



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA

---

FACULTAD DE INGENIERÍA COLEGIO DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Uso de Ingeniería Inversa para conversión de  
datos de escaneo 3D en modelos CAD  
editables mediante el software Geomagic  
Design X”

TESIS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO  
EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

PRESENTA:  
MARIO ALBERTO MONCAYO MEJÍA

ASESOR:  
M.SC.A. CARLOS ROBERTO IBÁÑEZ JUÁREZ

PUEBLA, PUEBLA ENERO 2024



**BUAP**

No. de Oficio SAC/0099/2024

**C. Mario Alberto Moncayo Mejía -200929251-  
Pasante de Licenciatura en Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica  
Presente.**

En atención a la Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de esta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

**"USO DE LA INGENIERÍA INVERSA PARA CONVERSIÓN DE DATOS DE ESCANEÓ 3D EN MODELOS CAD EDITABLES MEDIANTE EL SOFTWARE GEOMAGIC DESIGN X".**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como director de tema al Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente  
"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z. a de 15 de enero de 2024

M. I. Angel Cesilio Guerrero Zamora  
Director



Facultad  
de Ingeniería

Bvd. Yasequillo y Av. San Claudio  
s/n, edf. ING - 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pua. C.P. 72570  
722 229 55 00 Ext. 7610

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora**  
**Director de la Facultad de Ingeniería**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**P r e s e n t e.**

El que suscribe: Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez, asesor del tema de tesis:

**“USO DE LA INGENIERÍA INVERSA PARA CONVERSIÓN DE DATOS DE ESCANEEO 3D EN MODELOS CAD EDITABLES MEDIANTE EL SOFTWARE GEOMAGIC DESIGN X”.**

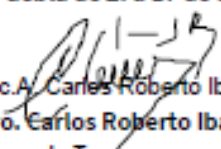
Presentada por el C. Mario Alberto Moncayo Mejía -200929251-, pasante del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio No. SAC/0099/2024 con fecha de emisión 15 de enero de 2024, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

**Atentamente**

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z. a 17 de enero de 2024

  
M.Sc.A. Carlos Roberto Ibáñez Juárez  
Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez  
Asesor de Tema

M'CRIJ/barv  
C.c.p. Archivo

# INDICE

RESUMEN -----	6
CAPITULO 1 -----	7
INTRODUCCIÓN -----	7
1.1 Problema de investigación -----	8
1.2 Justificación -----	9
1.3 Pregunta de investigación -----	9
1.4 Objetivos -----	10
1.4.1 General -----	10
1.4.2 Particulares -----	10
1.5 Alcances -----	10
1.6 Limitaciones -----	10
CAPITULO 2 -----	11
MARCO TEORICO -----	11
2.1 Antecedentes -----	11
2.2 Marco Conceptual -----	16
2.3 Marco Normativo -----	19
2.3.1 ISO 9001-2015 -----	19
2.3.2 ISO/IEC 17025 -----	20
2.4 Diagrama de flujo -----	22
2.5 Etapas ingeniería inversa -----	24
2.6 Historia del Escáner óptico 3D -----	28

<b>2.7 Definición del escáner 3D</b>	<b>31</b>
2.7.1 Escáner por contacto	33
2.7.2 Escáner sin contacto	33
<b>2.8 Escáner Handy Scan</b>	<b>35</b>
<b>2.9 Optimización de la malla poligonal</b>	<b>37</b>
<b>CAPITULO 3</b>	<b>39</b>
<b>CASO DE ESTUDIO DISPOSITIVO R202</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Introducción</b>	<b>39</b>
<b>3.2 Descripción del requerimiento</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Digitalización del dispositivo y optimización de malla</b>	<b>45</b>
<b>3.4 Modelado dispositivo</b>	<b>46</b>
3.4.1 Dispositivo R202 Elemento 1	48
3.4.2 Dispositivo R202 Elemento 3	51
3.4.3 Dispositivo R202 Elemento 5	58
<b>3.5 Diseño final</b>	<b>62</b>
<b>3.6 Validación de resultados</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO 4</b>	<b>67</b>
<b>ANALISIS DEL MODELO CAD DEL DISPOSITIVO R202</b>	<b>67</b>
<b>4.1 Desviación del modelo en Geomagic Design</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>74</b>

# RESUMEN

La ingeniería inversa es un proceso que nos permite acelerar procesos en el área de fabricación y diseño. El interés de desarrollar este proyecto surge a partir de analizar el principal problema a los que se enfrentan algunas empresas automotrices para la obtención de la información 3D de sus herramientas o dispositivos. Se observó que los escáneres 3D nos permite dar una solución rápida y eficaz ante esta problemática. A pesar de que la presente investigación se enfoca en la industria automotriz, se puede aplicar para cualquier área que va desde la rama de la arquitectura hasta la investigación médica para el desarrollo de prótesis.

Para comprender mejor los alcances que tiene la ingeniería inversa se expondrá a detalle un caso real de un dispositivo de una empresa automotriz ensambladora que carece de manera parcial de su modelo 3D, por lo que en el transcurso de esta investigación se explicara desde como planificar y analizar el requerimiento, pasando por el uso del escáner 3D y su post procesamiento de la malla poligonal, para finalizar con el modelado de las superficies mediante el software Geomagic Design X de la empresa 3D Systems.

El trabajo concluye con el análisis del dispositivo obtenido mediante el escáner 3D y el modelo CAD generado que nos servirá para evaluar el estado inicial de este para mostrar la problemática que se tiene al no tener completa la información técnica, así como sus consecuencias de ahí el interés de destacar el uso de la ingeniería inversa para el aseguramiento de los resultados.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería inversa es una técnica que se utiliza para analizar y comprender un producto a través de la descomposición de sus partes para conocer su estructura y funcionamiento. En el presente proyecto se expondrán algunos ejemplos de aplicaciones de ingeniería inversa para conocer el propósito de este. Se explicará el funcionamiento y se abordara sobre la importancia de como los equipos ópticos 3D pueden ayudarnos a obtener resultados más precisos que los convencionales.

En el capítulo 2 se comentará sobre los antecedentes de la ingeniería inversa, así como algunos ejemplos donde la aplicación fue exitosa, también se explicará brevemente la importancia de las normas ISO 9001 y la ISO/IEC17025 para conocer un poco de aseguramiento de los procesos, de igual forma se describirá brevemente los tipos de escáner que existen en la actualidad, así como el funcionamiento del equipo utilizado en este proyecto. Posteriormente en el capítulo 3 se expondrá una aplicación real analizando el requerimiento, generando un plan de trabajo y mostrando paso a paso el diseño hasta la obtención de nuestro modelado y finalmente en el capítulo 4 se hará un análisis de dimensional para corroborar nuestros resultados.

El interés de abordar en este proyecto la ingeniería inversa fue al observar que mediante un escáner 3D podemos generar cualquier tipo de superficie sin importar la complejidad, lo único que se necesitaba para empezar a desarrollar una aplicación de ingeniería inversa era contar con un escáner 3D, un software para optimizar la malla poligonal y un software para convertir esa malla en un modelo CAD.

Por lo que se determinó el investigar, buscar manuales relacionados con el tema y practicar con algunas piezas para entender el procedimiento; al final ya se contaba con los recursos necesarios, pero no con los conocimientos, por eso a través de videos, tutoriales y manuales que se encontraban del software Geomagic Design X se adquirió conocimiento para ofrecer la aplicación de ingeniería inversa como un nuevo servicio.

## 1.1 Problema de investigación

Existen componentes que no tienen documentación técnica que permitan conocer las dimensiones y tolerancias de cada una de sus partes. Esto se debe a muchos factores, pero entre los principales son:

- Perdida de información técnica por parte de la compañía
- El componente se ha vuelto obsoleto y no hay información
- Los modelos CAD compartidos están incompletos
- La empresa que fabrico el componente ha desaparecido

Ante esta problemática se buscaba sustituir de compañías o diseñar un producto nuevo para continuar con sus procesos, pero esto generaba más tiempo y costo por lo que no era una solución definitiva.

Pongamos un ejemplo, una compañía que se encarga de fabricar componentes de una marca de bicicletas desaparece por motivos financieros sin dejar rastro de su documentación técnica, entonces los clientes que adquirieron un producto de esa marca se les descompone una biela y ya no tienen la forma de como sustituir ese componente por lo que su bicicleta se vuelve inoperante, tendrían que comprarse un producto nuevo, pero el hacer esto se convierte en un gasto más grande que el que hubiera sido el comprar y cambiar esa refacción, esto generaría molestias por parte de sus clientes y la marca de bicicletas se vería afectada por esta situación. Pero si se tuviera la documentación técnica otra empresa podría fabricar los componentes y así seguir abasteciendo a sus clientes.

Ahora traslademos este ejemplo en la industria automotriz y veremos que el costo, el tiempo y la satisfacción al cliente es parte esencial de las compañías. Con la introducción de los escáneres 3D y la aplicación de ingeniería inversa mediante software especializados se puede generar el diseño de componentes a partir de un equipo óptico 3D.

## **1.2 Justificación**

Este proyecto está enfocado en enfatizar la importancia de la ingeniería inversa en la empresa EDAG México S.A de C.V para promover el uso este, generando una alternativa para el diseño de componentes que no cuentan con información CAD.

En la industria automotriz la reducción de tiempo es importante porque se incrementa la productividad, es decir se desea producir más en menos tiempo. El objetivo de este trabajo es dar a conocer los conceptos que involucran el proceso, desarrollar conocimiento en el software y hardware para comprender esta técnica, generando una ventaja competitiva comparada con las demás empresas.

Se describirán cada una de las etapas del flujo de trabajo, basándonos en el ejercicio realizado de un componente profundizando desde la preparación del componente, pasando por el post procesamiento de la malla poligonal hasta obtener el modelo 3D.

La finalidad de este proyecto es explotar las herramientas existentes en la empresa mediante un conjunto de etapas que nos permitirán conocer los conceptos, técnicas y el uso de software para el desarrollo y ejecución de la ingeniería inversa en la empresa EDAG México S.A de C.V.

## **1.3 Pregunta de investigación**

¿La ingeniería inversa es una solución efectiva para la extracción de geometrías de un componente?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Analizar el proceso para la extracción de geometrías mediante Ingeniería Inversa, haciendo uso de un equipo óptico 3D para la generación de superficies a partir de una malla poligonal con la ayuda del software Geomagic Design X.

### **1.4.2 Particulares**

1. Identificar conceptos de medición
2. Distinguir el funcionamiento del escáner 3D
3. Diseñar superficies desde una malla poligonal con Geomagic Design X
4. Analizar el modelo 3D de la pieza

## **1.5 Alcances**

Se expondrá un caso para el proceso de ingeniería inversa con el uso de un equipo óptico 3D que nos permitirá obtener la malla poligonal para la generación del modelo. Así mismo se realizará una inspección mediante un mapa de colores para el análisis de la pieza con la finalidad de observar desviaciones físicas entre el modelo generado y la pieza física validando si existe un desgaste o una mala construcción del objeto físico.

## **1.6 Limitaciones**

En el presente proyecto se implementa la ingeniería inversa en el dispositivo R202 de la estación de ensamble del compartimiento del motor de la empresa COMPAS en Aguascalientes. El equipo óptico de medición será un Handy Scan 700 por lo que la metodología de medición y ejecución será basada en esa tecnología. Para la generación de superficies se ocupará el software Geomagic Design X. El resultado final de formato de salida de nuestros modelos será en extensión IGES.

# CAPITULO 2

## MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes

La ingeniería inversa se ha empleado desde hace muchos siglos, sin embargo, no se tiene algún dato histórico de cuando marcó un antes y después de su uso, debemos tener presente que es un proceso que nos permite conocer el producto para entender su funcionamiento o mejorar su diseño. La especie humana para evolucionar tuvo la necesidad de comprender el mundo que lo rodea, observando, estudiando y analizando cada objeto o momento desconocido para entender su funcionamiento, esto lo encaminó a crear y desarrollar la tecnología que tenemos en la actualidad. Un ejemplo son las pirámides de Guiza en Egipto, actualmente especialistas siguen analizando la estructura, el material y la técnica que emplearon en ese siglo nuestros antepasados pues al no contar con el equipo tecnológico que tenemos en el presente ha resultado admirable para nuestra era. En febrero del 2023 la empresa Scan Pyramids Projects ha descubierto un túnel secreto con la ayuda de termografía infrarroja, fotogrametría y escáneres 3D para crear a detalle un modelo CAD de la estructura encontrada por lo que todos esos estudios es la aplicación de ingeniería inversa. (Fisher, 2023)

La ingeniería inversa no solo aplica para la industria automotriz, empresas que desarrollan el diseño de sus productos, por lo regular usan algunos softwares de ingeniería inversa para el desarrollo de productos, otro ejemplo es el uso en el área de mantenimiento industrial e incluso en el ámbito educativo, mediante el cual se rediseñan planes y programas de estudio o materiales didácticos, en definitiva, la ingeniería inversa no solo está limitada a la reproducción de componentes.

Es importante recalcar que la ingeniería inversa tiene una definición diferente de acuerdo con el autor, en seguida citaremos algunas definiciones extraídas del Simposio de Metrología 2010 del Centro Nacional de Metrología (CENAM) del artículo titulado “La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología.”

(Gordon & Cameron, 2010) *“La Ingeniería Inversa representa el proceso de analizar un sistema con dos metas en mente: 1) para identificar los componentes del sistema y sus relaciones y 2) para crear las representaciones del sistema en otra forma o en un nivel de abstracción más alto.”*

(Borja, 2010) *“La Ingeniería Inversa es el proceso de diseñar un sustituto, el cual reemplace de forma aceptable a un producto o parte. En este caso, Ingeniería Inversa es un caso particular de rediseño que se fundamenta en diversos aspectos del producto original y en el análisis de un ejemplar y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible.”*

(Jiménez, Reyes, & García, 2010) *“La Ingeniería Inversa es un proceso analítico-sintético que busca determinar las características y/o funciones de un sistema, una máquina o un producto o una parte de un componente o un subsistema. El propósito de la Ingeniería Inversa es determinar un modelo genérico de un objeto o producto o sistema de referencia.”*

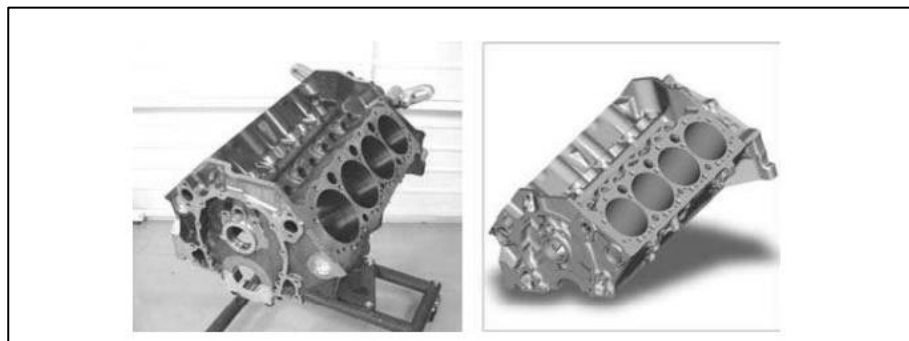
(García, Jiménez, & Ontiveros, 2010) *“La Ingeniería Inversa puede también considerarse como un proceso de sistematización; esto es, un proceso que pone de manifiesto a explícita las relaciones objetivas entre los elementos y las relaciones que hacen posible la existencia de un objeto, para posteriormente construir un modelo de dicho objeto.”*

En la industria automotriz, la técnica de ingeniería inversa tuvo cinco fases que han influido en el diseño de los automóviles, entre los que destacan la invención del coche sin caballos, pasando por la implementación de la producción en serie de Henry Ford en la fabricación de sus vehículos donde delegaban actividades específicas a cada trabajador para la mejora de tiempos, culminando en la quinta fase en donde la industria automotriz busca satisfacer el deseo de cada cliente, proporcionándoles diseños que se adapten a los gustos y necesidades de cada persona sin descuidar la mayor calidad posible. (Ping, Reverse Engineering in the Automotive Industry, 2008)

Actualmente nos ubicamos en esta fase y la ingeniería inversa ha sido parte esencial en la era moderna de la industria automotriz acelerando los procesos de diseño para resolver y entender los problemas derivados en los componentes. En seguida se expondrán dos ejemplos de cómo la ingeniería inversa ha innovado en esta industria.

Un ejemplo de la falta de información técnica 3D de un componente fue cuando el equipo de NASCAR Richard Childress Racing tomaría como base el bloque del motor del modelo SB2 de General Motors haciéndole algunos ajustes para obtener la mayor potencia y torque posible, sin embargo, el diseño original fue lanzado en la década de los 50's por lo que no existía un modelo 3D del bloque, solo contaban con planos, pero no tenían la información completa.

Con la ayuda de equipos ópticos 3D obtuvieron la malla poligonal del bloque y con el uso del software Geomagic Design X crearon el modelo digital (Figura 1) haciendo los ajustes necesarios que requerían para eficientar la potencia del motor, el formato del modelo es exportado en IGES y puede usarse en diferentes softwares de diseño en el que pueden hacerse simulaciones de elemento finito para determinar la resistencia del material.



**Figura 1.** El bloque del motor del coche de carreras SB2 de General Motors y su modelo digital. (Ping, Inside GM's Virtual NASCAR Engine Block , 2008, pág. 146)

En los años 2000's la marca de autos Ferrari hizo una modificación a su coche para incrementar la velocidad en la carrera de 24 horas de Le Mans. Como no se tenía información técnica 3D del auto, el reto empezó en digitalizar toda la carrocería con un escáner óptico para obtener la información de toda la superficie, el proceso consistió en

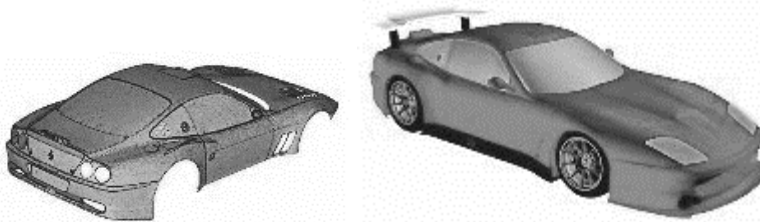
escanear el auto en varias secciones debido a la cantidad de puntos que contenía la malla, una vez terminado se unieron para obtener el modelo poligonal completo.

Con esta información se creó el modelo 3D del auto mediante el cual realizaron pruebas de túnel de viento para observar el comportamiento del flujo de aire, se probaron diferentes diseños en el alerón trasero para analizar la presión del aire a diferentes velocidades. Una vez finalizados estos estudios el modelo CAD fue transferido a una maquina CNC para la fabricación de los herramientales que se necesitaban para la manufactura del alerón.

Finalmente, todo esto se consiguió en 6 semanas logrando el objetivo de ganar la carrera haciendo uso de la técnica de ingeniería inversa. (Ping, Inside GM's Virtual NASCAR Engine Block , 2008, págs. 143-146)



**Figura 2.** Uso de un brazo faro para digitalizar la carrocería Ferrari 550, Reverse Engineering: An Industrial Perspective, 2008 (pg.149)



**Figura 3.** Ferrari 550 Maranello diseñado con ingeniería inversa con el software Geomagic Studio Reverse Engineering An Industrial Perspective, 2008 (pg. 149)

Para tener la validación del diseño final de los componentes es necesario hacer algunas pruebas para asegurar la funcionalidad, es importante aclarar que no en todos los casos, pero se pueden utilizar herramientas de simulación y análisis para identificar

posibles mejoras en el diseño y la fabricación de los componentes. Por ejemplo, se pueden realizar simulaciones de resistencia y fatiga para determinar la durabilidad y la vida útil de los componentes, lo que puede ser utilizado para mejorar el diseño y la selección de los materiales utilizados en la fabricación.

La ingeniería inversa puede ser utilizada para la optimización de los procesos de manufactura. Al analizar la geometría de un componente o pieza, se pueden identificar las características clave del diseño, tales como las tolerancias y las superficies críticas, que son importantes para la fabricación de la pieza. Al comprender los materiales y procesos de fabricación utilizados en la producción de la pieza, se pueden identificar las posibles mejoras que se pueden realizar en la fabricación, tales como la utilización de nuevos materiales o la implementación de nuevos procesos de producción.

Esto es especialmente útil en la manufactura, donde la disponibilidad de componentes y piezas puede ser crítica para el éxito de un proyecto. Al utilizar la ingeniería inversa para recrear un componente o pieza, se puede garantizar su disponibilidad y calidad, lo que puede mejorar estos procesos y reducir los costos asociados con la producción. (Fu, 2008, págs. 146-149)

## **2.2 Marco Conceptual**

Para conocer completamente la metodología del sistema de ingeniería inversa debemos tener previo conocimiento a algunos conceptos que nos ayudarán a comprender el tema expuesto.

Antes de entrar a detalle se plasman los conceptos que se estarán utilizando en este proyecto.

### **ingeniería Inversa**

Es un proceso de medición, análisis y pruebas para reconstruir un objeto, es una tecnología de reinención que conduce a la reconstrucción y la reproducción. También es el arte de la ciencia aplicada para preservar el diseño de la pieza original. (Wang, 2011, pág. 1)

### **Diseño Asistido por Computadora CAD**

Por sus siglas *Computer – Aided Design* (Diseño Asistido por Computadora) Es el uso de sistemas informáticos para ayudar en la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño, también utilizado para aumentar, mejorar la calidad del diseño, mejorar las comunicaciones a través de la documentación y crear una base de datos para la fabricación. (Duggal, 200)

### **Modelo CAD**

Es un modelo informático de un sólido 3D. Es una representación virtual de la forma de un sólido. Los modelos sólidos pueden ser piezas simples o conjuntos complejos de varias piezas. (Geuzaine & Francois, 2008)

### **Resolución**

Es la distancia que existe entre dos puntos, una mayor resolución nos permitirá capturar detalles más pequeños y afecta directamente con la densidad de información capturada.

### **Formato STL (Standard Triangle Language)**

Es un formato de archivo utilizado habitualmente para la impresión en 3D y el diseño asistido por computadora (CAD). Cada archivo está formado por una serie de triángulos enlazados que describen la geometría de la superficie de un modelo u objeto 3D. Cuanto más complejo es el diseño, más triángulos se utilizan y mayor es la resolución. (AdobeCreativeCloud, s.f)

### **Precisión**

La precisión es considerada en el manual de Análisis de Sistemas de Medición como la cercanía de lecturas repetidas una de otra o un componente de error aleatorio del sistema de medición. (Company, Ford Motor, 2010)

### **Malla poligonal**

Es el conjunto de vértices, bordes y caras que definen la forma y el contorno de un objeto 3D. (Sherman & Craig, 2018)

### **Escaneo 3D**

Es la utilización de un dispositivo de adquisición de datos 3D para adquirir una gran cantidad de coordenadas x, y, z en la superficie de un objeto físico. Cada coordenada distinta x, y, z se denomina punto. (Wang, 2011)

### **Sistema de coordenadas global para autos**

Un vehículo se dimensiona mediante un sistema de coordenadas global (figura 4) cuyo origen se define en el centro a la altura del eje delantero, estas coordenadas nos ayudan a identificar la posición de cada componente. (Volkswagen, 1996)

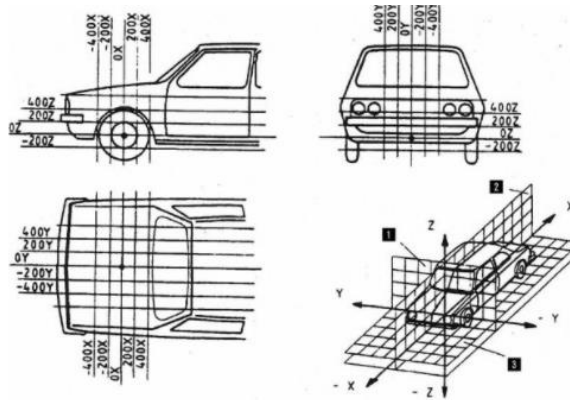


Figura 4. Ejemplo del sistema de coordenadas de un vehículo, Volkswagen AG (1996) VW010 55 Reference Point System.

### Sistema de calibración

Es un conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre un dispositivo de medición y un estándar o patrón rastreable con un valor de referencia e incertidumbre conocidos. La calibración puede también incluir pasos para detectar, correlacionar, reportar un preliminar por ajuste alguna discrepancia en la exactitud del dispositivo de medición que se está comparando. (Company, Ford Motor, 2010).

## 2.3 Marco Normativo

Para este proyecto las normas ISO 9001 y la ISO/IEC 17025 acreditan a la empresa EDAG México con la implementación del sistema de gestión de calidad y como laboratorio de pruebas.

### 2.3.1 ISO 9001-2015

La norma ISO (Organización Internacional de Estandarización) 9001 promueve la adopción de un enfoque a procesos al desarrollar, implementar y mejorar la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de los requisitos de este. Algunos beneficios que se obtienen al implementar este sistema son:

- La capacidad de otorgar regularmente productos y servicios que satisfagan los requerimientos del cliente y legales.
- Permitir incrementar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema.
- Demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados. (ISO 9001:2015)

En EDAG para garantizar el continuo funcionamiento del sistema de gestión de calidad cuenta con dos pilares que permiten el desarrollo adecuado de las políticas y procesos dentro de la empresa que son:

1. **Imparcialidad**; cuya función es garantizar a lo largo de las actividades estructuradas sin conflicto de intereses de manera que no influyan en el personal para la emisión de resultados.
2. **Confidencialidad**; cual se garantiza que la información obtenida por parte del cliente o generada durante el desarrollo de las actividades se maneje de forma adecuada y se resguarde en los medios correspondiente de la empresa. (Normalización, 2015)

### 2.3.2 ISO/IEC 17025

La entidad mexicana de acreditación (EMA) tiene como propósito de establecer requisitos y evaluar los procesos de los laboratorios de ensayo y calibración. La empresa EDAG México cuenta con la acreditación de seis métodos internos entre los que destacan, detonación de bolsas de aire, prueba de rigidez, fotogrametría, entre otros.

Cada uno de estos métodos internos requiere de un signatario autorizado cuya función es firmar y aprobar los informes de medición, calibración y/o ensayo, emitidos por el laboratorio. La evaluación y aceptación del personal para ser aprobado ante la EMA debe demostrar lo siguiente:

- Conocimiento teórico y práctico de los métodos de ensayo
- Mantener registros de la evaluación de la eficacia de las acciones de formación implementadas.
- Registros de las pruebas de desempeño técnico como son los estudios de R&R (listas de verificación cuando apliquen).
- Demostrar que la evaluación se realiza por cada método y cuando existan cambios críticos en la metodología, equipos, instalaciones, etc. (EMA, 2018)

Los criterios que evalúan al laboratorio respecto a la norma ISO/IEC 17025 son:

**4.1 Imparcialidad;** el laboratorio debe identificar los riesgos a la imparcialidad, mediante un documento que funcione como guía para dar claridad al laboratorio de como cumplir con este requisito.

**4.2 Confidencialidad;** el laboratorio demostrará que asegura el manejo de información de acuerdo con el nivel de confidencialidad, de la misma manera deberá existir documentación y registros que avale el cumplimiento de estas actividades

**6.5 Trazabilidad en Metrología;** el laboratorio deberá demostrar que los equipos de medición utilizados en las pruebas acreditadas deberán contar con certificados de calibración, así mismo los proveedores que realizan el servicio y emiten los

certificados de calibración deberá de contar con la trazabilidad metrológica en sus patrones utilizados.

**7.2 Selección, verificación y validación de métodos;** el laboratorio deberá demostrar en primera instancia la validación de los métodos y determinar si son métodos normalizados; es decir, que están referenciados bajo una norma internacional o métodos internos los cuales son desarrollados por los laboratorios. Los métodos acreditados son internos y se demuestra ante el auditor el conocimiento teórico y práctico para la ejecución de este.

**7.5 Expediente técnico;** el laboratorio deberá tener registro de cada uno de los métodos realizados, estos registros pueden ser bitácoras, correos, hojas de control, hojas de recepción de material etc. El laboratorio deberá resguardar esta información por un periodo mínimo de 4 años para su consulta.

**7.8 Resultados de reportes;** finalmente el laboratorio deberá mostrar los resultados obtenidos en cada una de las pruebas acreditadas, esta información es el reporte final emitido para el cliente y deberá estar firmado por el signatario autorizado en el cual avala la veracidad de los resultados. (EMA, 2018)

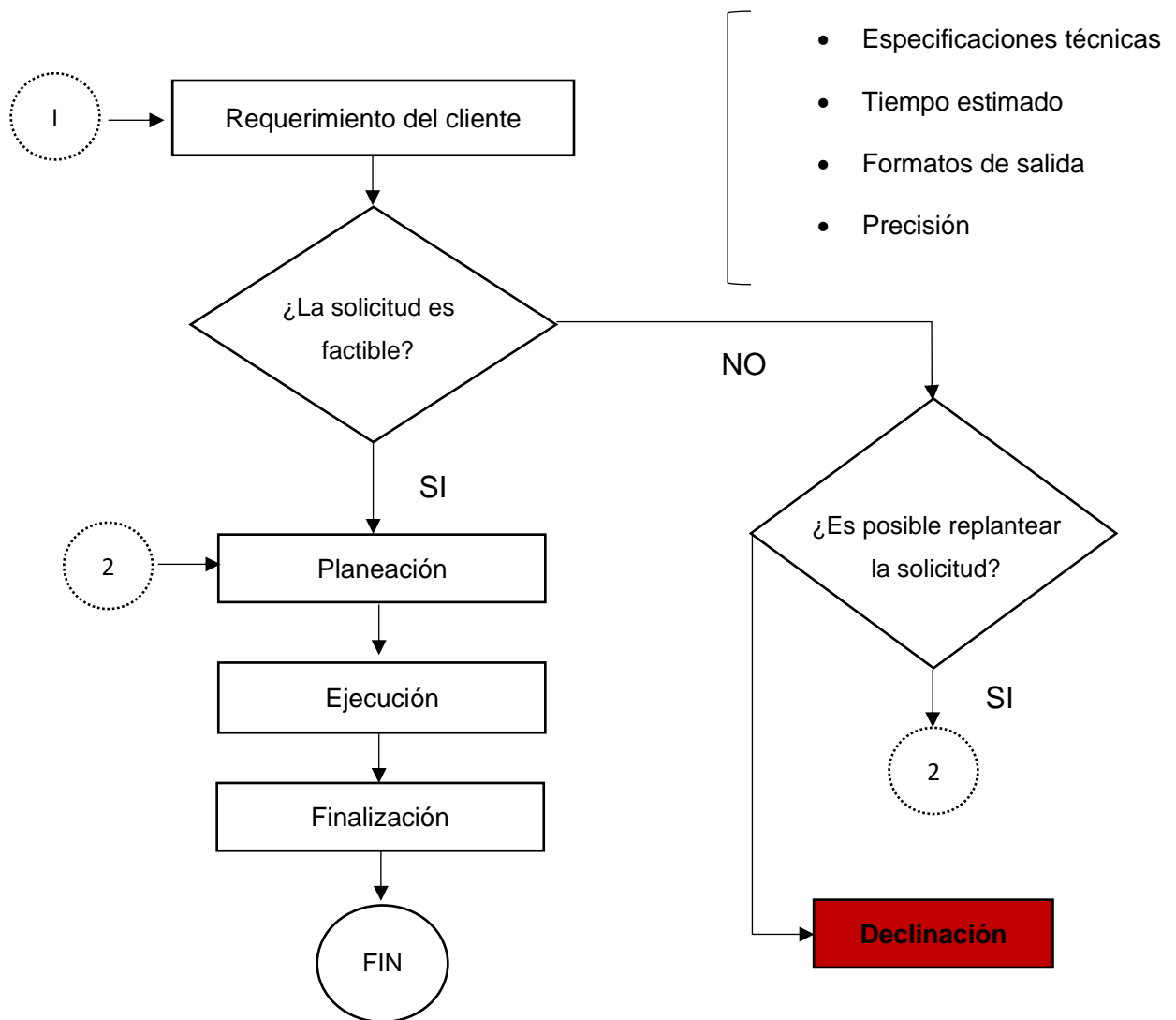
Los puntos mencionados anteriormente deben de cumplirse ante los Auditores de la EMA para cumplir con la acreditación de la ISO/IEC 17025, esta auditoría externa se realiza una vez al año y se dictamina si existen algunas no conformidades que pudieran en poner en peligro la acreditación de algún método. Para el cumplimiento de estos y asegurar los resultados, se hace una auditoría interna anual el cual ayuda a detectar áreas de oportunidad dentro de los procesos. Igualmente se realiza mensualmente una auditoria de procesos por capas (LPA) para cerciorarse de que se cumple el proceso del método acreditado. Si se desea consultar los métodos acreditados por parte del laboratorio se puede visitar el siguiente enlace:

***[http://consultaema.mx:75/directorio\\_le/PDFs/MM-0886-139\\_17.pdf](http://consultaema.mx:75/directorio_le/PDFs/MM-0886-139_17.pdf)***

## 2.4 Diagrama de flujo

Para identificar de manera sencilla el proceso de ingeniería inversa se mostrará un diagrama de flujo para nuestra aplicación que se abordara en el Capítulo 3 de nuestro proyecto, la importancia de este es observar el punto de partida y analizar las decisiones y etapas de nuestro proceso para la aceptación y ejecución del proyecto, el análisis de estas etapas se explicara más a detalle en la tabla 2.

En primera instancia debemos conocer las especificaciones técnicas del requerimiento, ¿Por qué se le debe de hacer ingeniería inversa al componente? ¿Qué es lo que se espera obtener? En seguida se muestra un diagrama de flujo para la aceptación del trabajo como se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Diagrama de flujo. Fuente: Desarrollo propio

Para entender de manera clara y concisa nuestro diagrama de flujo, se elaboró una tabla en la que se describe a detalle las secuencias de nuestro proceso como podemos observar en la tabla 2. La finalidad del diagrama de flujo es dar seguimiento a nuestro proceso, estandarizarlo para proyectos similares y reducir errores, con lo que podemos asegurar la calidad de nuestro proyecto.

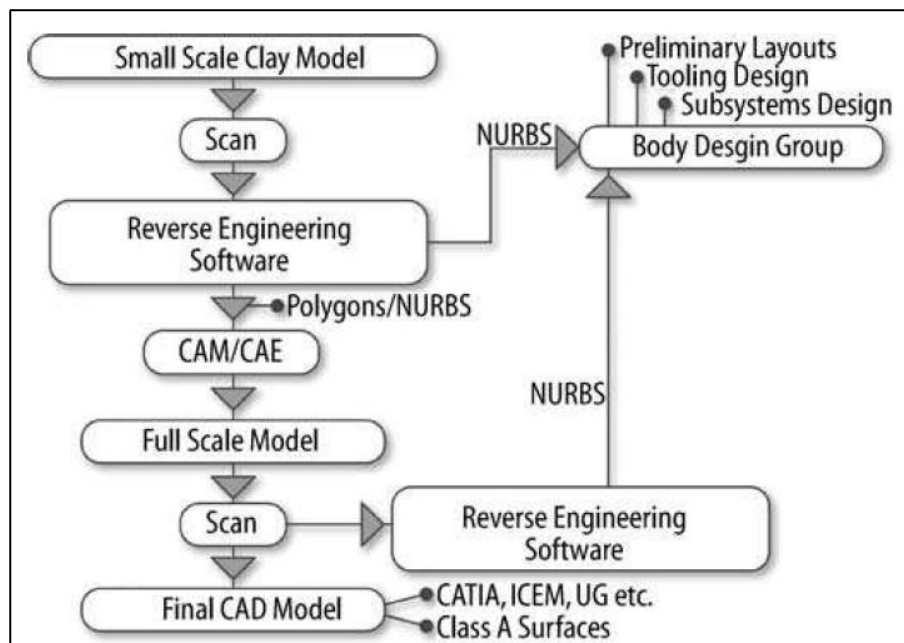
<b>Diagrama de flujo</b>	<b>Descripción</b>
Requerimiento	Se analizan los requerimientos con el área especializada para la aceptación del trabajo.
¿La solicitud es factible?	Analizar si se cuentan con la capacidad y los recursos necesarios para la ejecución del servicio.
¿Es posible replantear la prueba?	Se analiza junto con el cliente la replantación de la solicitud y se determina si se acepta o declina el servicio.
Planeación	Se planea el servicio considerando los siguientes puntos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de fecha y termino del proyecto</li> <li>• Entrega del componente por parte del cliente</li> <li>• Disponibilidad del personal y del equipo de medición</li> </ul>
Ejecución	Se lleva a cabo la prueba por parte del personal encargado. Durante la ejecución se deberá supervisar constantemente la prueba anticipándose a la detección de alguna falla.
Finalización	Se entrega el diseño al cliente y se solicita la confirmación por parte del cliente y se retorna el componente al área correspondiente.

**Tabla 1.** Descripción del Diagrama de flujo. Fuente: Desarrollo propio

## 2.5 Etapas ingeniería inversa

Las etapas de la ingeniería inversa varían dependiendo la aplicación, en algunos casos solo se requiere del diseño como en nuestro proyecto que se mostrara más adelante, en otros casos se necesita fabricar el prototipo para rediseñar el producto y posteriormente fabricar el herramental.

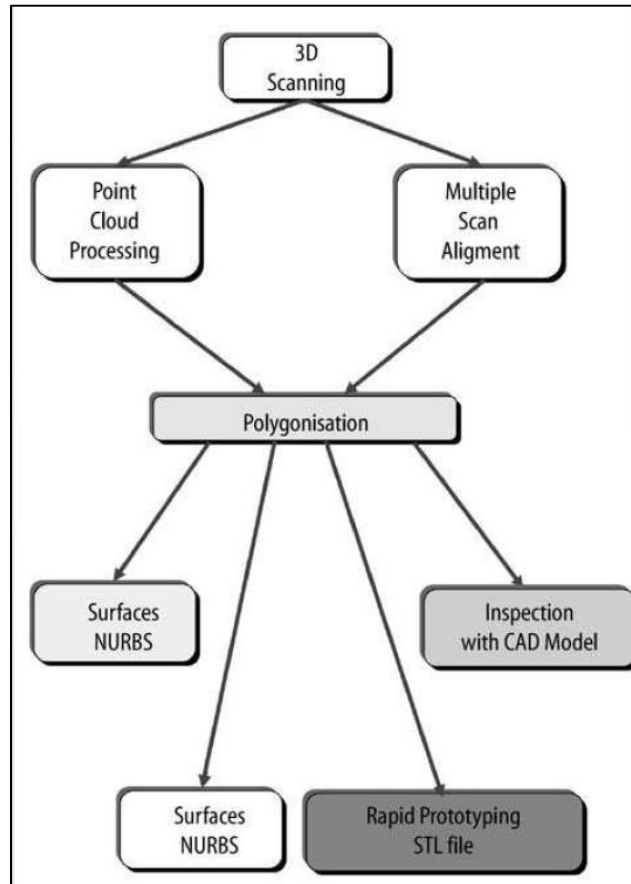
Por ejemplo, el autor Ping Fu en el libro Ingeniería Inversa: una Perspectiva industrial nos muestra las etapas de una empresa automotriz japonesa como se observa en la figura 6.



**Figura 6.** Etapas de ingeniería inversa Reverse usado para la industria automotriz Engineering: An Industrial Perspective, 2008 (pg. 142)

En este proceso existen dos caminos para la aplicación de la ingeniería inversa, el primero consiste en escanear el producto para obtener la malla poligonal y posteriormente mediante un software especializado de ingeniería inversa se obtiene el diseño del herramental, los layouts preliminares, entre otros y el segundo consiste en hacer pruebas de CAM/CAE en donde se ve implicada las técnicas de elemento finito, fatiga, presión, solo por mencionar algunas, para evaluar y rediseñar del producto, posteriormente pasamos al diseño final mediante softwares especializados en diseño como CATIA, NX, Creo, entre otras.

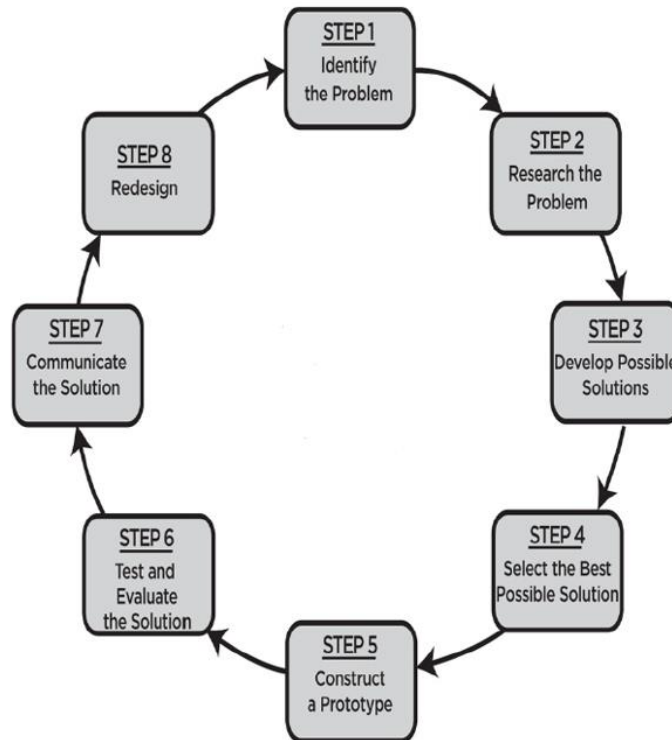
En el mismo libro de Reverse Engineering: An Industrial Perspective el autor Vinesh Raja nos muestra otro proceso como observamos en la figura 7, en la cual destaca la etapa de alineación de escaneo múltiple.



**Figura 7.** Etapas de ingeniería inversa con escaneo múltiple, Reverse Engineering: An Industrial Perspective, 2008 (pg. 4)

Aquí podemos enfatizar que después de la etapa de escaneo 3D existen dos caminos, el primero es procesar la malla poligonal y la segunda es hacer una alineación de múltiples escaneos, esto significa que se necesitaron múltiples sesiones de escaneo para obtener en su totalidad la malla poligonal del producto. Posteriormente el proceso finaliza con el diseño de las superficies, inspeccionar a través del modelo CAD o con la fabricación de un prototipo

Finalmente, el autor Robert W. Messler nos muestra un proceso más tradicional como observamos en la figura 8, las primero 4 etapas involucran un proceso mental por el cual se busca tomar la mejor decisión para llegar a las etapas de experimento para el desarrollo físico de la pieza, probando modelos mediante el análisis matemático que son las etapas 5 y 6. Posteriormente se divulga la información obtenida con las áreas involucradas para concluir con el rediseño del producto.



**Figura 8.** Etapas de la ingeniería inversa, Reverse Engineering Mechanisms, Structures, Systems, and Materials; Robert W. Messler, 2014 (pg. 64)

En resumen, podemos concluir que las etapas varían de acuerdo con el tipo de aplicación, equipo de medición, entre otras y cada compañía puede definir sus etapas acordes a sus necesidades y alcances. Para este proyecto se tomaron ideas para crear nuestras etapas que está enfocado en la creación de superficies de un dispositivo que no cuenta con todos sus elementos en su diseño CAD.

Explicado lo anterior nuestro proceso de ingeniería inversa toma ideas del autor Vinesh Raja en el cual para este proyecto se contemplan 5 fases de acuerdo con nuestro alcance como se observa en la figura 9.

- 1. Adquisición de datos con escáner 3D
- 2. Procesamiento de la malla poligonal
- 3. Optimización de la malla poligonal
- 4. Generación del modelo
- 5. Análisis del modelo contra pieza física



Figura 9. Flujo de trabajo. Fuente: Desarrollo propio

## 2.6 Historia del Escáner óptico 3D

La tecnología del escáner 3D se desarrolló durante la mitad del siglo 20 en un intento por recrear con precisión las superficies de varios objetos y lugares. Esta tecnología estaba enfocada en los campos de la investigación y diseño. La primera tecnología de escáner 3D fue creada en los años 60's. Los primeros escáneres utilizaban luz, cámaras y proyectores para realizar la función. Debido al limitado avance tecnológico que había, tomaba mucho tiempo y esfuerzo escanear objetos con gran precisión. Después del año de 1985 los primeros escáneres fueron reemplazados por los de luz blanca, laser y sombras que podían capturar la superficie. Con la llegada de las computadoras fue posible construir un modelo complejo, pero el problema estaba en la creación del modelo como se observa en la figura 10. (Edl, Mizerák, & Trojan, 2018)



**Figura 10** Medición con cinta métrica 3D laser scanner: History and applications Dr. Mosttaffa Abdell-Bary Ebrahiim, 2011 (pg. 5)

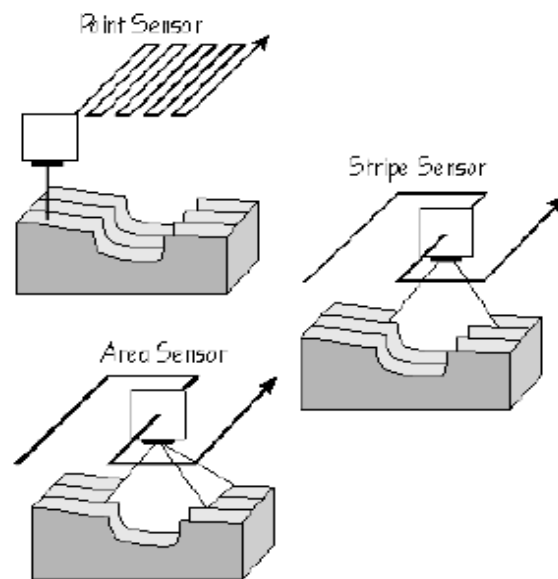
En la década de los 80's se desarrolló una sonda de contacto. Al menos esta tecnología permitía un modelo preciso al ser creado, pero esa demasiado lento, la idea ya se tenía, pero se buscaba crear un sistema capaz de capturar la misma cantidad de detalle, pero a gran velocidad. Por lo tanto, se empezó a desarrollar la tecnología óptica, usar la tecnología de luz era mucho más rápido que el palpador que era por contacto físico.

En ese momento se tenían tres tecnologías ópticas disponibles como se observa en la figura 10 que eran:

**Punto:** El cual era similar a una sonda física en que se utiliza un único punto de referencia repetida muchas veces, desafortunadamente era un método muy lento e implicaba mucho movimiento por parte del sensor.

**Área:** El cual técnicamente era muy difícil debido a su robustez, era un sistema fijo que no tenía un recorrido y a la vez quedó demostrado en el número de ventas.

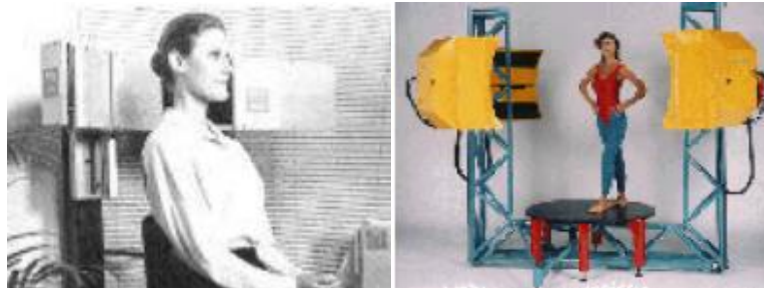
**Stripe:** El tercer sistema rápidamente demostró ser rápido que el palpado puntual, utilizando una banda de muchos puntos para pasar sobre el objeto a la vez, teniendo precisión.



**Figura 11** Esquema de tres tecnologías ópticas, Fundamental of laser scanning Dr. Mostafa Abdel-Bary Ebrahim

Notaron que la técnica Stripe era el camino ideal, pero se dieron cuenta que el reto era capturar el objeto en tres dimensiones, por lo que el sensor debía de hacer varios barridos en diferentes posiciones para unir esos escaneos y eliminar los datos duplicados. (Ebrahim, 2011)

Una de las primeras aplicaciones fue la captura de seres humanos para la industria de la animación, los laboratorios Cyberware de los Ángeles desarrollaron este campo en la década de los 80's con su Head Scanner como se muestra en la figura 12.



**Figura 12** Escaneo de la cabeza y cuerpo humano Fundamental of laser scanning Dr. Mostafa Abdel-Bary Ebrahim

En el año de 1995 la empresa 3D Scanners lanzo el modelo REPLICA, cual permitió rapidez, precisión de objetos con gran detalle.



**Figura 13** Escáner 3D REPLICA Fundamental of laser scanning Dr. Mostafa Abdel-Bary Ebrahim

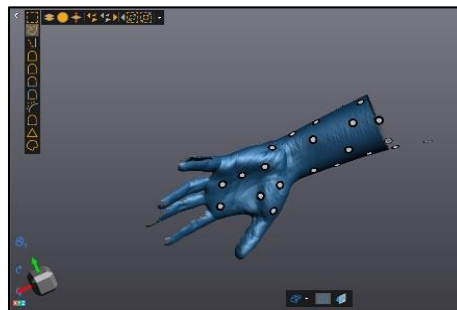
Finalmente, para la década de los 2000's los escáneres 3D lograron unir todo lo que requerían en un mismo sistema que era: precisión, rapidez, modelos en 3 dimensiones, captura de color, portables y accesibles económicamente de acuerdo con la aplicación. Empresas como Creaform, Hexagon, Leica, Artec, por mencionar algunos proveen técnicas de escaneo. Posteriormente en este capítulo hablaremos de algunas ventajas y desventajas que tienen estos equipos para la ingeniería inversa. (Ebrahim, 2011)

## 2.7 Definición del escáner 3D

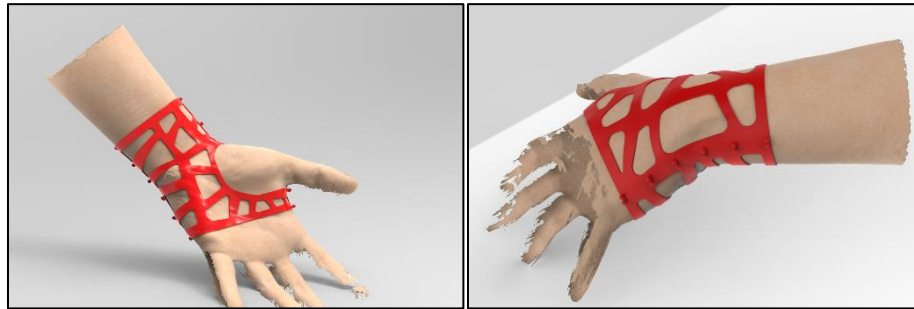
Un escáner 3D lo define el Dr. Mostafa Abdel Bary Ebrahim como un dispositivo que crea una nube de puntos y genera la geometría de un objeto del mundo real para recolectar información de su forma y posible apariencia. Esta información puede ser usada para construir un modelo tridimensional. (Ebrahim, 2011, pág. 3)

Para la aplicación de ingeniería inversa de un componente mecánico se requiere un modelo digital preciso del objeto para ser reproducido. Un modelo digital preciso puede representarse mediante una malla poligonal o en el caso ideal de los componentes mecánicos, un modelo CAD. Un escáner 3D puede ser usado para digitalizar en forma libre y esta información puede ser procesada para crear un modelo digital, usando softwares especializados en la ingeniería inversa.

El escáner no solo se aplica en la industria automotriz, existen variedad de campos entre los que destacan la arqueología para la preservación de monumentos o vestigios, análisis de estructuras de edificios, para construcción o modificación de carreteras y caminos, en el ámbito aeroespacial, naval e incluso en la rama medicinal como la odontología o en el diseño de férulas para el paciente en el que se diseña acorde a la anatomía de la persona como podemos observar en las figuras 7 y 8. Este ejercicio fue realizado para mostrar los alcances de la ingeniería inversa.



**Figura 14** Modelo poligonal de mano. Fuente: Desarrollo propio



**Figura 15** Diseño de férula. Fuente: Desarrollo propio

El escaneo 3D es un proceso que consiste en recolectar la información de la superficie de un objeto mediante un equipo óptico 3D, para la creación de una malla poligonal. Esto es posible dado que las ópticas del equipo calculan la distancia que hay entre ellos.

Es importante mencionar que en la actualidad existen dos tipos de escáner para conocer las ventajas y desventajas que cada uno ofrece en el proceso de la ingeniería inversa.

1. Escáner por contacto (figura 9)
2. Escáner sin contacto (figura 9)
  - a. Fijación externa
  - b. Sin fijación externa



**Figura 16** Equipos de medición. Fuente: Desarrollo propio

### 2.7.1 Escáner por contacto

Estos dispositivos de medición están basados en las tecnologías de las Maquinas de medición por coordenadas (CMM), su principal función es emitir sondas de contacto para recrear el contorno de la superficie física mediante un palpador, manejan una tolerancia entre  $\pm 0.01\text{mm}$ , la mayoría de estos equipos cuentan con un brazo mecánico articulado, el principal inconveniente es el tiempo del levantamiento dado que varía dependiendo del tamaño de la pieza, ya que cada punto se genera secuencialmente en la parte palpada, otra limitante se encuentra en las piezas que tienen un material blando ya que al ejercer presión en la superficie nos da un resultado impreciso, un ejemplo de esto lo podemos observar en la figura 17.



**Figura 17** Rapid Prototyping Casebook, McDonald, J.A., Ryal, C.J. and Wimpenny

### 2.7.2 Escáner sin contacto

La principal función de estos dispositivos es capturar la información mediante luz laser roja, luz blanca o mediante la captura de fotografías, esto varía dependiendo la marca del escáner, pero el resultado es similar. A diferencia de los dispositivos con contacto, estos pueden recolectar grandes cantidades de información en menor tiempo, por supuesto que el tiempo va a variar dependiendo del tamaño del objeto y las características de nuestra computadora. La precisión de estos dispositivos va desde los  $0.030\text{ mm}$  hasta los  $2\text{ mm}$ , para este año 2023 la marca Creaform lanzará al mercado un nuevo escáner con una precisión de  $0.015\text{ mm}$ , lo que vendrá a ser un cambio generacional en equipos de medición portable.

Es importante mencionar que para las superficies muy brillosas es difícil obtener información, por lo que se emplea un spray revelador para opacar la superficie y poder recolectar información de la superficie. Dentro de los escáneres sin contacto podemos encontrar dos versiones diferentes que son los de fijación y los portables, es importante señalarlos ya que contienen algunas ventajas considerables dependiendo nuestra aplicación.

### 2.7.2.1 Escáner con fijación

Estos dispositivos como se observa en la figura 18 son robustos y se requiere de invertir un tiempo para su correcta instalación y calibración, ya que las ópticas se ajustan acorde a la temperatura, en caso de existir una variación de dos grados se necesita volver a calibrar para asegurar los resultados, además debe de estar en una superficie donde no existan vibraciones.



**Figure 18** Dispositivo ATOS GOM por dattum parkers

Estos escáneres son óptimos para objetos de grandes dimensiones como la digitalización de una carrocería, troqueles e incluso para estructuras de alguna edificación, la principal limitante se encuentra en la captura de datos como los lugares angostos o de difícil acceso, por lo que este tipo de dispositivos se deben de usar para requerimientos muy específicos.

### 2.7.2.2 Escáner sin fijación

Son dispositivos portables y ergonómicos por el tamaño que tienen y son fáciles para trasladarlo al campo de trabajo, este tipo de dispositivos se caracterizan por ser pequeños y no tener algún accesorio externo para su funcionamiento como una base para su fijación. Por lo general estos dispositivos son útiles para medir objetos o materiales en sitio sin tener que trasladar la pieza al laboratorio. Algunos equipos utilizan targets reflectivos y otros no, esto dependerá de la marca del escáner.

Para nuestro proyecto se utilizará el escáner Handy Scan 700 de marca Creaform y en el siguiente apartado se expondrá el funcionamiento a detalle para la recolección de datos.

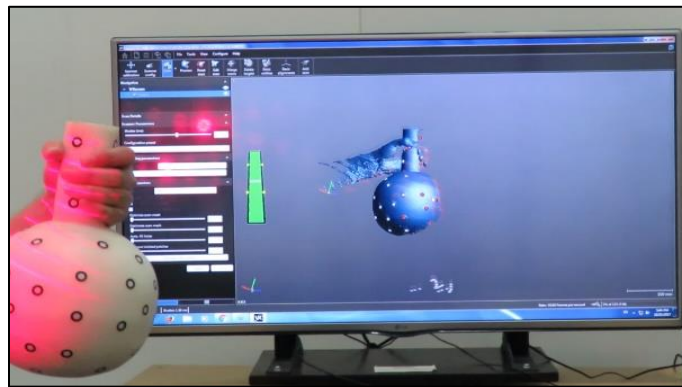
### 2.8 Escáner Handy Scan

Antes de someter nuestra pieza al digitalizado, se necesita preparar el componente con unos targets reflectivos, para poder recolectar información se necesitan al menos 4 dentro un área que pueda visualizar la óptica del escáner, estos se colocan de manera aleatoria con una distancia mínima de 50 mm entre ellos sin seguir un patrón y se debe de poner a una distancia de 10 mm de los bordes, estos son de gran utilidad porque nos ayudara a posicionarse respecto al objeto, la principal función de este material es guiar al laser a través de las ópticas de nuestro equipo y poder generar la geometría de la superficie y elimina la posibilidad de perderse durante el escaneo. Finalizada la preparación se hace el levantamiento de puntos para posicionar nuestro componente, al tener la nube de puntos nos facilitará para movernos libremente alrededor como se observa en la figura 19.



**Figura 19** Levantamiento de targets, manual de Creaform Handy Scan 700

El procesamiento puede ser visto en tiempo real por el usuario, de esta manera nos aseguramos de observar las zonas donde ya están digitalizadas o nos hace falta de ser recolectadas. El software que se utiliza para visualizar nuestro modelo es Vx Elements el cual también nos ayudara en el post procesamiento de nuestro modelo poligonal como podemos observar en la figura 20.

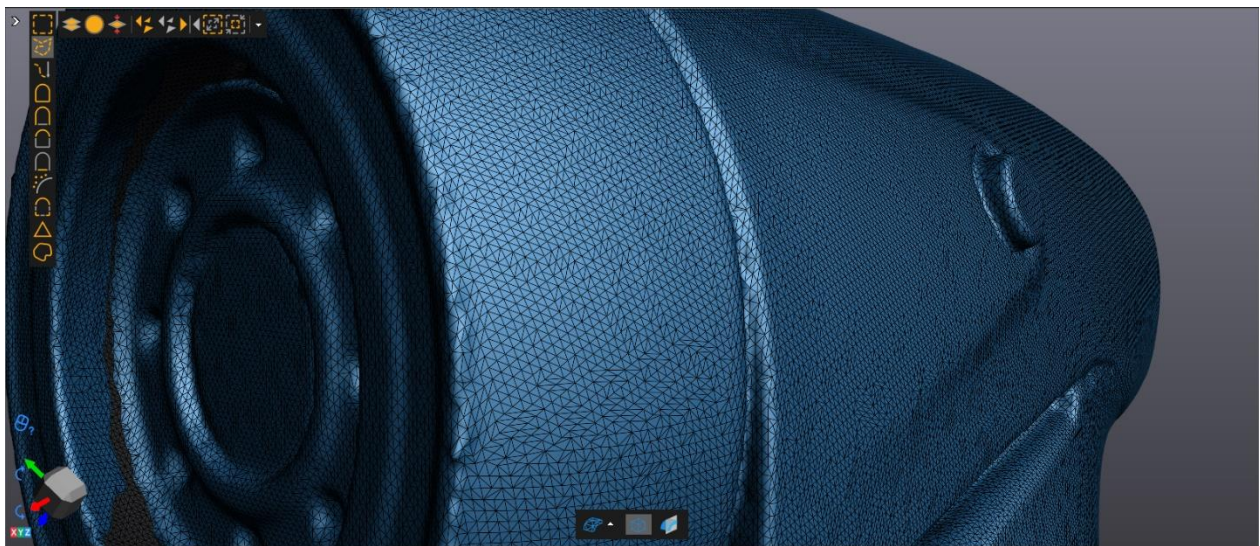


**Figure 20** Visualización tiempo real en el software VX Elements. Fuente: Desarrollo propio

Es importante destacar que el equipo usado para este proyecto emite láser rojo, y nos permite digitalizar diferentes tipos de colores de la superficie al mismo tiempo ya que se ajusta la intensidad del láser emitido acorde al color, sin necesidad de aplicar polvo revelador, la única superficie a lo que se tendría que aplicar polvo es a las zonas con superficie brillosas. Una vez finalizada la adquisición de datos 3D se obtiene nuestro modelo poligonal y a continuación se continuará con el post- procesamiento de esta para finalmente exportarla en formato STL en el software Geomagic Design X.

## 2.9 Optimización de la malla poligonal

La malla poligonal es un conjunto de triángulos formados por una indeterminada cantidad de puntos (la cantidad de puntos varia respecto al tamaño del componente) que dan forma a vértices, bordes y superficies, en la figura 21 podemos observar un ejemplo de una malla poligonal. Es importante destacar que la cantidad de triángulos va relacionada con la resolución de la malla, es decir, a mayor resolución mayor número de triángulos vamos a obtener y esto se determinada antes de escanear nuestro componente. Pero ¿Qué aspectos debemos considerar para seleccionar la resolución?, Esto depende del tamaño y los detalles que tenga nuestra zona de interés. La resolución en términos generales en los escáneres ópticos es la distancia que existe de punto a punto en la malla poligonal por lo que entre más resolución se tenga más definido quedara nuestro modelo.



**Figure 21** Malla poligonal de un objeto. Fuente: Desarrollo propio

Posteriormente procederemos a optimizar la malla poligonal, este proceso consta de dos etapas. La primera es eliminar la información que no es necesaria como algunas zonas aisladas flotantes que se generaron al momento de digitalizar nuestro componente, esto suele suceder por aplicación de un spray revelador que nos permitió levantar una zona reflejante o por la intensidad del láser de nuestro equipo óptico que al emplearlo en zonas muy profundas de difícil acceso detecta suciedad. Como consecuencia de la

eliminación de esos residuos se reducirá el tamaño de almacenamiento de nuestra malla poligonal.

La segunda etapa consiste en optimizar los targets de posición de la malla poligonal, esto permite al software (Vx Elements) realizar ajustes o correcciones que se haya encontrado en nuestro escaneo para mantener la precisión máxima de nuestro equipo, de este modo podremos exportar nuestra malla poligonal en formato STL.

El resultado de este procesamiento de la malla nos permitió reducir la cantidad de puntos, eliminar errores que tendrán un impacto al termino de nuestro diseño de nuestros componentes. Con esto finalizamos el uso del escáner óptico y continuaremos con el modelado de superficies en el software Geomagic Design X.

# CAPITULO 3

## CASO DE ESTUDIO DISPOSITIVO R202

### 3.1 Introducción

En el presente capítulo se mostrará una aplicación real de ingeniería inversa solicitada por la empresa COMPAS (Cooperation Manufacturing Plant Aguascalientes), esta compañía automotriz situada en el estado de Aguascalientes se dedica al ensamble de vehículos de la marca Mercedes Benz y Nissan, sus líneas de producción son compartidas para el ensamble de diferentes modelos entre los que destacan el Mercedes Benz GLB y el Infinity QX50. El compartir líneas de ensamble fue un problema crítico ya que personal de ambas compañías ajustaban y movían los herramientas para resolver problemas de ensamble y en el peor de los casos había colisión entre dispositivos.

La empresa empezó sus operaciones en el año 2018 y los principales problemas a los que se enfrentaron fue relacionado con la falta de información CAD de sus dispositivos. Al compartir modelos en las líneas de producción ambas marcas automotrices necesitaban hacer algunos cambios en el diseño, pero no contaban con esta información de todos los dispositivos, la poca transferencia de esta información por parte de la empresa encargada de diseñar y construir los dispositivos hacia Mercedes Benz en COMPAS era desconocida, pero se manejaron diferentes teorías que derivaban desde la confidencialidad, pérdida de información o por términos comerciales.

En primera instancia se escanearon cerca de 80 dispositivos para que a través de un proveedor se obtuviera la información CAD mediante ingeniería inversa. Por lo que se vio un área de oportunidad para desarrollar y ofrecer el servicio completo de ingeniería inversa. En este capítulo se abordará un caso real de una solicitud por parte del área técnica de COMPAS, describiendo desde el requerimiento hasta mostrar los resultados obtenidos, adicional a esto se hará un análisis dimensional para complementar este proyecto. De igual forma se aportará información complementaria del equipo óptico 3D utilizado en este ejercicio que demostrará la validación de nuestras mediciones, asegurando los resultados emitidos.

A lo largo de este capítulo se describirán cada una de las etapas de nuestro proceso. Se adjuntarán evidencias fotográficas y capturas de pantalla para observar el proceso a fondo.

Los pasos que se describirán a lo largo de este capítulo son los siguientes:

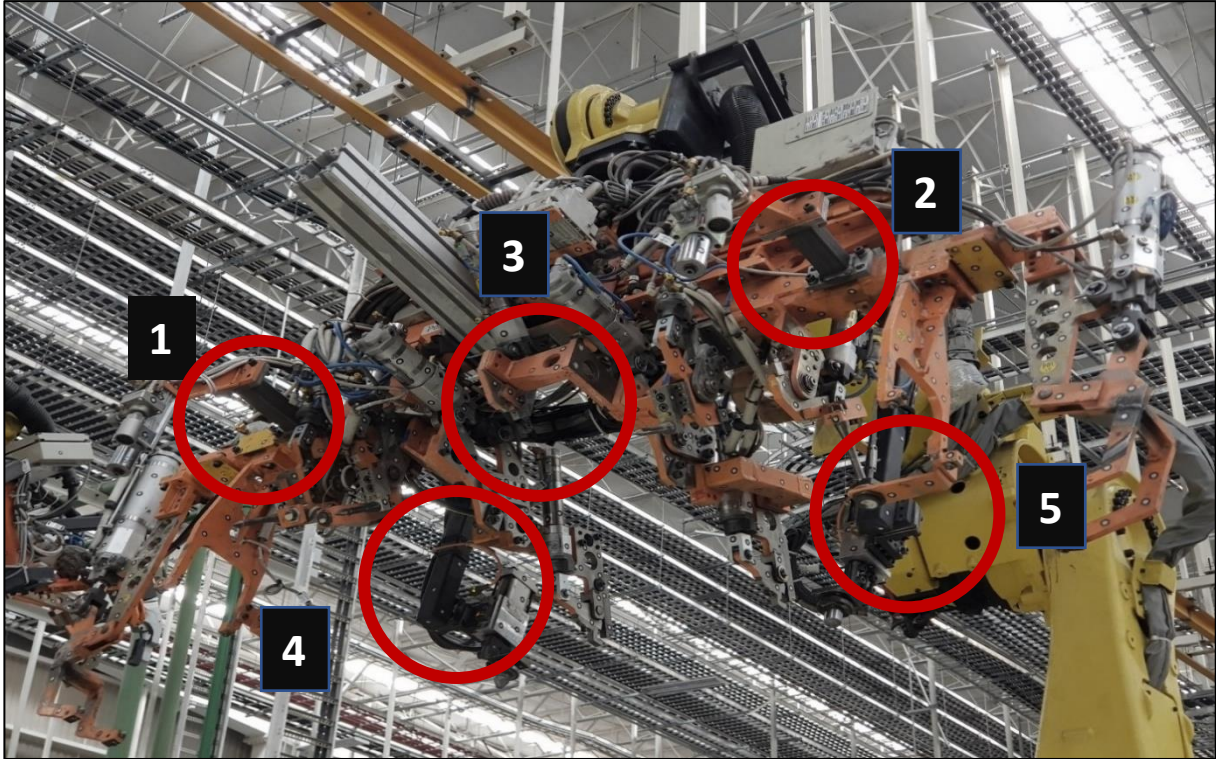
- Descripción del requerimiento
- Digitalización del dispositivo
- Exportación de la malla en formato STL
- Generación de superficies y/o componentes
- Exportación de componentes en IGES

### **3.2 Descripción del requerimiento**

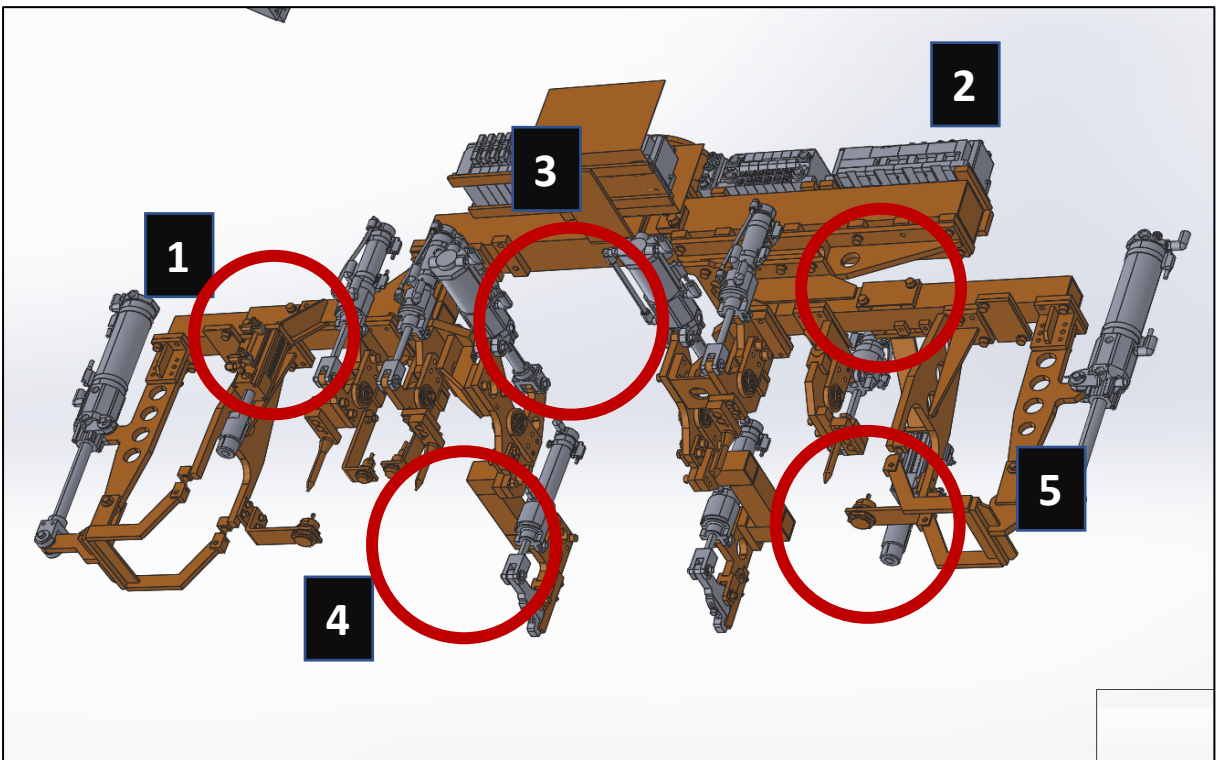
En la estación de ensamble del compartimiento del motor, el piso frontal y el trasero, se detectó que en el modelo CAD del dispositivo R202 hacían falta algunos componentes comparados con el dispositivo en físico. Por lo que se requiere la digitalización mediante un escáner óptico para la generación de superficies y agregar los componentes faltantes.

En el dispositivo se puede observar que no se encuentra algunos perfiles tubulares rectangulares (PTR) de color negro, estos elementos serán enumerados del **1** al **4**, como se observa en la figura 22. También se muestra que en el elemento número **5** no existe información respectiva de la parte colindante del cilindro y se requiere el modelado de las partes descrita para actualizar el modelo CAD.

Para la ejecución de esta actividad se hará uso de un escáner óptico 3D de marca Creaform (Handy Scan) y se hará uso del software Geomagic Design X para la generación de superficies. Los formatos de salidas de los componentes serán en IGES que es un formato standard para los programas de diseño y se pueda hacer uso en el software de diseño final.



**Figura 22** Dispositivo R202 Propiedad COMPAS



**Figura 23** Modelo CAD Dispositivo R202 Propiedad COMPAS

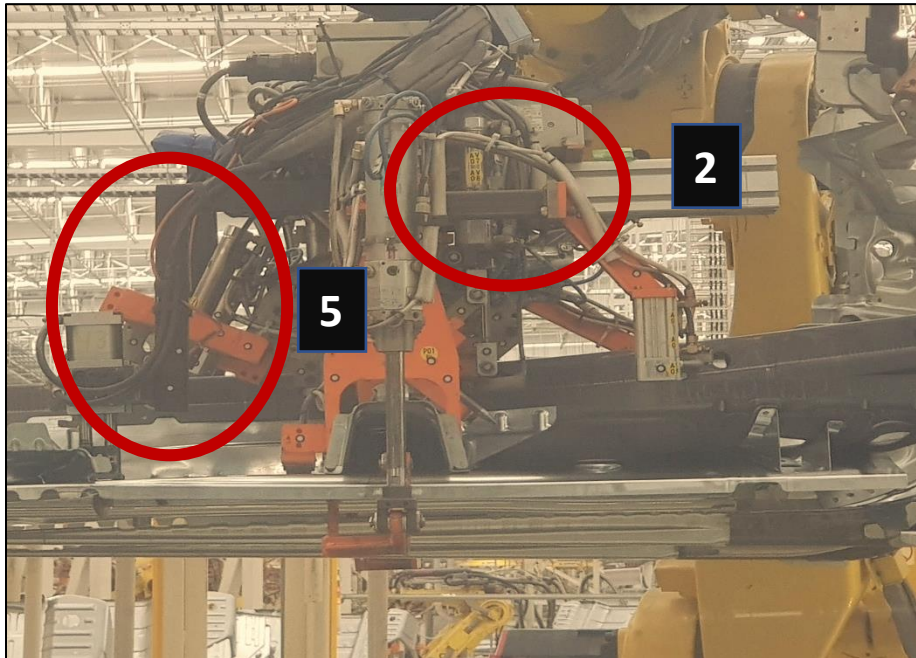


Figura 24 Dispositivo R202 Propiedad COMPAS

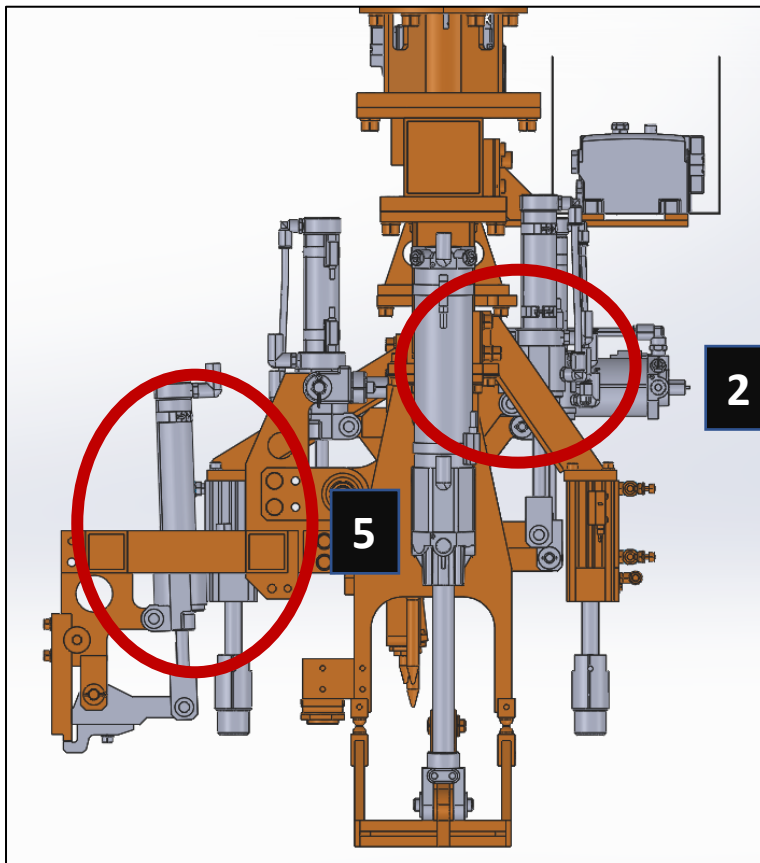
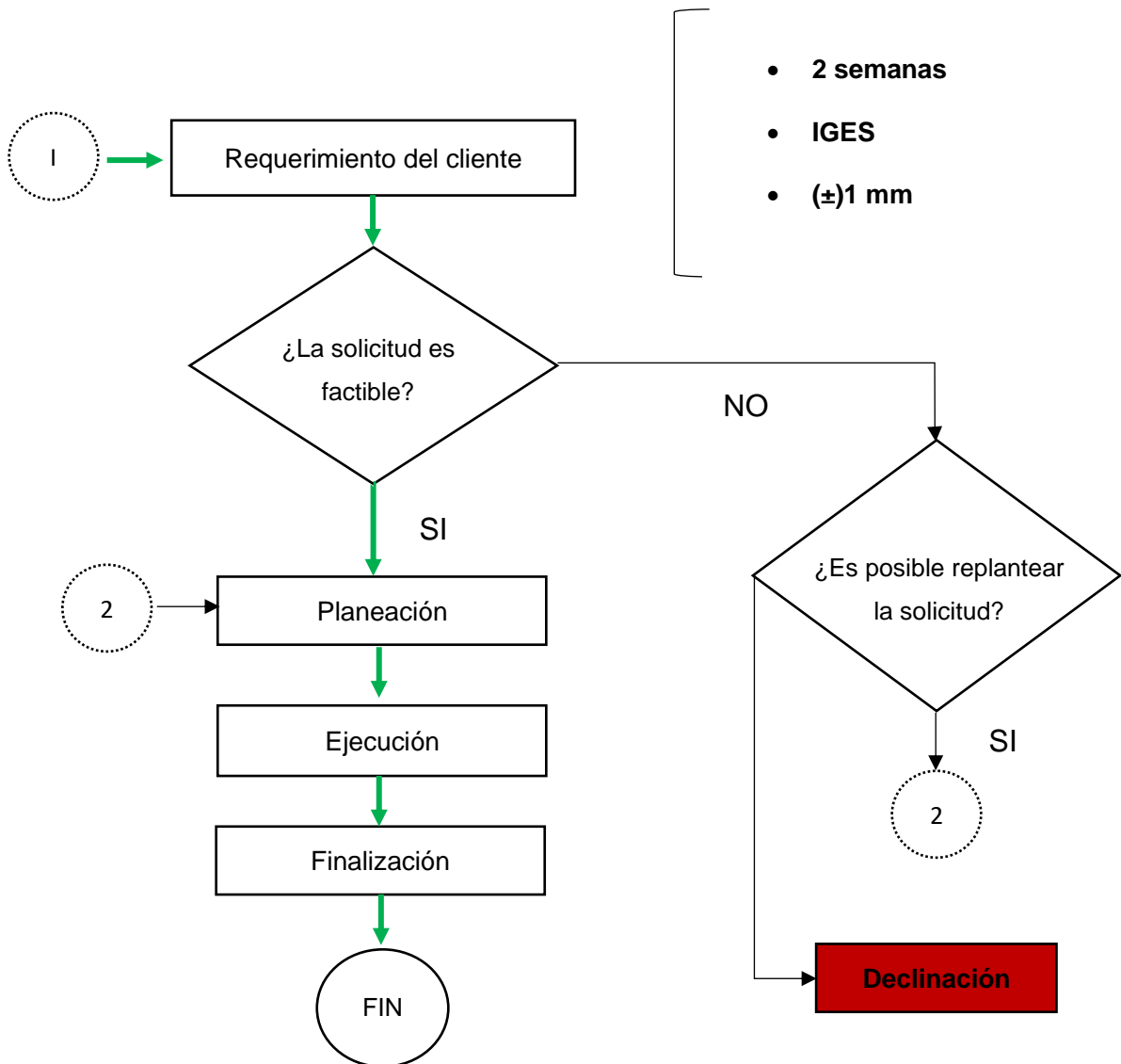


Figura 25 Modelo CAD Dispositivo R202 Propiedad COMPAS

Se presenta una vista isométrica y lateral del dispositivo R202 tanto en físico como en CAD para facilitar la detección de los componentes faltantes. Una vez recabada la información se analiza si con los recursos existentes es posible realizar el proyecto y emitir una respuesta a la parte solicitante. La precisión solicitada fue de  $\pm 1.00$  mm para la generación del modelo CAD. Los componentes serán compartidos en extensión IGES y el subensamble final será realizada por la parte solicitante mediante su área de diseño debido a la confidencialidad.

Por lo que nuestro proceso queda planteado como se observa en la figura 19.



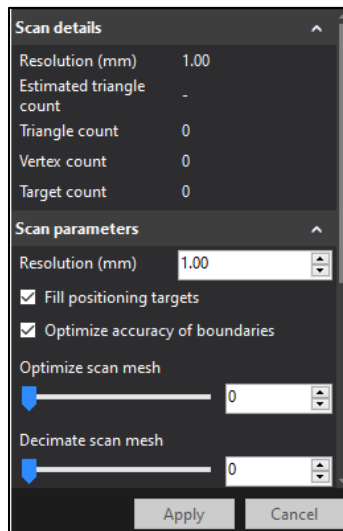
**Figura 26** Diagrama de flujo para requerimiento. Fuente: Desarrollo propio

Diagrama de flujo	Descripción
Requerimiento	Se solicita la digitalización del dispositivo R202 para la generación de componentes que no existen en el modelo CAD. La precisión requerida del modelo es de $(\pm)1.00$ mm, se solicita que los componentes sean entregados en formato IGES.
¿La solicitud es factible?	La solicitud es factible ya que el requerimiento se encuentra dentro del alcance.
Planeación	<p>Se planea el servicio con la parte solicitante para la visita técnica en la empresa COMPAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se define la fecha de visita de acuerdo con la disponibilidad del equipo y personal.</li> <li>• Se da un estimado de 8 horas para la digitalización en planta y se generen los accesos correspondientes</li> <li>• El personal requerido es de 2 personas para la ejecución del proyecto.</li> <li>• Se da un máximo de 2 semanas a partir de la visita técnica para la entrega de los modelos.</li> </ul>
Ejecución	Se lleva a cabo la digitalización en la planta COMPAS para posteriormente generar los modelos en el software Geomagic design X
Finalización	La finalización concluye con la entrega del modelo CAD en formato de salida IGES

**Tabla 2** Descripción del flujo de trabajo. Fuente: Desarrollo propio

### 3.3 Digitalización del dispositivo y optimización de malla

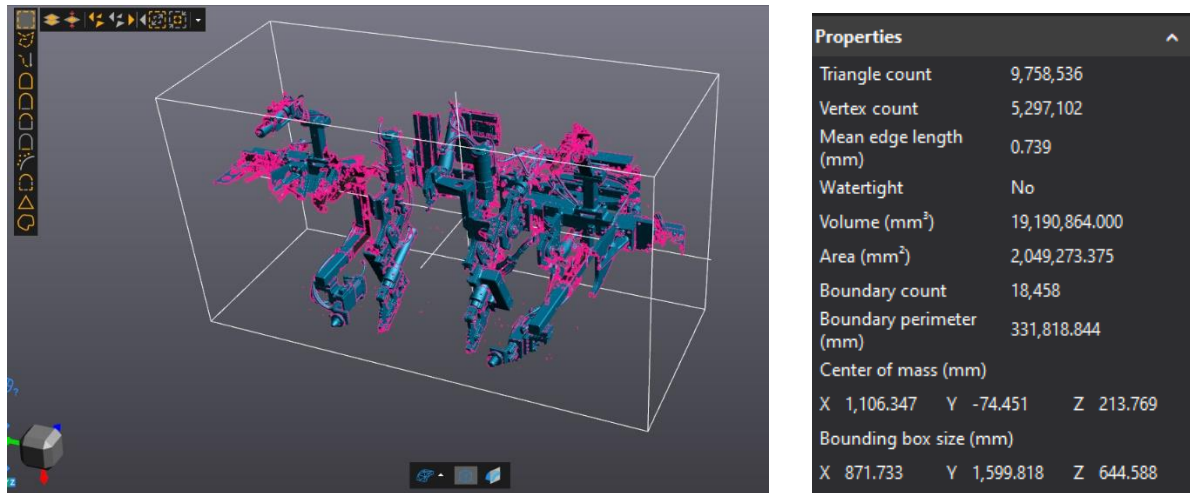
En la estación #20, el dispositivo R202 fue preparado en su totalidad con los targets altamente reflectivos, se hizo el levantamiento de estos puntos para posteriormente digitalizarlo de acuerdo con el procedimiento de nuestro equipo óptico 3D, la resolución usada para este proyecto fue de ( $\pm$ )1.0 mm debido a las dimensiones del dispositivo, estos detalles del escaneo se pueden observar en la figura 27.



**Figure 27** Detalle del escaneo en Vx Elements. Fuente: Desarrollo propio

Al finalizar la digitalización del dispositivo R202, se hizo la limpieza de partículas flotantes y de superficies que no eran relevantes en nuestro digitalizado con la finalidad de reducir la cantidad de información en nuestra malla poligonal, posteriormente se optimizó la precisión volumétrica para garantizar la precisión de nuestro equipo. Al termino de este proceso obtuvimos una reducción en la cantidad de triángulos de la malla poligonal como se observa en la figura 28.

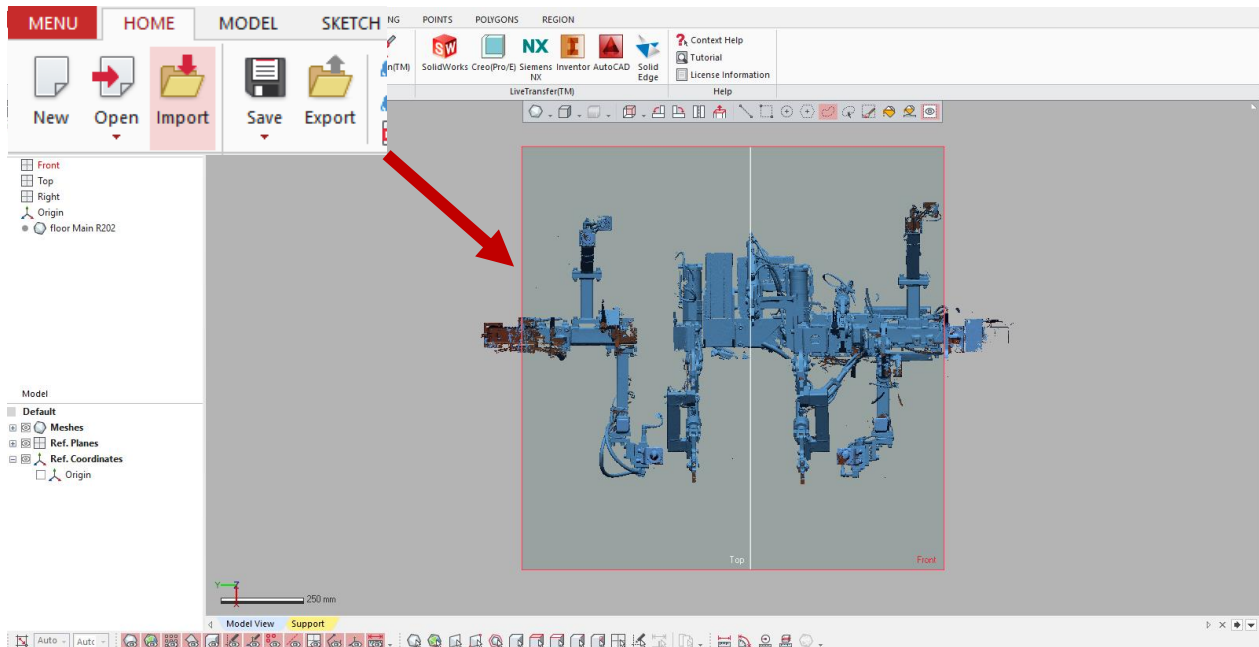
Con esto damos por concluido la captura de información obteniendo nuestra malla poligonal del dispositivo R202. Finalmente la exportamos en formato IGES para dar paso a la generación de superficies de los componentes en el software Geomagic Design X.



**Figura 28** Propiedades de la malla poligonal R202. Fuente: Desarrollo propio

### 3.4 Modelado dispositivo

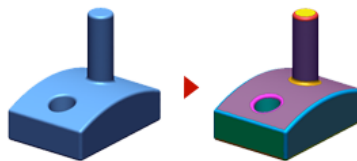
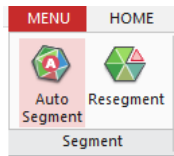
Una vez teniendo nuestra malla poligonal, procedemos a importarlo en el software Geomagic Design X para inicial el modelado de nuestros componentes faltantes. Al importar la malla en el software, el resultado de esto se observa en la figura 29.



**Figura 29** Exportación de la malla en Geomagic Design X. Fuente: Desarrollo propio

El primer paso al tener nuestra malla poligonal es utilizar la herramienta Auto segmentar, este paso es importante debido a que el software detectará el tipo de superficie mediante diferentes colores, por lo que será fácil identificar geometrías como los cilindros, planos, revoluciones, esferas, superficies de forma libre como se aprecia en la figura 30. Esta función nos ayudará posteriormente para la generación de planos y vectores en el modelado de la pieza.

*Tools > Region > Auto Segment*

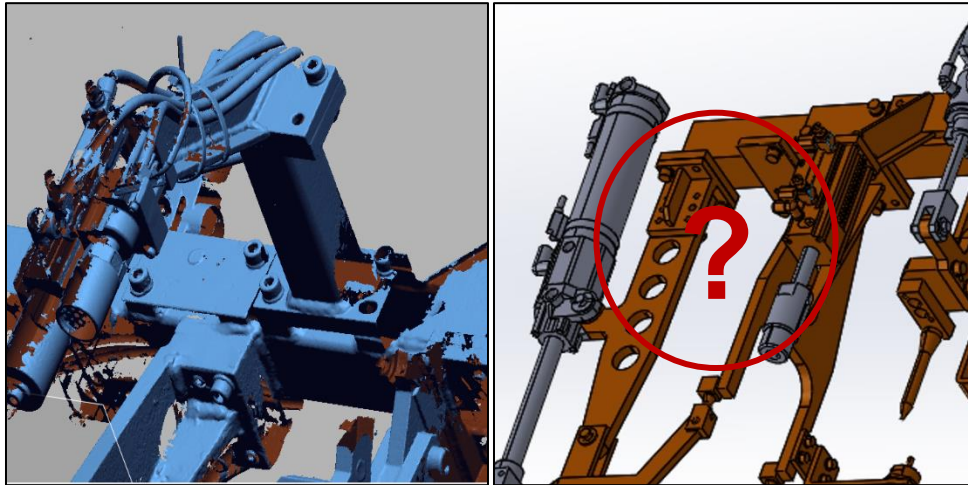


**Figura 30** Regiones de una malla. Fuente: Geomagic Design X

Partiendo de este momento se explicará a detalle el modelado del componente número **1** y se mostrará el proceso del **3** y **5**. Para los componentes **2** y **4** se presentarán solamente los resultados debido a las similitudes que hay en los componentes **3** y **5**.

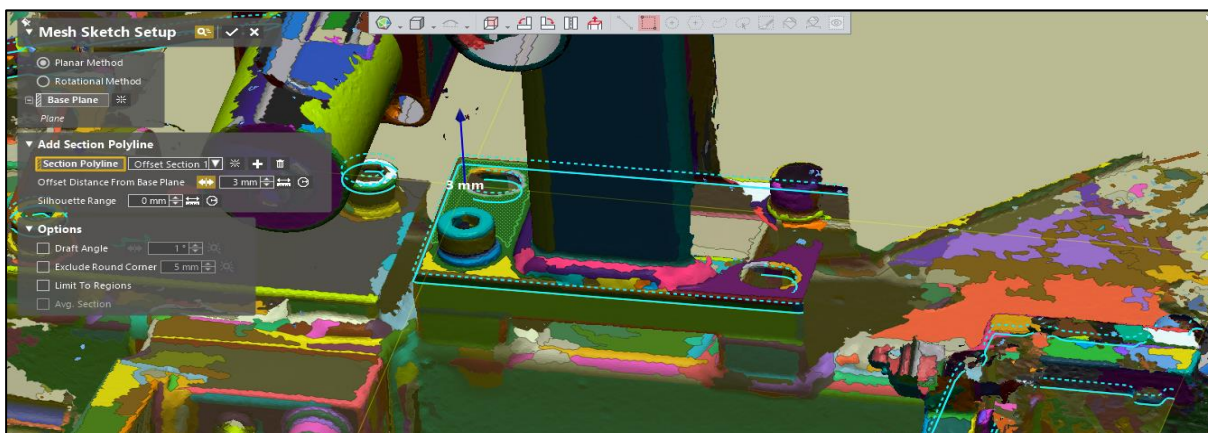
### 3.4.1 Dispositivo R202 Elemento 1

Empezaremos con el elemento número 1, se muestra en la figura 31 la malla poligonal y una captura del modelo CAD para la detección del elemento faltante.



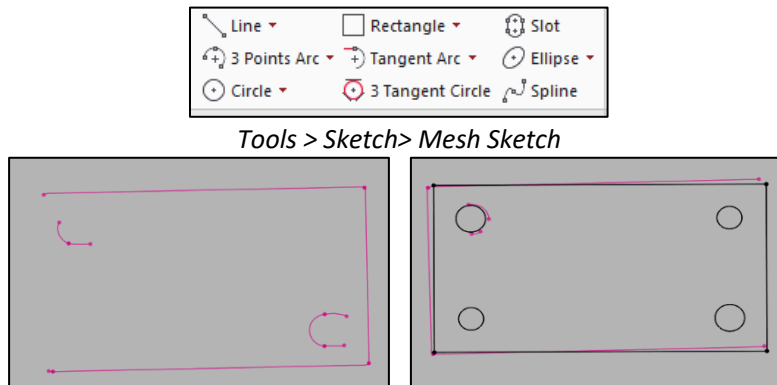
**Figura 31** Malla poligonal y Modelo CAD del dispositivo. Fuente: Desarrollo propio

Con las regiones activadas seleccionamos un plano para generar un plano de referencia y el software pueda permitirnos hacer un corte transversal a la malla para extraer la geometría del elemento. Una vez seleccionado el plano le damos un desplazamiento de 3 mm en el eje Z.



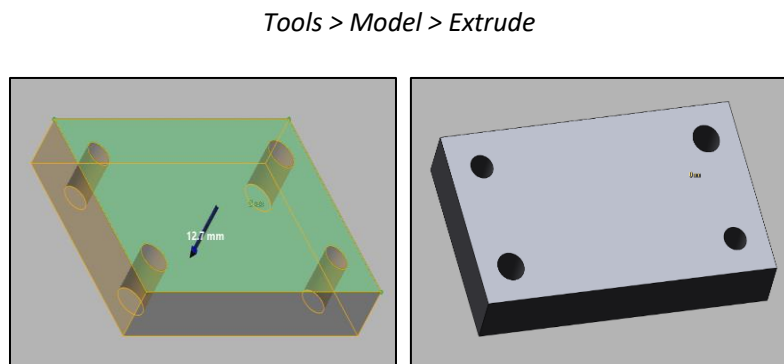
**Figura 32** Extracción de geometrías en Geomagic Design X. Fuente: Desarrollo propio

Ocultamos nuestra malla para tener mejor visualización del plano que se va a generar, la función Mesh Sketchup extrae las polilíneas de zona a modelar de la malla y con herramientas de dibujo podemos recrear la geometría en 2D, en la figura 33 observamos con líneas rosas la extracción y posteriormente el diseño de nuestra parte.



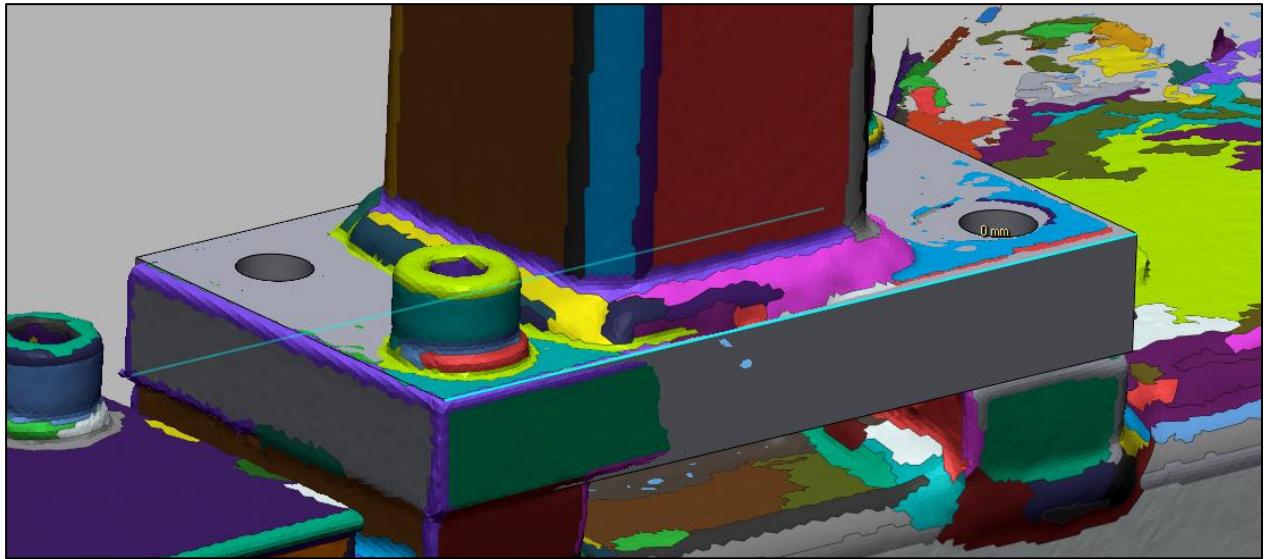
**Figure 33** Diseño de una pieza del elemento 1. Fuente: Desarrollo propio

Finalizado el trazado de las líneas, continuaremos con la herramienta de modelado en el plano 2D creado, utilizamos la herramienta extrusión con la opción de detección de malla que son de 12 mm como se observa en la figura 34.



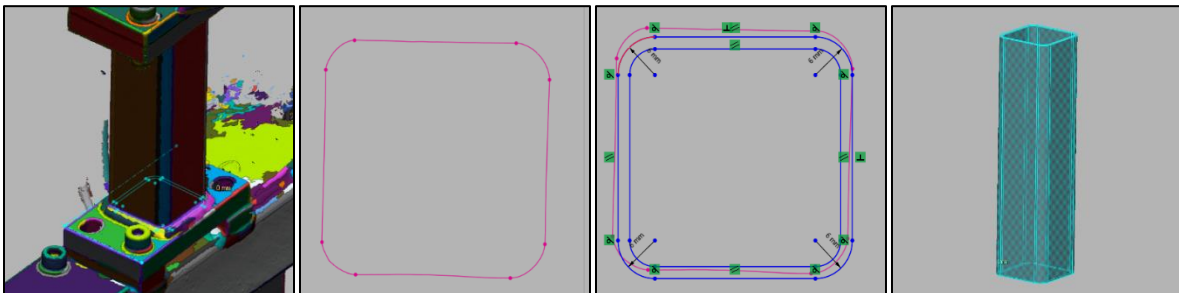
**Figure 34** Extrusión de la pieza del elemento 1. Fuente: Desarrollo propio

Concluido este paso, activamos la malla poligonal con la finalidad de observar el objeto creado en nuestra pieza diseñada, observamos en la figura 35 la posición de nuestra pieza respecto a esta.

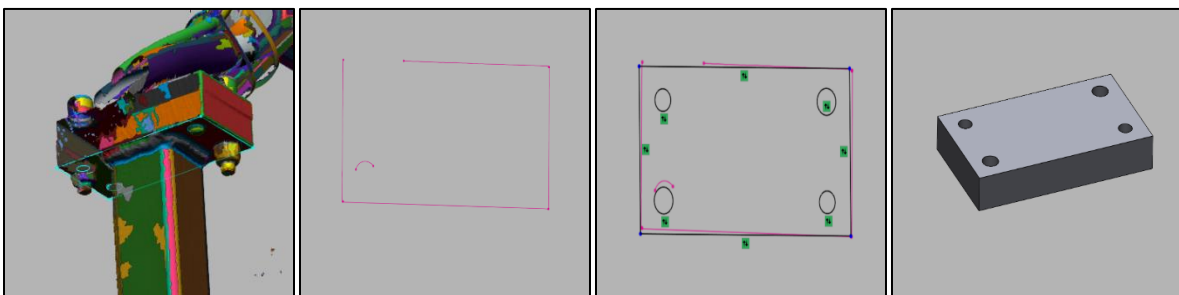


**Figura 35** Solido de una pieza del elemento 1. Fuente: Desarrollo propio

Posteriormente haremos el mismo proceso en los componentes restantes como se verán en las siguientes figuras 36 y 37.

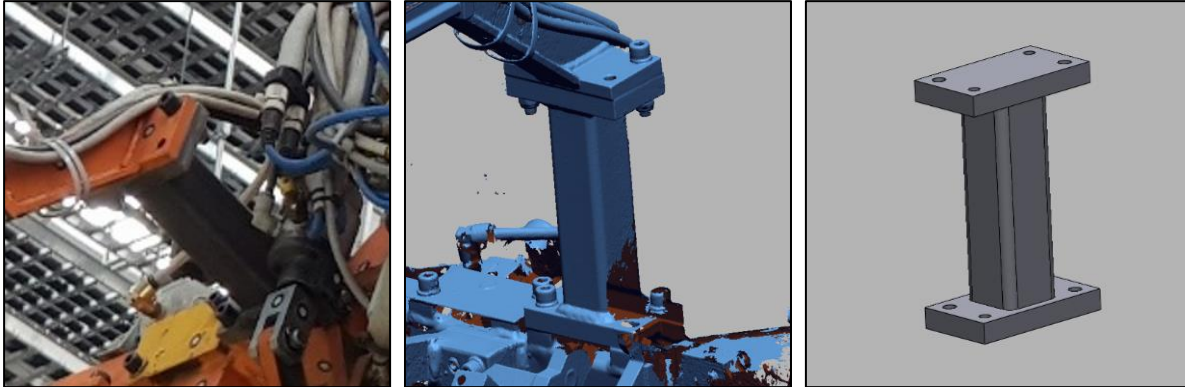


**Figura 36** Diseño de una pieza del elemento 1. Fuente: Desarrollo propio



**Figura 37** Diseño de una pieza del elemento 1. Fuente: Desarrollo propio

Con los pasos anteriores se finaliza el diseño del primer elemento del dispositivo R202 como se verá a continuación en la figura 38.

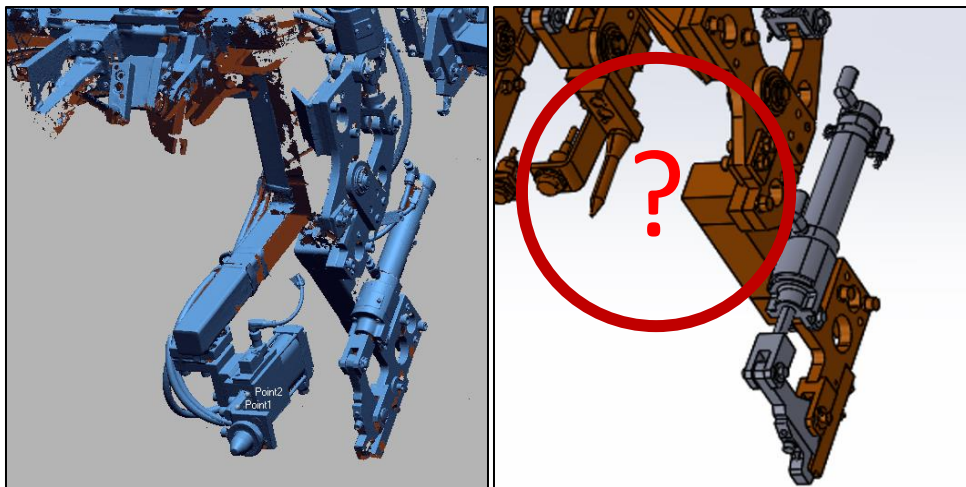


**Figure 38** Pieza física, malla poligonal y modelo. Fuente: Desarrollo propio

Para el componente número 2 solo se mostrará el resultado final debido a que estos elementos son similares y el procedimiento es el mismo, la diferencia entre ambos elementos es la longitud del perfil tubular.

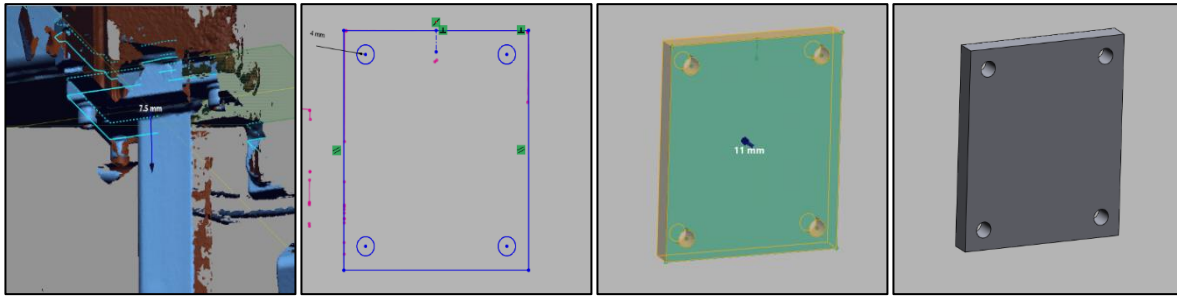
### 3.4.2 Dispositivo R202 Elemento 3

Continuaremos con el elemento número 3 del dispositivo R202, como se observa en la figura 39 nos hace falta información del perfil tubular.



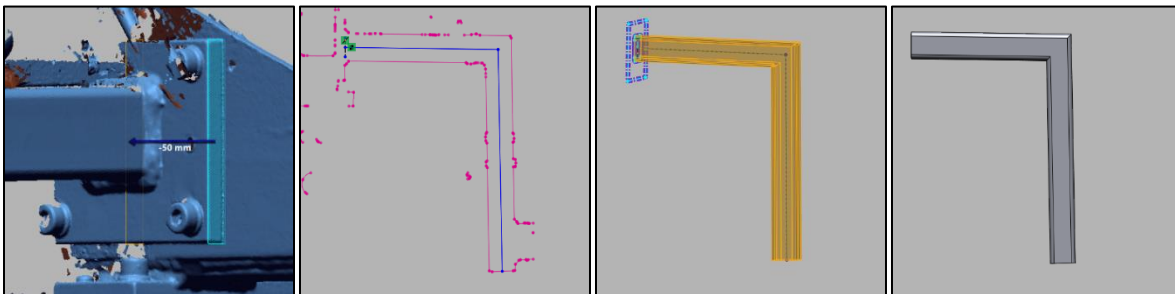
**Figure 39** Malla poligonal y Modelo CAD del dispositivo. Fuente: Desarrollo propio

Anteriormente se mencionó que cada pieza hay que seccionarla para poder generar el diseño, en las siguientes figuras se describirá brevemente los pasos realizados para el diseño completo del componente.

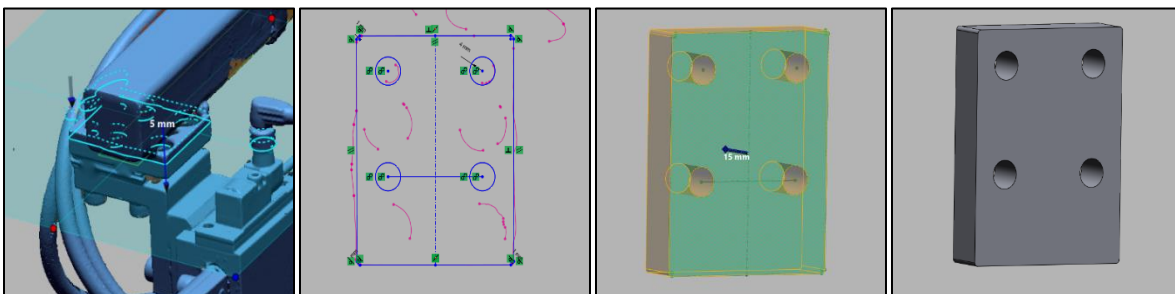


**Figure 40** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

Para este paso se genera una línea exactamente en la parte media del perfil para aplicar el comando Sweep (Recorrido) para la creación del perfil, esta traza la trayectoria para crear un cuerpo sólido cerrado, la creación de esta trayectoria se traza con las entidades de círculo, líneas, arco, etc. Para nuestro caso solo se necesario dibujar dos líneas como observamos en la figura 41.



**Figure 41** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

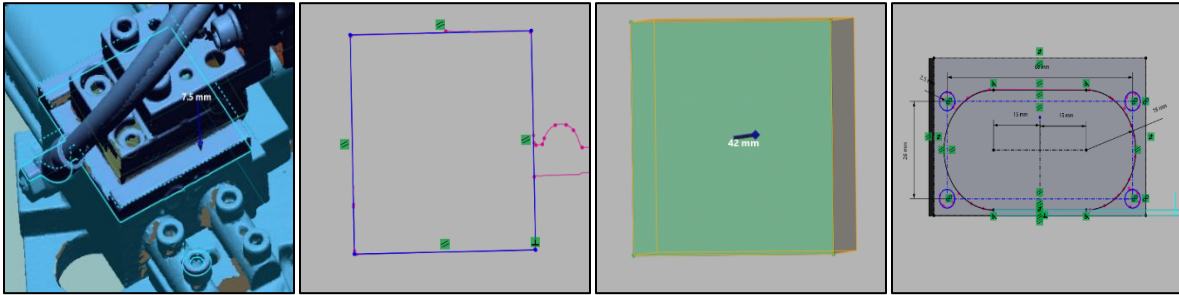


**Figure 42** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

En la figura 42 aplicamos extracción de un plano de 5mm para dibujar la pieza, en esta misma se dibujan 4 círculos para hacer un corte y obtener nuestro sólido con una extrusión de 15 mm.

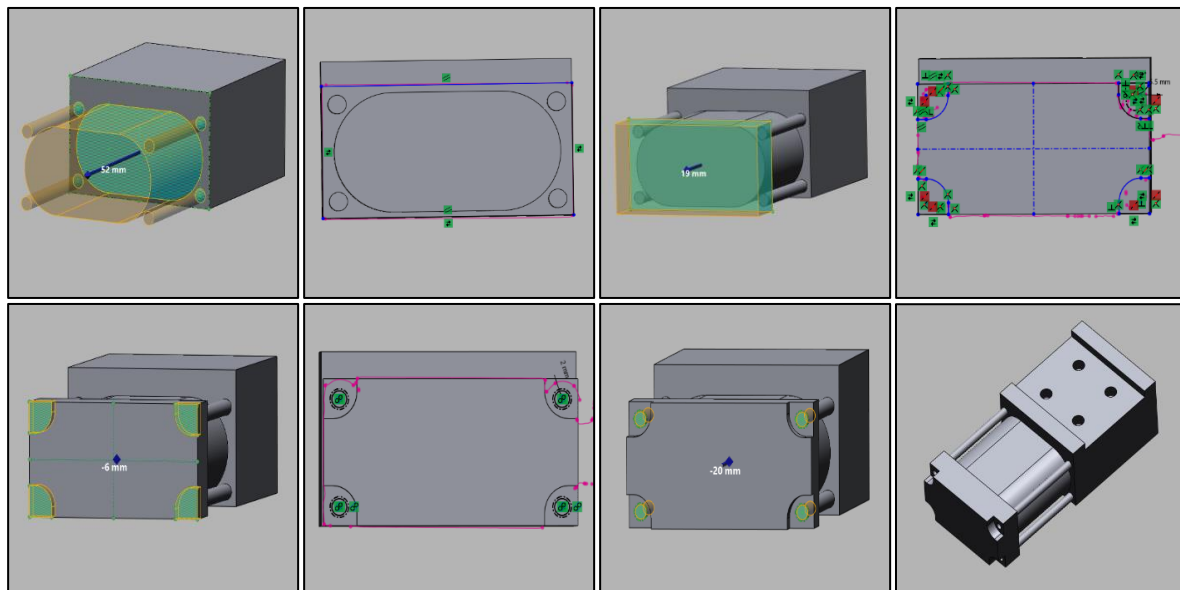


Para la pieza mostrada en la figura 45 se hace una extrusión de 42 mm para obtener el sólido, dentro de esta se dibujan círculos de acuerdo con nuestro plano extraído para la creación del slot y sus cilindros.



**Figura 45** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

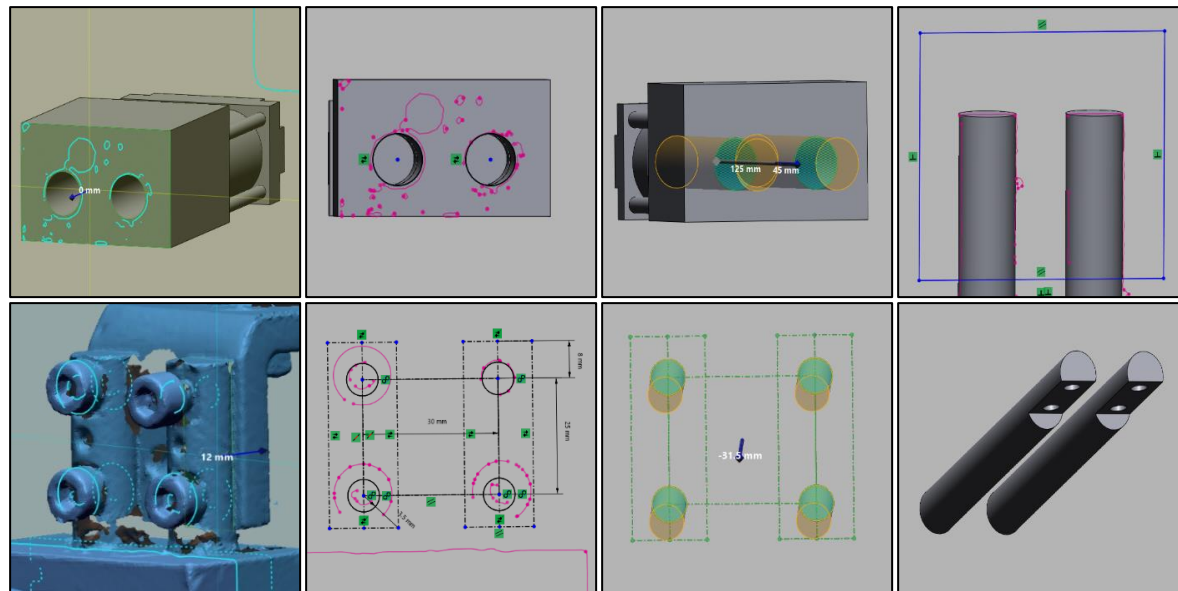
Posteriormente se dibuja un oblongo y se aplica una extrusión de 52 mm, junto con sus pequeños cilindros, se crea un rectángulo con una distancia de 19 mm y finalmente se hacen unos cortes en cada una de sus esquinas con una distancia de 6 mm en sentido opuesto para el corte, la secuencia de lo descrito se puede observar en la figura 46.



**Figura 46** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

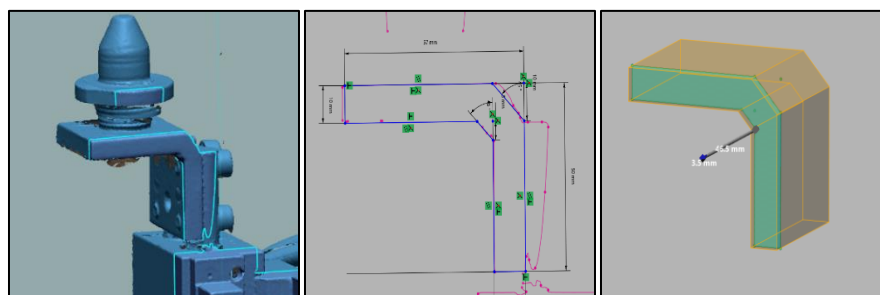
Continuamos con el diseño de los acopladores, haciendo dos circunferencias en el centro, nos ayudamos con la función de detección de malla para el diseño de este y hacemos una extrusión de 45 mm hacia el interior de la cara para generación de los

acopladores cilíndricos. En seguida a estos cilindros se le creará un plano para diseñar la circunferencia donde irá la tornillería, se hace el diseño de 4 círculos con un diámetro de 7 mm y hacemos un corte para generar los orificios, finalmente creamos un plano en la cara para generar el acoplamiento de estos, el resultado final se puede observar en la figura 47.



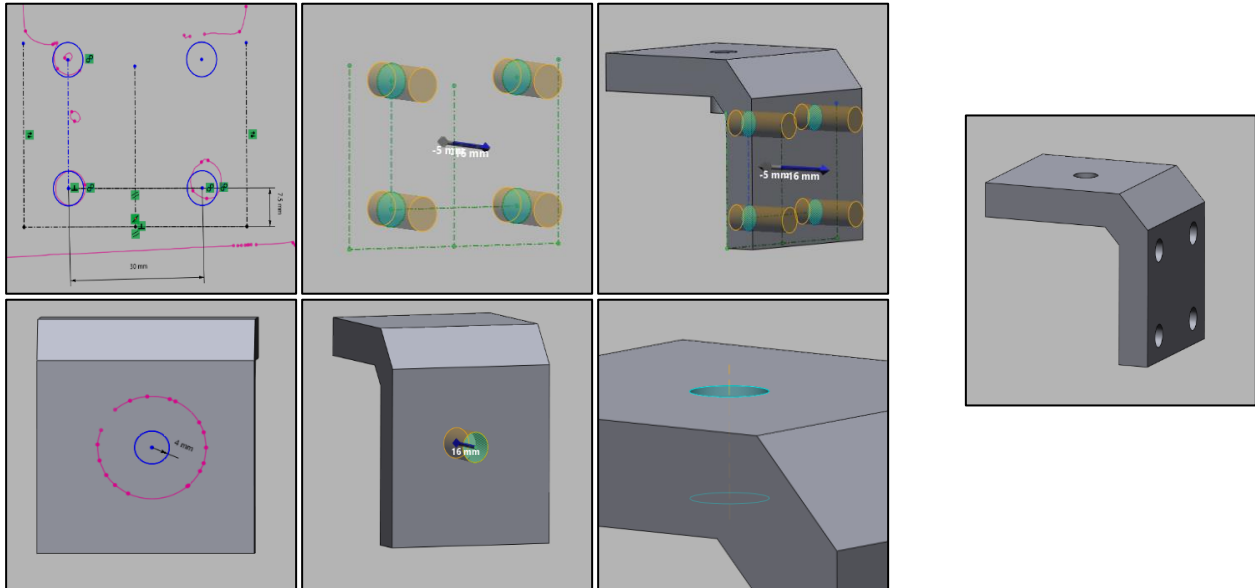
**Figure 47** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

Nos dirigimos a la parte superior donde se encuentra el soporte de el pin de posicionamiento, hacemos un plano de referencia para obtener el perímetro de la pieza, diseñamos y hacemos una extrusión de solido de 46.5 mm y observamos el resultado en la figura 48.



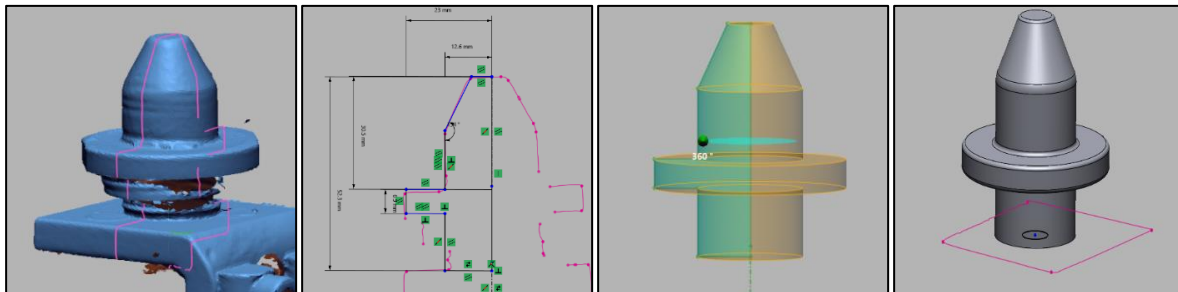
**Figure 48** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

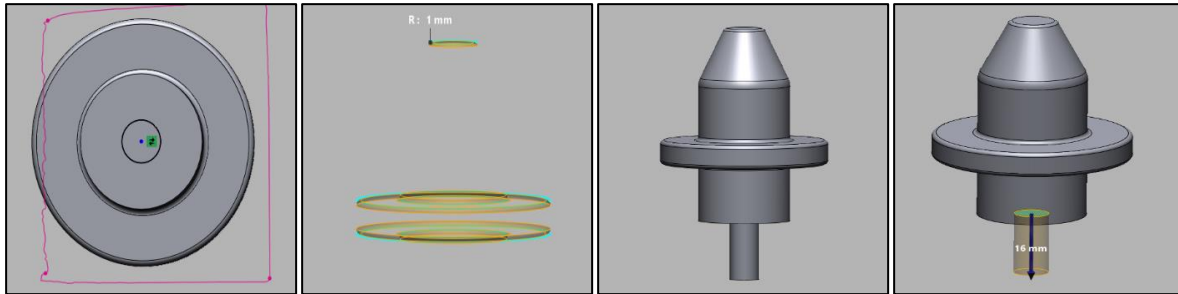
Posteriormente generamos los orificios del soporte donde irán los tornillos y el pin, se crean 4 círculos con diámetro de 7mm para hacer el corte y finalmente en la parte superior se crea un círculo con diámetro de 8mm, el resultado lo vemos en la figura 49.



**Figure 49** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

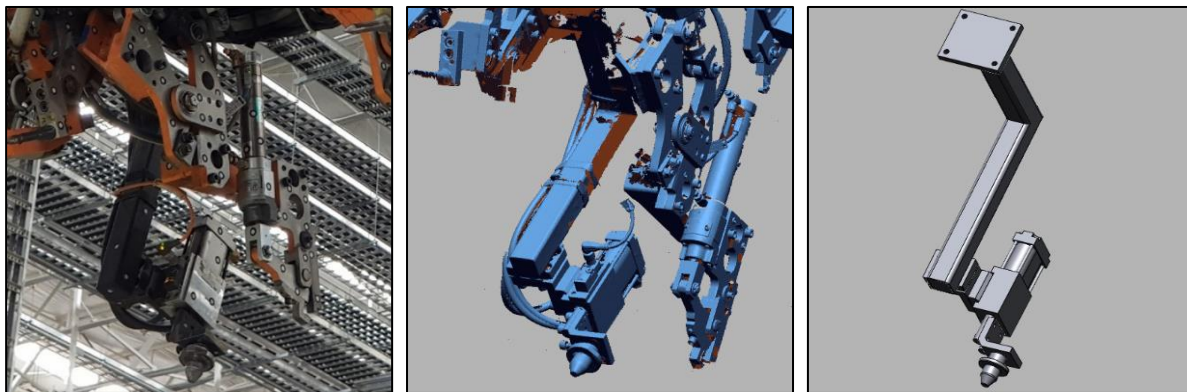
Finalmente, para terminar todos los componentes del elemento 3, diseñaremos el pin de posición, generamos un plano de referencia para obtener las líneas y al ser una pieza circular solo nos enfocaremos en un lado, colocamos una línea justo en la mitad y procedemos a diseñar, una vez finalizado usamos la función Revolve (Revolución) con un ángulo de 360°C, posteriormente hacemos una característica redonde (Fillet) en todo el componente de 1 mm, todo lo anterior descrito se puede observar en la figura 50.





**Figure 50** Diseño de una pieza del elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

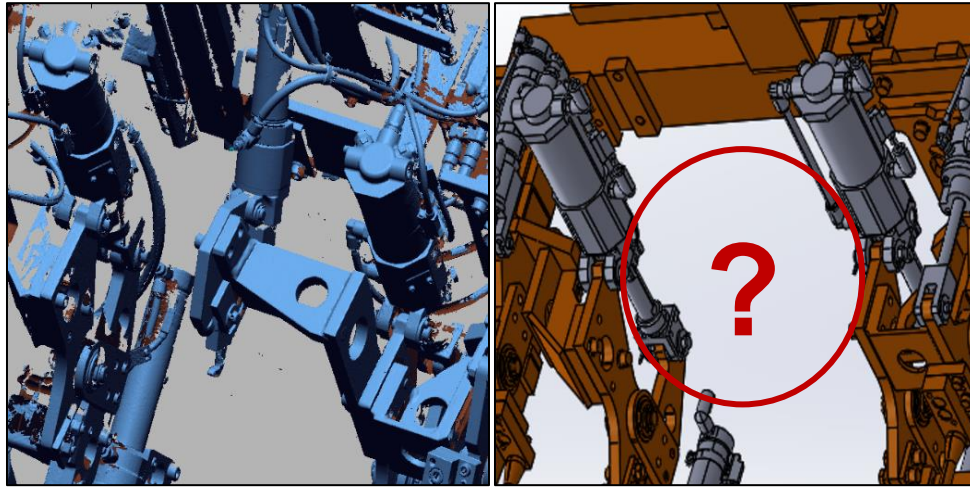
Con este procedimiento finalizamos nuestro tercer componente del dispositivo R202 y podemos ver el resultado en la figura 51.



**Figure 51** Pieza física, malla poligonal y modelo. Fuente: Desarrollo propio

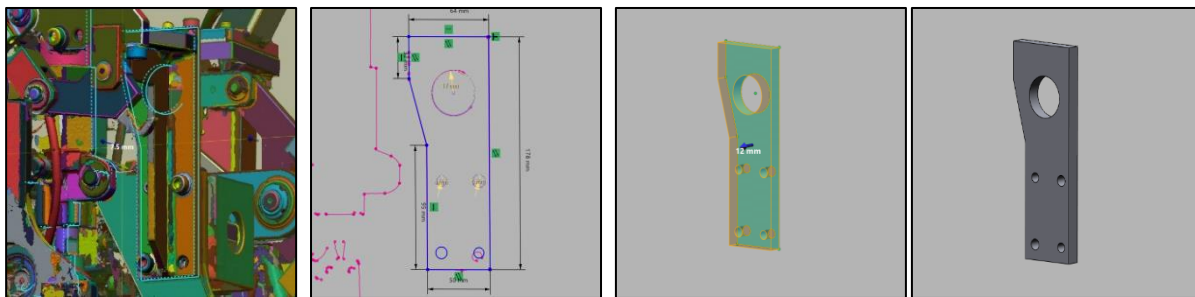
### 3.4.3 Dispositivo R202 Elemento 5

Finalizaremos con el elemento número 5 que se encuentra localizado en la parte central del dispositivo R202 como se observa en la figura 52.



**Figure 52** Malla poligonal y Modelo CAD del dispositivo. Fuente: Desarrollo propio

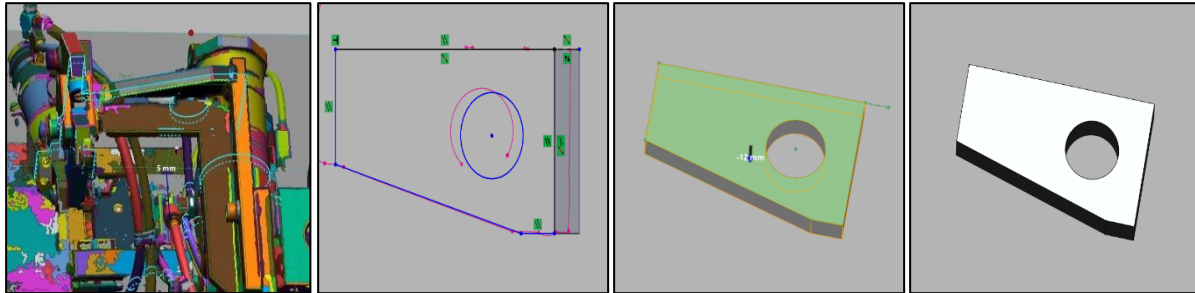
Para este elemento empezaremos desde la parte inferior con la siguiente pieza mostrada en la figura 53, generamos un plano de referencia para la extracción de la geometría, aquí movemos el plano hasta observar las circunferencias y poderlas diseñar, para que en un paso quede y así evitarnos el generar un corte de las circunferencias, una vez finalizado el rediseño con sus respectivos círculos con diámetros de 17, 5 y 4 mm respectivamente se hace una extrusión de 12 mm para tener la primera pieza finalizada.



**Figure 53** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

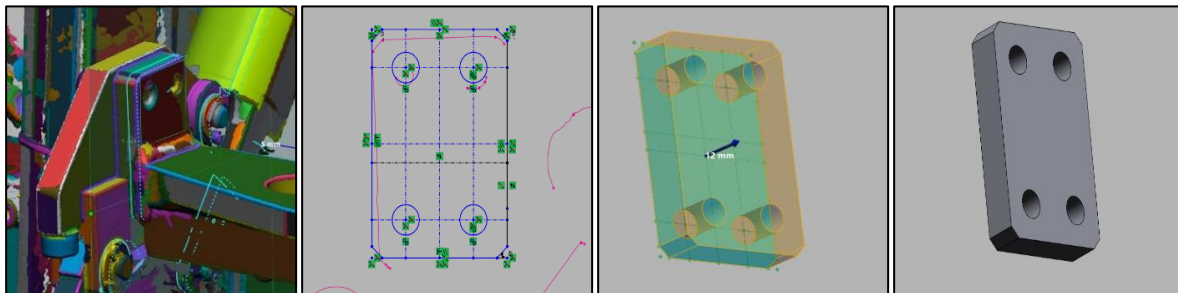
Continuamos con la parte colindante superior, con el mismo procedimiento que la pieza anterior, hacemos la creación de plano de referencia, diseño de la pieza y extrusión

para la obtención del sólido con un grosor de 12 mm, el resultado lo podemos observar en la figura 54.



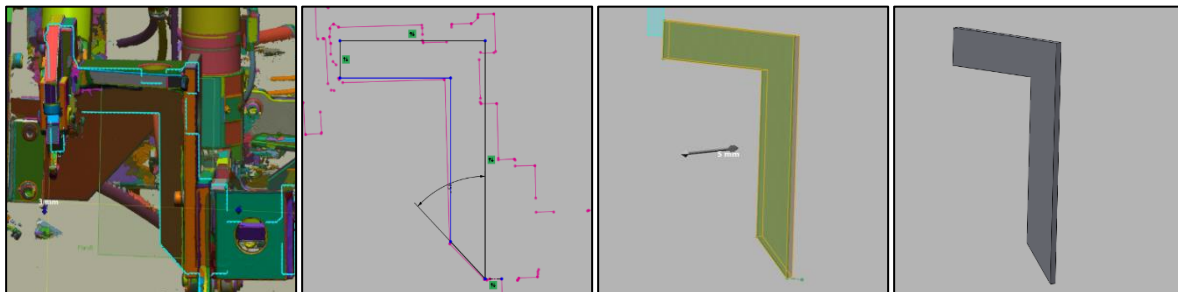
**Figure 54** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

Así sucesivamente continuamos con las partes con el mismo proceso anteriormente descrito para la generación del sólido; plano de referencia, diseño y extrusión de 12 mm para esta pieza obtenida como se ve en la figura 55.



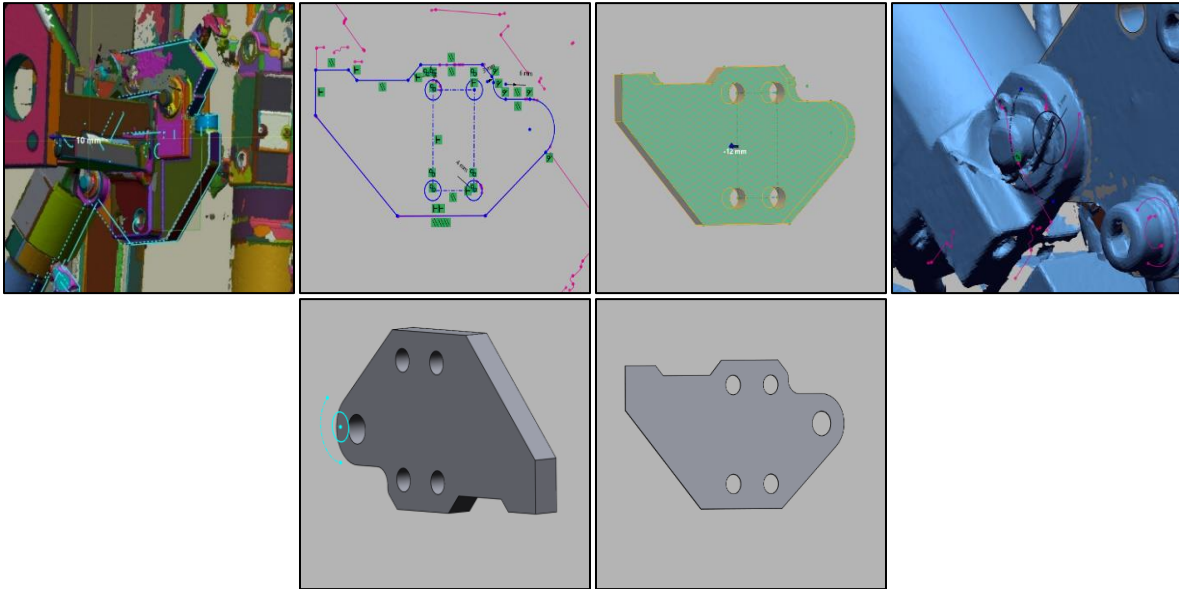
**Figure 55** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

Para esta pieza mostrada en la figura 56 de la misma forma creamos un plano de referencia y la movemos hasta donde tengamos más información de las líneas, haciendo el diseño y una extrusión de 5mm.



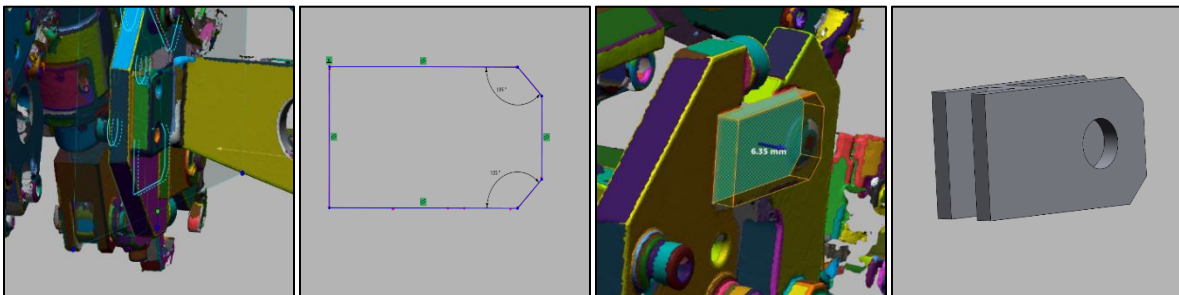
**Figure 56** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

Para esta pieza, se genera un plano de referencia para extraer las líneas de la malla, se obtienen las 4 circunferencias centrales y se hace una extrusión de 12mm, pero si nos fijamos bien la circunferencia del lado izquierdo no se obtuvo en el plano de referencia por lo que posteriormente se tiene que generar desde otra perspectiva para generar el corte y tener la pieza finalizada. El resultado lo observamos en la figura 57.



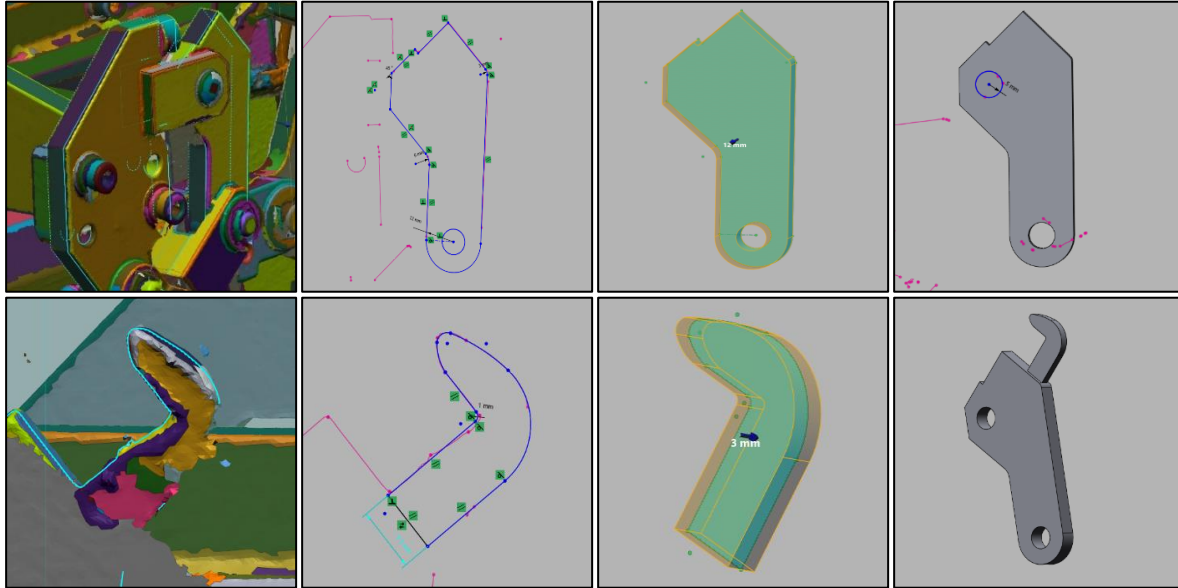
**Figure 57** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

Para el siguiente componente tenemos dos piezas similares, para esta función solo nos enfocaremos en una de las dos piezas, para que posteriormente se genere un plano entre las dos piezas y así con la función Mirror (espejo) generar los dos sólidos, el resultado de este ejercicio lo vemos en la figura 58.



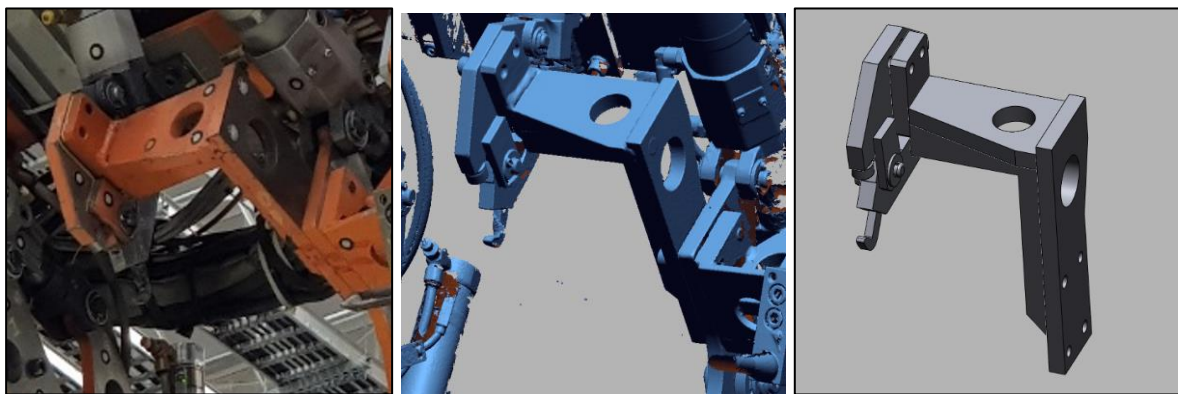
**Figure 58** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

Finalmente, con base a la pieza anterior, procedemos con las ultimas piezas para la finalización de nuestro elemento número 5. El procedimiento es el mismo mencionado anteriormente y el resultado lo podemos observar en la figura 59.



**Figure 59** Diseño de una pieza del elemento 5. Fuente: Desarrollo propio

Con lo anteriormente mencionado, damos por terminado el diseño de nuestro último elemento, mostrándose en la figura 60 el resultado en conjunto de cada una de las piezas ensambladas.



**Figure 60** Pieza física, malla poligonal y modelo. Fuente: Desarrollo propio

### 3.5 Diseño final

Una vez finalizado el proceso de extracción y generación de geometrías de cada uno de los componentes del dispositivo R202, se activan todas las partes diseñadas para observar el producto final. En la figura 61 podemos observar el resultado, como se mencionó anteriormente los componentes 1, 2, 3 y 4 tienen la misma geometría, la diferencia era la longitud de los perfiles tubulares.

La diferencia de las distancias las podemos observar en la figura 61 con ayuda del software extraemos las distancias que quedaron de la siguiente manera; para el componente número uno se obtuvo una longitud de 125 mm contra los 105 mm del componente número 2. En el componente 3 se tuvo una longitud horizontal de 329.7 mm contra 484.3 mm y en la longitud vertical fue de 241.9 por 238.9 mm del componente 4.

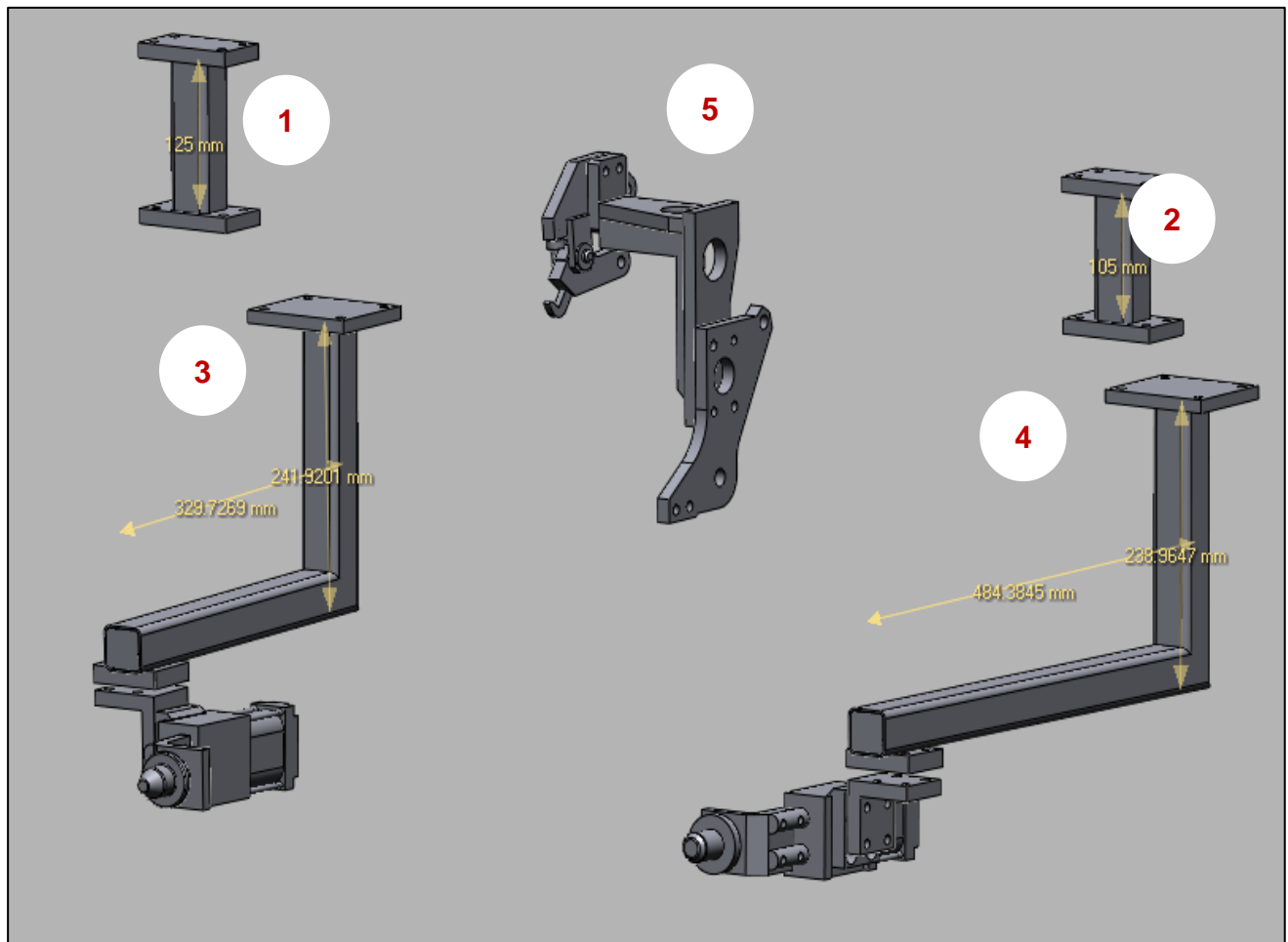
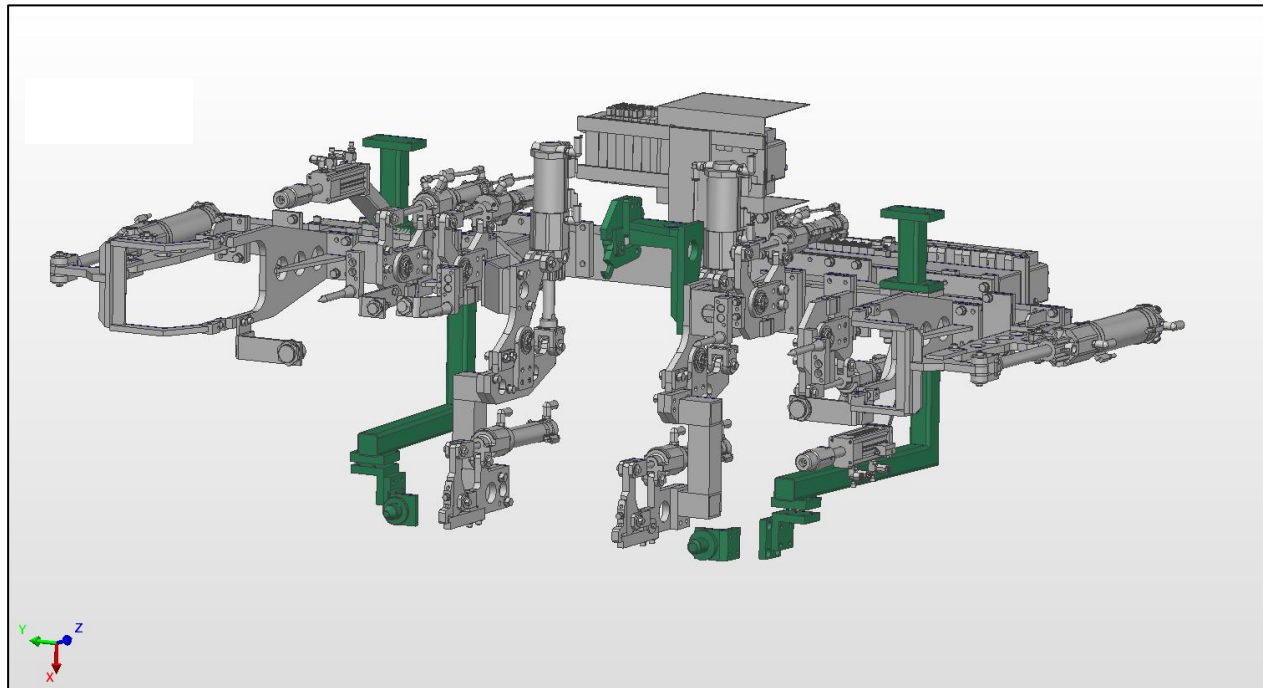


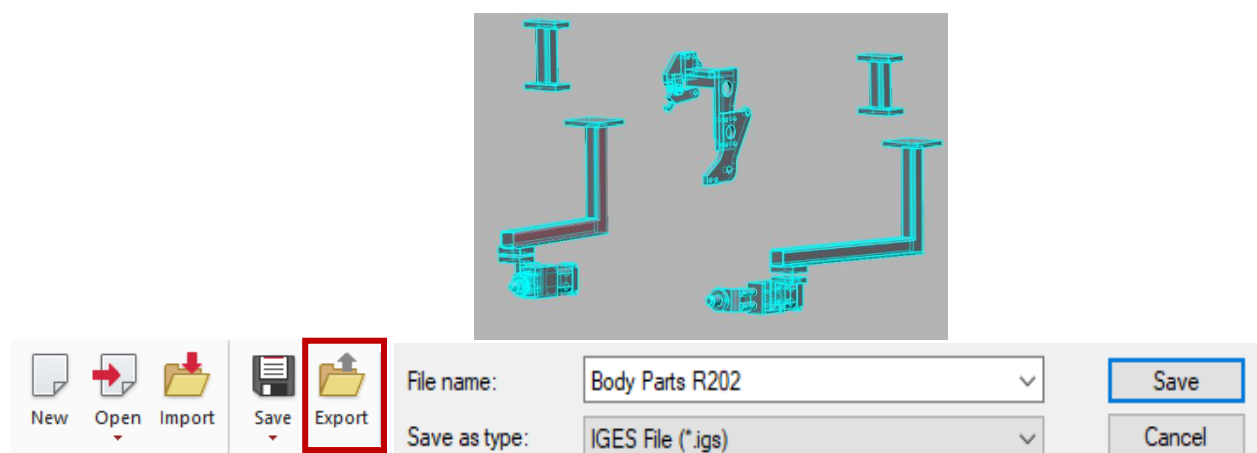
Figure 61 Diseño final R202. Fuente: Desarrollo propio

En la figura 62 se muestra el modelo CAD del dispositivo y se resalta en color verde los componentes generados, los componentes ya se encuentran posicionados respecto al CAD original,



**Figura 62** Diseño final R202. Fuente: Desarrollo propio

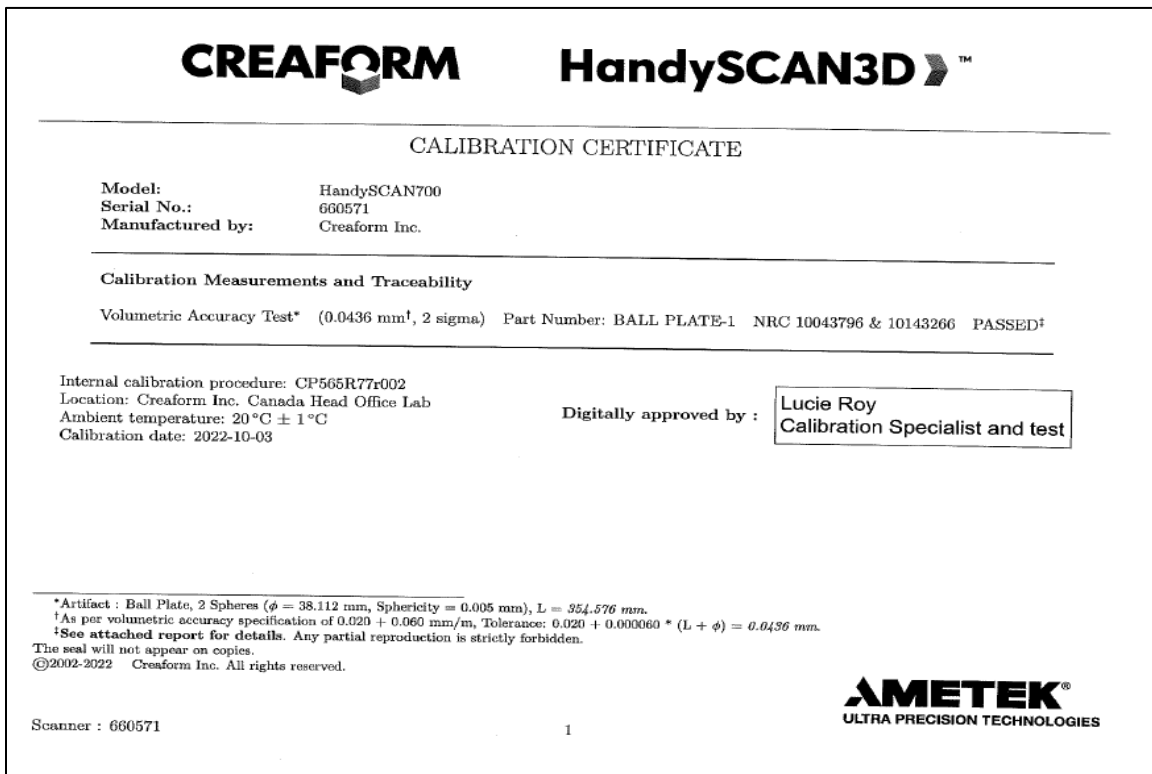
Finalmente seleccionamos todos los componentes y procedemos a exportar en formato IGES para la liberación de nuestro modelo a cliente (figura 63)



**Figura 63** Diseño final R202. Fuente: Desarrollo propio

### 3.6 Validación de resultados

Para la validación de los resultados obtenidos se cuenta con un certificado de calibración del escáner óptico 3D Handy Scan 700. Anualmente el equipo es enviado a las instalaciones de Creaform en Canadá donde se ubica sus instalaciones de fabricación y laboratorios para la revisión y calibración del equipo de medición. Con el certificado de calibración podemos asegurar que nuestro equipo se encuentra dentro de los parámetros especificados y aseguramos la precisión de nuestros resultados como se observa en la figura 64.



The image shows a calibration certificate for a HandySCAN3D scanner. At the top, the Creaform logo and HandySCAN3D logo are displayed. Below them, the title 'CALIBRATION CERTIFICATE' is centered. The certificate lists the following information:

- Model:** HandySCAN700
- Serial No.:** 660571
- Manufactured by:** Creaform Inc.

Under the heading 'Calibration Measurements and Traceability', it states:

Volumetric Accuracy Test\* (0.0436 mm<sup>3</sup>, 2 sigma) Part Number: BALL PLATE-1 NRC 10043796 & 10143266 PASSED<sup>‡</sup>

Internal calibration procedure: CP565R77r002  
Location: Creaform Inc. Canada Head Office Lab  
Ambient temperature: 20 °C ± 1 °C  
Calibration date: 2022-10-03

Digitally approved by: Lucie Roy  
Calibration Specialist and test

Footnotes at the bottom:

- \*Artifact : Ball Plate, 2 Spheres ( $\phi = 38.112$  mm, Sphericity = 0.005 mm), L = 354.576 mm.
- <sup>†</sup>As per volumetric accuracy specification of 0.020 + 0.060 mm/m, Tolerance: 0.020 + 0.000060 \* (L +  $\phi$ ) = 0.0436 mm.
- <sup>‡</sup>See attached report for details. Any partial reproduction is strictly forbidden.

The seal will not appear on copies.  
©2002-2022 Creaform Inc. All rights reserved.

Scanner : 660571


1

AMETEK<sup>®</sup>  
ULTRA PRECISION TECHNOLOGIES

**Figure 64** Certificado de calibración Handy Scan 700. Fuente: Desarrollo propio

La precisión volumétrica del equipo es 0.020 mm + 0.060 mm/m y está basada en el tamaño de la pieza a escanear, es decir, se tiene menos precisión en piezas más grandes. Para este equipo se recomienda piezas con una longitud de 0.05 m hasta 4 m. La longitud del dispositivo es de 1556.80 mm, aplicando la formula tenemos como resultado (0.020 + (0.060) (1.5)) 0.11 mm. Por consiguiente, cumplimos con el requerimiento al requerirnos una tolerancia de 1 mm.

Es importante mencionar que el laboratorio de Creaform cuenta con la acreditación ISO/IEC 17025 como laboratorio de calibraciones como se observa en la figura 65. La acreditación garantiza que el laboratorio puede realizar la calibración de estos equipos ópticos.



SCOPE OF ACCREDITATION TO ISO/IEC 17025:2017

CREAFORM INC.  
4700 rue de la Pascaline St.  
Levis, QC, G6W 0L9 CANADA  
Martin Nadeau Phone: 418 833 4446



CALIBRATION

Valid To: June 30, 2023 Certificate Number: 4274.01

Parameter/Equipment	Range	CMC <sup>2</sup> (±)	Comments
Portable 3D Scanner – Probing Size Error	Dia: 38.1 mm	4 µm	ATP927-01 based on VDI/VDE 2634 Part 3 sections 4.1 and 4.2 using ball bar standards with reference spheres
Sphere Spacing Error	Up to 650 mm	12 µm	

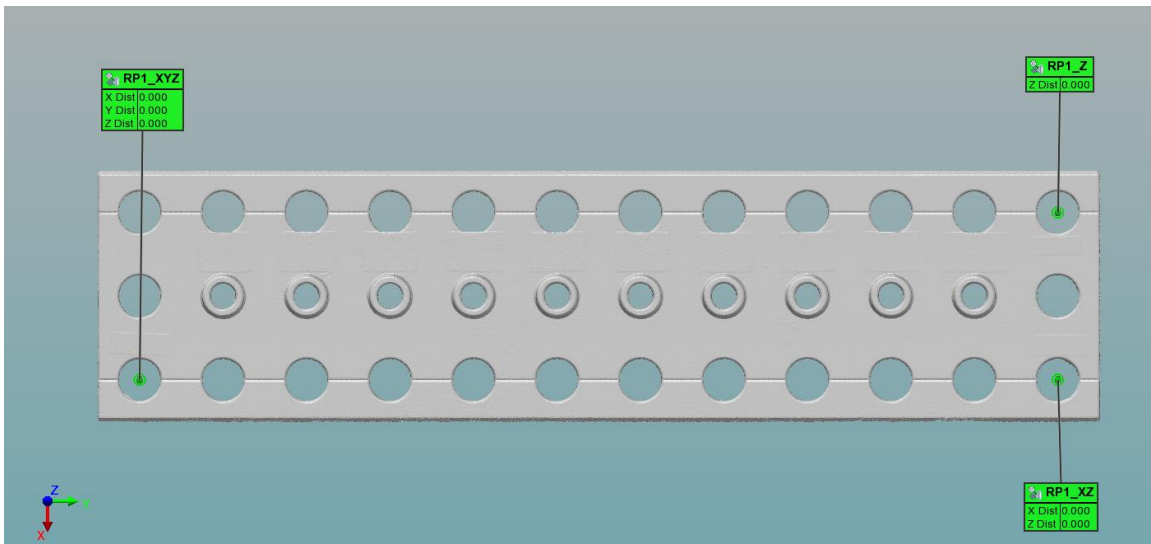
**Figure 65** Acreditación Creaform ISO/IEC 17025

También cuenta con la acreditación de la ISO 9001:2005 con la que demuestra la aplicación de un sistema de gestión de calidad en sus procesos.

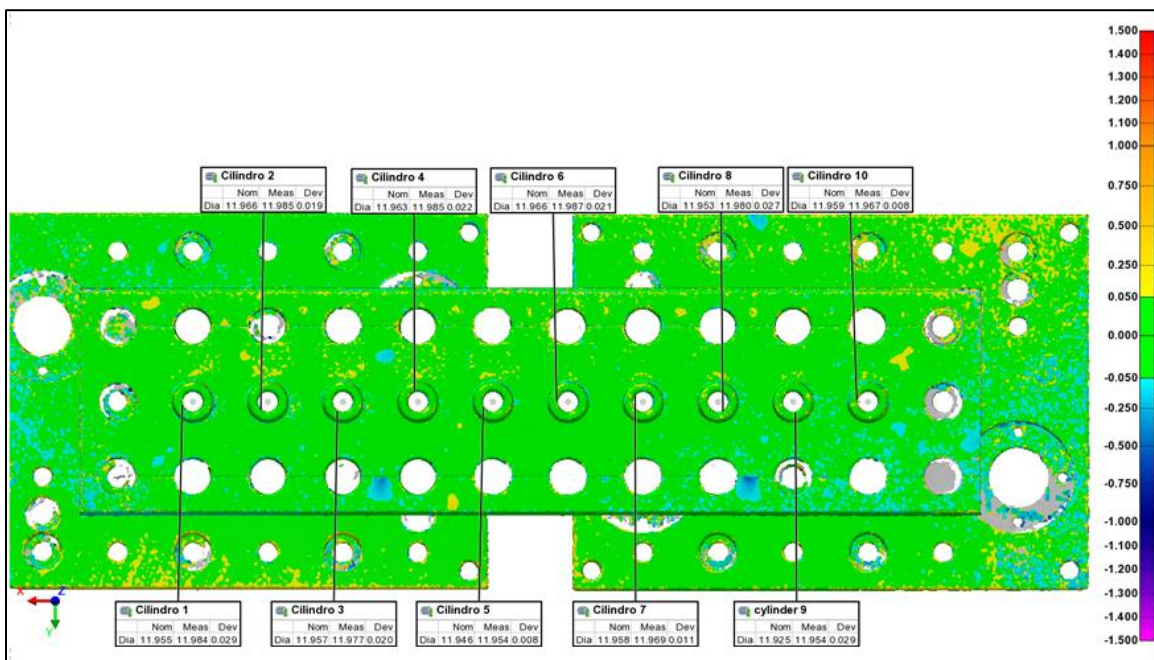
<p>This is to certify that the management system of:</p> <p><b>Creaform Inc.</b></p> <p>Main Site: 4700 de la Pascaline Street, Lévis, Québec, G6W 0L9, Canada See appendix for additional sites and additional site scopes</p> <p>has been registered by Intertek as conforming to the requirements of:</p> <p><b>ISO 9001:2015</b></p> <p>The management system is applicable to:</p> <p>Development, manufacture and sale of optical 3D measurement products and technologies. Customer service related to optical 3D measurement technologies. Engineering consulting services.</p>	<p>Certificate Number: QMS-0906-1</p> <p>Initial Certification Date: 07 December 2011</p> <p>Date of Certification Decision: 29 August 2022</p> <p>Issuing Date: 29 August 2022</p> <p>Valid Until: 26 May 2024</p> <div style="text-align: right;">   </div>
---	--

**Figure 66** Acreditación Creaform ISO 9001

Para complementar esta información se hizo un ejercicio de repetibilidad para observar los resultados de nuestro equipo óptico. Se utilizó un dispositivo que cuenta con 10 cilindros, el proceso consistió en que tres personas escanearán tres veces el dispositivo y comparar los resultados obtenidos de cada una de estas. El material de este dispositivo es de Aluminio 7075 anodizado, este tipo de material es resistente al desgaste y a la corrosión y es utilizado para verificar la repetibilidad de nuestros equipos de medición.



**Figure 67** Dispositivo para comparación de resultados. Fuente: Desarrollo propio



**Figure 68** Dispositivo para comparación de resultados. Fuente: Desarrollo propio

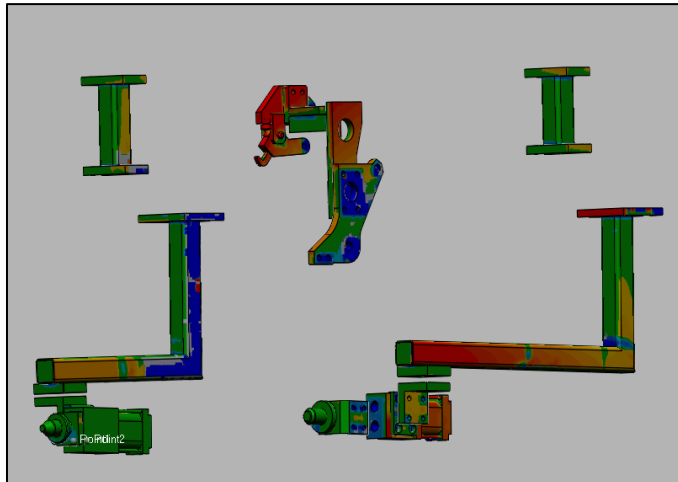
# CAPITULO 4

## ANALISIS DEL MODELO CAD DEL DISPOSITIVO R202

### 4.1 Desviación del modelo en Geomagic Design

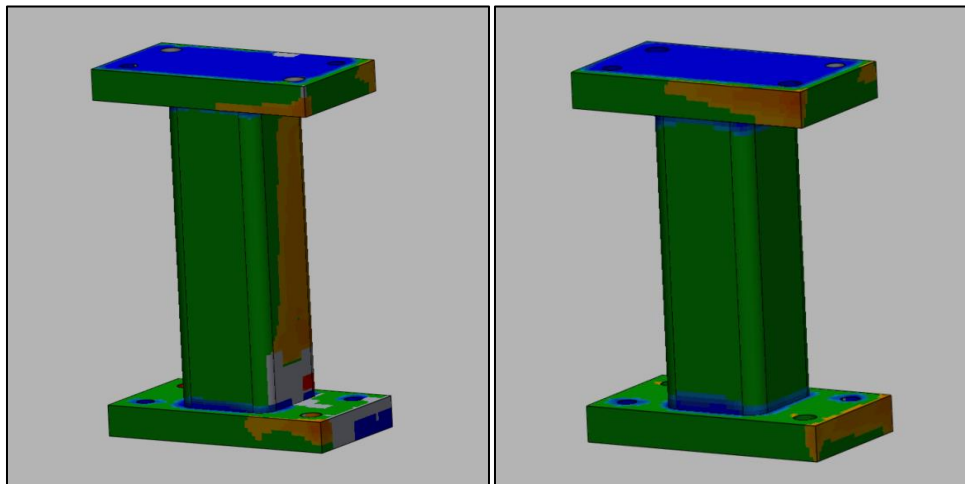
El software Geomagic Design X tiene una herramienta llamada Accuracy analyzer que nos permite ver en tiempo real la cercanía de nuestro diseño con la malla conforme vamos diseñando los elementos, es muy útil ya que nos ahorra tiempo y podemos detectar errores a tiempo, sin embargo es importante mencionar que esta herramienta puede confundirnos un poco, porque no necesariamente al observar la colorimetría significa que este mal diseñado, si no que podemos detectar que la pieza ha sufrido algún deterioro o alguna desviación. En este capítulo se explicará cada uno de los elementos de acuerdo con la colorimetría obtenida y finalmente se extraerán algunos valores de la malla poligonal contra modelo CAD en el mismo.

Para observar bien las desviaciones del diseño el Software Geomagic Design X nos proporciona un mapa de colores, el resultado de nuestro dispositivo R202 lo podemos observar en la figura 69, la superficie con el color verde representa que está dentro de tolerancia, esto es un valor bilateral de  $\pm 1.0$  mm, posteriormente de color naranja con una degradación hacia el color rojo significa tiene una desviación que va en ascenso de 1.01 mm hasta 5 mm, esta desviación será un valor unilateral positivo, en otras palabras se interpreta como un exceso de material, del lado contrario del color azul claro con degradación hacia el color azul fuerte serán valores en descenso desde -1.01 mm hasta - 5 mm, esta desviación será un valor unilateral negativo, que significará una ausencia de material.



**Figura 69** colorimetría Elementos R202. Fuente: Desarrollo propio

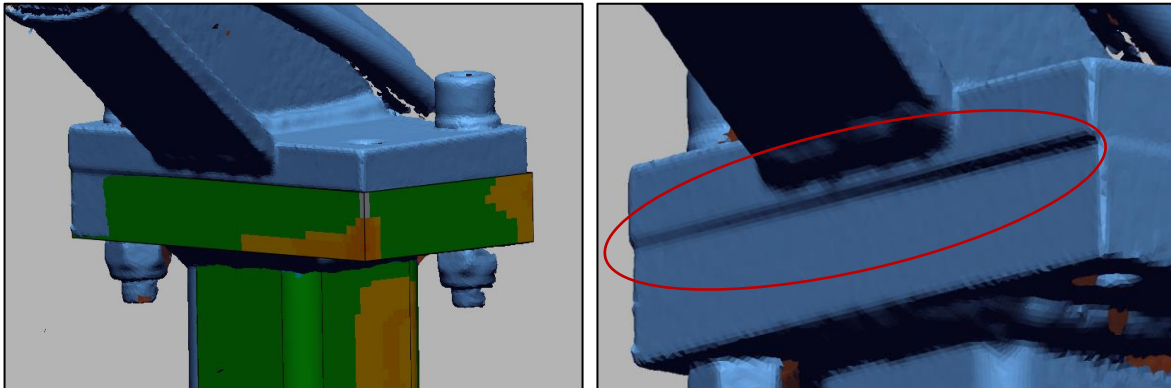
Comenzaremos con los elementos 1 y 3 que son idénticos como observamos en la figura 70, podemos notar que casi en su totalidad todas las superficies están dentro de tolerancia, en la zona azul el software detecta que le hace falta material respecto a nuestra malla poligonal, pero esto no significa que sea así, si no que al detectar más información por arriba del diseño nos da un aviso de que hace falta más grosor.



**Figura 70** Análisis Elemento 1 y 2. Fuente: Desarrollo propio

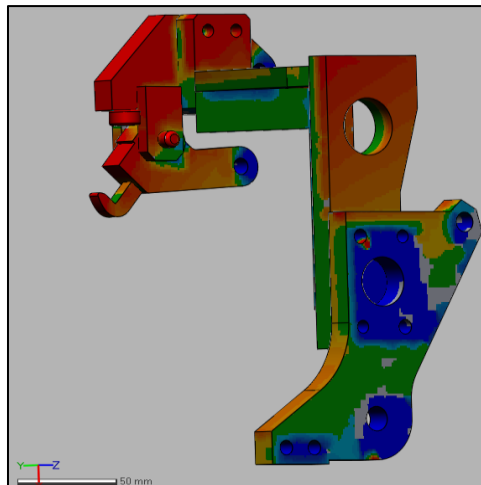
En la figura 71 nos percatamos que tenemos otro elemento arriba, para las zonas naranjas nos dice que tenemos un exceso de material de unos 2 mm aproximadamente, esto es debido a la existencia de una ligera inclinación, por lo que pudo ser causado por algún golpe o una mala posición, comúnmente ese tipo de ensamblajes tienen laines que

es un material que permite darle un ajuste a esa zona, ya sea en los tres ejes (x, y, z) o uno en específico, para este caso se utiliza para darles altura por lo que pudieran existir diferentes escenarios, como que el personal operativo hizo un mal uso y no lo posiciono en su estado original, la existencia de un ligero golpe o incluso el deterioro del dispositivo.



**Figura 71** Análisis Elemento 1 y 2. Fuente: Desarrollo propio

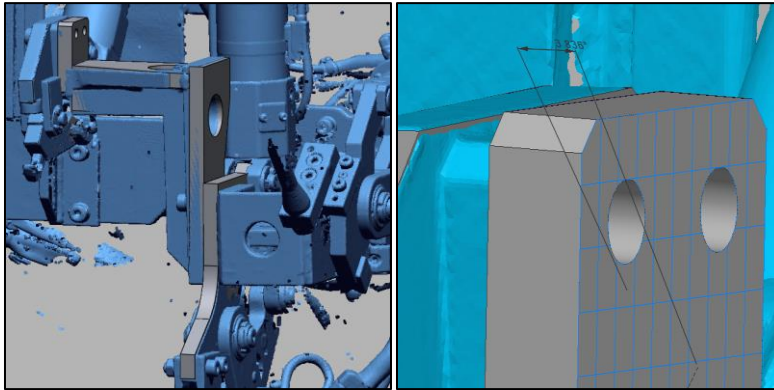
El resultado del componente 3 lo observamos en la figura 71, acorde a la colorimetría se nota una desviación en el eje Y por encima de los 3 milímetros, notamos que en la parte inferior tenemos una tendencia en verde, pero conforme llegamos a la parte superior se va degradando hacia rojo.



**Figura 72** Análisis Elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

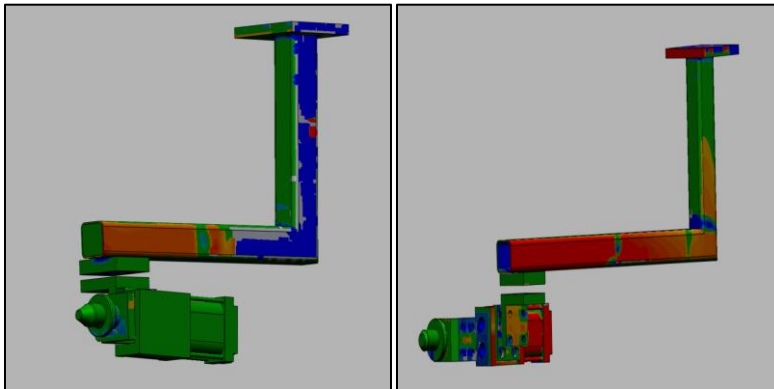
Esto es debido de que al momento de diseñar dicho componente se detectó que tenía un ángulo de inclinación de 3.83 grados, si miramos la figura 72 podemos ver esta. En el proceso de diseño al momento de darle una extrusión a la pieza se genera de

manera vertical a  $90^\circ$  por lo que fue de esa forma que nos percatamos que existía una anomalía. La consecuencia de esta desviación pueden ser diversos factores desde un golpe o un mal ensamble. Por eso es importante hacer mediciones a los dispositivos para ver la condición actual, pero para este caso al no tener el modelo 3D no se podía evaluar dicho comportamiento.



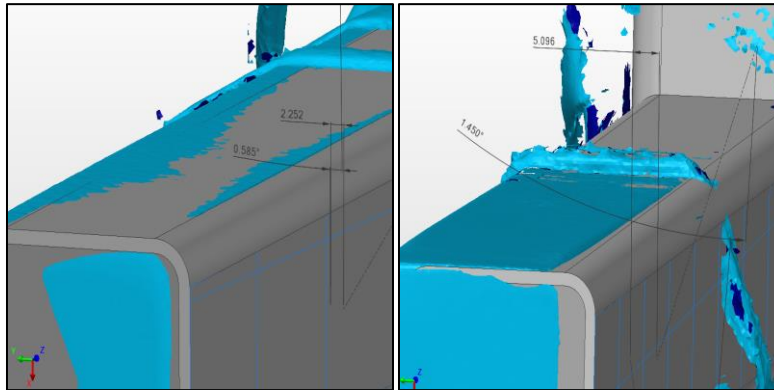
**Figura 73** Análisis Elemento 3. Fuente: Desarrollo propio

Para los componentes 4 y 5 del dispositivo R202 que se muestra en la figura 74, observamos una ligera inclinación en ambos lados, la colorimetría tiene la misma tendencia, para conocer el valor de la inclinación, se generaron dos planos, uno en la malla poligonal y otro en la superficie CAD para conocer el ángulo de inclinación y la distancia que los separa.



**Figura 74** Análisis Elemento 4 y 5. Fuente: Desarrollo propio

Estos valores son mostrados en la figura 75 y como resultado del análisis obtuvimos del elemento izquierdo  $0.585^\circ$  con una separación de 2.252 mm y para el elemento derecho se obtuvo  $1.45^\circ$  con una separación de 5.096 mm.



**Figura 75** Análisis Elemento 4 y 5. Fuente: Desarrollo propio

Con esto finalizamos el análisis de nuestro dispositivo haciendo uso de herramientas que nos permitieron extraer valores para conocer las diferencias entre la pieza original y el modelo obtenido. Es importante mencionar que para la ingeniería inversa estos datos nos ayudan a conocer el estado en el que se encuentra el dispositivo y poder generar una base de datos para monitorear las desviaciones existentes, a su vez esto nos permitiría tomar la decisión de cada cuanto tiempo será necesario hacer una inspección dimensional a nuestro dispositivo, así como el ajuste para tener nuestros dispositivos en óptimas condiciones y que no afecte el proceso de ensamble en la línea de producción.

# CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente proyecto fue enfatizar la importancia y de cómo implementar el uso de un escáner 3D en la industria automotriz para la aplicación de la ingeniería inversa. Este ejemplo expuesto anteriormente es una constante en la mayoría de las empresas y se ha ofrecido como una solución. En mi experiencia laboral en el área de medición con equipos dimensionales 3D, he visto bastantes requerimientos, que tienen un problema en común que es la falta de información 3D de piezas, herramientas, dispositivos, entre otros.

La ausencia de esta información tiene como consecuencia que los procesos no puedan ser controlados por los departamentos de diseño y/o calidad, en algunos casos podemos tener piezas mal ensambladas con una desviación alta, que ocasionan retrabajos y no cumpliendo la validación de sus procesos que se ven reflejados en una pérdida económica.

Es importante mencionar lo expuesto en el Capítulo 4, el cual consistió en el análisis del dispositivo y se mostró como el dispositivo se encontraba en malas condiciones desde un inicio y esto es debido a que en las líneas de montaje o producción existe un alto riesgo de colisión entre máquinas, algunas causas son por una mala programación por parte del personal de automatización o por un descuido en el momento de darle su mantenimiento a la maquinaria, como consecuencia el personal encargado no regresaba a su posición origen. También no se deja de lado la parte humana donde el personal operativo empieza a modificar algunas zonas manualmente debido a que empiezan a notar desajustes en algunos puntos de contacto del dispositivo con la pieza, añadiendo calzas o cambiando tornillería como una solución instantánea a su proceso, estos ejemplos mencionados anteriormente pude observarlos en sitio por lo que no se está haciendo uso de la especulación.

Por eso la importancia de tener siempre el modelo CAD actualizado junto con los dibujos técnicos que avalan la versión más reciente y el estado de generación actual, para que con esa información y con el uso de un equipo dimensional 3D se pueda escanear la superficie y verificar el estado actual de las piezas, dispositivos, etc.

Por lo tanto, es importante hacer evaluaciones periódicamente a los dispositivos mediante un equipo de medición, puede ser un escáner 3D óptico, una máquina de coordenadas, un brazo articulado, entre otras tecnologías para validar piezas, dispositivos o componentes automotrices. Desafortunadamente al no contar con modelos CAD las empresas se han encontrado con esta problemática que afecta sus procesos, por eso la importancia de emplear la técnica de ingeniería inversa de la mano con la tecnología 3D ya que es rápido, ergonómico y de uso amigable con el usuario, todo esto se ve reflejado en las mejoras de los procesos.

También sustituye a los equipos de medición convencionales como lo son el flexómetro y el vernier que son de gran utilidad para superficies con geometría compleja que, para la industria automotriz al tener componentes como un: toldo, tablero, parabrisas o la superficie de toda la carrocería, no podríamos hacerlo más que con un equipo óptico 3D para la generación de geometrías.

Hablando un poco de mi interés personal del porque elegí este tema, fue debido a que desde mis inicios en el ámbito laboral con los escáneres 3D empecé a escuchar que se podía aplicar ingeniería inversa mediante un escáner y de ahí surgió el interés en poder desarrollar la ingeniería inversa, conocer los alcances y límites que tiene esta aplicación y para poder entenderlo mejor, se hicieron algunos ejercicios y se buscaron manuales del software que se encontraban en la red, se consultaron videos que explicaban algunas funciones de este y se practicó con diferentes tipos de piezas, hasta que finalmente se ofreció como un servicio adicional. Por eso mediante este proyecto se invita al lector que tenga el interés de conocer el proceso de ingeniería inversa y pueda identificar en donde se puede aplicar. En mi caso no se contó con ningún curso ni capacitación en el software, por tal motivo no existen impedimentos al desconocer un tema en específico, al principio uno no encontrara las respuestas inmediatamente y esto ocasionara desesperación y falta de motivación, pero con la constancia y perseverancia se pueden lograr los objetivos.

## Referencias

- AdobeCreativeCloud. (s.f). *Información sobre archivos STL*. (Adobe Creative Cloud)  
Obtenido de adobe.com.mx: <https://www.adobe.com/mx/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html>
- Borja, V. (27-29 de Octubre de 2010). La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología. *Simposio de Metrología*. Cd. Obregon, Sonora, México.
- Company, Ford Motor. (2010). *Análisis de Sistemas de Medición* (Cuarta ed.).
- Duggal, V. (200). *A General Guide to Computer Aided Design and Drafting CAD*.
- Ebrahim, D. M.-B. (2011). 3D Laser Scanners: History, Applications and Future. *Assiut University*.
- Edl, M., Mizerák, M., & Trojan, J. (2018). 3D Laser Scanners: History and applications. *International Scientific Journal about Simulation*, 1-5.
- EMA. (2018). *Entidad Mexicana de Acreditación*. Obtenido de Entidad Mexicana de Acreditación: [http://consultaema.mx:75/consultas/Evaluadores/MP-FE005\(Criteriosdeaplicaci%C3%B3nISO-IEC17025\).pdf](http://consultaema.mx:75/consultas/Evaluadores/MP-FE005(Criteriosdeaplicaci%C3%B3nISO-IEC17025).pdf)
- Fisher, A. (2023). *Descubren un túnel secreto por debajo de la Gran Pirámide de Giza, construido hace 3 800 años*.
- Fu, P. (2008). Reverse Engineering in the Automotive Industry. En V. Raja, *Reverse Engineering: An Industrial Perspective* (págs. 146-149). Springer.
- García, A., Jiménez, E., & Ontiveros, S. (27-29 de Octubre de 2010). La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología. *Simposio de Metrología*. Cd. Obregon, Sonora, México.

Geuzaine, C., & Francois, R. J. (2008). *An Introduction to Geometrical Modelling and Mesh Generation*.

Gordon, R., & Cameron, M. (27-29 de Octubre de 2010). La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología. *Simposio de Metrología*. Cd. Obregon, Sonora, México: CENAM.

Jiménez, E., Reyes, L., & García, I. (27-29 de Octubre de 2010). La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología. *Simposio de Metrología*. Cd. Obregon, Sonora, México.

Normalización, O. I. (2015). *ISO 9001:2015*. Obtenido de [www.iso.org](http://www.iso.org)

Ping, F. (2008). Reverse Engineering in the Automotive Industry. En V. Raja, *Reverse Engineering: An Industrial Perspective* (págs. 143-146). Springer.

Ping, F. (2008). Reverse Engineering in the Automotive Industry. En R. Vinesh, *Reverse Engineering: An Industrial Perspective* (pág. 141). Springer.

Sherman, A., & Craig, B. (2018). *Understanding Virtual Reality*.

Volkswagen. (1996). VW010 55. *Reference Point System*.

Wang, W. (2011). *Reverse Engineering: Technology of Reinvention*.