cartesiano mostrada en la figura 23.

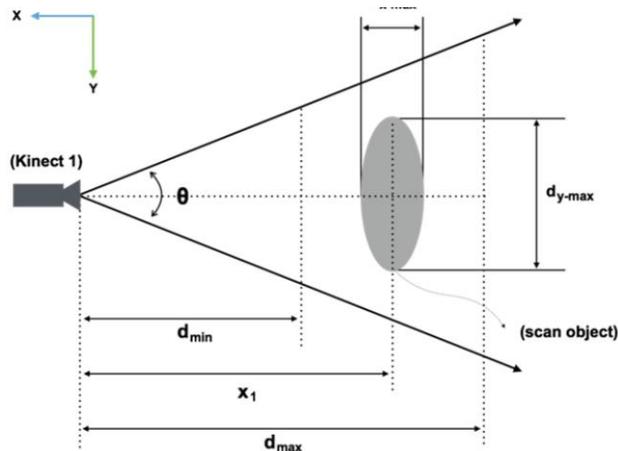
$$d_{min} < x_1 - \frac{dx-max}{1} < d_{max} \dots\dots\dots ec. 1$$

$$d_{min} \tan \frac{\theta}{2} < \frac{dy-max}{2} < d_{max} \tan \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots ec. 2$$

De entre todo, d_{min} es la distancia mínima de escaneado, y d_{max} es la distancia de escaneado máxima del sensor Kinect. En adición, θ es el máximo ángulo horizontal de escaneo, y $dx-máx.$ es la amplitud máxima con respecto al objeto escaneado en el eje x, $dy-max$ es la amplitud máxima con respecto al objeto escaneado en el eje y. (fig. 24)

Figura 24

Vista superior de como se deben colocar Kinect y el objeto a escanear.



Fuente: Hsiao & Tsao, 2016

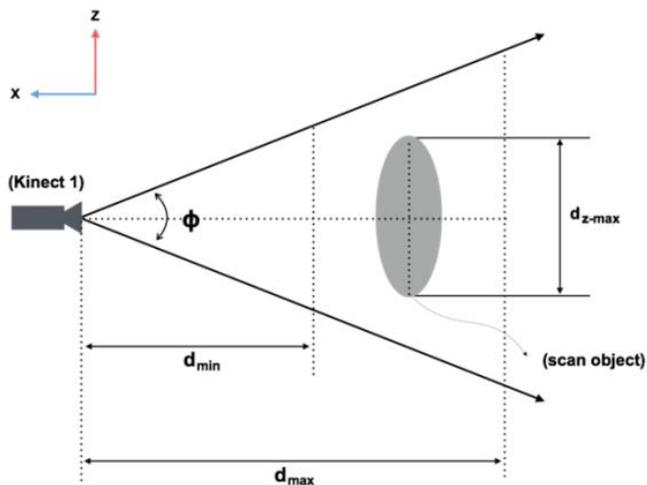
De forma similar para el caso de la vista lateral, la forma ideal de colocar el Kinect en relación con el objeto es la siguiente (fig. 25).

$$d_{min} \tan \frac{\theta}{2} < \frac{dz-max}{2} < d_{max} \tan \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots ec. 3$$

Entre todo, Φ es el máximo ángulo de escaneo vertical y dz-max es la amplitud máxima de escaneo en el eje z.

Figura 25

Forma ideal de colocar el kinect desde una vista lateral.

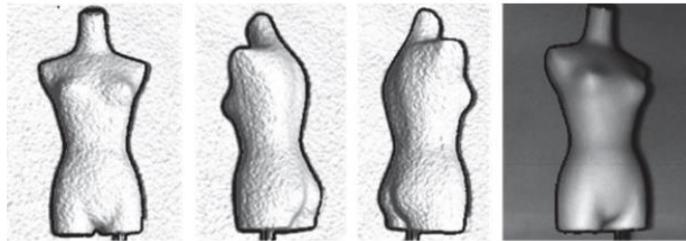


Fuente: Hsiao & Tsao, 2016

En el campo de diseño de moda, utilizar ingeniería inversa está siendo ampliamente usado. Hay estudios donde utilizando Kinect obtienen excelentes resultados al momento de digitalizar maniqués además de estudios donde se escanea al cuerpo humano para obtener modelos animados 3D.

Figura 26

Uso de Kinect para la extracción de modelos de un maniquí



Fuente: Hsiao & Tsao, 2016

Estos estudios aplicaron múltiples Kinect para generar el modelo sin tener que rotar al objeto o el escáner. La figura 26 muestra un ejemplo del uso de múltiples Kinect para extraer e integrar capturas del maniquí desde diferentes ángulos. La figura 27 comprueba un ejemplo de cómo esta información puede ser usada para diferentes propósitos, en este caso fue el diseño de ropa según el modelo escaneado, si se tratase de personas con diferentes físicos, se podría prácticamente diseñar modelos para todo tipo de personas, cosa que es altamente demandada en el mercado.

Figura 27

Diseño de ropa sobre un modelo 3D de un maniquí.



Fuente: Hsiao & Tsao, 2016

Aplicar Kinect en el escaneo de objetos no solo puede incrementar la eficiencia, sino que reduce la dificultad en el procesamiento de los datos capturados gracias a la amplia variedad de software de procesamiento de nube de puntos.

6.6 Arduino

Arduino es una placa electrónica cuya principal característica pretende facilitar el uso de la electrónica en todo tipo de proyectos y se fundamenta en la filosofía del software libre y el código abierto. Se trata tanto de un software como de una placa con un microcontrolador que se puede combinar con un amplio entorno de desarrollo. Arduino se puede utilizar para desarrollar elementos autónomos, o bien conectarse a otros dispositivos o interactuar con otros programas, para interactuar tanto con el hardware como con el software.

6.6.1 Entradas

Son los pines de la placa que se utilizan para hacer lecturas, en la placa Uno son los pines digitales (del 0 al 13) y los analógicos (del A0 al A5).

6.6.2 Salidas

Los pines de salidas se utilizan para el envío de señales, en la placa Uno los pines de salida son sólo los digitales (0 a 13).

6.6.3 Alimentación

El Vin sirve para alimentar la placa, pero lo más normal es alimentarlo por el jack de alimentación usando una tensión de 7 a 12 Voltios. También podemos alimentarlo por el puerto USB, pero en la mayoría de aplicaciones no se tiene conectado a un ordenador.

6.6.4 Comunicación

La comunicación con Arduino se da mediante USB para cargar los programas o enviar/recibir datos. Sin embargo, no es la única forma que tiene Arduino de comunicarse, cuando se conecta una shield ésta se comunica con la placa utilizando los pines ICSP (comunicación ISP), los pines 10 a 13 (también usados para comunicación ISP).

6.6 Plataforma giratoria

La plataforma giratoria es un elemento que permite rotar 360° a un objeto que se encuentre situado sobre él (Fig. 28). Está compuesto de un motor encargado de generar el movimiento y un disco que gira y mantiene fijo al objeto durante todo el proceso de escaneado.

Figura 28.

Mesa rotatoria.



Fuente: Tomada de internet.

Básicamente un dispositivo de estos está conformado por los siguientes componentes:

- Motor (encargado de generar el movimiento).
- Driver del motor (su función es controlar las corrientes que el microcontrolador no puede).
- Microcontrolador (Encargado de controlar al driver).
- Chasis (Elemento que mantiene a los componentes unidos)

6.6.1 Motor

En general, un motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica y utiliza la electricidad generada para producir un movimiento de rotación y, por lo tanto, realizar un trabajo. Si bien hay muchos tipos diferentes de motores, esta sección se centra en los motores de CC, particularmente el motor paso a paso nema 17. De entre los motores disponibles en el mercado, los motores paso a paso destacan por su precisión y su amplia variedad de aplicaciones, además de su excelente desempeño en cualquiera que sea el proyecto donde se desee implementar.

6.6.1.1 Nema 17

“Este motor a pasos NEMA 17... cumple con el estándar Nema17 que define el tamaño del motor (para montaje)..., se trata de un motor de tipo bipolar, tiene un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos por vuelta) y cada bobinado es de 1.7A, capaz de desarrollar un torque de hasta 4Kg/cm”. (Geekfactory s.f).

Este motor puede ser utilizado con los controladores de motores tipo pololu A4988, DRV8825 y tb6600, que son los más conocidos.

Figura 29

Motor Nema 17.



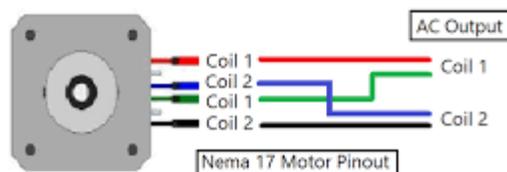
Fuente: (Geekfactory s.f)

Un motor a pasos NEMA (Fig. 29) tiene gran capacidad para controlar la posición de su eje, al mismo tiempo que ofrece un excelente torque, por lo que se puede ocupar en cualquier proyecto que requiera precisión en el posicionamiento.

El motor funciona al excitar cualquiera, o las dos bobinas internas por medio de las cuatro terminales que posee tal y como se muestra en la figura 30. Existen diferentes técnicas para controlarlo conocidas como; pasos enteros, pasos medios, etc. La configuración de cada uno de estos se diferencia según el número de pasos que se pueden obtener y del torque que se produce.

Figura 30

Pinout del motor Nema 17.



“Existe un conjunto de métodos, a través de los cuales es posible realizar la excitación de las bobinas pertenecientes a este tipo de motor, generando el movimiento deseado”. (Gonzales, 2002).

Los métodos son los siguientes:

- Paso simple
Consiste en la excitación de una bobina por paso, haciendo que el motor se oriente hacia dicha bobina. Sin embargo, al energizar una bobina por vez, se obtiene un movimiento con poca fuerza.
- Paso doble
Consiste en la excitación de dos bobinas por vez, orientando el motor hacia dichas bobinas. Debido a que se energizan dos bobinas, los pasos a realizar poseerán mayor fuerza que en la secuencia de paso simple.
- Medio paso
Consiste en la realización de giros a través de pasos pequeños, pero reduciendo significativamente el torque del motor.

6.6.2 Driver

Los drivers de motor actúan como una interfaz entre los motores y los circuitos de control. El motor requiere una gran cantidad de corriente, mientras que el circuito del controlador funciona con señales de baja corriente. Entonces, la función de los controladores de motor es tomar una señal de control de baja corriente y luego convertirla en una señal de corriente más alta que pueda impulsar un motor. Se encargará de emitir señales de control para el correcto funcionamiento del motor acoplado. *“Estos controladores nos permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada”* (Llamas L, 2021).

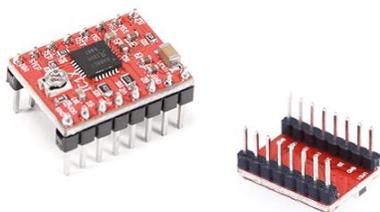
6.6.2.1 Driver A4988

El driver A4988 (Fig.31) permite controlar motores paso a paso bipolares de hasta 2A. Basado en el chip Allegro A4988, ampliamente utilizado para impresoras 3D y Máquinas CNC Open Source.

“El uso de un driver Pololu para el control de un motor paso a paso nos simplifica mucho el trabajo ya que este driver se encarga de generar todas las señales necesarias para su funcionamiento y además nos añade las protecciones necesarias de temperatura y corriente” (Garcia V., 2021).

Figura 31

Driver A4988.



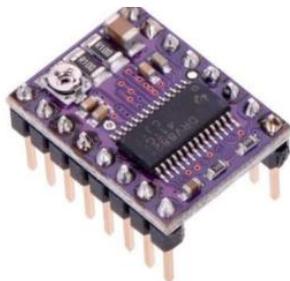
Fuente (Garcia V., 2021)

6.6.2.2 Driver DRV8825

El DRV8825 (Fig.32) es un driver para motor a pasos con mayor capacidad de corriente que el muy conocido A4988 de Allegro que es bien conocido por su uso en máquinas CNC miniatura. El DRV8825 es ideal para utilizarse en aplicaciones de impresión 3D y otras máquinas CNC de mediano tamaño en donde el A4988 puede ser insuficiente.

Figura 32

Driver DRV8825.



Fuente: Tomada de internet

6.6.3 Rodamientos

Hoy en día, los rodamientos son una de las piezas de maquinaria más utilizadas, ya que su movimiento giratorio facilita todos los movimientos y además ayuda a reducir la fricción entre los distintos elementos móviles.

Los rodamientos tienen dos funciones principales:

- Transfieren el movimiento, es decir, apoyan y guían componentes que giran entre sí.
- Transmiten fuerzas.

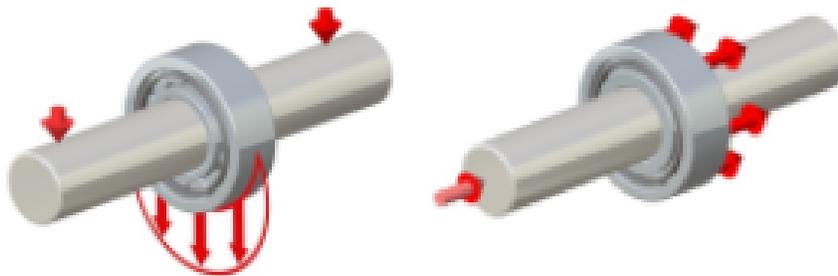
6.6.3.1 Rodamientos radiales y rodamientos axiales

“Los rodamientos pueden transmitir cargas en una dirección radial o en una dirección axial (empuje) y, en muchos casos, hay una combinación tanto de cargas radiales como axiales en la transmisión del movimiento” (NSK 2021).

La elección del diseño de los rodamientos depende de cada aplicación, o, en otras palabras, del tipo de carga al que se encuentre sometido (Fig. 33).

Figura 33

Rodamiento para cargas radiales (izquierda) y rodamiento para cargas axiales (derecha).



Fuente (NSK 2021)

7. MATERIALES Y MÉTODOS

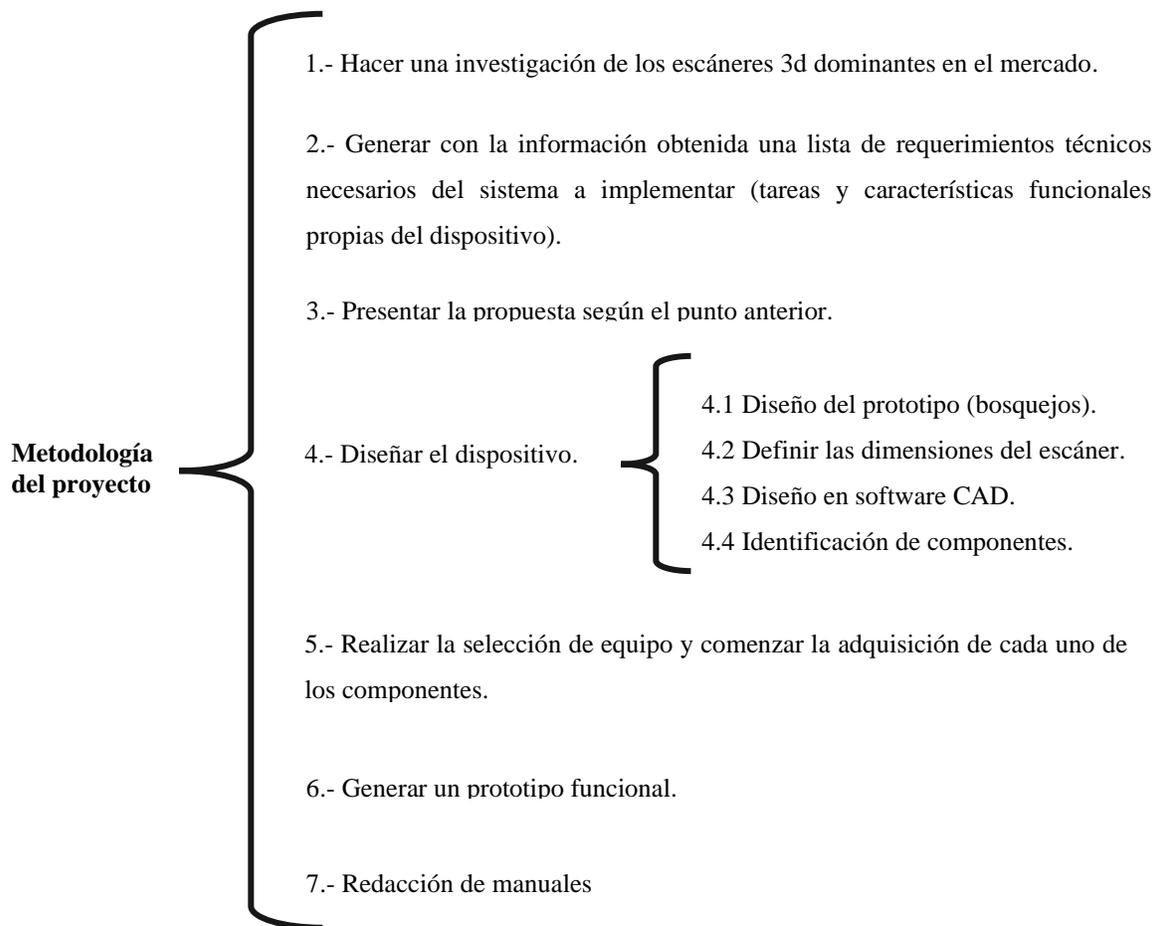
En este capítulo se describen con detalle, precisión y apego a la metodología seleccionada el conjunto de actividades realizadas que contribuyeron al logro de los objetivos planteados como parte del desarrollo del proyecto.

7.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

En la figura 34 se muestra en forma de esquema la metodología propuesta y los pasos que se siguieron para cumplir con la entrega del prototipo.

Figura 34

Metodología para el desarrollo del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

6.1.1 Investigación de los escáneres 3d dominantes en el mercado

Según las etapas de la metodología propuesta, lo primero fue realizar una investigación del estado del arte del escaneo 3D para adquirir la mayor cantidad de información y con base en ello generar una propuesta propia tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.- Modelos de escáneres 3D predominantes en el mercado

	Escáner 3D Phiz	Scan Dimension Sol 3D	Ciclops 3D	Matter and form V2	Shining 3D Ein Scan SE	Escáner de luz estructurada HP Pro S3	Creality CR-Scan 01
<i>Exactitud</i>	0.2 mm	0.1 mm	0.5 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.1 mm
<i>Tecnología</i>	Triangulación. láser				Luz estructurada		
<i>Tiempo de escaneo</i>	Variable	17 min	8 min	10 min	11.45 min	Minutos o segundos	Variable
<i>Dimensiones de escaneo máx.</i>	150x150 mm	100x100 mm	203x203	210x210 mm	700x700 mm	500x500 mm	500x500 mm
<i>Peso</i>	1.6 Kg	3.81 kg	3.12 kg	1.71 kg	4.9 kg	1.8 kg	1.3 kg
<i>Mesa de escaneo</i>	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
<i>Peso máx. Soportado</i>	2 kg	2 kg	3 kg	3 kg	5 kg		
<i>Software</i>	3DScan Link.	Scan Dimension Sol	Horus	+Quick Scan	EinScan	DAVID 4 3D Scanner Software	Wand Studio Pro
<i>Precio</i>	US \$379	US \$699	US \$300	US \$749	US \$1699	US \$3895	US \$700
<i>Modelo</i>							

Fuente: Elaboración propia

El mercado de escáneres 3D ofrece desde modelos que son accesibles para cualquier tipo de público hasta versiones industriales con una precisión muy alta. La primera diferencia que se destaca entre estos modelos radica en el precio, siendo los que mejores características presentan los que tiene un precio mayor.

6.1.2 Generación de características

La información de la tabla 2 permitió definir los elementos que el dispositivo propio presenta, entre los cuales se encuentran:

- Plataforma giratoria de escaneado.
- Soporte del escáner.
- Elementos de control (Arduino y A4988).
- Kinect (escáner).

6.1.2.1 Plataforma giratoria de escaneado

La base sobre la cual se colocan las piezas a escanear está compuesta por un motor nema 17 dentro de un chasis de aluminio que funciona como soporte de todo el proyecto. Hay un rodamiento para cargas axiales que reduce la fricción entre la base rotatoria y el motor.

6.1.2.2 Soporte del escáner

Para el soporte del escáner se decidió optar por uno fijo, ya que la base rotatoria hace la función de cambiar la posición de los objetos con cada captura de imagen y no se consideró óptimo juntar al escáner con la mesa rotatoria como en algunos escáneres comerciales.

6.1.2.3 Elementos de control

Para controlar el motor se optó por el driver A4988, de esta forma con el uso de una placa Arduino se puede de manipular forma precisa la posición del motor.

6.1.2.4 Escáner

El sensor que se seleccionó para hacer la función de escáner es el Kinect de Microsoft. Un parte importante de este sensor es que permite capturar a color lo que lo hace muy útil para obtener un modelo idéntico al original.

6.1.3 Presentar la propuesta según el punto anterior

Una vez definido el proyecto, se presentó la propuesta y se hicieron los cambios de acuerdo a las recomendaciones hechas por los asesores del proyecto. Todo para no presentar dudas a la hora de diseñar y construir el prototipo.

6.1.4 Diseñar el dispositivo

Llegado a la etapa de diseño lo primero que se hizo fue dibujar los bosquejos del prototipo. Los bocetos desarrollan un concepto rápido de los que se quiere hacer, y en general, mejoran el proceso de diseño, tienen una gran utilidad para cualquier tipo de proyecto y también es posible ver cómo funciona el proceso de diseño, así como la evolución de la idea inicial. Además, debido a la naturaleza visual de los bocetos, puede explicar mejor las ideas a otras personas.

Figura 35

Bosquejo de la plataforma giratoria.

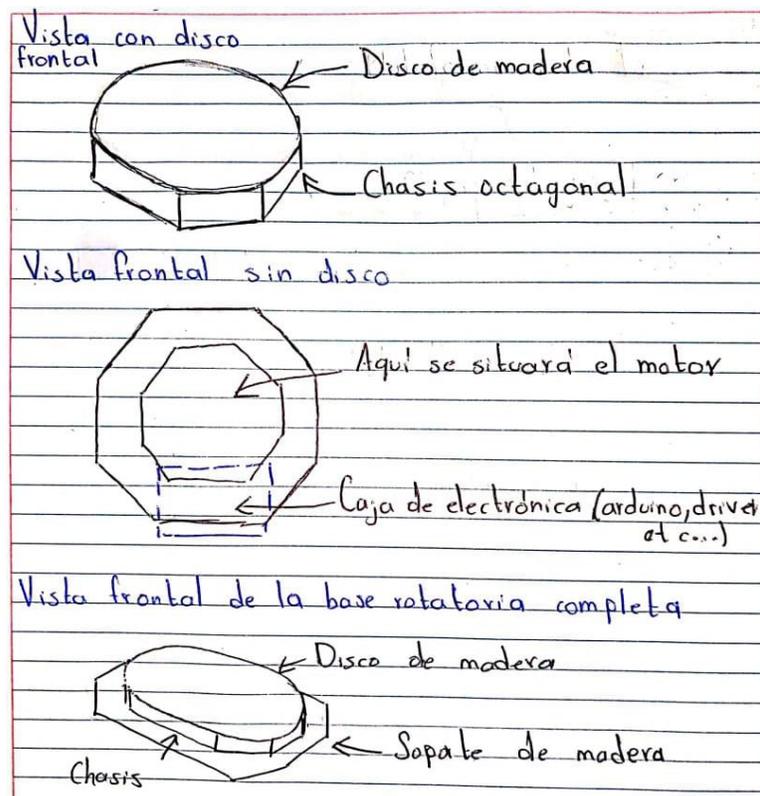
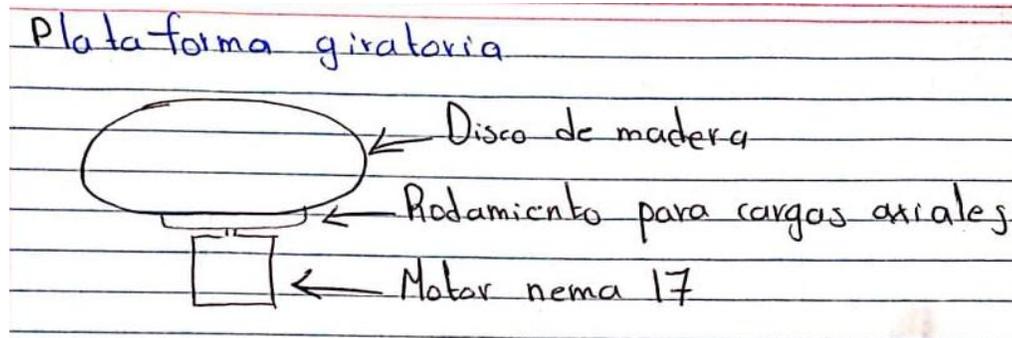


Figura 36

Bosquejos base rotatoria.



Fuente: Elaboración propia

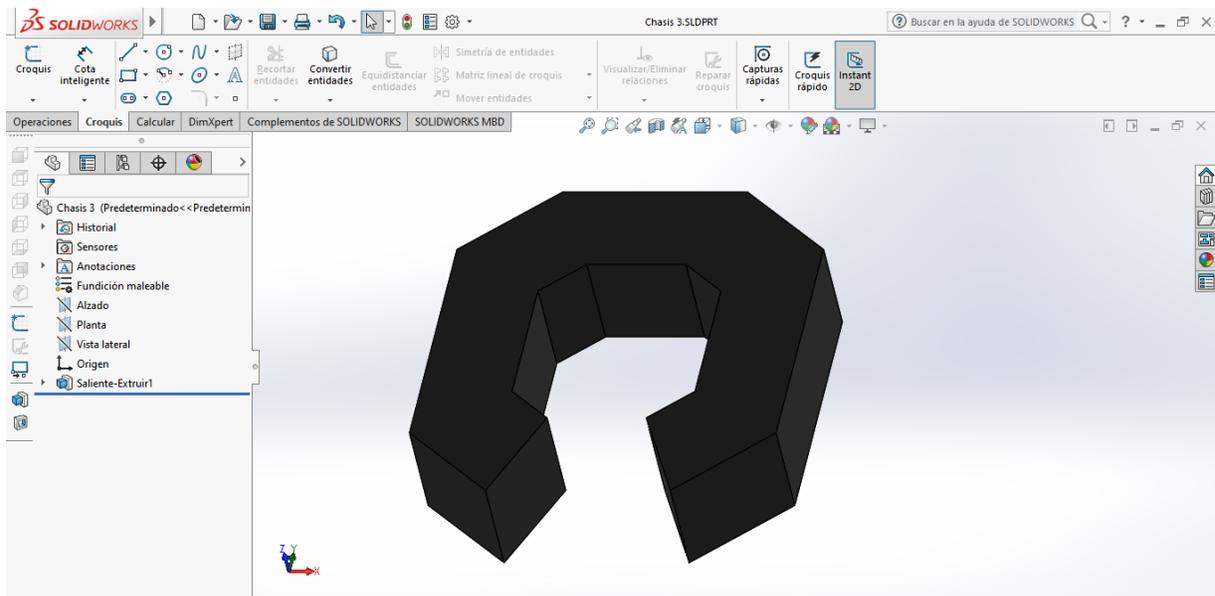
En software CAD se plasmaron las primeras ideas y se generó el primero modelo 3D del proyecto, tomando en cuentas lo previsto en la segunda etapa de la metodología.

Chasis

Este elemento se encargará de soportar a todo el escáner, en la parte frontal se ubica la base rotatoria y en la parte inferior la caja de electrónica. Está hecho de perfil de aluminio por lo que asegura un correcto aseguramiento de los demás elementos.

Figura 37

Chasis del escáner.

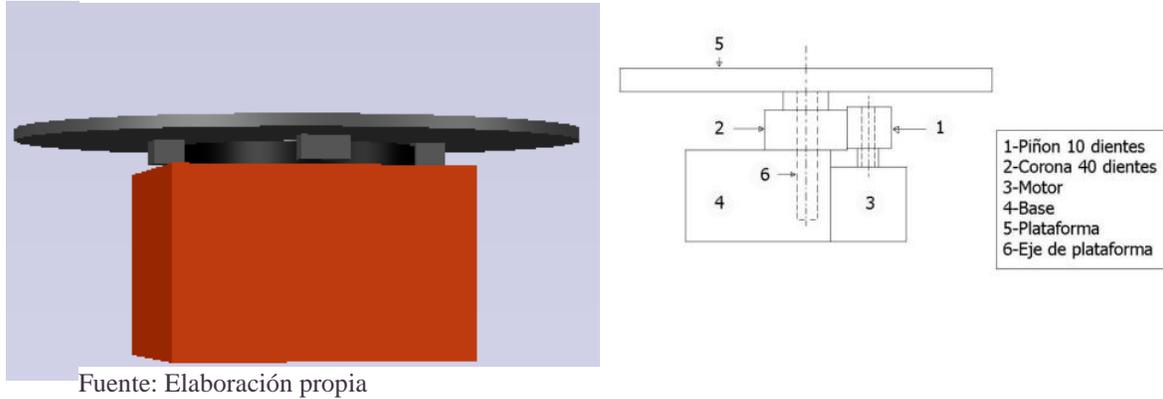


Base rotatoria

Los elementos de la base son: soporte para el motor, diseño del piñón, base redonda de madera, rodamiento para cargas axiales y motor nema 17.

Figura 38

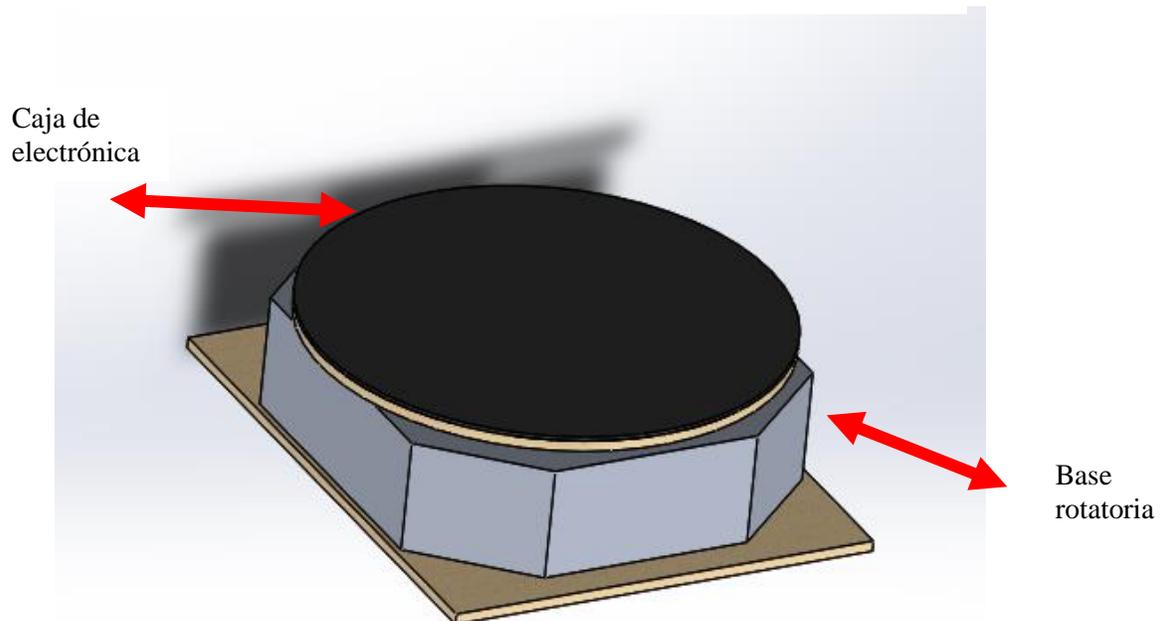
Base rotatoria del escáner.



El concepto general de la base rotatoria se muestra en la figura 39.

Figura 39

Concepto general de la base rotatoria.



Fuente: Elaboración propia

6.1.5 Selección de los componentes

En este apartado se describen las características de los motores que han de mover tanto la plataforma como el sistema de poleas de elevación de la cámara y el láser. Asimismo, se definirán y se seleccionarán los demás dispositivos que se encargarán de controlar dichos motores.

6.1.5.1 Motor paso a paso Nema 17

Para la creación de un escáner 3D se requiere un motor con el que se tenga un control completo de la posición del rotor, así como de la diferencia de grados entre cada posición y la capacidad de quedar enclavado en una posición determinada. En base a esto se ha elegido para este proyecto un motor paso a paso, puesto que este tipo de motores poseen las siguientes características:

- Se desplazan un paso por cada pulso que se les aplica y este paso puede variar de 1.8° a 90° por lo que los de 90° necesitarán 4 pasos y los de 1.8° 200 pasos para completar un giro completo de 360° .
- Tienen la capacidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres.

Figura 40

Motor Nema 17.



Fuente: Tomada de internet

El motor paso a paso ‘Nema 17’ es el que se encarga de hacer girar la plataforma del escáner. Es necesario un driver para controlar los pasos del motor. El motor está compuesto por una serie de bobinas que se magnetizan y desmagnetizan para mover el rotor de su interior según los pasos que se requieran

6.1.5.4 Driver A4988

El driver que permite controlar los pasos del motor se encuentra en el shield. Tiene cinco modos de funcionamiento: full-step, half-step, quarter-step, eight-step y sixteenth-step. Al driver se le envía un pulso que a su vez este le indica

Figura 41.- *Driver A4988.*



6.1.5.2 Rodamiento para cargas axiales

El rodamiento se ha utilizado para hacer que la plataforma del escáner gire. Tiene un diámetro de 78 mm y una altura de 16 mm.

Figura 42.- *Rodamiento 51111.*

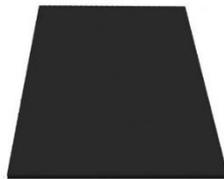


Estos rodamientos tienen un considerable aguante a las cargas axiales no así para las cargas radiales.

6.1.5.3 Superficie antideslizante

Una superficie antideslizante para que el objeto que se pretende escanear no se mueva durante el movimiento de la base.

Figura 43.- *Elemento antideslizante.*



6.1.5.5 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación de 12V se utiliza para dar potencia al shield para que se pueda mover el motor. Posteriormente se modificó el cable para añadirle una salida adicional para poder incorporar el relé al diseño final.

Figura 44.- Fuente de poder 12V a 2A.



6.1.6.6 Disco de madera

Es donde se colocan los objetos a escanear.

Figura 45.- Disco de madera.



6.1.6.7 Caja de electrónica

Este elemento resguarda toda la electrónica del sistema, el Arduino y el driver A4988, además de los demás componentes.

Figura 46.- Arduino nano.



6.1.6.8 Kinect

Dispositivo encargado de capturar imágenes del objeto para digitalizarlo en conjunto con el software 3D.

Figura 47.- *Kinect 2010.*



6.1.6 Construcción del prototipo

Inicialmente se definieron las características del escáner y los procesos adyacentes, en esta sección se describen los procedimientos seguidos para la construcción del dispositivo y primeras pruebas.

Se adquirió el material con el que se construyó el chasis. El material empleado es perfil de aluminio (fig. 48) debido a que un material como acero es de más difícil acceso. Dicho material se cortó según las medidas que presentaba el diseño en software.

Figura 48.- *Perfil de aluminio.*



Posteriormente se adquirió madera de pino y se hicieron los cortes de 20 x 25 CM. Sobre este pedazo de madera se colocaron los pedazos de aluminio soldados (fig.49).

Figura 49

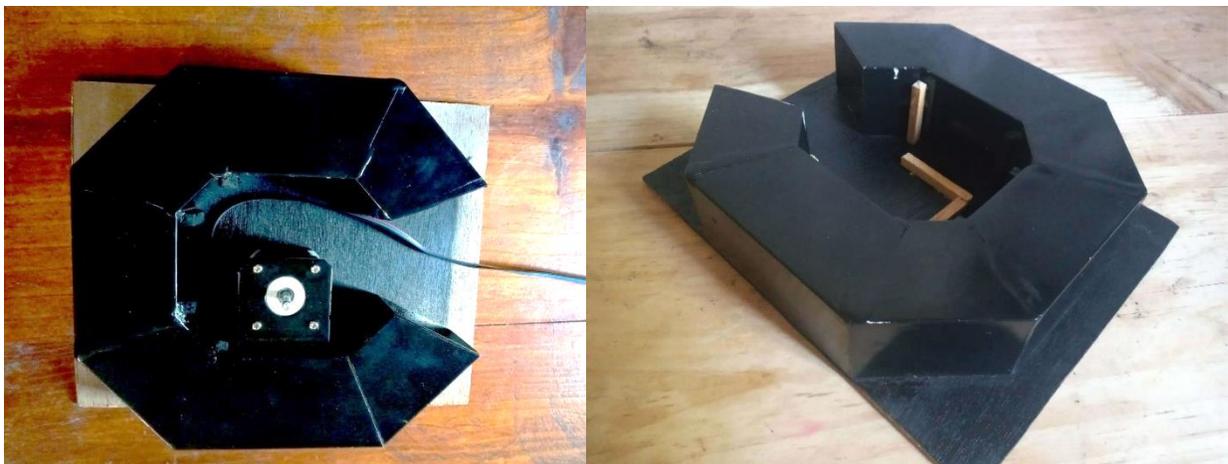
Base de madera de pino.



Se soldaron los cortes del perfil de aluminio y se ensamblaron sobre la base de madera para darle un soporte al motor y componentes electrónicos además de obtener la forma deseada (fig. 50).

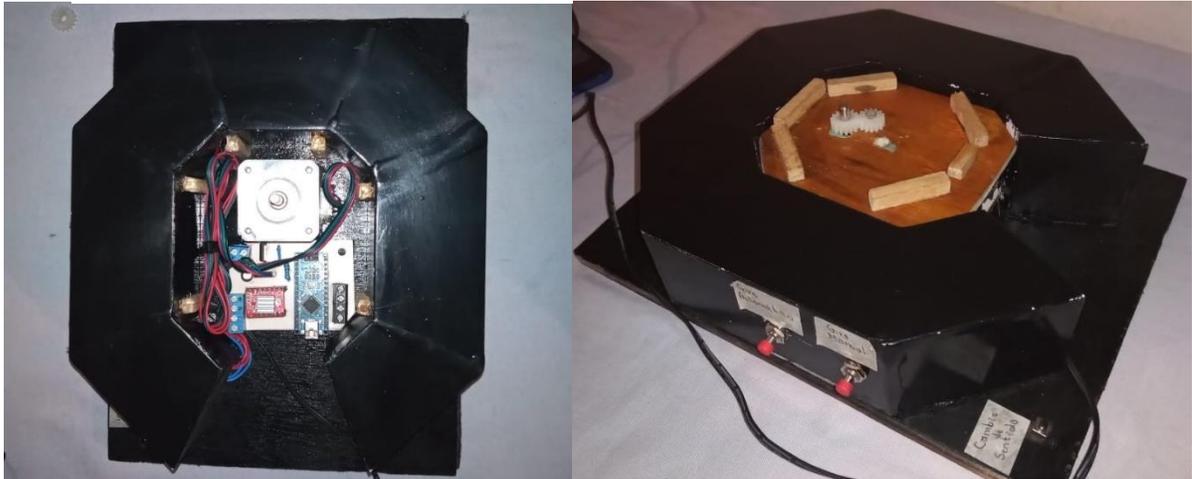
Figura 50

Base rotatoria.



Se cortó la superficie que cubre al motor y mantiene fijo a los rodamientos. Además, es donde se diseñó la transmisión para hacer rotar al disco de madera (fig. 51).

Figura 51.- Cubierta del motor.



Fuente: Elaboración propia

Hay diferentes puntos que hay que destacar a la hora de diseñar esta pieza:

- El engranaje sobre el que va la plataforma va unido a la estructura por medio de un eje.
- La plataforma debe asentarse de una forma segura al eje ya que cualquier tipo de holgura puede llevar a perturbaciones en la lectura.
- Los motores paso a paso tienen un paso mínimo de 1.8° , esto es demasiado grande para un escáner 3D, por ello los engranajes deberán tener una relación de como mínimo “1:4” para que de esta forma el paso del motor pase de 1.8° a 0.45° .
- Se debe prestar especial atención a que los engranajes 1 y 2 de la figura 53 queden perfectamente acoplados el uno con el otro ya que de no ser así la plataforma adquiriría una holgura que produciría perturbaciones en el escaneado

Los rodamientos se colocaron sobre la cubierta del motor nema 17 (fig. 52) para reducir la carga que producían los objetos a escanear.

Figura 52.- Implementación de los rodamientos.



El disco de madera se montó sobre los rodamientos (fig.53), de esta forma el motor no operará de más en el momento de escaneado.

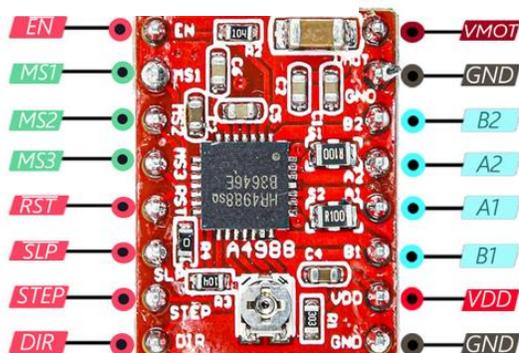
Figura 53.- Vista superior de la mesa de rotación.



6.1.6.1 Calibración del driver

Después de construir el chasis se procedió a calibrar el voltaje de referencia del driver A4988 antes de implementarlo en la placa de control, para que el motor no pierda pasos ni se pueda quemar por un exceso de corriente.

Figura 54.- Pinout Driver A4988.



Fuente: Tomada de internet

Según la información obtenida de hojas de datos y fichas técnicas se configuraron los pines de la siguiente manera:

- EN: Es la habilitación externa que la recoge el pin Enable, se conectó a 5V.
- MS: Configuración de los pasos, para el desarrollo del proyecto se usaron pasos completos por cuestión de torque, por lo que según la datasheet del driver estos pines van inhabilitados.
- RST: Reinicio de la función, se controla por un pin de Arduino.
- SLP: Dejar el servo en Standby, se controla por un pin de Arduino.
- STEP: Dependiendo del número de pulsos es el avance del motor. Cada pulso equivale a 1.8°.
- DIR: Entra por el pin de abajo a la izquierda y determina el sentido de giro en función de poner el pin en HIGH o LOW, se controla por un pin de Arduino.

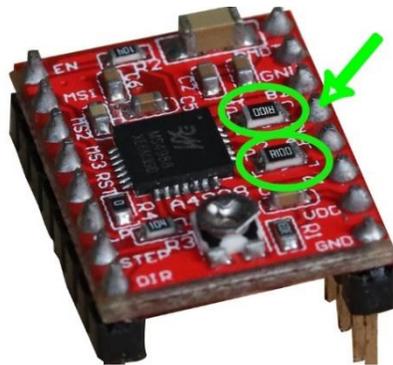
- Tensión de potencia : Se encuentra en los dos primeros pines de arriba a la derecha, y la tensión aplicada se encuentra entre 12 y 35 voltios, para este pin se agregó un condensador de 100mf a 25 V ya que el voltaje máximo suministrado por la fuente del proyecto es 12 v.
- Bobinas de motor: Se conectan en los pines 2B y 2A (1° bobina) 1A y 1B (2° bobina).
- Tensión de control: Se encuentra en los dos últimos pines de abajo a la derecha y la tensión aplicada se encuentra entre 3 y 5.5 voltios.

Para ajustar el voltaje de referencia del driver, se necesitó conocer 2 datos:

- Corriente máxima del motor Nema 17 (1.7 A).
- Valor de las resistencias tipo SMD de sensibilidad del driver, para el caso del driver empleado son R100 (0.1Ω).

Figura 55

Resistencia SMD del A4988.



Fuente: Tomada de internet

La fórmula proporcionada por la datasheet para la corriente máxima dice que:

$$I_{MAX} = V_{REF} / (8 * RS)$$

Por lo tanto:

$$V_{REF} = I_{MAX} * (8 * RS)$$

Sustituyendo valores:

$$V_{REF} = 1.7 * (8 * 0.1)$$

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% $I_{tripMax}$ (%)	Phase 2 Current [% $I_{tripMax}$ (%)	Step Angle (°)
	1	1	1	1	100.00	0.00	0.0
				2	99.52	9.80	5.6
			2	3	98.08	19.51	11.3
				4	95.69	29.03	16.9
		2	3	5	92.39	38.27	22.5
				6	88.19	47.14	28.1
			4	7	83.15	55.56	33.8
				8	77.30	63.44	39.4
1	2	3	5	9	70.71	70.71	45.0

$$V_{REF} = 1.36$$

Este resultado se ajustó a la medida establecida por la configuración de pasos completos.

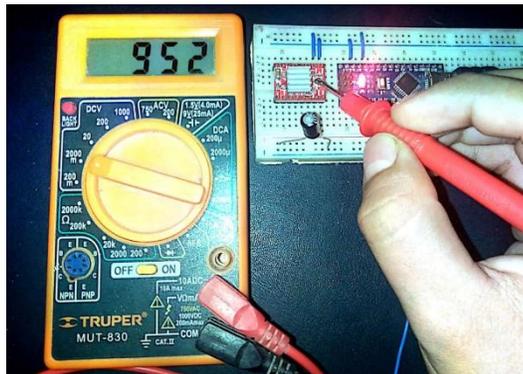
Si vamos a trabajar en pasos completos tenemos que limitar esta tensión al 70 %, que es lo máximo que va a entregar el driver.

$$V_{REF} = 0.7 * 1.36$$

$$V_{REF} = 0.952$$

Figura 56

Calibración del driver.



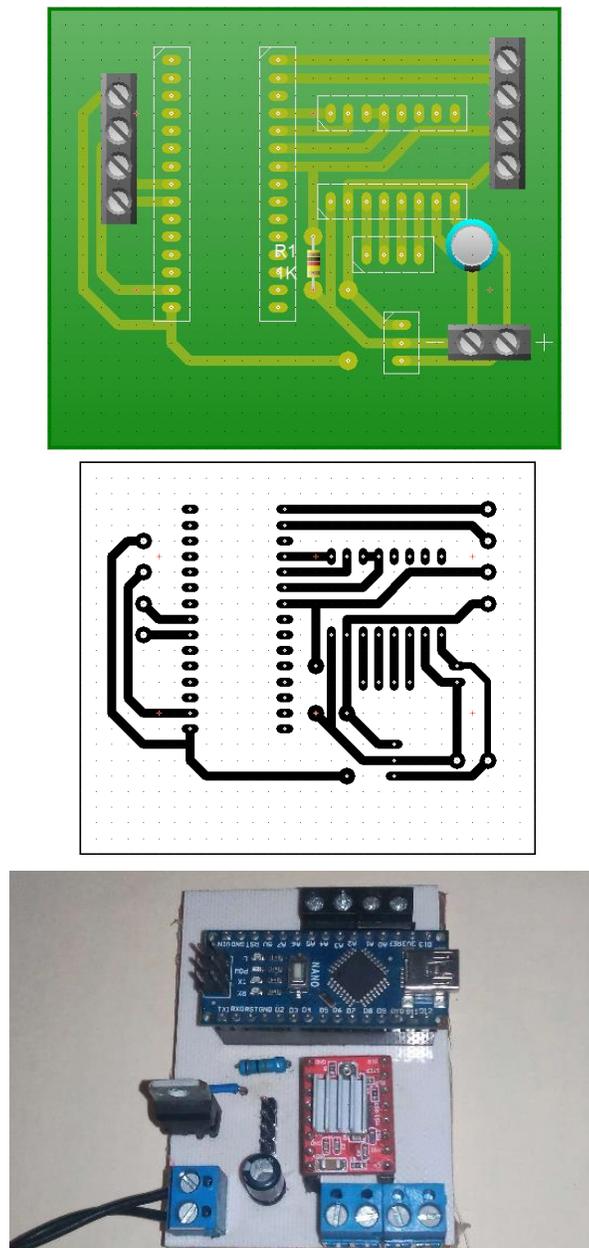
El valor obtenido anteriormente es al voltaje al que se ajustará el driver.

6.1.6.2 Diseño del circuito electrónico.

Una vez probado el circuito en protoboard y realizar algunas pruebas se diseñó en el software PCB Wizard la placa electrónica que controla todo el sistema.

Figura 57

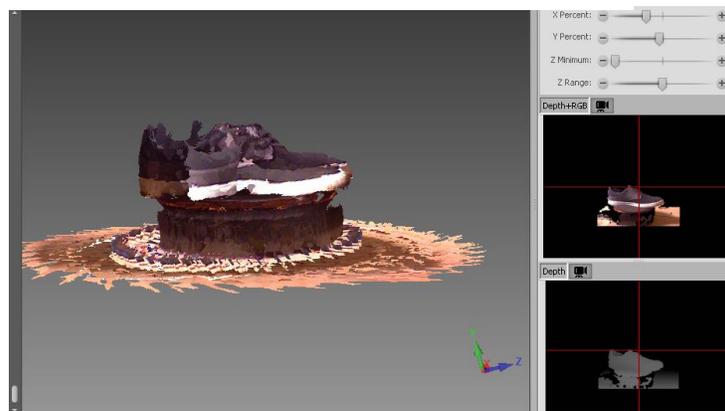
Circuito electrónico en PCB Wizard y circuito impreso.



8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La finalidad del proyecto era realizar prácticas de ingeniería inversa y de escaneo 3D, es por eso que se puede afirmar que se lograron esos objetivos. Los primeros escaneos no eran del todo perfectos ya que había que considerar varios factores que se fueron corrigiendo a lo largo del desarrollo del proyecto. El primer escaneo, como se muestra en la figura 58, no era perfecto, pero haciendo ajustes se pudo obtener un mejor modelo 3D.

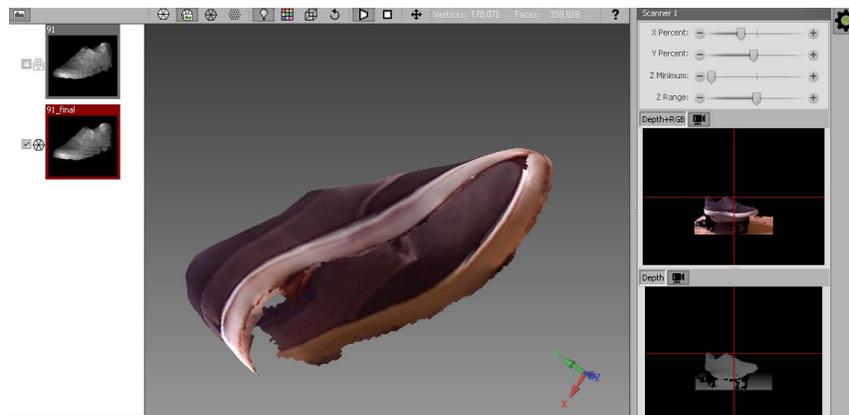
Figura 58.- *Primer escaneado.*



Fuente: KScan3D

La importancia de realizar ajustes y calibraciones permitió obtener mejores resultados más cercanos a los esperados. Los mejores resultados se obtuvieron en los últimos escaneos, como se muestra en la figura 59.

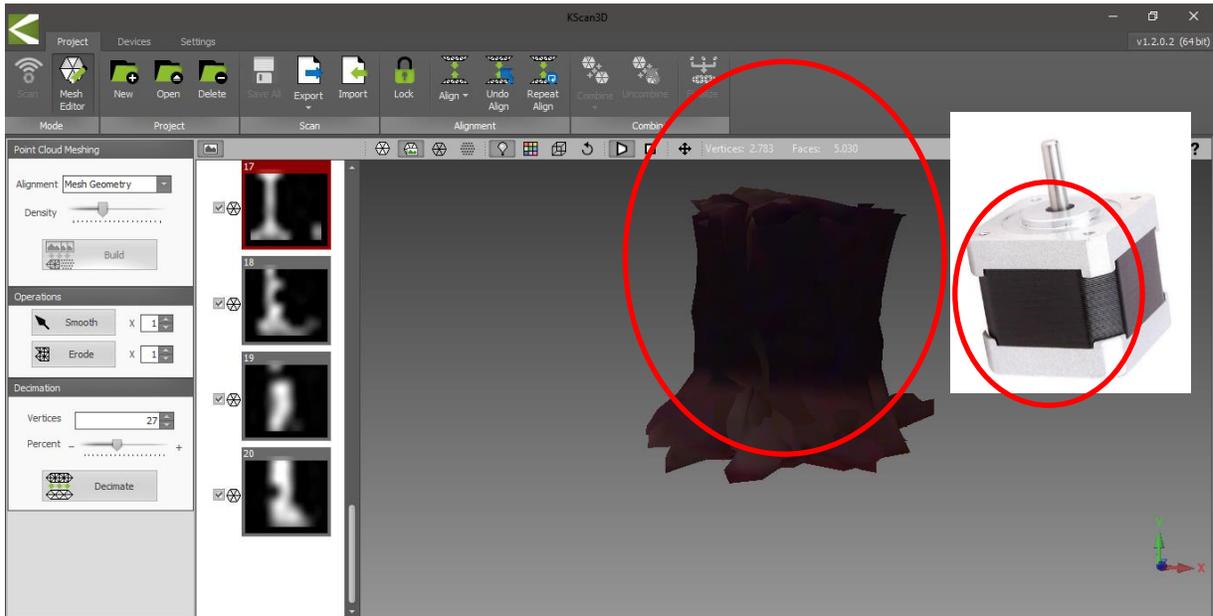
Figura 59.- *Escaneado final.*



Fuente: KScan3D

Se observó que para objetos menores a dimensiones de 5cm x 5 cm es casi imposible realizar un escaneo. Tal y como se presencié al tratar de escanear el motor nema 17.

Figura 60.- Motor nema 17 en KScan3D.



Fuente: KScan3D.

Se descubrió que la forma también afecta a la simulación. Ejemplo de ello se demuestra en la siguiente simulación, donde a pesar de tener menor volumen que el motor nema 17, se consiguió obtener un resultado inesperado (Fig.61).

Figura 61.- Manija mecánica vs modelo 3D.



La parte de madera de la manija mecánica se capturó a pesar de ser de un volumen menor, debido a que la forma permitía que el escáner tomara como referencia diversos puntos del objeto, que, aunque no capturó una parte, con un segundo escaneo desde un diferente ángulo se conseguiría completar el modelo perfectamente.

Para el caso de operar el escáner en baja condiciones de luz, se pueden conseguir resultados de mediana calidad. Demostrando que la iluminación afecta en la captura de la imagen para el caso de KScan 3D. La figura 63 muestra un motor monofásico escaneado sometido a baja iluminación. La figura 64 presenta el mismo motor, pero digitalizado bajo buenas condiciones de iluminación.

Figura 62.- *Motor monofásico en baja iluminación.*

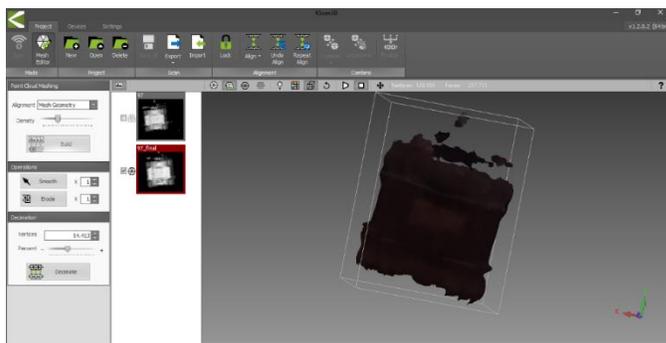


Figura 63.- *Motor monofásico en buena iluminación vs original.*



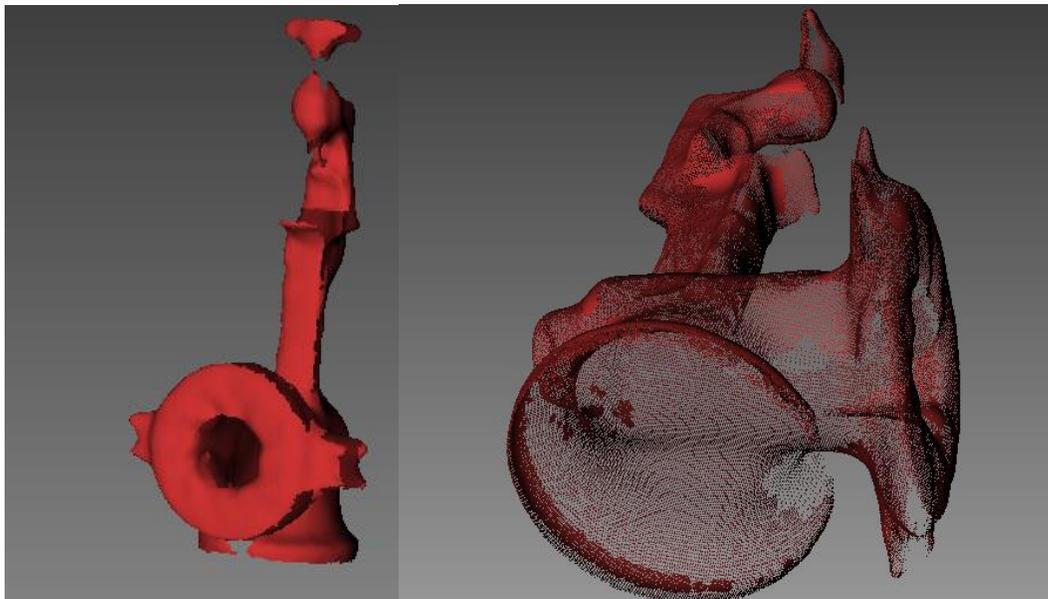
Finalmente, un buen resultado de escaneo se consiguió al presentarse una buena iluminación y un volumen mayor a 5x5x5 cm. La figura 64 muestra un molino mecánico en su forma original en comparación con la obtenida con Kinect.

Figura 64.- *Molino mecánico 3d vs modelo original.*



Resultados como estos son muy prometedores ya que, en conjunto con software complementos podemos realizar diferentes modificaciones, como analizar la malla de puntos (fig. 65), estudiar su diseño, realizar modificaciones, etc.

Figura 65.- *Malla de puntos de un molino mecánico.*



Respecto a la mesa de escaneado se consiguió crear un dispositivo que disminuyó el tiempo de escaneado para ciertos objetos. El contar con eso significó una reducción considerable de trabajo ya que para realizar una digitalización hay que rotar en múltiples direcciones al objeto.

Figura 66.- Mesa de escaneo.



Para facilitar el uso del Kinect con la mesa de escaneado se redactaron dos manuales. El primero, el manual de usuario (Anexo 4), cuenta con la información técnica, descripción de la mesa de rotación, como usar Kinect y como instalar el software de escaneo Kscan3D. Por otro lado, el manual de prácticas muestra paso a paso como usar la mesa rotatoria en conjunto con el software para realizar prácticas de digitalización 3D.

9. CONCLUSIÓN

Con la respectiva realización y finalización de este proyecto mediante un análisis consiente y reflexivo se llegaron a múltiples conclusiones. En primer lugar, se puede afirmar que se lograron los objetivos parcialmente, al hacer mención de esta palabra no se quiere dar a entender que no se cumplieron los objetivos propuestos al inicio del proyecto. Más bien, hay partes que no se pusieron cumplir por cuestión de accesibilidad pero que no afectan el funcionamiento del dispositivo, ejemplo de ello es el aditamento que sostiene al Kinect a la altura adecuada, el cual se puede imprimir en un par de horas en una impresora 3D. Respecto a la mesa de rotación se construyó un dispositivo económico que permite rotar al objeto a escanear en todos los ángulos posibles (360°) que facilita radicalmente el escaneo 3D. Un proceso que podría tardar varios minutos se pueden resumir en unos cuantos con el uso de dicho dispositivo. Para ello se hicieron varios modelos en software CAD y se construyó el que sobresalió entre todos ellos. Se optó por un motor Nema 17 para generar el movimiento rotacional, el driver A4988 para operar con el amperaje necesario con el que funciona el motor, y la placa de control Arduino para controlar al driver sin exponerse al alto amperaje del motor que podría destruir al Arduino. Los conocimientos aplicados se destinan al manejo de Arduino, que básicamente es la herramienta conocida en el desarrollo de proyectos.

La investigación documentada durante este proyecto sustenta el uso del Kinect en proyectos de ingeniería, este sensor tiene una amplia gama de aplicaciones y lo mostrado aquí solo es una de tantas opciones. El potencial se ve muy comúnmente en medicina donde se aplica como herramienta para el escaneo del cuerpo humano. Referente a esto se concluyó que los elementos mecánicos a escanear debían estar sobre el rango de 10x10 para obtener los mejores resultados, aunado a esto, las condiciones lumínicas afectan en gran medida al funcionamiento del prototipo. Zonas del objeto donde la luz no llegue o sombras sobre el objeto significan señales de ruido y degradan las capturas que el software realizar.

El software de digitalización KScan3D es solo la apertura de una gran cantidad de opciones que se pueden encontrar, opciones como openCV proporcionan acceso a librerías de visión artificial, cuyas aplicaciones impulsarían al proyecto a simplemente más que ingeniería inversa. Poliworks que se utiliza para inspección 3D, creación y análisis de mapas de errores, informes de inspección y documentación.

Finalmente, algunos trabajos a futuro que se podrían realizar son: usar openCV para reconocer automáticamente el objeto y poder digitalizar todas sus partes, reconstrucción de partes dañadas, medición 3D, manipular entidades CAD que son extraídas de nubes de puntos y mallas poligonales.

10. RECOMENDACIONES

Las posibles mejoras que se pueden desarrollar sobre el proyecto se centran en el software y la mesa de rotación.

- Se pueden imprimir mediante una impresora 3D las piezas diseñadas en SolidWorks, ya que las actuales están hechas de madera y con el tiempo pueden llegar a deformarse por la humedad.
- Hablando de impresión 3D, se pueden cambiar la transmisión de movimiento. Estas piezas permitirán que el dispositivo funcione de mejor forma y permite que el proyecto se vea más estético. Además, se presentan otros modelos de transmisiones que pueden llegar a implementarse, pero no se hicieron porque surgieron durante la práctica, además de que implementarlos y, más específicamente, conseguirlos significaría un extra de tiempo con el que no se contó.

- También se puede rediseñar el circuito de control para hacerlo aún más compacto.
- Actualmente el proyecto tiene implementado un rodamiento para carga axiales modelo 51111 el cual es uno de los elementos con mayor importancia dentro del proyecto, es el elemento que se encarga de disminuir la fuerza aplicada sobre el disco donde se rotan los objetos a escanear. Este balero se puede cambiar por otro modelo debido a que el usado en el proyecto ya empieza a presentar zonas con oxidación. Recomiendo que sea uno con mayor diámetro interno para tener una mayor superficie sobre la cual el disco de madera pueda aplicar el peso del objeto a escanear. Respecto a las zonas con óxido, es importante mencionar que las bolas son las que permiten que la mesa gire y que el motor no se esfuerce demasiado durante la rotación, por ello, es requisito del proyecto contar con un rodamiento axial en perfectas condiciones. Si se llegase a cambiar el modelo solo hay que rediseñar una pieza de la mesa de escaneado mostrado en el anexo 4 al nuevo tamaño del balero.
- Se puede cambiar el driver A4988 por el DRV8825, pero significaría rediseñar el circuito de control aunado a la adquisición del elemento, pero se contaría con la capacidad de hacer que el motor funcione a su máximo potencial.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ángel A. & Ventura E. (2014). Escáner de objetos físicos para su visualización en 3D. IPN
- Chávez A. (2018). Escáner de objetos físicos para su visualización en 3D. IPN. <https://bit.ly/3IqcuL0>
- Cooper, K. (2016). Rapid Prototyping Technology, Selection and Application. MARCEL DEKKER, INC.
- De Borja F. (2016). Diseño de un escáner 3d de bajo coste. Trabajo de grado. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación. Repositorio Unican. <https://bit.ly/3KJj954>
- Eilam, E. (2005). Reversing, Secrets of Reverse Engineering. Wiley Publishing, Inc.
- García, V. (2020). Descripción del driver A4988. Consultado el 25 de noviembre de 2021. <https://bit.ly/3FUyhsq>
- Gamboa C. (2016). SISTEMA DE ESCANEEO TRIDIMENSIONAL MULTIPROPOSITO. Trabajo de grado.
- Gibson, I. (2005). Advanced Manufacturing Technology for Medical Applications. John Wiley & Sons, Ltd.
- Hsiao S. & Tsao Y. (2016). Applying multiple Kinect on the development of a rapid 3D mannequin scan platform.
- IndiaMart (s.f). Reverse Engineering Process. Consultado el 21 de diciembre de 2021. <https://bit.ly/3KzzKbm>

- Kamrani A. & Abouel E. (2006). Rapid prototyping, Theory and Practice. Springer.
- Kumar, A., Jain, P. & Pathak, P., (2013) Reverse Engineering in Product Manufacturing: An Overview , Chapter 39 in DAAAM International Scientific Book 2013, pp. 665-678, Published by DAAAM International, DOI: 10.2507/daaam.scibook.2013.39
- Llamas, L. (2021). Motores paso a paso con arduino y driver a4988 o drv8825. Consultado el 25 de noviembre de 2021. <https://bit.ly/3rIk9gO>
- Microsoft. (2010). Manuales para accesorios y consolas Xbox. Consultado el 20 de octubre de 2021. <https://bit.ly/3H0TEcS>
- Mohammed B. & Tutunji T. (2012). Reverse engineering course at Philadelphia University in Jordan.
- Morillo M.(2016). Digitalización 3D con escáner de luz estructurada aplicada al área de la gestión de calidad y la conservación del patrimonio histórico-artístico. <https://bit.ly/3qUuoZr>
- NSK (2021). ¿Qué es un rodamiento? Consultado el 30 de noviembre de 2021. <https://bit.ly/3GYY700>
- Pavlovcic U. & Mozina J. (2011). Laser Triangulation System for the Measurement of Volume and Color of Wounds. <https://bit.ly/3fVmquj>
- Quintanilla R. (2017). Diseño e Implementación de Prototipo de Escáner 3D. ITCA. <https://bit.ly/3FXsvX2>
- Raja, V. & Fernandez K. (2008). Reverse Engineering an industrial perspective. Londres: Springer.

- Stepperonline (s.f). Nema 17. Consultado el 01 de diciembre de 2021.
<https://bit.ly/3ArFPSq>
- Technologies, L. (2013). A Simple Guide To Understanding 3D Scanning Technologies.
<https://bit.ly/3KEeyRq>

3D SCANNER

Manual de usuario para escaneo

Escáner 3D para la fabricación de componentes mecánicos
mediante ingeniería inversa

Contenido

<u>Especificaciones</u>	71
<u>Requerimientos del Kinect</u>	71
<u>Uso del sensor Kinect</u>	72
<u>Conexión del Kinect con pc</u>	73
<u>Uso de la mesa de rotación</u>	74
<u>Instalación del software KScan 3D</u>	76

Especificaciones

Precisión:

Tecnología de escaneo: Laser (Kinect)

Volumen de escaneo máximo: 20 x 20 x 20 cm

Volumen de escaneo mínimo: 10 x 10 x 10 cm

Tiempo de escaneo: 5 min

Peso soportado: 3 kg

Distancia de escaneo: 0.9 m

Color: Si

Resolución de la cámara: 640 × 480 píxeles a 30FPS

Dimensiones: 22 X 22 cm

Voltaje de operación: 12V, 1.5 A

Requerimientos del Kinect

	Requerimientos Mínimos	Requerimientos Recomendados
Sistema Operativo	Windows 8.1 de 64 Bits	Windows 10 de 64 Bits
Procesador	2.4 GHz	2.6 GHz o Superior
RAM	4 GB	8 GB o Superior
Tarjeta de video	Intel® HD Graphics 4000	Intel® HD Graphics 4000 o Superior
Disco Duro	Espacio libre requerido 5GB	Espacio libre recomendado 8GB
Puertos	1 x USB 3.0 - 1 x USB 2.0 - HDMI	1 x USB 3.0 - 1 x USB 2.0 - HDMI

Uso del sensor Kinect

Para obtener el mejor espacio de escaneo y el mejor rendimiento del sensor, coloque el sensor entre 0.60 m y 1 m de altura, cuanto más cerca del límite superior, mejor.

Además:

- Coloque el sensor sobre el soporte para que no se caiga ni se golpee durante el escaneo.
- Asegúrese de que el sensor esté alineado y lo más cerca admisible de la mesa rotatoria.
- No coloque el sensor sobre o frente a un altavoz o una superficie que vibre o haga ruido.
- Mantenga el sensor alejado de la luz solar directa.
- No lo use cerca de fuentes de calor. Utilice el sensor dentro de su rango de temperatura de funcionamiento especificado de 41 ° F a 95 ° F (5 ° C a 35 ° C). Si el sensor está expuesto a un entorno fuera de su rango prescrito, apáguelo y deje que la temperatura se estabilice dentro del rango especificado antes de volver a utilizar el sensor.



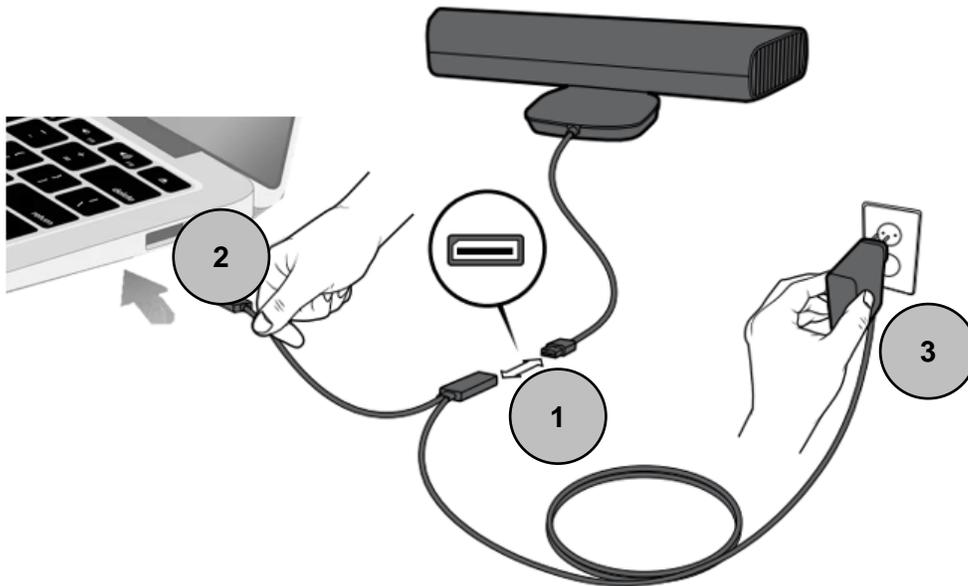
Recomendación:

Elige luz natural suave que minimice los reflejos y evite zonas oscuras para el mejor rendimiento del Kinect.

Conexión del Kinect con pc

El sensor solo funciona con el puerto USB de un PC.

- 1.- Enchufa el sensor al cable de alimentación USB.
- 2.- Enchufa el cable de alimentación o USB al puerto USB trasero del PC.
- 3.- Enchufa el extremo del adaptador de CA del cable de alimentación al enchufe de la pared.



Si utilizas alimentación de CA, selecciona la fuente de alimentación adecuada:

- La entrada de alimentación del sensor es de 12V CC 1.1A. Utiliza únicamente el adaptador CA con el cable de alimentación o el cable USB incluido con el sensor y no utilices fuentes de alimentación que no sean estables, como generadores o inversores, incluso aunque el voltaje y la frecuencia parezcan aceptables. Utiliza solamente la alimentación de CA proporcionada por un enchufe de pared estándar.
- Evita que el cable sea aplastado o doblado de manera excesiva, sobre todo por la parte que se conecta al enchufe eléctrico y al sensor.
- No sacudas, anudes ni dobles excesivamente el cable ni lo utilices de forma inadecuada.
- Al desconectar el cable, tira del enchufe, no del cable. Si el cable de alimentación o USB se daña de alguna forma, deja de utilizarlo inmediatamente.

Uso de la mesa de rotación

Para disminuir el tiempo de escaneado, la mesa de rotación cuenta con dos opciones, la primera permite capturar imágenes al mismo tiempo en que la mesa giratoria se desplaza. La segunda opción permite hacer el giro de la plataforma a través de un pulsador.

Giro a través del pulsador

Del lado izquierdo de la mesa se encuentra un pulsador rojo, cada vez que se presione dicho elemento la mesa rotará 15° aproximadamente, esta forma de escaneado suele ser más tardada que la segunda opción debido a la cantidad de imágenes que hay que capturar para obtener un modelo aproximado al real.

Giro a través del modo automático

El segundo método consiste en rotar la mesa a través de presionar el botón de modo automático. Al activar esta función la mesa rotará cada 3 segundos, durante 6 min para obtener un aproximado de 120 capturas, al mismo tiempo el software también cuenta con la opción de captura por intervalos de tiempo.



Utilice los siguiente consejos para generar un escaneo de la mejor forma posible.

Iluminación

- Las diferentes condiciones de iluminación pueden afectar a la calidad de un escaneado.
- Coloque al sujeto de manera que se produzcan la menor cantidad de sombras posibles. Es posible que en algunos casos sea necesario agregar luz adicional para reducir las sombras.
- Obtendrá los mejores resultados si la luz brilla uniformemente sobre todo el objeto a escanear.

Colocación

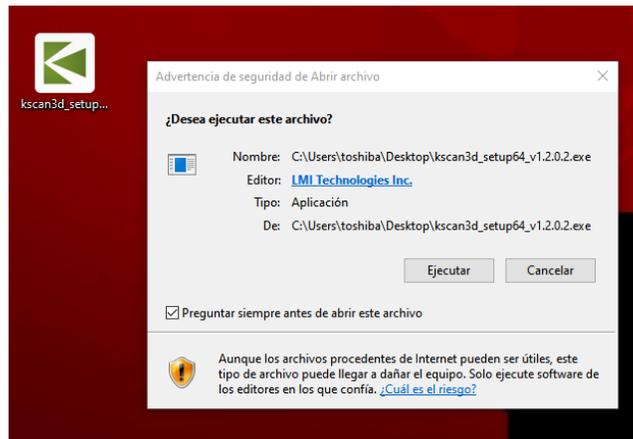
- Coloque al objeto sobre la mesa de escaneo para obtener una vista de 360°.
- Asegúrese de que todo el objeto se muestre en el recuadro de la pantalla del software.
- Mantenga al escáner a una distancia mayor a 60 cm y menor a 2 m.
- Se permiten multiples pases sobre el objeto. .
- Para el caso de escaneo pequeños o sin muchas características en su forma (formas simples), agregue algún elemento alrededor para ayudar al escáner a tener un mejor rastreo.

Instalación del software KScan 3D

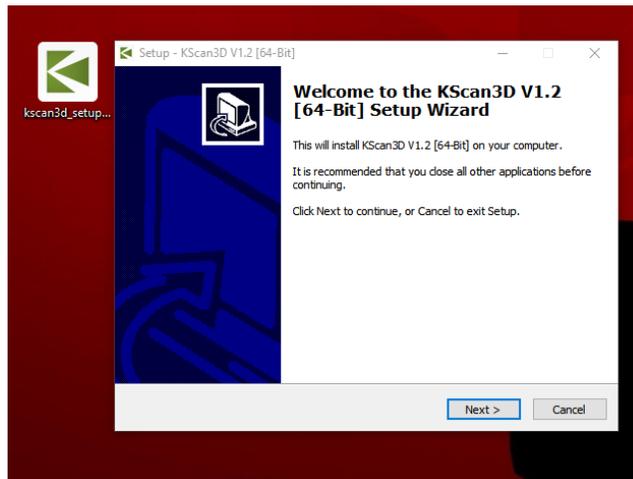
Lo primero que hay que hacer es ejecutar el archivo que lleva el nombre kscan3d_setup64_v1.2.0.2.exe.



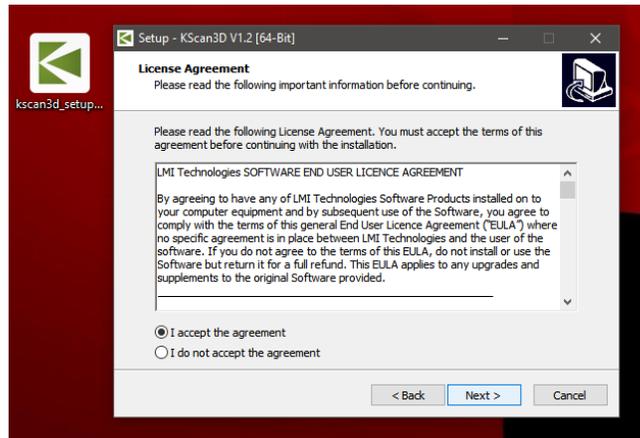
Al abrir el archivo se abrirá una ventana en donde hay que presionar la opción de ejecutar.



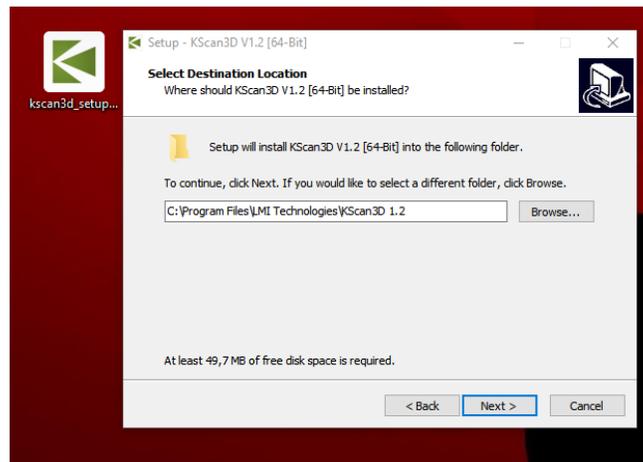
Lo siguiente es seleccionar la opción Next.



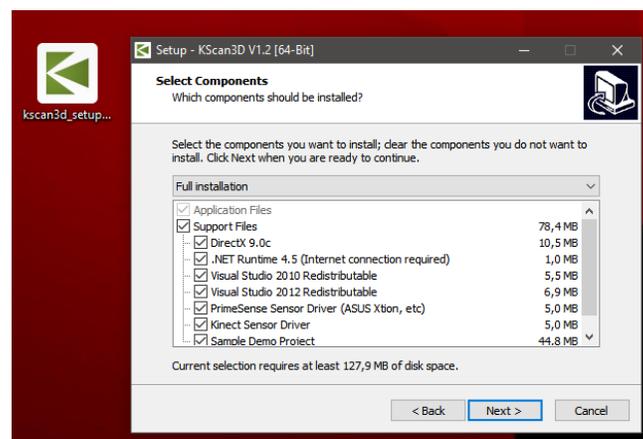
Hay que aceptar el contrato de licencia del software.



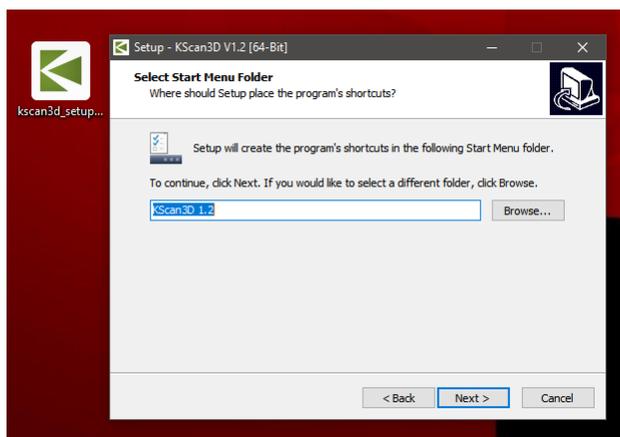
Y una vez seleccionado el destino de la instalación presionar sobre Next.



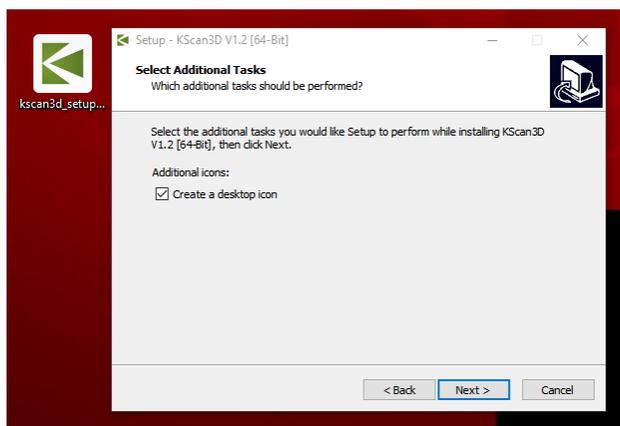
Seleccionar los componentes a instalar, de preferencia instalar todos.



Seleccionar Next.



Activar la casilla si se desea crear un punto de origen.



Presionar sobre la opción instalar para comenzar con la instalación del software. Finalmente hay que reiniciar el dispositivo.

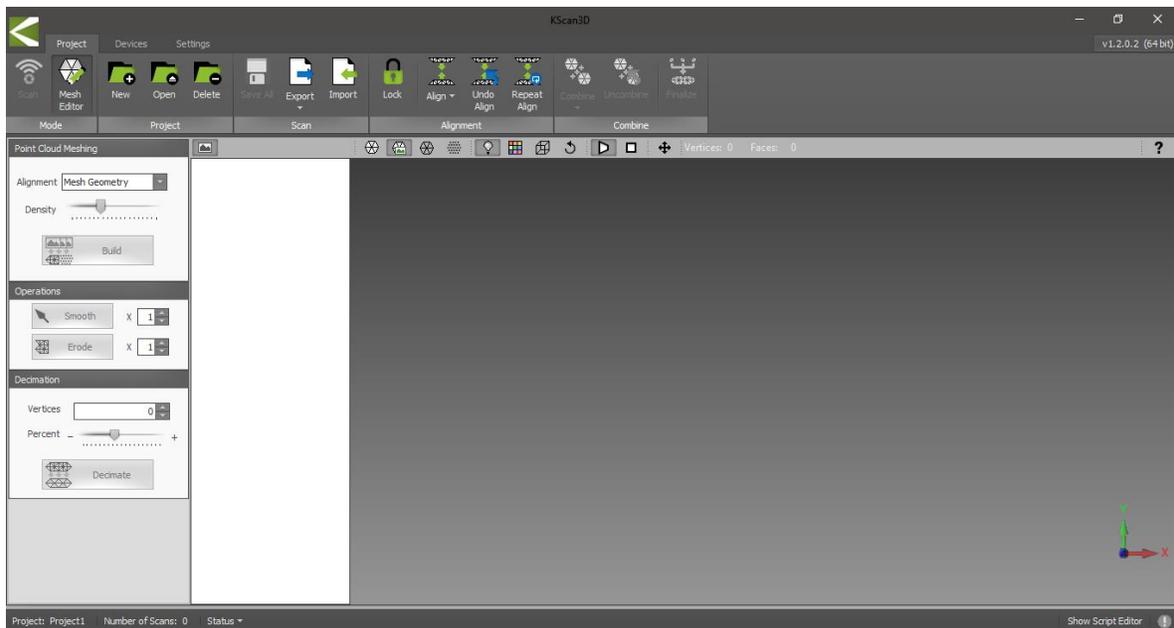


Descripción del Software KScan3D

Lo primero que hay que hacer es ejecutar el acceso directo que se creó en el escritorio con el nombre KScan3D1.2 (64-bit) al finalizar la instalación.



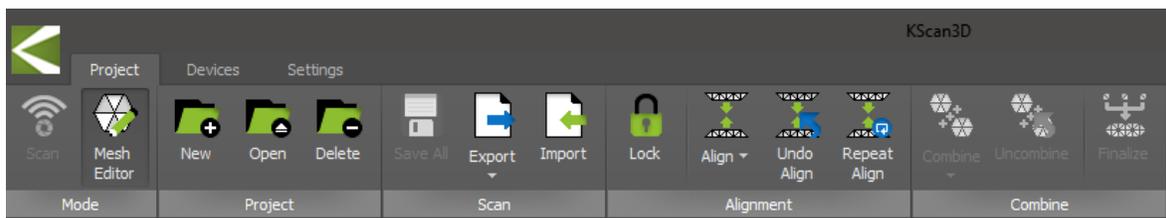
Al abrir el software se visualizará la siguiente pantalla de inicio.



En la interfaz presentada anteriormente es donde estaremos trabajando con nuestros proyectos, la ventana está compuesta de las siguientes tres pestañas:

- **Project (Proyecto):** En esta pestaña es en la que se realizará todo el proceso de escaneo y donde el usuario puede visualizar y realizar el proceso de escaneo.
- **Devices (Dispositivos):** En esta pestaña está destinada para el acceso al escáner 3D.
- **Settings (Configuración):** En esta pestaña se pueden modificar parámetros relacionados al proyecto. Por ejemplo, ubicación del proyecto, unidades de escaneo, etc.

Dentro de la pestaña Project se encuentran las siguientes opciones las cuales se describen a continuación.



Scan (Escaneo): Entra en el modo de escaneo. Se requiere una calibración válida del escaneo.

Mesh editor (Editor de malla): Entra en el modo de edición de malla. Aquí se puede suavizar, erosionar y diezmar.

New (Nuevo): Crea un proyecto.

Open (Abrir): Permite abrir un archivo existente en el dispositivo.

Delete (Eliminar): Elimina un proyecto existente en el dispositivo.

Save all (Guardar todo): Guarda modificaciones en todos los proyectos.

Export (Exportar): Exporta el modelo usando una diferente extensión, por ejemplo: .3d3, .asc, .obj, etc.

Import (Importar): Importa un modelo y lo adjunta al proyecto actual.

Lock (Bloquear): Bloquea el modelo para que no se le realicen modificaciones.

Align (Alinear): Alinea las capturas seleccionadas en uno mismo usando el tipo de alineación especificado.

Undo align (Desalinear): Un modelo alineado lo convierte las múltiples capturas.

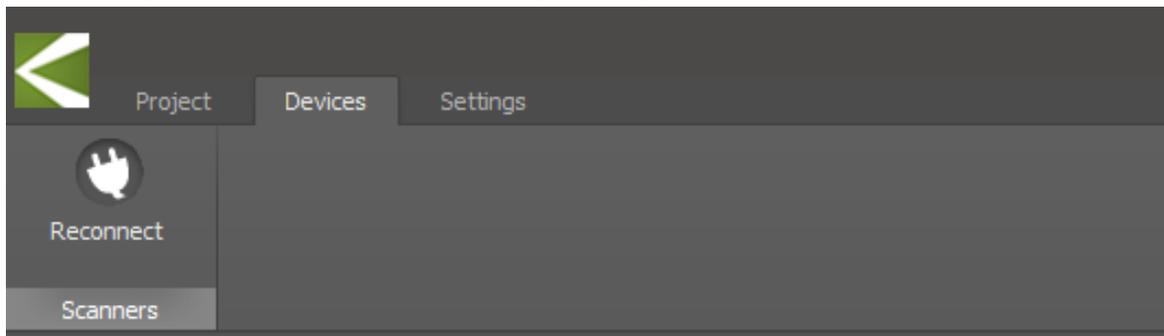
Repeat align (Repetir alineación): Aplica la alineación anterior transformada al modelo seleccionado.

Combine (Combinar): Combina múltiples escaneos para generar un modelo 3D.

Uncombine (Descombinar): Descompone un modelo combinado a sus elementos originales.

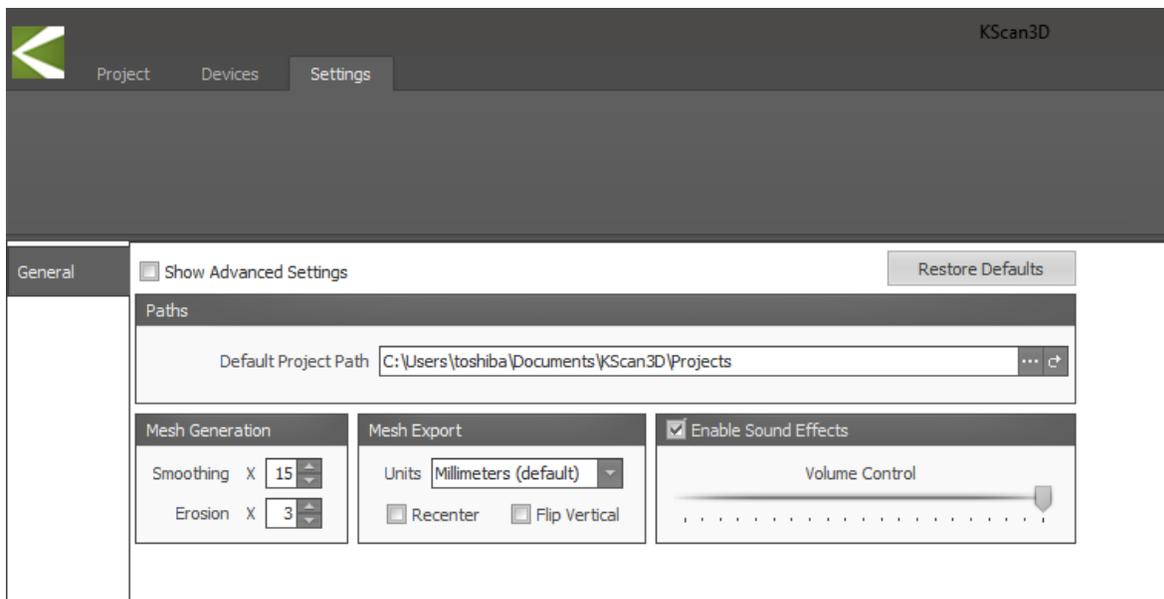
Finalize (Finalizar): Crea un nuevo modelo de múltiples escaneos.

Dentro de la pestaña Devices se encuentran las siguientes opciones las cuales se describen a continuación.



Reconnect (Reconectar): Opción que sirve para reconectar un dispositivo para escanear.

Finalmente, en la pestaña Settings se pueden modificar el suavizado (Smoothing), la erosión (erosion), las unidades de la malla (units), y la opción de modificar el sonido al realizar una captura (Volume control) además de la opción de reestablecer los valores preestablecidos (Restore Defaults).

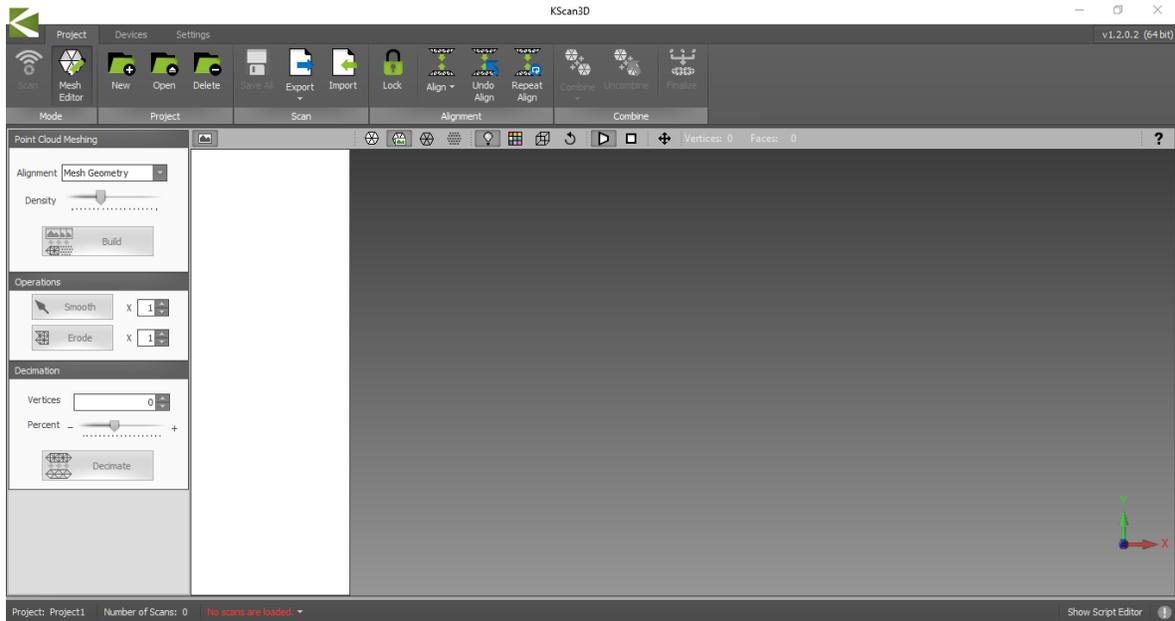


Realizar la conexión del software con Kinect

Para realizar la digitalización de un objeto hay que tener dos cosas en cuenta:

- Tener instalado el software KScan3D.
- El objeto debe ser rotado para capturar imágenes de todos los diferentes ángulos con el escáner (Mesa de rotación).

Una vez abierto el software aparecerá la siguiente ventana.

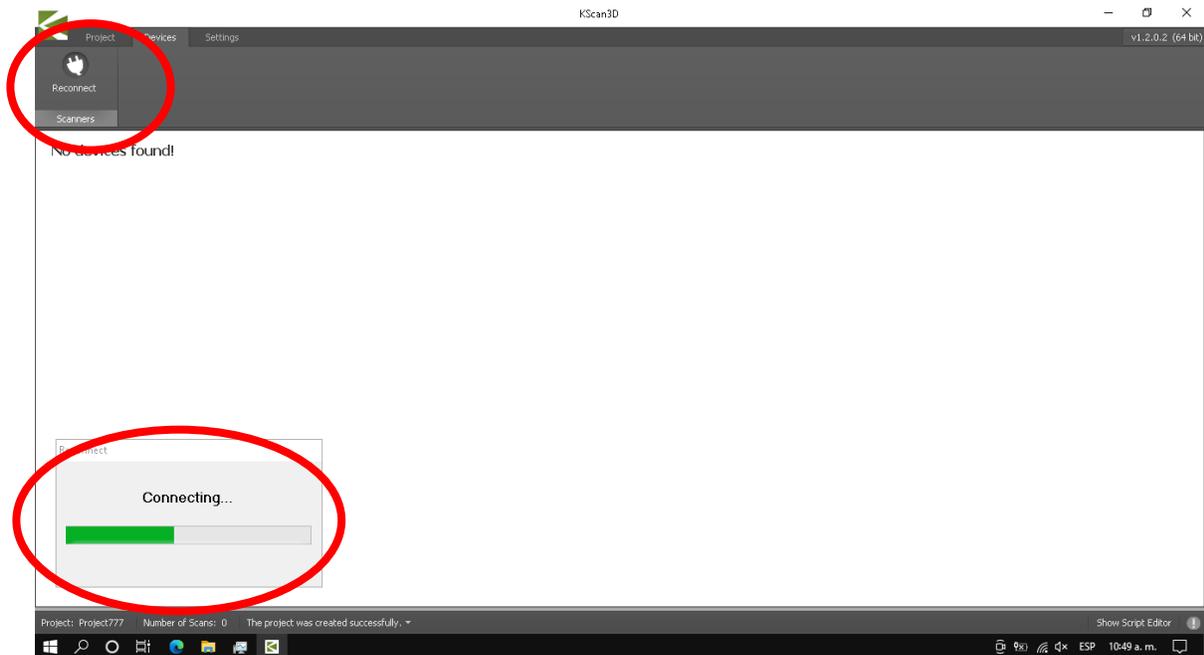


Lo primero que hay que hacer es conectar el Kinect, para versiones de Windows 10 en adelante los drivers de Kinect se instalarán automáticamente, pero si no lo hace, habrá que hacerlo de forma manual, ya que de lo contrario KScan 3D no reconocerá al sensor.

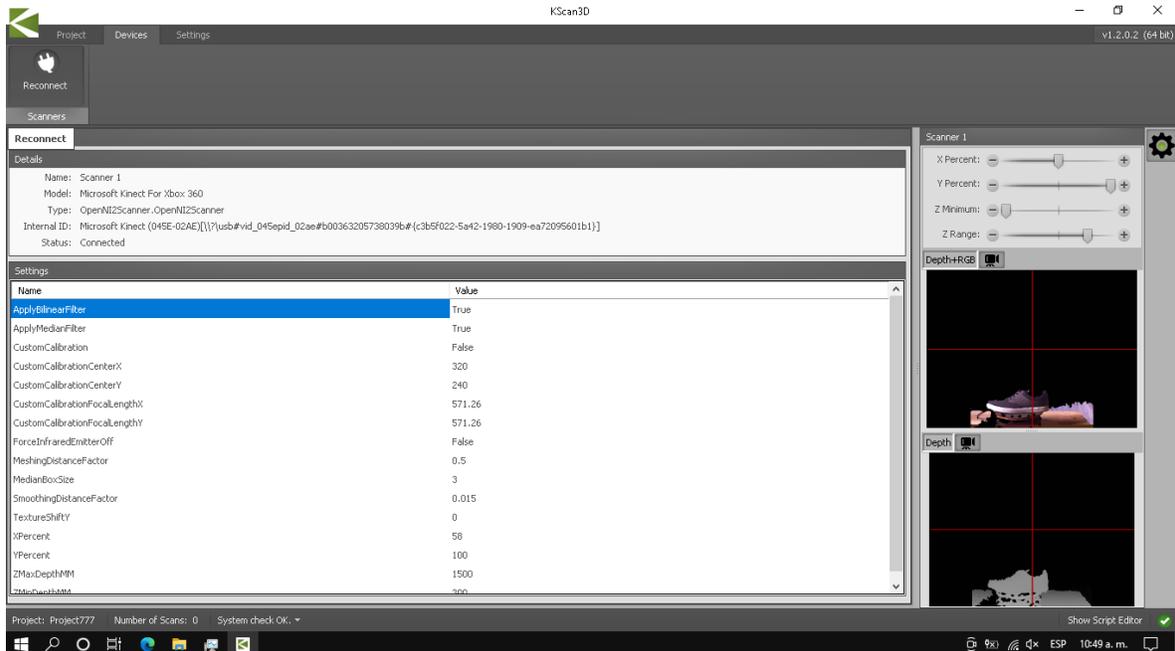
Si ya se instalaron los drivers y el software no reconocer aun al Kinect, habrá que habilitarlo en la sección Devices ubicada en la parte superior de la interfaz. Si en la pestaña Devices aparece el mensaje. No devices found!, significa que el escáner no se ha reconocido automáticamente, por lo que habrá que reconectarlo.



Para reconectar al sensor simplemente hay que pulsar sobre la opción Reconnect y esperar a que aparezca el mensaje: connecting.



Una vez identificado el Kinect se muestran los siguientes datos:



Esto significa que el Kinect está listo para escanear.