



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DIGITALIZACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS 3D  
GENERADA POR EL SCANNER PICZA LPX-60 PARA EL  
MODELAMIENTO Y MANUFACTURA DE PRODUCTOS  
INDUSTRIALES MEDIANTE ALGORITMO BÁSICO DE  
MATLAB Y SOFTWARE LIBRE MESHLAB”**

**AUTOR: CAJAS NARANJO HUGO GERMAN**

**DIRECTOR: ING. OLMEDO FERNANDO**

**SANGOLQUÍ-ECUADOR**

**2016**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA**

**CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto "DIGITALIZACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS 3D GENERADA POR EL SCANNER PICZA LPX-60 PARA EL MODELAMIENTO Y MANUFACTURA DE PRODUCTOS INDUSTRIALES MEDIANTE ALGORITMO BÁSICO DE MATLAB Y SOFTWARE LIBRE MESH LAB" fue realizado en su totalidad por el Señor Hugo German Cajas Naranjo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Sangolquí, 12 de Julio del 2016



Ing. Fernando Olmedo.  
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **HUGO GERMAN CAJAS NARANJO** con cedula de identidad N. 171898527-6 declaro que este trabajo de titulación **“DIGITALIZACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS 3D GENERADA POR EL SCANNER PICZA LPX-60 PARA EL MODELAMIENTO Y MANUFACTURA DE PRODUCTOS INDUSTRIALES MEDIANTE ALGORITMO BÁSICO DE MATLAB Y SOFTWARE LIBRE MESHLAB”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 12 de Julio del 2016



Hugo German Cajas Naranjo  
CI: 1718985276



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

**YO, HUGO GERMAN CAJAS NARANJO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“DIGITALIZACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS 3D GENERADA POR EL SCANNER PICZA LPX-60 PARA EL MODELAMIENTO Y MANUFACTURA DE PRODUCTOS INDUSTRIALES MEDIANTE ALGORITMO BÁSICO DE MATLAB Y SOFTWARE LIBRE MESHLAB”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 2016 Julio



Hugo German Cajas Naranjo  
Ci: 1718985276



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios infinitamente por darme la oportunidad de disfrutar y compartir este logro después de bajos personales durante mi trayecto universitario. A mi Director de tesis por guiarme con sus conocimientos y experiencias para la realización del presente proyecto, infinitamente a todos mis maestros por impartir sus conocimientos y servirme de estos para mi formación personal y profesional.

A todos ellos gracias.

*Hugo German*

## **DEDICATORIA**

A las personas que en los momentos difíciles de una u otra manera se mantuvieron junto a mí ya que con su apoyo fue posible cumplir mis aspiraciones profesionales, a mi familia quien con su ejemplo me dio lo que soy como persona, mis valores, mi principios, mi carácter, mi empeño, y coraje para conseguir mis objetivos, de manera especial a mi madre que fue mi pilar, apoyo fundamental mi refugio y motivo imperecedero de este logro, a la persona con quien decidí compartir mi vida por el impulso que necesitaba para la culminar esta etapa de mi vida.

*Hugo German*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARATULA</b>	
<b>CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>xv</b>
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPITULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	3
1.4 JUTIFICACIÓN.....	3
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO .....	4
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 ESCANER 3D.....	5
2.1.1 FUNCIÓN.....	5
2.1.2 ESCANEADO LASER ESTÁTICO Y DINÁMICO.....	6
2.1.3 APLICACIONES .....	7
2.1.4 PRINCIPIO .....	8
2.1.5 LÁSER .....	9

2.1.6	SEGURIDAD.....	9
2.2	MEDICIONES .....	10
2.2.1	CONTACTO .....	11
2.2.2	SIN CONTACTO .....	12
2.2.2.1	Medición Basada En Triangulación.....	12
2.2.2.2	Escáneres Laser De Mano.....	14
2.3	RECONSTRUCCIÓN DE SUPERFICIES.....	15
2.3.1	A PARTIR DE NUBE DE PUNTOS.....	15
2.3.1.1	Normales.....	16
2.3.1.2	Triangulación .....	17
2.3.1.3	Relación De Vértices De Un Triangulo .....	17
2.3.1.4	Malla.....	17
2.3.1.5	Resolución De Malla .....	18
2.3.1.6	Región.....	18
2.3.2	A PARTIR DE MODELOS .....	18
2.3.2.1	Malla Poligonal .....	18
2.3.2.2	Modelo De Superficie Nurbs .....	19
2.3.2.3	Modelos CAD .....	19
2.4	UNIDADES .....	20
2.5	ANALISIS ERROR .....	20
2.5.1	ERRORES INSTRUMENTALES .....	21
2.5.2	ERRORES RELACIONADOS CON EL OBJETO .....	21
2.5.3	ERRORES POR EL ENTORNO .....	23
2.5.4	ERRORES METODOLOGICOS.....	23
2.6	SISTEMAS CAD/CAM.....	24
2.6.1	CAD (DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR).....	25
2.6.2	CAM (FABRICACION ASISTIDA POR COMPUTADOR).....	25
2.6.3	CAD/CAM EN EL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN.....	25
2.6.4	COMPONENTES DEL CAD/CAM .....	27
2.6.4.1	Modelado Geométrico .....	27
2.6.4.2	Técnicas De Visualización.....	28
2.6.4.3	Interacción Grafica .....	28

2.6.4.4	Interfaz De Usuario .....	28
2.6.4.5	Base De Datos.....	28
2.6.4.6	Métodos Numéricos.....	29
2.6.4.7	Conceptos De Comunicación.....	29
2.6.5	CAD/CAM DESDE EL PUNTO DE VISTA INDUSTRIAL .....	30
2.6.6	SITUACION ACTUAL .....	31
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>32</b>
<b>DESARROLLO DE UN ALGORITMO BÁSICO PARA DIGITALIZAR NUBE DE PUNTOS USANDO MATLAB .....</b>		<b>32</b>
3.1	INTRODUCCIÓN .....	32
3.2	ADQUISICIÓN DE DATOS .....	32
3.2.1	SCANNER PICZA LPX-60.....	33
3.2.2	ESPECIFICACIONES.....	34
3.2.3	SOFTWARE INCLUIDO.....	35
3.2.4	SISTEMA DE EXPLORACIÓN .....	36
3.3	PROGRAMACION BÁSICA EN MATLAB.....	37
3.3.1	ENTORNO Y USO DE MATLAB.....	37
3.3.2	ETAPAS PARA LA SOLUCION DEL ALGORITMO .....	38
3.3.3	DESCRIPCION LINEA A LINEA DEL CODIGO EN MATLAB .....	39
3.3.4	EJECUCION DE LA PROGRAMACIÓN .....	40
3.3.4.1	Transponer Matrices.....	40
3.3.4.2	Triangular Datos.....	40
3.3.4.3	Grafica De Datos .....	44
3.3.4.4	Grafica De Puntos .....	45
3.3.4.5	Salida Del Comando “Delaunay” .....	46
3.4	RESULTADOS.....	48
3.5	ANALISIS .....	49
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>50</b>
<b>POST-PROCESADO DE LA NUBE DE PUNTOS GENERADA POR EL ESCANEER ...</b>		<b>50</b>
4.1	INTRODUCCIÓN .....	50
4.2	NUBE DE PUNTOS.....	50
4.3	SOFTWARE PARA EL TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS (MESHLAB) .....	50
4.3.1	IMPORTACION DE DATOS .....	52

4.3.2	LIMPIEZA DE DATOS .....	53
4.3.3	CALCULO DE NORMALES (COMPUTE NORMALS FOR POINT SETS).....	53
4.3.4	UNIÓN DE NUBES DE PUNTOS (ALIGN).....	54
4.3.5	RECONSTRUCCION DE SUPERFICIES MEDIANTE POISSON .....	54
4.3.6	OPTIMIZACION DEL PROCESO .....	57
4.3.7	REDUCCION DEL RUIDO (TAUBIN SMOOTH).....	58
4.3.8	EXPORTACIÓN DE DATOS.....	58
4.3.9	DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS PROCESADOS EN MESHLAB .....	59
4.3.10	VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROGRAMA MESHLAB .....	60
4.3.11	PERMISOS DEL USO DEL SOFTWARE CAD.....	60
4.4	SOFTWARE CAD PARA EL TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS.....	61
4.4.1	SCAN TO 3D.....	61
4.4.2	DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS PROCESADOS EN SOFTWARE CAD ...	64
4.5	APLICACIONES.....	65
4.5.1	UTILIDADES ADICIONALES .....	66
4.5.1.1	Obtención De La Forma De Los Ductos.....	66
4.5.1.2	Pos procesado De Los Ductos.....	67
4.5.1.3	Análisis De Fluidos .....	67
<b>CAPITULO 5.....</b>		<b>70</b>
<b>DESARROLLO DE MANUAL DE PROCEDIMIENTOS O TUTORIALES .....</b>		<b>70</b>
5.1	MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA DIGITALIZAR UNA NUBE DE PUNTOS CON MATLAB .....	70
5.2	MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA DIGITALIZAR Y RECONSTRUIR LA NUBE DE PUNTOS GENERADA POR EL ESCANER PICZA LPX-60.....	85
5.2.1	TUTORIAL RECONSTRUCCION Y TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS POLEA DEL ALTERNADOR DE UN MERCEDEZ MODELO 1620 .....	85
5.2.1.1	Proceso En Meshlab .....	85
5.2.1.2	Proceso En Solidworks .....	94
5.2.1.3	Resultado .....	111
5.2.2	TUTORIAL RECONSTRUCCION Y TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS MANGO DE ARMA DE FUEGO PROPORCIONADO POR LA FABRICA DE MUNICIONES “SANTA BARBARA” .....	112
5.2.2.1	Proceso En Meshlab .....	112



5.2.2.2	Proceso En Solidworks .....	123
5.2.2.3	Resultado .....	141
5.2.3	TUTORIAL RECONSTRUCCION Y TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS FORMA INTERNA DE LA TAPA DEL TERMOSTADO DEL MERCEDES BENZ MODELO 352.....	142
5.2.3.1	Proceso En Meshlab .....	142
5.2.3.2	Proceso En Solidworks .....	146
5.2.3.3	Resultado .....	163
<b>CAPITULO 6.....</b>		<b>164</b>
<b>PRUEBAS DEL PROCESO POR MEDIO DE MANUFACTURA ADITIVA.....</b>		<b>164</b>
6.1	INTRODUCCIÓN .....	164
6.2	MANUFACTURA ADITIVA .....	164
6.2.1	CARACTERÍSTICAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA. ....	165
6.2.2	VENTAJAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA.....	166
6.2.3	DESVENTAJAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA .....	169
6.2.4	TECNOLOGÍAS CONFORMATIVAS Y SUSTRACTIVAS PARA FABRICAR GEOMETRÍAS COMPLEJAS.....	171
6.2.5	MODELADO POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICO (FMD) .....	172
6.2.6	ETAPAS DEL PROCESO DE MANUFACTURA ADITIVA .....	173
6.2.6.1	Exportación A Formato STL.....	173
6.2.6.2	Orientación Y Adición De Soportes .....	174
6.2.6.3	Selección Del Modelo.....	175
6.2.6.4	Manufactura Aditiva Del Modelo.....	176
6.3	MATERIALES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA ADITIVA POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA .....	177
6.3.1	MATERIALES TERMOPLÁSTICOS .....	178
6.3.1.1	Poliacrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) .....	179
6.3.1.2	Ácido poliláctico (PLA).....	180
6.4	PIEZAS IMPRESAS EN 3D.....	182
6.4.1	POLEA DEL ALTERNADOR M.BENZ 1620 SIN PROCESAR .....	182
6.4.2	POLEA DEL ALTERNADOR M.BENZ 1620 PROCESADA.....	184
6.4.3	FORMA INTERNA PROCESADA TAPA TERMOSTATO M.BENZ1620. ....	187
6.4.4	MANGO DE ARMA DE FUEGO PROCESADA .....	190
<b>CAPITULO 7.....</b>		<b>193</b>

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>193</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	193
7.2 RECOMENDACIONES .....	195
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>196</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Escáner PICZA LPX-60 .....	1
Figura 2	Futuro del escaneo 3D .....	2
Figura 3	Mapa conceptual de tipos y aplicaciones del escáner.....	7
Figura 4	Prisma de vidrio transmitiendo la parte visible .....	8
Figura 5	Medición por triangulación basada en la trigonometría .....	12
Figura 6	Triangulación entre cámara, emisor laser y objeto. ....	13
Figura 7	Escáner de mano de última tecnología .....	15
Figura 8	Haz de luz del objeto creando un efecto espejo.....	22
Figura 9	Áreas de reflectividad Amplitud Vs Tiempo.....	23
Figura 10	Equipos CAD/CAM .....	24
Figura 11	Proceso CAD/CAM.....	26
Figura 12	Tareas en el proceso CAD/CAM.....	27
Figura 13	Componentes del CAD/CAM.....	29
Figura 14	CAD/CAM en el entorno industrial.....	30
Figura 15	Escáner Picza Lpx-60. ....	33
Figura 16	Objeto industrial escaneado como Prueba. ....	35
Figura 17	Exploración de un objeto cumpliendo con triangulación. ....	36
Figura 18	Sentido de la exploración.....	36
Figura 19	Logo característico de MATLAB.....	37
Figura 20	Interfaz de MATLAB. ....	38
Figura 21	Triangulación de datos.....	41
Figura 22	Puntos aleatorios para verificar si cumplen o no con el código. ....	42
Figura 23	Resultado .....	48
Figura 24	Resultado. ....	48
Figura 25	Resultado. ....	49
Figura 26	Normal localizada de plano tangente a una superficie aproximada. ....	54
Figura 27	Normal localiza de plano tangente. ....	55
Figura 28	Reconstrucción por Poisson 2D.....	56
Figura 29	Octree de tres nodos y dos niveles de profundidad. ....	56
Figura 30	Datos requeridos en Meshlab para Reconstrucción de Poisson.....	57
Figura 31	Zona del modelo antes a) y después b) de la optimización .....	57
Figura 32	a) Digitalización de la nube de puntos, b) Reconstrucción en Meshlab..	61
Figura 33	Herramienta ScanTo3D del software CAD. ....	62
Figura 34	Ingeniería Inversa Mango de Arma de Fuego. ....	63
Figura 35	Ingeniería inversa Polea Alternador 1620. ....	65
Figura 36	Obtención de Forma interna de ducto.....	66

Figura 37	a) Tapa Termostato MB 352 b) Forma interna del ducto .....	67
Figura 38	Análisis de fluido respiradero intercooler MB 352. ....	68
Figura 39	Análisis de fluido respiradero intercooler MB 352 .....	68
Figura 40	Análisis de fluido Tapa Termostato MB 352. ....	69
Figura 41	Análisis de fluido Tapa termostato MB 352.....	69
Figura 42	Diseño virtual y pieza hueca fabricada con tecnología aditiva.....	166
Figura 43	Torre de ajedrez fabricada con la tecnología de estereografía. ....	167
Figura 44	Prótesis de mano, compuesto de varias piezas impresas en 3D.....	168
Figura 45	Efecto escalera. ....	170
Figura 46	Esquema del proceso de modelado por extrusión termoplástica FMD. ....	172
Figura 47	Malla triangular del modelo STL. ....	173
Figura 48	a) Modelo, b) modelo con soporte .....	175
Figura 49	a) Baja resolución, b) alta resolución .....	175
Figura 50	Deposición del material de forma continua (Extrusión termoplástica). ....	176
Figura 51	Etapas de la manufactura aditiva (Extrusión termoplástica). ....	177
Figura 52	Componentes del ABS.....	179
Figura 53	Unidad estructural del PLA. ....	181

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones Técnicas Básicas Escáner PICZA LPX-60 .....	34
Tabla 2	Ventajas de la manufactura aditiva. ....	169
Tabla 3	Propiedades Físico- Mecánicas del ABS. ....	180
Tabla 4	Propiedades Física- Mecánicas del PLA.....	181

## NOMENCLATURA

$c$	Velocidad de la luz (299.792.458 m/s)
$h$	Constante de Planck ( $6.626069 \cdot 10^{-34}$ J·s)
$\nu$	Frecuencia
$\Lambda$	Longitud de onda.
$\theta$	Angulo entre la luz incidente y el vector normal a la superficie
$\vec{V}$	Campo vectorial
$I_i(\lambda)$	Intensidad de la luz incidente
$k_d(\lambda)$	Coefficiente de reflexión difusa



## **RESUMEN**

Los diferentes métodos que existen para el diseño de modelos 3D y su posterior manufactura (CAD/CAM) cada vez presentan mejores innovaciones generando eficiencia y calidad en el desarrollo. El proyecto se centra en la ingeniería inversa es decir que se busca optimizar el desarrollo del diseño 3D de un producto industrial ya existente. Razón por la cual se presenta a continuación un proceso novedoso el cual consiste en generar datos (nube de puntos) proporcionados por un escáner 3D. En el primer capítulo se presenta la justificación, importancia y los objetivos que tiene el proyecto. La evolución del método empleado, así como los tipos y el principio de funcionamiento de los escáner 3D , las ventajas y desventajas que presentan los equipos el análisis desde el punto de vista industrial que se encuentran detallados en el capítulo dos. La información que proporciona necesita ser procesada, en la actualidad se encuentra un sin número de software que permite el tratamiento de estos datos, la ventaja es que algunas de estas herramientas son de libre acceso o software libre, en el contenido del cuarto capítulo se detalla el proceso con el que este proyecto se sustenta, encontrando además de las aplicaciones convencionales como el modelado de objetos industriales para utilidades en la vida real, aplicaciones extras como el análisis de fluidos en conductos relativamente cortos. El capítulo cinco contiene exclusivamente los tutoriales paso a paso desde la generación de la información hasta el modelado como un solo solido de los objetos propuestos como ejemplos en este proyecto, quedando listo para el proceso de manufactura (CAM). Finalmente en el capítulo seis se encuentran las conclusiones de la culminación del proyecto y las recomendaciones para quienes serán los usuarios del equipo.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **MODELADO**
- **CAD**
- **CAM**

## **ABSTRACT**

Different methods exist for designing 3D models and subsequent manufacturing (CAD/CAM) which increasingly they have optimum in generating efficiency and quality innovations in development. The project focuses on reverse engineering that is being sought to optimize the development of 3D design of an existing object or industrial product. The reason why a process novel below is presented is to consist generating data (point clouds) which is provided with a 3D scanner. In the first chapter we present justification, importance, and objectives that the project consist of. A review in history and evolution of the method utilized, is like the types and the principals of fundamentals of the 3D scanner, the advantages and disadvantages of analysis equipment from the industrial point of view are detailed in chapter two. The information that is provided needs to be processed, the disadvantage nowadays is that it's currently without software that allows the process of these types of data, the advantage of this is that some of these tools are freely available or (free software). In the content of the fourth chapter we explain the process in which the project is based on, additionally to finding conventional applications such as modeling industrial objects for profits in real, everyday life, there are extra applications such as fluid analysis in relatively short ducts(conduits). Chapter five contains only the tutorials step by step from the generation of information (point clouds) to modeling as a single solid industrial objects which is given as examples in this research project and is ready for the manufacturing process (CAM). Finally, chapter six consist of the conclusions of the completion of the project and recommendations for those who are using the equipment.

## **KEYWORDS**

- MODELING
- COMPUTER-AIDED DESIGN
- COMPUTER-AIDED MANUFACTURING

# CAPITULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

Los inicios de la exploración 3D se dio en la década de 1960, las primeras herramientas fueron luces, cámaras y proyectores, debido al limitante conocimiento en la época tomo mucho tiempo y esfuerzo tener precisión en la adquisición y posterior procesado de datos, a partir del año 1985 los escáner utilizaron luz blanca y rayos laser para digitalizar un objeto.

El novedoso proceso se centra y desarrolla con el concepto u objetivos de la ingeniería inversa la cual busca obtener información o diseño de un producto para poder reproducirlo, rediseñarlo o mejorarlo, es decir que este se torna en dirección opuesta a lo que realiza la ingeniería convencional.

Tomo fuerza se desarrolló e innovo a finales del siglo XX buscando capturar con precisión las superficies de diferentes objetos y lugares, en la actualidad es muy útil en el campo del Diseño, Medicina, Geología, Mecánica, etc.



**Figura 1:** Escáner PICZA LPX-60

No cabe duda que se vienen mejores días en lo referente a este tema, importantes empresas apuestan a esta técnica ver Figura 2



**Figura 2:** Futuro del escaneo 3D

Fuente: Apple Inc.

## 1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

Un escáner 3D es una herramienta que detalla las características físicas de un objeto, la información que este proporciona son modelos generados tridimensionalmente, generalmente esta información necesita ser procesada por medio de software especializados.

El scanner PICZA LPX-60 fue adquirido por la Universidad de las fuerzas Armadas (ESPE) asignado específicamente al laboratorio de CAD/CAM, dicho escáner actualmente se encuentra fuera de uso debido al alto costo de licencias del software recomendado por el fabricante para el procesado de la nube de puntos

Razón por la cual es necesario buscar la manera de optimizar el costo, el tiempo y la calidad del proceso utilizando un software libre (MESHLAB) y en caso de ser necesario un software CAD de uso común entre los estudiantes de Ingeniería Mecánica, permitiendo así la manipulación del equipo por parte de los estudiantes del DECEM tanto de pregrado como postgrado dando campo abierto a la práctica ingeniería inversa.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Procesar la nube de puntos 3D generada por el scanner perteneciente al laboratorio de CAD/CAM de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para el modelamiento y manufactura de productos industriales mediante software libre (Meshlab) y de ser necesario el uso de un software CAD.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Desarrollar un algoritmo básico en Matlab para digitalizar la nube de puntos generada por el escáner perteneciente al laboratorio de CAD/CAM de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Investigar el proceso más novedoso y útil con las herramientas que se cuenta para el proyecto
- Investigar las aplicaciones que tiene el desarrollo del proyecto.
- Generar tutoriales de los objetos industriales que el proyecto genere.
- Realizar la manufactura de dichos objetos después de procesar la nube de puntos.

## **1.4 JUTIFICACIÓN**

El escáner 3D genera una representación digitalizada cruda con ciertos errores y distorsiones del objeto a ser tratado, con una posibilidad de usar esta información erróneamente para un proceso posterior de prototipado, es por esta razón que se requiere un software adicional que permita tratar la nube de puntos generada.

Existe varios software comerciales que son onerosos, sin embargo es necesario buscar la manera de hacerlo de una manera óptima pero sin tener que hacer una inversión económica mayor.

Además que es importante poner en uso el equipo ya que el SENESCYT efectúa constantes auditorias para comprobar que los equipos que se adquieren en la UFA-ESPE por parte del gobierno estén en uso.

## **1.5 ALCANCE DEL PROYECTO**

Desarrollar un algoritmo básico en MATLAB con la finalidad de reconocer los puntos gráficamente generados por el scanner además de entender la matemática básica que utiliza para realizar las triangulaciones.

Realizar el análisis del programa MESHLAB, consiguiendo manejarlo de la manera más eficiente para la reconstrucción de la nube de puntos además de utilizar un software de uso común entre los estudiantes del DECEM para respaldar la información proporcionada en MESHLAB y en caso de ser necesario mejorarla.

Mantener presente el objetivo de ingeniería inversa que es el concepto en que se basa este proyecto.

Desarrollar una guía para los alumnos, donde se detalle el procedimiento que se requiere para la reconstrucción de la nube de puntos y, que de esta forma el alumno sea capaz de analizar e interesarse en realizar ingeniería inversa de otros objetos.

Los productos de este proyecto serán:

- Guía de procedimientos para lograr la experiencia en el software utilizado.
- Manufactura de objetos industriales en impresión 3D antes y después de la investigación del proyecto.
- Proporcionar Video Tutoriales a los profesores del área.



## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ESCANER 3D**

Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto obteniendo datos sobre su forma (nube de puntos). Generalmente se muestrea o escanea utilizando tecnología láser. Estos datos los usamos para realizar reconstrucciones digitales, planos bidimensionales o modelos tridimensionales apoyándonos en diferentes tipos de software que permiten la digitalización de estos datos (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

Existen diferentes tipos de tecnologías para la construcción de estos dispositivos cada uno tiene sus propias ventajas, limitaciones y costes. Los datos obtenidos son útiles en diferentes tipos de aplicaciones importantes como la construcción de prótesis, creación de prototipos, el diseño industrial etc. (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

La ventaja del escaneado láser es la posibilidad de tomar una gran cantidad de información (puntos) con una alta precisión en un periodo de tiempo relativamente corto (15-20 min). Es como tomar una fotografía con información de profundidad.

##### **2.1.1 FUNCIÓN**

El propósito de un escáner 3D es crear una nube de puntos de muestras geométricas en la superficie del objeto. Estos puntos pueden ser usados para extrapolar la forma de dicho objeto (un proceso llamado reconstrucción).

Dependiendo del tipo de escáner es posible obtener la información de color esta se recoge en cada punto, los colores de la superficie del objeto pueden ser determinados sin problema (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

Para la mayoría de los casos, una única exploración no va a producir un modelo completo. Exploraciones múltiples suelen ser necesarias para obtener información óptima del objeto. Estos análisis tienen que ser llevados a un sistema común de referencia, un proceso que se suele llamar la alineación o registro, y luego se fusionan para crear un modelo óptimo (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

Todo este proceso, que va desde el mapa de rango único de todo el modelo, se conoce generalmente como la tubería de escaneado 3D (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

### **2.1.2 ESCANEADO LASER ESTÁTICO Y DINÁMICO**

Actualmente la tecnología nos permite dividir de dos categorías: estático y dinámico.

- Escáner Estático

Cuando el escáner se mantiene en una posición fija durante la toma de datos, se llama escaneado láser estático. Las ventajas de este método son la alta precisión y la compacta densidad de puntos. Este suele ser el método óptimo para realizar escaneados terrestres. Sin embargo, no todos los escaneados láser terrestres son estáticos (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

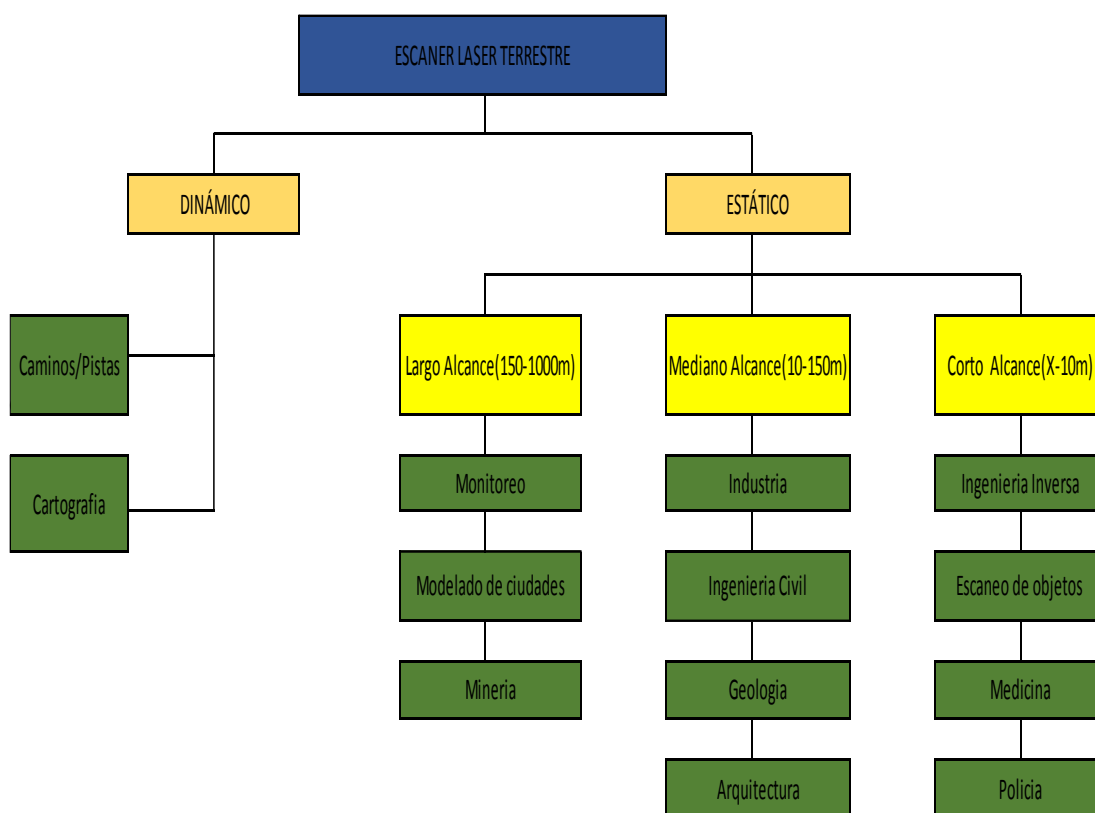
- Escáner Dinámico

En los casos del escáner dinámico, el escáner se suele montar en una plataforma móvil. Estos sistemas requieren otros sistemas de posicionamiento adicionales tales como INS o GPS, lo que hace que el sistema completo sea más complejo y costoso. Ejemplos de láser escáner dinámico los encontramos en aviones, escáneres sobre vehículos o plataformas aéreas no tripuladas (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

### 2.1.3 APLICACIONES

En un principio, el escáner láser se utilizaban principalmente en el diseño automatizado e industrial para facilitar el Diseño Asistido por Computadora (CAD). Esto ayudó a la producción en masa de productos de consumo (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

Sin embargo, otros campos han sido explotados como consecuencia de la constante evolución tecnológica la cultural, la arquitectura, el desarrollo urbanístico, la medicina forense y la industria del entretenimiento están empezando a adoptar esta tecnología gracias a las ventajas obvias del láser escáner: el largo alcance, la rápida adquisición, etc. ver Figura 3 (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

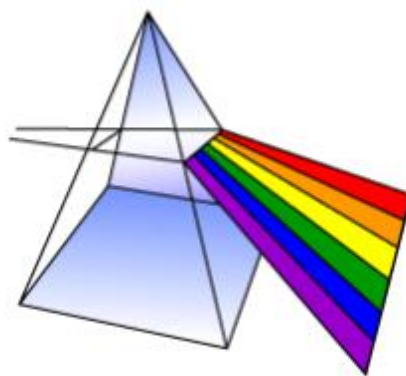


**Figura 3:** Mapa conceptual de tipos y aplicaciones del escáner

**Fuente:** (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008)

### 2.1.4 PRINCIPIO

El espectro electromagnético sin saberlo nos es muy común en la vida diaria. La razón por la que vemos los objetos es porque emiten, reflejan o transmiten una parte visible del espectro que llamamos luz ver Figura 4. Esta parte visible del espectro electromagnético está compuesta por los colores que podemos ver en el arco iris (J. Planas, Ll. Papió, 2012).



**Figura 4:** Prisma de vidrio transmitiendo la parte visible

**Fuente:** (J. Planas, Ll. Papió, 2012)

Cada uno de los diferentes colores corresponde a una longitud de onda diferente. Esto se puede observar si hacemos pasar luz blanca a través de un prisma de vidrio, la luz roja tiene mayor longitud de onda por lo tanto tiene menos desviación con respecto a la luz violeta así se produce el efecto del arco iris (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

El espectro electromagnético se puede expresar en términos de energía, longitud de onda o frecuencia. Estas magnitudes están relacionadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$c = v \cdot \lambda$$

$$E = h \cdot v = \frac{c}{\lambda}$$

donde:

$c$  es la velocidad de la luz, 299.792.458 m/s

$h$  es la constante de Planck,  $6.626069 \cdot 10^{-34}$  J·s.

$\nu$  representa la frecuencia y  $\lambda$  la longitud de onda.

De este modo, las frecuencias altas del espectro tienen longitudes de onda cortas y energía alta y viceversa (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

### **2.1.5 LÁSER**

Laser es un dispositivo el cual genera ondas utilizando una reducida capa del espectro. En la actualidad se utilizan en el diario vivir generalmente en dispositivos ópticos como los DVD estos escanean la superficie para obtener su información al igual que en un scanner 3D se escanea la superficie del objeto para obtener información de esta y posteriormente procesarla [1].

### **2.1.6 SEGURIDAD**

Desde la invención del láser en 1958, la coherencia, la alta monocromaticidad, y la capacidad de alcanzar potencias extremas son propiedades que permiten utilizarlo en aplicaciones especializadas. Por tanto, la luz láser debe ser manejada con una precaución extrema y se estima fundamentalmente conocer los diferentes tipos de láser. Todos los láseres e instrumentos que hacen uso del láser están etiquetados y clasificados dependiendo de la longitud de onda y de la potencia de energía que produce el láser. El estándar europeo IEC 60825-1 proporciona información más detallada (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

Los autores (J. Planas, Ll. Papió, 2012), habla que los tipos de laser se describen en siete clases:

Clase 1. Son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos para visión intrahaz.

Clase 1M. Son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero pueden ser peligrosos si se emplean lentes con el haz.

Clase 2. Láseres que normalmente producen un reflejo ciego para proteger al ojo.

Clase 2M. Láseres que normalmente producen un reflejo ciego para proteger al ojo.

Clase 3R. Láseres potencialmente peligrosos cuando se produce visión directa intrahaz, aunque el riesgo es menor que en el caso de láseres de la Clase 3B.

Clase 3B. Normalmente son peligrosos si ocurre exposición directa intrahaz, aunque la visión de reflexiones difusas es normalmente segura.

Clase 4. Si se observan directamente causarán daños en los ojos o en la piel. Los láseres de esta clase también pueden producir reflexiones peligrosas.

“Los usuarios de sistemas de escaneo láser deben ser siempre conscientes de la clase de su instrumento” (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

## **2.2 MEDICIONES**

Existe una variedad de tecnologías para adquirir digitalmente la forma de un objeto 3D. Una clasificación bien establecida las divide en dos tipos: de contacto y sin



contacto. Soluciones sin contacto se pueden dividir en dos categorías principales, activos y pasivos (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

### 2.2.1 CONTACTO

El escáner 3D sondea a través de contacto físico (palpador), mientras que el objeto está en contacto con el plano de precisión o placa de superficie. Cuando el objeto a escanear no es plano o no puede descansar de forma estable sobre una superficie plana, se apoya y se mantiene firmemente en su lugar por un accesorio (S. Larsson, J.A.P. Kjellander, 2006).

Según los autores (S. Larsson, J.A.P. Kjellander, 2006) el mecanismo del escáner puede tener tres formas diferentes:

- Un sistema de transporte con los brazos rígidos mantenidos firmemente en relación perpendicular y cada eje se desliza a lo largo de una pista. Tales sistemas funcionan mejor con perfiles planos o superficies curvas convexas simples.
- Un brazo articulado con los huesos rígidos y sensores angulares de alta precisión. Esto es ideal para indagar en las grietas y espacios interiores con una pequeña abertura de la boca.
- Una combinación de ambos métodos puede ser utilizado, tal como un brazo articulado suspendido de un carro móvil, para el mapeo de objetos de gran tamaño con cavidades interiores o superficies superpuestas.

La desventaja sin embargo es que se requiere precisamente contacto con el objeto que se está escaneando siendo que este se podría modificar o dañar en el proceso. Este hecho es muy importante cuando se escanea objetos de valor o delicados tales como artefactos históricos (S. Larsson, J.A.P. Kjellander, 2006).

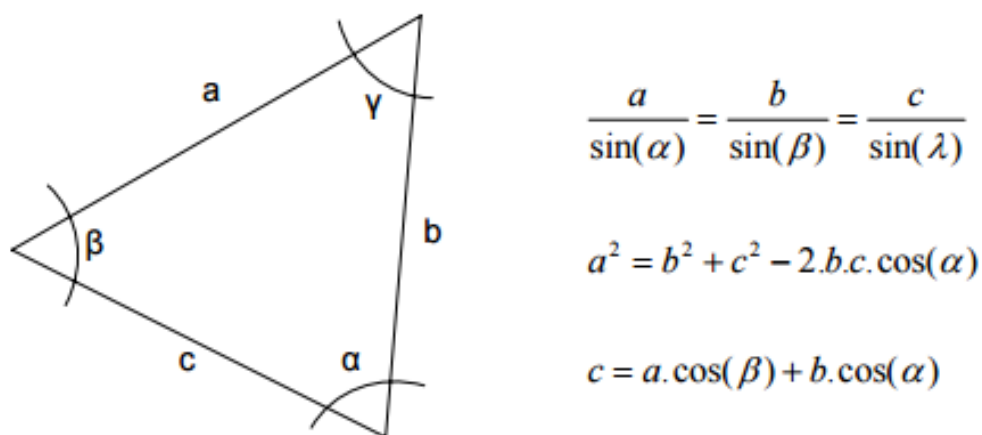
## 2.2.2 SIN CONTACTO

Escáneres activos emiten algún tipo de radiación o luz y detectan su reflexión o la radiación que pasa a través de objetos con el fin de sondear un objeto o medio ambiente. Los posibles tipos de emisiones utilizados incluyen la luz, ultrasonido o rayos X (S. Larsson, J.A.P. Kjellander, 2006).

### 2.2.2.1 Medición Basada En Triangulación

Los triángulos se han utilizado en un sin número de métodos de medición. Actualmente se pueden encontrar en dispositivos como cámaras en 3D incluso en algunos dispositivos Smartphone (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

La medición por triangulación se basa generalmente en la trigonometría ver Figura 5.



**Figura 5:** Medición por triangulación basada en la trigonometría

Fuente: (J. Planas, Ll. Papió, 2012)

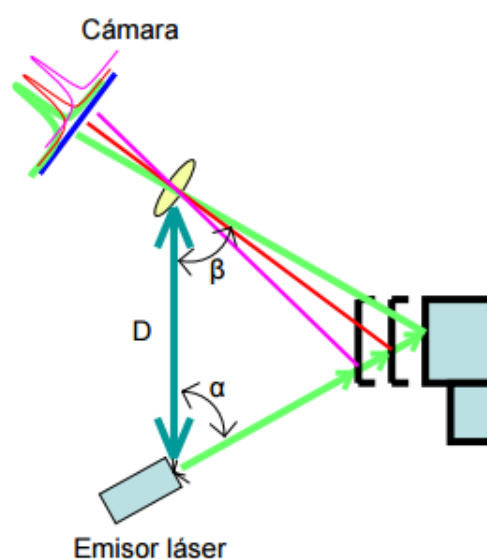
En el scanner laser 3D utiliza el mismo principio, el láser busca el objeto centrándose en su superficie esto conjuntamente con una cámara el emisor laser y la

cámara disponen de un ángulo constante permitiendo la triangulación y la proyección del láser sobre el objeto (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

Se aprovecha de una cámara para buscar la ubicación del punto láser. En función que el láser toca la superficie del objeto, el emisor aparece en lugares diferentes en el campo de visión de la cámara. Esta técnica se denomina triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo, la distancia entre la cámara y el emisor láser se conoce (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

El ángulo del emisor láser también es conocido. El ángulo de la esquina de la cámara se puede determinar observando la localización del punto láser en el campo de visión de la cámara. Estas tres piezas de información determinan completamente la forma y el tamaño del triángulo. En la mayoría de los casos una raya de láser, en lugar de un único punto del láser, es barrido a través del objeto para acelerar el proceso de adquisición (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

“El Consejo Nacional de Investigación de Canadá fue uno de los primeros institutos para desarrollar la tecnología de escaneo láser basado en la triangulación en 1978” (J. Planas, Ll. Papió, 2012).



**Figura 6:** Triangulación entre cámara, emisor laser y objeto.

**Fuente:** (J. Planas, Ll. Papió, 2012)

Mientras más valor tiene el lado  $D$  existe menor error en la profundidad del objeto se debe tener en cuenta que la base no debe ser muy amplia ya que el campo de visión es reducida se puede visualizar en la Figura 6 que el emisor laser y la cámara se sobrepondrían (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

Según los autores (J. Planas, Ll. Papió, 2012) las formas de reducir fallas en dirección de profundidad son las siguientes:

- Decrecimiento de la distancia del objeto al escáner → disminuye los efectos de las sombras
- Aumento de la base de triangulación ( $D$ ) → aumentan los efectos de la sombras
- Incremento de la distancia focal de la lente → Reduce el campo de visión
- Disminución de la imprecisión de la medición → más píxeles en la cámara

### **2.2.2.2 Escáneres Laser De Mano**

Los escáneres láser de mano ver Figura 7 crean una imagen en 3D a través del mecanismo de triangulación descrito anteriormente: un punto láser o línea se proyecta sobre un objeto a partir de un dispositivo de mano y un sensor (típicamente un dispositivo de carga acoplada) mide la distancia a la superficie. Los datos se recogen en relación de un sistema interno de coordenadas y por lo tanto para recoger datos cuando el escáner está en movimiento la posición del escáner debe ser determinada (S. Larsson, J.A.P. Kjellander, 2006)

“La posición puede ser determinada por el escáner con características de referencia en la superficie que se va a escanear” (S. Larsson, J.A.P. Kjellander, 2006).

Los datos se recogen por un ordenador y se registran como puntos de datos dentro de un espacio tridimensional (nube de puntos), con el procesamiento de este se puede convertir en una malla triangulada y luego un diseño asistido por ordenador (Hernández, 2015).



**Figura 7:** Escáner de mano de última tecnología

**Fuente:** Innovative Solutions S.A

## **2.3 RECONSTRUCCIÓN DE SUPERFICIES**

### **2.3.1 A PARTIR DE NUBE DE PUNTOS**

Los scanner 3D proporcionan información para post procesar de acuerdo a los requerimientos del usuario estos datos generalmente se manifiestan como una nube de puntos, una nube de puntos es un conjunto de datos en un sistema de coordenadas tridimensional, estos puntos se definen generalmente por X , Y , y Z , con frecuencia están destinadas a representar la superficie externa de un objeto (Hernández, 2015).

Las nubes de puntos pueden ser creados por los escáneres 3D. Estos dispositivos miden un gran número de puntos en la superficie de un objeto, y tienen como salida digital un archivo de datos. La nube de puntos representa lo que el dispositivo ha medido (Hernández, 2015).

Los resultados pueden ser utilizados con propósitos de creación de modelos 3D CAD, piezas industriales, metrología, animación 3D, medicina reconstructiva y una multitud de visualizaciones con aplicaciones a conveniencia del usuario (Hernández, 2015).

Generalmente se procesan los datos convirtiendolos en mallas poligonales, malla de triángulos, o modelos CAD a través de un proceso que comúnmente se lo conoce como reconstrucción superficial (Hernández, 2015).

Hay muchas técnicas para la conversión de una nube de puntos a una superficie 3D. Algunos enfoques, como la triangulación de Delaunay , Poisson y “Ball pivote”, construyen una red de triángulos en los vértices existentes de la nube de puntos, mientras que otros enfoques convierten la nube de puntos y reconstruyen la superficie implícita a través de diferentes algoritmos (Hernández, 2015).

### 2.3.1.1 Normales

Es un vector perpendicular al plano, se obtiene mediante el análisis de ángulos de incidencia y reflexión de luz sobre un punto. Si la nube de puntos cuenta con información de normales esto facilita la reconstrucción superficial (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

El cálculo del vector normal asociado a un plano se realiza a través de las siguientes formulas:

$$N_x = \sum_{i=1}^n (y_i - y_j) * (z_i - z_j)$$

$$N_y = \sum_{i=1}^n (z_i - z_j) * (x_i - x_j)$$

$$N_z = \sum_{i=1}^n (x_i - x_j) * (y_i - y_j)$$

**Fuente:** (J. Planas, Ll. Papió, 2012)

### **2.3.1.2 Triangulación**

Se denomina triangulación a la conexión de puntos más cercanos entre sí para generar polígonos (J. Planas, Ll. Papió, 2012).

### **2.3.1.3 Relación De Vértices De Un Triangulo**

Triangular los puntos más cercanos entre si es importante para obtener mejores resultados. Sin embargo la relación base altura no debe ser muy grande ya que presentaría una superficie muy delgada y con errores en el aspecto superficial la forma ideal a la que se debe llegar es obtener un triángulo equilátero (Hernández, 2015).

### **2.3.1.4 Malla**

Se forma de la unión entre sí de polígonos o de las llamadas triangulaciones para representar u objeto físico estos se generan a partir de una nube de puntos o de datos CAD (Hernández, 2015).

Según (Hernández, 2015) cuando las mallas son generadas por nube de puntos tenemos generalmente las siguientes imperfecciones:

- Triángulo abierto: Un borde es compartido por tres o más triángulos.
- Triángulo redundante: repetición de triángulos.
- Triángulo cruzando: los bordes comparten la intersección de un vértice.
- Triángulo invertido: la dirección de la normal es opuesta a la de triángulos vecinos.

### **2.3.1.5 Resolución De Malla**

De la resolución de la malla depende que tanto se pueden observar los detalles de un objeto, una malla con resolución alta se representa mejor visualmente pero se torna difícil la manipulación en el software lo contrario sucede en una malla de baja resolución no tenemos inconvenientes con el software pero visualmente no es una malla tan agradable.

Una malla ideal debe representar las características suficientes con la menor cantidad de triángulos posibles. Las áreas de gran curvatura son directamente proporcionales a la cantidad de triángulos (Hernández, 2015).

### **2.3.1.6 Región**

Se denomina región a la agrupación de caras con similares características son útiles en la selección de áreas de interés y extracción de superficies (Hernández, 2015).

## **2.3.2 A PARTIR DE MODELOS**

La mayoría de las aplicaciones utilizan modelos 3D poligonales, modelos de superficies NURBS, o modelos CAD.

### **2.3.2.1 Malla Poligonal**

Gráficamente se basan en polígonos para formas 3D, los polígonos están formados por vértices ejes y caras. Las caras comúnmente tienen forma de triángulo, la mayoría



de los programas para reconstrucción 3D utilizan estas mallas para visualizar o renderizar una superficie (L. Piegl, W. Tiller, 1997).

La formación de varios polígonos garantizan una mejor resolución. Nos podemos encontrar con diferentes formatos para mallas poligonales: stl, obj , vrm1, ply , x3d, etc. Un ejemplo de programas que manejan mallas poligonales o mesh son 3DsMax, Maya, Meshlab entre otros (L. Piegl, W. Tiller, 1997).

### **2.3.2.2 Modelo De Superficie Nurbs**

Es un modelo matemático muy utilizado en el diseño asistido por computador para generar, representar curvas y superficies, se crearon básicamente para representar superficies de forma libre como carrocerías de vehículos su desarrollo empezó en 1950.

“Una curva NURBS se define por su grado, un conjunto de puntos de control ponderados, y un vector de nodos. Las curvas y superficies NURBS son generalizaciones de curvas B-splines y curvas de Bézier” (L. Piegl, W. Tiller, 1997).

### **2.3.2.3 Modelos CAD**

Desde una perspectiva de ingeniería, la máxima representación de una forma digitalizada es el modelo CAD parámetros generalmente editables. CAD es el "lenguaje" común de la industria para describir, editar y mantener la forma de los modelos. Este es descrito por las características paramétricas, que se editan fácilmente cambiando el valor de un centro o radio de acuerdo a la conveniencia del usuario (L. Piegl, W. Tiller, 1997).

Estos modelos CAD no describen simplemente la forma del objeto, si no también incorporan la "intención de diseño" (es decir, las características fundamentales y su relación con otras características (L. Piegl, W. Tiller, 1997).

Los diseñadores ofrecen diferentes enfoques para llegar al modelo CAD paramétrico. Algunos exportar las superficies NURBS y dejan que el diseñador CAD complete el modelo (por ejemplo, Geomagic , Imageware, Rhino 3D ).

Otros utilizan los datos de la exploración para crear un modelo basado en la función editable y verificable que se importe a CAD con el árbol completo de características intactas, produciendo un modelo CAD completo. Otras aplicaciones CAD son lo suficientemente complejas como para manipular los puntos limitados o modelos poligonales en el entorno (por ejemplo, CATIA, AutoCAD, Revit) (L. Piegl, W. Tiller, 1997).

## **2.4 UNIDADES**

En la actualidad los scanner registran las unidades predeterminadamente (milímetros) es importante esto para no generar posteriormente problemas en el tiempo de generación de mallas (Hernández, 2015).

## **2.5 ANALISIS ERROR**

El área de la reconstrucción superficial ha visto un progreso sustancial en las últimas dos décadas. El problema común para la reconstrucción de superficies es que la representación digital sea relativamente idéntica a la física, sin embargo los datos escaneados contienen una amplia variedad de defectos (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

Equipos en la actualidad manejan cierta ventaja y precisión, de acuerdo a los requerimientos, sin embargo, instrumentos que se fabrican en series limitadas, presentan cierto margen de error es importante también para reducir este margen de error el cuidado que se tenga en el manejo y la calibración del mismo, cada nube de puntos obtenida del scanner presenta errores, no se puede garantizar una precisión del 100%, existen diferentes tipos de errores (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

Según los autores (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008) detalla los siguientes:

- errores instrumentales,
- errores relacionados con el objeto,
- errores por el entorno y
- errores metodológicos.

### **2.5.1 ERRORES INSTRUMENTALES**

Estos pueden ser sistemáticos o aleatorios todo depende del diseño del scanner. Afectando principalmente a las medidas del objeto y la posición del ángulo en la medición. Sistemáticamente la mayor complicación presenta la no linealidad de la unidad de medición del tiempo (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

### **2.5.2 ERRORES RELACIONADOS CON EL OBJETO**

Para que un objeto sea escaneado de mejor manera se evita que el haz de luz del láser cree un efecto de espejo esto se da generalmente en las superficies metálicas brillantes para evitar esto se debe proteger al objeto con una capa oscura la cual evite generar este efecto espejo al momento de escanear generando así errores.

Se puede describir mediante la ley del coseno de Lambert:

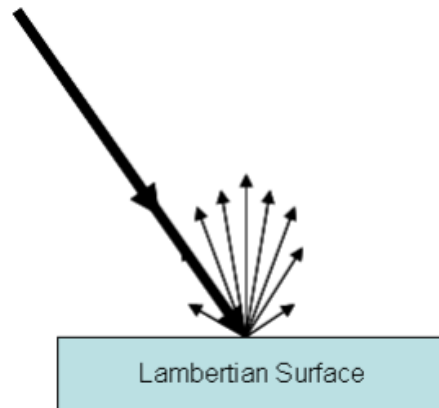
$$I_{reflected}(\lambda) = I_i(\lambda) \cdot k_d(\lambda) \cdot \cos(\theta) \quad (\text{J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008})$$

Donde:

$I_i(\lambda)$  la intensidad de la luz incidente

$k_d(\lambda)$  el coeficiente de reflexión difusa

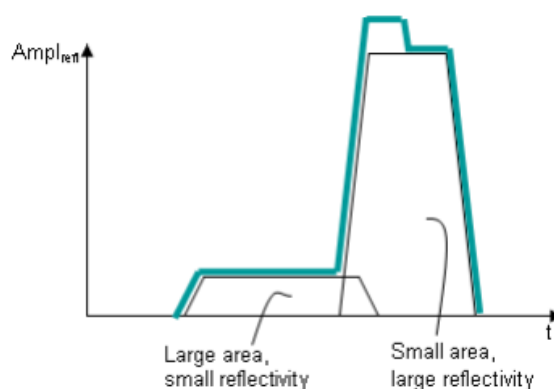
$\theta$  el ángulo entre la luz incidente y el vector normal a la superficie



**Figura 8:** Haz de luz del objeto creando un efecto espejo

**Fuente:** (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008)

“El registro de superficies con reflectividad diferente también ocasiona errores sistemáticos en la distancia Figura 8, algunas veces incluso de varias veces la desviación estándar de una simple medición” [2].



**Figura 9:** Áreas de reflectividad Amplitud Vs Tiempo

Fuente: (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008)

### 2.5.3 ERRORES POR EL ENTORNO

Condiciones como la temperatura, la atmosfera, la interferencia de radiación, la distorsión por movimiento son algunos de los aspectos que se deben tomar en cuenta al momento de realizar el escaneo de un objeto.

Es importante tener en cuenta la temperatura de la superficie escaneada cuando el objeto se encuentra a alta temperatura la radiación en las superficies calientes reduce la señal de ruido y por ende afecta a la precisión de las mediciones, se debe mantener un cierto rango de temperatura para lograr una mejor medición incluso en este rango se pueden presentar ciertos errores (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

### 2.5.4 ERRORES METODOLOGICOS

Generalmente el usuario busca tener una malla optima en su pos procesado sin embargo si la resolución de esta es más alta que la precisión por punto del escáner esta se sobre muestrea, entonces genera tiempos excesivos de procesamiento existe también la posibilidad de que la elección del escáner no sea buena (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).

## 2.6 SISTEMAS CAD/CAM

Es una disciplina que se apoya en los sistemas informáticos como herramientas de soporte en el diseño y fabricación de productos. Es necesario contar con estas herramientas ya que actualmente existe un sinnúmero de mejoras en lo que respecta a calidad ver Figura 10, disminución de tiempos de diseño y producción, disminución de costes, etc. (Q. Rojas Lazo, J. Salas , 1999).

La principal función del CAD/CAM es facilitar el trabajo a ingenieros, arquitectos y diseñadores a través de herramientas informáticas avanzadas, también se utiliza en el marco de procesos de manufactura (Q. Rojas Lazo, J. Salas , 1999).

Estos paquetes de CAD cuentan básicamente con comandos de dibujo 2d y modelados 3D. Los comando 2D constan principalmente de entidades geométricas como puntos líneas etc. las que operan mediante una interfaz gráfica, en cambio el modelado 3D se basa en la combinación de superficies y sólidos para llegar a lo que el usuario requiera (Q. Rojas Lazo, J. Salas , 1999).



**Figura 10:** Equipos CAD/CAM

**Fuente:** CEREC S.A

### **2.6.1 CAD (DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR)**

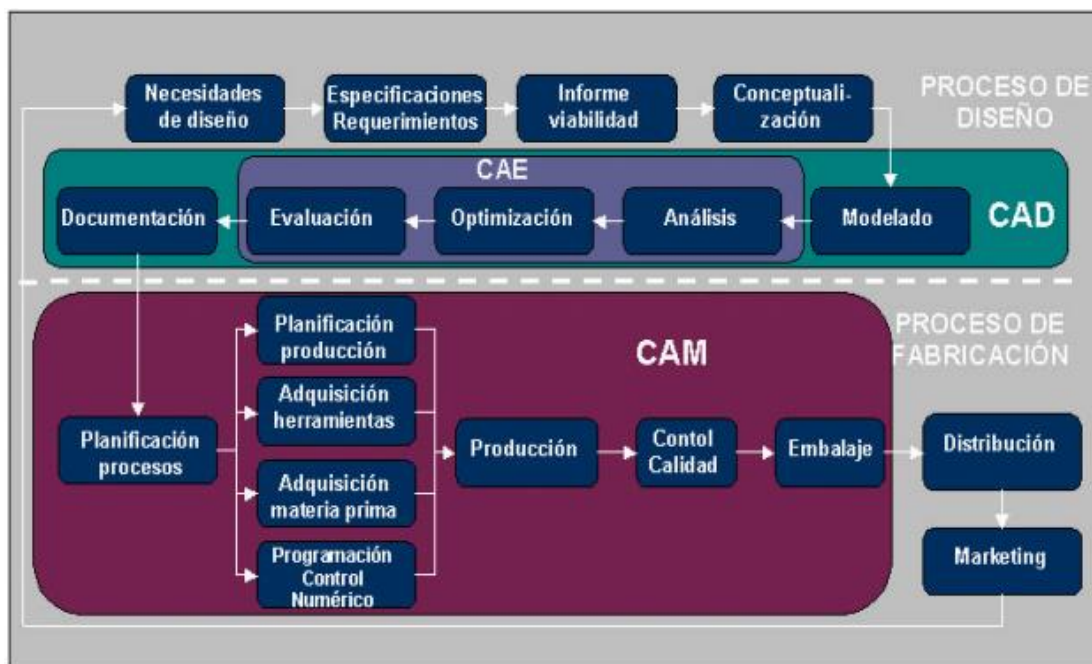
Es un sistema el cual nos facilita el diseño de objetos por medio de un ordenador informático se crea diseños de manera más precisa se logra simular el comportamiento del modelo antes de ser fabricado dando ventajas como el rediseño o modificación en caso de presentar errores o anomalías, una vez generado el objeto en 3D existe la posibilidad de obtener fácilmente planos en diferentes tipos de vistas, secciones y detalles, además la posibilidad de vinculación con un sistema CAM para la manufactura automática del producto (Q. Rojas Lazo, J. Salas , 1999).

### **2.6.2 CAM (FABRICACION ASISTIDA POR COMPUTADOR)**

Este moderno sistema permite usar sistemas informáticos para el proceso de fabricación industrial con la posibilidad de automatizar los procesos (Q. Rojas Lazo, J. Salas , 1999).

### **2.6.3 CAD/CAM EN EL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN**

Estos se utilizan en distintas formas de análisis de ingeniería además de control de procesos y calidad por lo tanto para tener claro el proceso de CAD/CAM se debe estudiar las etapas y actividades que demandan los productos a ser fabricados si se analiza el ciclo del producto en la Figura 11 se puede intervenir de mejor manera la manufactura (Q. Rojas Lazo, J. Salas , 1999).



**Figura 11:** Proceso CAD/CAM

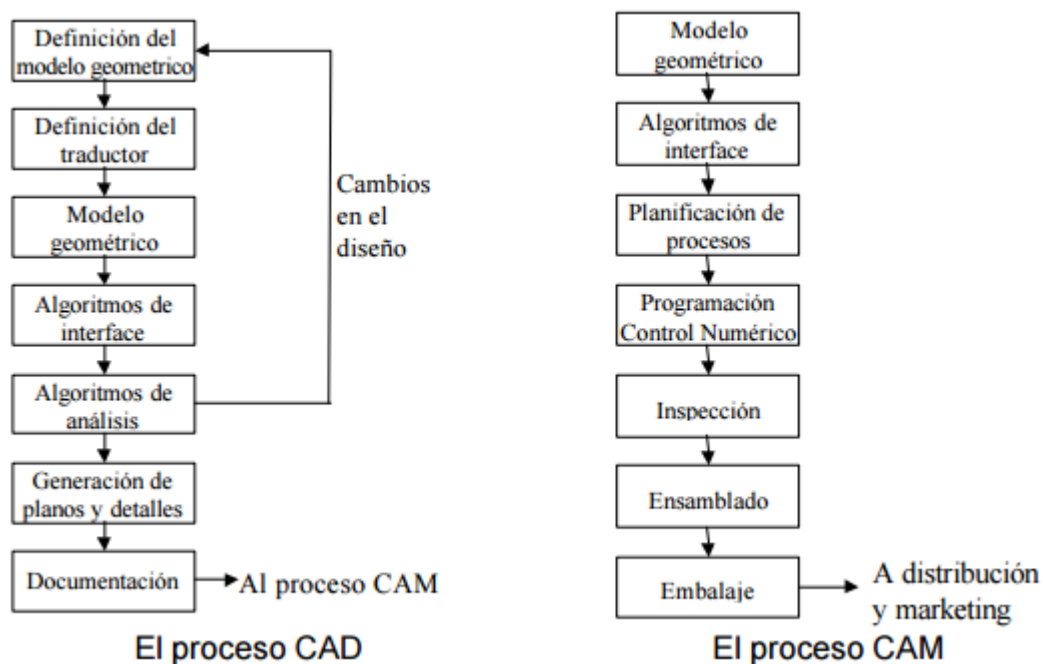
Fuente: (wordpress, 2013)

Como se observa en la Figura 11 para llegar a la manufactura de un producto se pasa por dos procesos principales el de diseño y el de fabricación.

La demanda en el mercado de productos de mayor calidad de menor costo y generalmente por conveniencia del fabricante de un ciclo de vida corto hacen que se haga necesario el uso de sistemas CAD/CAM que no son más que herramientas informáticas avanzadas con las cuales se consigue aumentar calidad reducir costos y disminuir tiempos de diseño y fabricación. Estos factores son actualmente una regla importante para presentarse como competencia en el mercado (wordpress, 2013).

Según (wordpress, 2013) se describe un conjunto de tareas en el proceso CAD y un grupo de tareas en el proceso CAM en la Figura 12:





**Figura 12:** Tareas en el proceso CAD/CAM

Fuente: (wordpress, 2013)

## 2.6.4 COMPONENTES DEL CAD/CAM

Los fundamentos son muy amplios y abarcan varias y diversas disciplinas:

### 2.6.4.1 Modelado Geométrico

Existen tres tipos de modelos según (wordpress, 2013):

- Alámbricos.- Facilita modelar perfiles redes, trayectorias es decir que no requieran propiedades físicas como volumen masa, etc.
- Superficies.- Se utilizan para modelar objetos donde lo más importante es la superficie del mismo por ejemplo personajes.
- Sólidos.- Son los que más se utilizan se pueden modelar piezas mecánicas objetos industriales moldes objetos donde se dispone de propiedades físicas como por ejemplo el volumen, la masa, el centro de gravedad.

#### **2.6.4.2 Técnicas De Visualización**

Existen algoritmos encargados de la generación de imágenes del modelo. Dependiendo del modelo sea este en 2D por ejemplo el esquema de un circuito eléctrico o una visualización realista 3D se usan los diferentes algoritmos asignados (wordpress, 2013).

#### **2.6.4.3 Interacción Grafica**

Es la ayuda principal en la información geométrica del objeto a diseñarse. Además del posicionamiento del objeto se utilizan para la introducción de coordenadas sean estas 2D o 3D (wordpress, 2013).

#### **2.6.4.4 Interfaz De Usuario**

Es de gran importancia la armonía que tenga con el usuario la interfaz gráfica de esta depende en gran medida la eficiencia de las herramientas de modelado (wordpress, 2013).

#### **2.6.4.5 Base De Datos**

Es la encargada de almacenar todos los datos e información que vaya generando el modelo en el proceso de diseño esta base de datos genera una serie de problemas que son admisibles y que debe soportar (wordpress, 2013).

#### 2.6.4.6 Métodos Numéricos

Son los métodos utilizados en los algoritmos para analizar aplicaciones y simulaciones ordinarias de estos sistemas.

#### 2.6.4.7 Conceptos De Comunicación

Su función es interconectar todos los sistemas y herramientas de un sistema CAD/CAM (wordpress, 2013).



**Figura 13:** Componentes del CAD/CAM

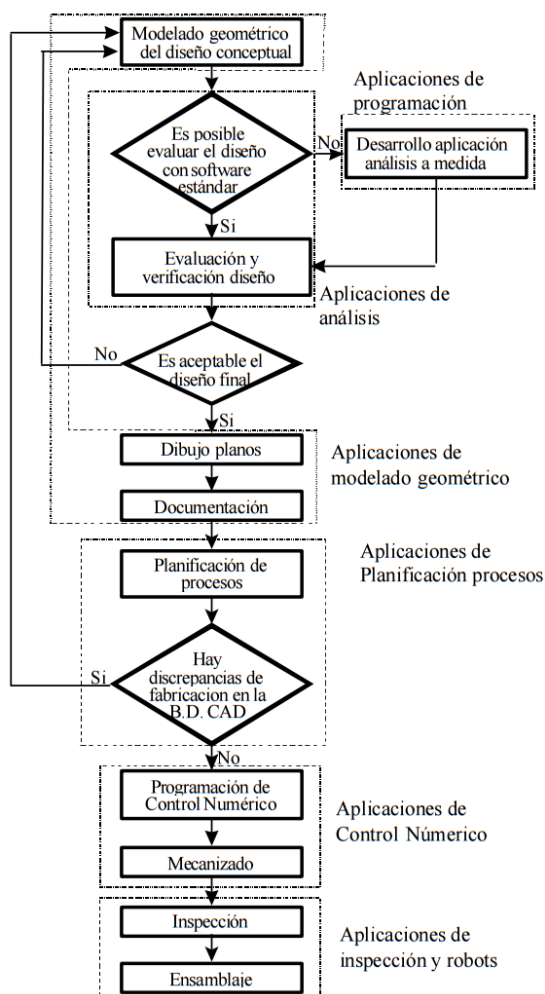
Fuente: (wordpress, 2013)

Según el criterio de implemento el CAD está formado por hardware más software de diseño mientras el CAM está formado por los mismos recursos pero no de diseño si no de fabricación además de los mecanismos necesarios para intercomunicar estos sistemas ver Figura 13 (wordpress, 2013).

### 2.6.5 CAD/CAM DESDE EL PUNTO DE VISTA INDUSTRIAL

Las diferentes industrias como la automotriz la aeroespacial y naval han aportado al desarrollo de estos programas por lo tanto son las industrias que más se benefician de estas técnicas de trabajo.

Herramientas de programación se utilizan para complementar aplicaciones que no cumplen con un determinado trabajo. Una vez que se culmina el modelado se realizan plano y se documenta el proyecto y queda listo para pasar a la etapa de CAM en la que se realizan otro tipo de operación en lo que respecta a procesos verificación de herramientas, inspección de operación y ensamblaje (wordpress, 2013).



**Figura 14:** Diagrama de Flujo CAD/CAM en el entorno

**Fuente:** (wordpress, 2013)

### 2.6.6 SITUACION ACTUAL

Hablando de un mercado actual el cual resulta muy competitivo es esencial el uso del diseño y fabricación asistida por computador es probable que solo así se pueda competir en un mercado actual el cual demanda de mejor calidad a menores costos solo así podemos estar hablando del éxito de un producto (wordpress, 2013).

En la mecánica se registra el uso más tradicional de estas herramientas fomentándose principalmente en la industria automovilística y aeroespacial que fue donde se dio los primeros pasos en estos sistemas CAD/CAM (wordpress, 2013).

Según (wordpress, 2013) las aplicaciones de CAD/CAM mecánico incluyen:

- Librerías de piezas mecánicas normalizadas
- Modelado con NURBS y sólidos paramétricos.
- Modelado y simulación de moldes
- Análisis por elementos finitos.
- Fabricación rápida de prototipos.
- Generación y simulación de programas de control numérico.
- Generación y simulación de programación de robots.
- Planificación de procesos.
- Traductores de formatos neutros (IGES, STEP).

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO DE UN ALGORITMO BÁSICO PARA DIGITALIZAR NUBE DE PUNTOS USANDO MATLAB**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En el desarrollo del presente capítulo se da cumplimiento a uno de los objetivos del proyecto de investigación, el cual comprende visualizar (digitalizar) la nube de puntos y dar un leve entendimiento a la matemática que utiliza el proceso de triangulación de datos, generados por el escáner 3D.

Se toma en cuenta que la Universidad de las Fuerzas Armadas tiene las licencias pertinentes para el uso del software Matlab.

#### **3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS**

La Adquisición de Datos es la toma de muestras analógicas, proyectándose estos en datos para ser manipulados en un ordenador u otro sistema digitalizado. Consiste en receptor señales físicas convertirlos en impulsos eléctricos y digitalizarlos de manera que se puedan encausar en un computador (B.V. Tamani, 2016).

Los datos son expresiones que definen características sobre las que conmutan los algoritmos. Estas expresiones deben procesarse en un computador ya que los datos por sí solos no constituyen información, ésta surge de un procesamiento de los datos adecuado (B.V. Tamani, 2016).

Dicha información se la ajusta a las necesidades y parámetros que el usuario requiera.

### 3.2.1 SCANNER PICZA LPX-60

El scanner Picza LPX-60 3D ver Figura 15 es una versión dimensionalmente más pequeña del scanner Picza LPX-600.

Permite a los principiantes a introducirse muy fácilmente en el escaneo de objetos de una manera altamente automatizada ya que al igual que guardar un objeto en cualquier otro espacio físico se coloca el objeto dentro del scanner se establece parámetros de exploración principalmente del número de planos, se pulsa iniciar y este automáticamente escanea el objeto creando un modelo 3D ligeramente idéntico en un computador.



**Figura 15:** Escáner Picza Lpx-60.

### 3.2.2 ESPECIFICACIONES

**Tabla 1**

Especificaciones Técnicas Básicas Escáner PICZA LPX-60

<b>DIMENSIONES DE LA MESA</b>	<b>DIÁMETRO 203mm</b>
<b>SUPERFICIE MAXIMA DE ESCANEADO</b>	DIÁMETRO: 203mm ALTURA: 300mm
<b>PASO DE EXPLORACIÓN</b>	Escaneo Rotary; circunferencia de 0.18 a 3.6 °), en dirección a la altura de 0.2 a 300 mm.
<b>REPETIBILIDAD</b>	+/- 0,05mm
<b>TABLA DE PESO MAXIMO DE CARGA</b>	5Kg
<b>LASER</b>	LONGITUD DE ONDA: 645 A 660 nm SALIDA MÁXIMA: 0.39mW
<b>METODO DE DIGITALIZACIÓN</b>	SPOT-HAZ DE TRIANGULACIÓN
<b>CONSUMO DE ENERGÍA</b>	ADAPTADOR AC (DC 19V, 2.1A)
<b>TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO</b>	10 A 40 °C
<b>HUMEDAD DE FUNCIONAMIENTO</b>	35 A 80 % (SIN CONDENSACIÓN)
<b>RECOMENDACIÓN</b>	TARJETA DE VIDEO

Fuente: rolanddg.com

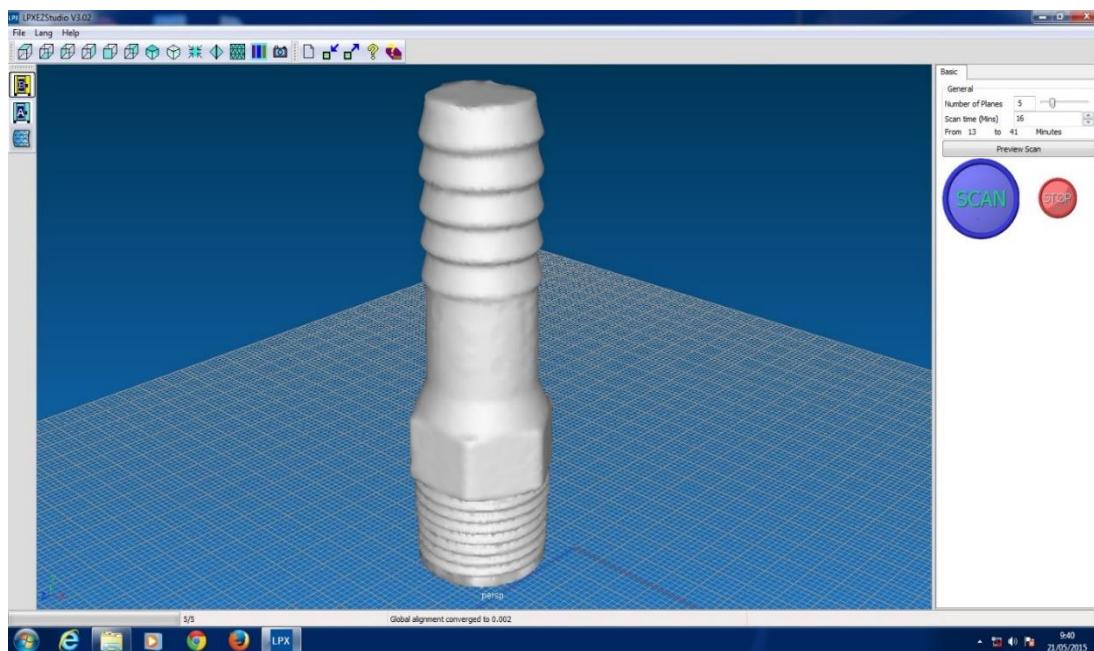


### 3.2.3 SOFTWARE INCLUIDO

El Roland LPX EZ-Studio facilita al usuario el trabajo por escaneo. Este de forma automática escanea, alinea, une planos, llena agujeros y limpia los modelos 3D. Exporta archivos a diferentes formatos: STL, PIX y 3DM, incluyendo nube de puntos (Roland INC., 2007).

La nube de puntos se procesa directamente en un programa de edición de nube de puntos (Geomagic, Meshlab, etc) o a su vez un software de CAD. Los archivos STL son utilizadas por los sistemas más populares de la industria de prototipado rápido, incluidos los fabricados por Roland (Roland INC., 2007).

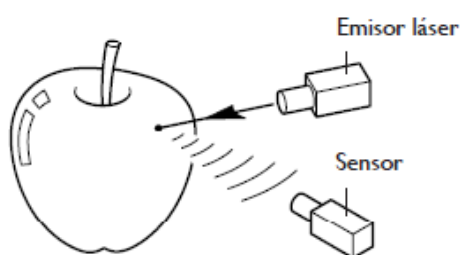
El LPX-60 trae de fábrica además el software de escaneo Dr. PICZA3, el cual permite a los usuarios escanear un objeto en su totalidad o un área específica. El software también puede exportar en poli-línea o nubes de puntos como un archivo 3D CAD



**Figura 16:** Objeto industrial escaneado como Prueba.

### 3.2.4 SISTEMA DE EXPLORACIÓN

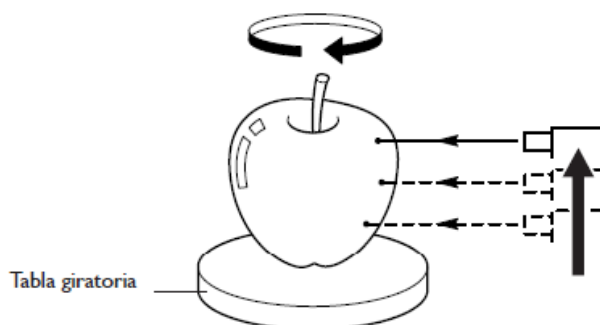
El scanner explora los objetos por medio de una luz láser. Emite un impulso eléctrico en un punto del objeto explorado y detecta el objeto por medio de sensores ver Figura 17 (C. Teutsch, 2007).



**Figura 17:** Exploración de un objeto cumpliendo con triangulación.

**Fuente:** (C. Teutsch, 2007)

Se realiza la exploración mientras el objeto gira y se da la emisión del láser, siendo ésta vertical desde la parte inferior hacia la parte superior ver Figura 18.



**Figura 18:** Sentido de la exploración.

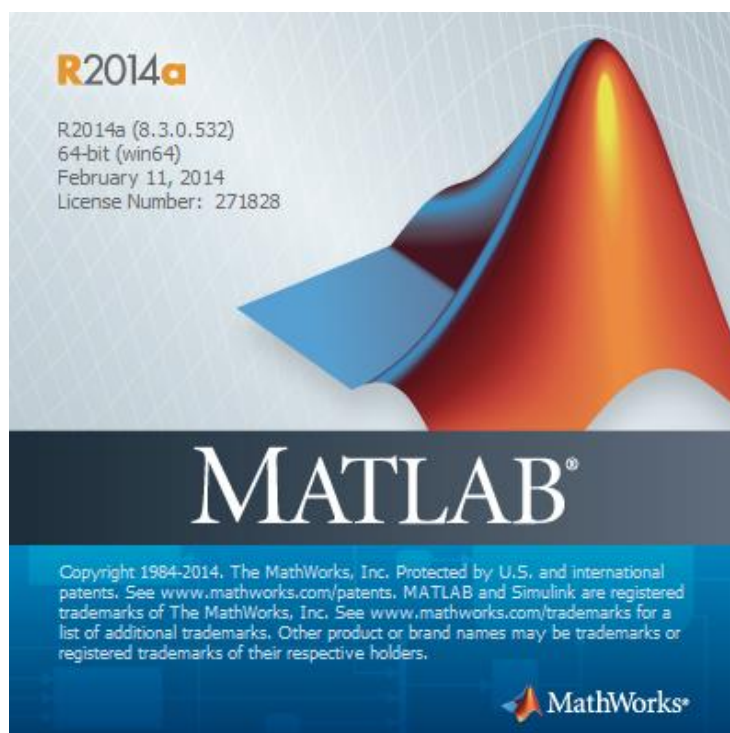
**Fuente:** (C. Teutsch, 2007)

El tiempo de digitalización de estos puntos depende de los parámetros de escaneado como de la forma del objeto sin embargo para obtener una nube de puntos con una resolución buena, necesitamos aproximadamente 30 min de exploración.

### 3.3 PROGRAMACION BÁSICA EN MATLAB

#### 3.3.1 ENTORNO Y USO DE MATLAB

Matlab es una herramienta informática que sirve para realizar cálculos matemáticos permite crear gráficos de diferentes tipos y representa una gran ayuda al momento de trabajar con números complejos, matrices, funciones trigonométricas, etc. Desde sus principios trae consigo una característica muy interesante que es la de programar es decir que es posible crear archivos que contengan las operaciones que deseen realizar (Mathworks, 2013).



**Figura 19:** Logo característico de MATLAB.

**Fuente:** (Mathworks, 2013)

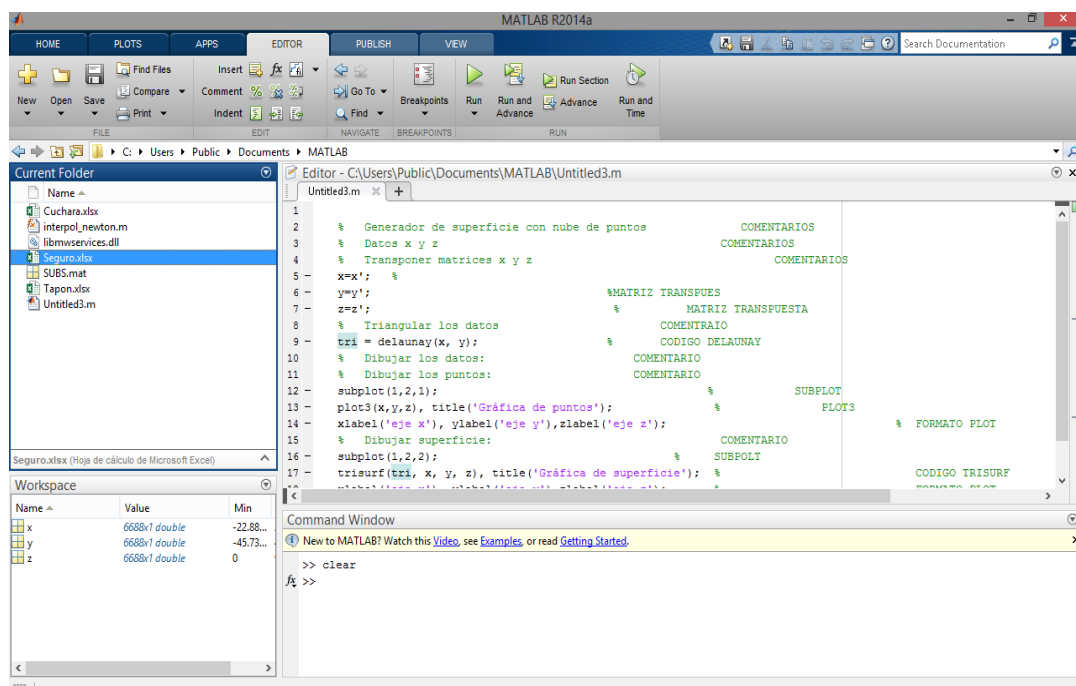
La programación se la realiza mediante un lenguaje parecido a BASIC o C esto permite que el programador pueda agrupar sentencias que utiliza frecuentemente

dentro de un programa que puede ser utilizada posteriormente. De este modo se ahorra tiempo y esfuerzo en sucesivas sesiones (Mathworks, 2013).

No obstante no todas son ventajas MATLAB no fue concebido como lenguaje de programación por lo que tiene falta de elementos o características necesarias para una buena programación

Se maneja en su mayor parte escribiendo sentencias dentro de una ventana denominada de “ordenes” dichas ordenes se escriben línea a línea.

**Figura 3.6**



**Figura 20:** Interfaz de MATLAB.

### 3.3.2 ETAPAS PARA LA SOLUCION DEL ALGORITMO

Con el propósito de entender la matemática detrás de la reconstrucción se genera un pequeño y básico programa en Matlab que permite únicamente generar y visualizar una aproximación del objeto escaneado mediante el proceso de triangulación de datos.

Para lo consiguiente se plantean los siguientes pasos a seguir:

- Análisis del problema
- Diseño y desarrollo del algoritmo.
- El algoritmo debe seguirse paso a paso verificando que se realicen todas las instrucciones necesarias para alcanzar el objetivo.
- Compilación.
- Depuración (debug). Proceso de detección y eliminación de los errores de programación.
- Evaluación de resultados. Se ejecuta el programa utilizando datos de entrada y resultados conocidos para verificar que se esté ejecutando adecuadamente.

### 3.3.3 DESCRIPCION LINEA A LINEA DEL CODIGO EN MATLAB

%	Generador de superficie con nube de puntos	COMENTARIOS
%	Datos x y z	COMENTARIOS
%	Transponer matrices x y z	COMENTARIOS
x=x';		MATRIZ TRANSPUESTA
y=y';		MATRIZ TRANSPUESTA
z=z';		MATRIZ TRANSPUESTA
%	Triangular los datos	COMENTARIO
tri = delaunay(x, y);		CODIGO DELAUNAY
%	Dibujar los datos:	COMENTARIO
%	Dibujar los puntos:	COMENTARIO
subplot(1,2,1);		SUBPLOT

plot3(x,y,z), title('Gráfica de puntos');	PLOT3
xlabel('eje x'), ylabel('eje y'),zlabel('eje z');	FORMATO PLOT
% Dibujar superficie:	COMENTARIO
subplot(1,2,2);	SUBPOLT
trisurf(tri, x, y, z), title('Gráfica de superficie');	CODIGO TRISURF
xlabel('eje x'), ylabel('eje y'),zlabel('eje z');	FORMATO PLOT
% Fin	COMENTARIO FINAL

### 3.3.4 EJECUCION DE LA PROGRAMACIÓN

#### 3.3.4.1 Transponer Matrices

$x = x'$  ;

Se dice que:

$x = \text{transpuesta}(x')$  [1].

#### DESCRIPCIÓN

Entrega la transpuesta no conjugada de  $x'$ , es decir, se intercambia la fila y columna para cada elemento. Si  $x'$  contiene elementos complejos, la transpuesta no afecta las partes imaginarias (Mathworks, 2013).

#### 3.3.4.2 Triangular Datos

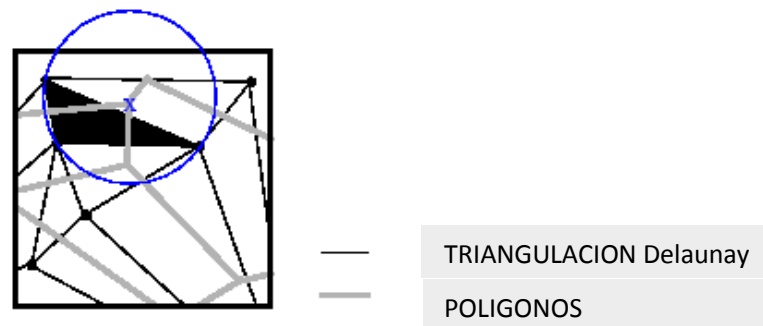
Tres tipos de Sintaxis podemos encontrar en esta sentencia del código:

TRI = delaunay (X, Y)

`TRI = delaunay (X, Y, Z)`

`TRI = delaunay (X)`

Para que se cumpla la condición Delaunay la circunferencia circunscrita de un triángulo no debe contener vértices de otro triángulo de esta manera lo que el código hace es desechar esos puntos y únicamente triangula con los puntos que cumplan la condición ver Figura 21 (Mathworks, 2013).



**Figura 21:** Triangulación de datos.

Fuente: Help MATLAB

Este algoritmo hace su función a partir de un conjunto de puntos el cual inspecciona si un vértice está dentro de una circunferencia circunscrita o no (Mathworks, 2013).

Existen diferentes maneras de computar el circuncentro y la circunferencia circunscrita para después examinar si el vértice está dentro del círculo, pero hay un método más simple y eficiente que usa el determinante de una matriz (Mathworks, 2013).

El punto D está fuera de su circunferencia circunscrita si:

$$\begin{vmatrix} A_x & A_y & A_x^2 + A_y^2 & 1 \\ B_x & B_y & B_x^2 + B_y^2 & 1 \\ C_x & C_y & C_x^2 + C_y^2 & 1 \\ D_x & D_y & D_x^2 + D_y^2 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{vmatrix} A_x - D_x & A_y - D_y & (A_x - D_x)^2 - (A_y - D_y)^2 \\ B_x - D_x & B_y - D_y & (B_x - D_x)^2 - (B_y - D_y)^2 \\ C_x - D_x & C_y - D_y & (C_x - D_x)^2 - (C_y - D_y)^2 \end{vmatrix} \leq 0$$

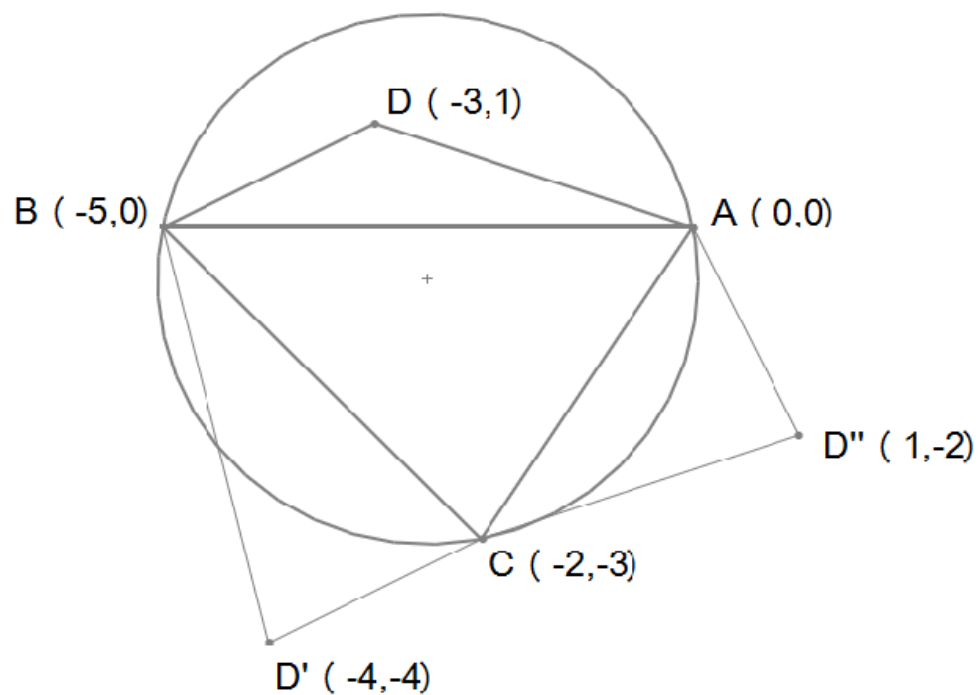
**Fuente:** Help Matlab

Es decir:

Si el determinante de la matriz es mayor que cero (0) el punto se encuentra dentro del circuncentro entonces desecha dicho punto.

Si el determinante de la matriz es menor que cero (0) e incluso cero (0) el punto se encuentra fuera del circuncentro entonces realiza una nueva triangulación.

Ejemplificando ver Figura 22:



**Figura 22:** Puntos aleatorios para verificar si cumplen o no con el código.



Para D:

$$\begin{vmatrix} A_x - D_x & A_y - D_y & (A_x - D_x)^2 - (A_y - D_y)^2 \\ B_x - D_x & B_y - D_y & (B_x - D_x)^2 - (B_y - D_y)^2 \\ C_x - D_x & C_y - D_y & (C_x - D_x)^2 - (C_y - D_y)^2 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 3 & -1 & -1 \\ -2 & -1 & 3 \\ 1 & -4 & -15 \end{vmatrix} \\ \rightarrow \text{Det. (+)99}$$

Es decir el vértice se encuentra dentro del circuncentro por lo tanto el algoritmo limita a tomarlo para una nueva triangulación.

Para D':

$$\begin{vmatrix} A_x - D_x & A_y - D_y & (A_x - D_x)^2 - (A_y - D_y)^2 \\ B_x - D_x & B_y - D_y & (B_x - D_x)^2 - (B_y - D_y)^2 \\ C_x - D_x & C_y - D_y & (C_x - D_x)^2 - (C_y - D_y)^2 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 4 & 4 & 0 \\ -1 & 4 & -15 \\ 2 & 1 & 3 \end{vmatrix} \rightarrow \text{Det. 0}$$

Es decir el vértice se encuentra fuera del circuncentro por lo tanto el algoritmo permite tomarlo para una nueva triangulación.

Para D'':

$$\begin{vmatrix} A_x - D_x & A_y - D_y & (A_x - D_x)^2 - (A_y - D_y)^2 \\ B_x - D_x & B_y - D_y & (B_x - D_x)^2 - (B_y - D_y)^2 \\ C_x - D_x & C_y - D_y & (C_x - D_x)^2 - (C_y - D_y)^2 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} -1 & 2 & -3 \\ -6 & 2 & 32 \\ -3 & -1 & 8 \end{vmatrix} \\ \rightarrow \text{Det. (-)180}$$

Es decir el vértice se encuentra fuera del circuncentro por lo tanto el algoritmo permite tomarlo para una nueva triangulación.

## DESCRIPCIÓN

**TRI = delaunay (X, Y)** crea un objeto 2-D. Triangula los puntos (X, Y), donde X y Y son columna-vectores. TRI es una matriz que representa el conjunto de triángulos que componen la triangulación (Mathworks, 2013).

Cada fila TRI especifica un triángulo definido por los índices con respecto a los puntos (Mathworks, 2013).

**TRI = delaunay (X, Y, Z)** crea una triangulación 3-D. Los puntos (X, Y, Z), son de columna-vectores. TRI es una matriz que representa el conjunto de tetraedros que compensa la triangulación (Mathworks, 2013).

Cada fila de TRI especifica un tetraedro definido por los índices con respecto a los puntos (Mathworks, 2013).

**TRI = delaunay (X)** crea una triangulación 2-D o 3-D. Las coordenadas del punto X. Esta variante es compatible con la definición de puntos en formato de matriz (Mathworks, 2013).

Delaunay produce una triangulación aislada, útil para aplicaciones como el trazado de las superficies a través de la función “trisurf” (Mathworks, 2013).

### 3.3.4.3 Grafica De Datos

Sintaxis del comando “Subplot”

subplot (m, n, p)

subplot (m, n, p, 'reemplazar')

subplot (m, n, p, 'align')

subplot ('Posición', positionVector)

### DESCRIPCIÓN

**subplot (m, n, p)** Cambia la cifra actual en m -por- n y crea ejes para una trama secundaria en la posición especificada por MATLAB ® los números de sus

subparcelas por fila, de tal manera que la primera trama secundaria es la primera columna de la primera fila, la segunda trama secundaria es la segunda columna de la primera fila, y así sucesivamente (Mathworks, 2013).

Si los ejes ya existen, entonces el comando subplot (m, n, p) hace que la trama secundaria deje en la posición “p” los ejes actuales (Mathworks, 2013).

**subplot (m, n, p, 'reemplazar')** elimina los ejes existentes en la posición p y crea unos nuevos ejes (Mathworks, 2013).

**subplot (m, n, p, 'align')** crea unos nuevos ejes de modo que las cajas de la trama están alineadas. Este es el comportamiento predeterminado (Mathworks, 2013).

**subplot ('Posición', positionVector)** crea nuevos ejes en la posición especificada por positionVector. El positionVector es un vector de cuatro elementos de la forma [izquierda, abajo, anchura, altura], de manera que las entradas son valores normalizados entre 0,0 a 1,0 (Mathworks, 2013).

Si el vector de posición especificada a un eje, no se superpone a los ejes anteriores, a continuación, los nuevos ejes sustituyen a los ya existentes (Mathworks, 2013).

#### **3.3.4.4 Grafica De Puntos**

Sintaxis del commando “Plot3”

plot3 (X1,Y1,Z1,...) (Mathworks, 2013).

### **DESCRIPCIÓN**

El comando “Plot3” muestra un diagrama tridimensional de un conjunto de una nube de puntos (Mathworks, 2013).

Plot3 (X1, Y1, Z1, ...), donde X1, Y1, Z1 son vectores o matrices, diagramas de una o más líneas en el espacio tridimensional a través de los puntos cuyas coordenadas son los elementos de X1, Y1 y Z1 (Mathworks, 2013).

#### **3.3.4.5 Salida Del Comando “Delaunay”**

A continuación se detalla las funciones que pos procesan la triangulación generada por el comando Delaunay obteniendo multiples superficies, que dan forma al objeto escaneado:

#### **TRISURF**

Muestra cada triángulo definido en la matriz como una superficie en el espacio 3-D. Para ver una superficie de 2-D, puede proporcionar un vector con algún valor constante de la tercera dimensión (Mathworks, 2013).

Por ejemplo

```
trisurf (TRI, x, y, ceros (tamaño (x)))
```

#### **TRIMESH**

Muestra cada triángulo definido en la matriz como una malla en el espacio 3-D. Para ver una superficie de 2-D, puede proporcionar un vector con un valor constante en la tercera dimensión (Mathworks, 2013).

Por ejemplo,

```
trimesh (TRI, x, y, ceros (tamaño (x)))
```

Produce casi el mismo resultado que triespacial, excepto en el espacio 3-D.

## TETRAMESH

Es una triangulación compuesta de tetraedros

Sintaxis para el comando trisurf:

`trisurf (Tri, X, Y, Z, C)`

`trisurf (Tri, X, Y, Z)` (Mathworks, 2013).

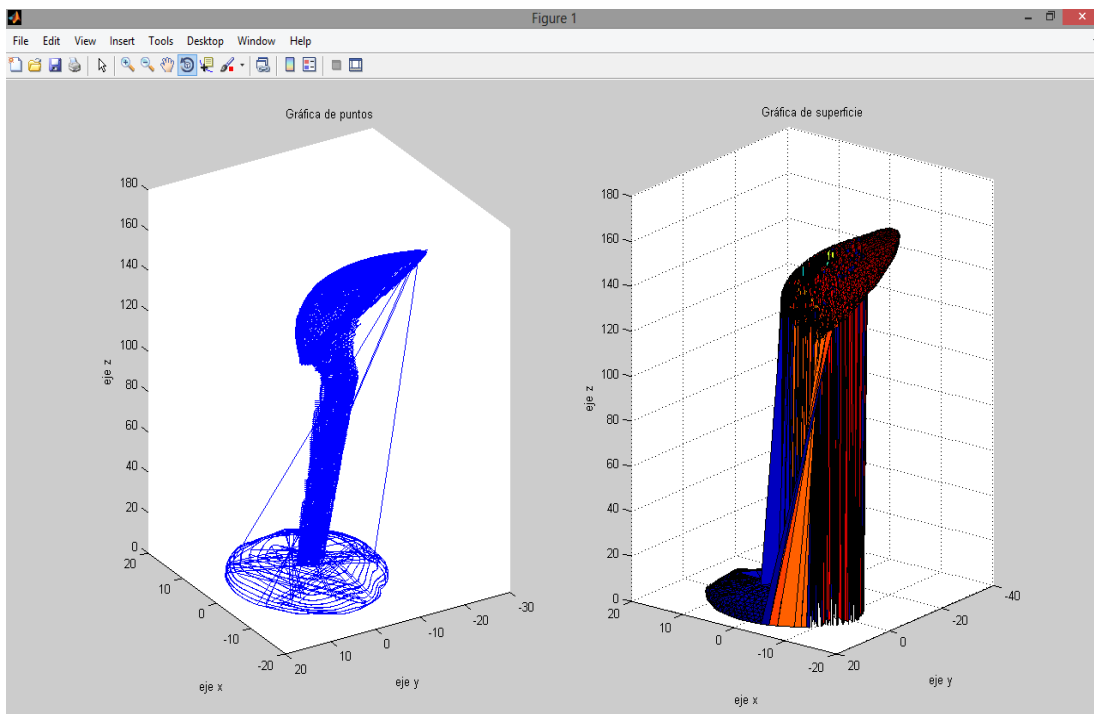
## DESCRIPCIÓN

**trisurf (Tri, X, Y, Z, C)** muestra triángulos definidos como una superficie. Cada fila de Tri define una única cara triangular mediante la indexación en los vectores o matrices que contienen X, Y, y Z. El color se define por el vector C (Mathworks, 2013).

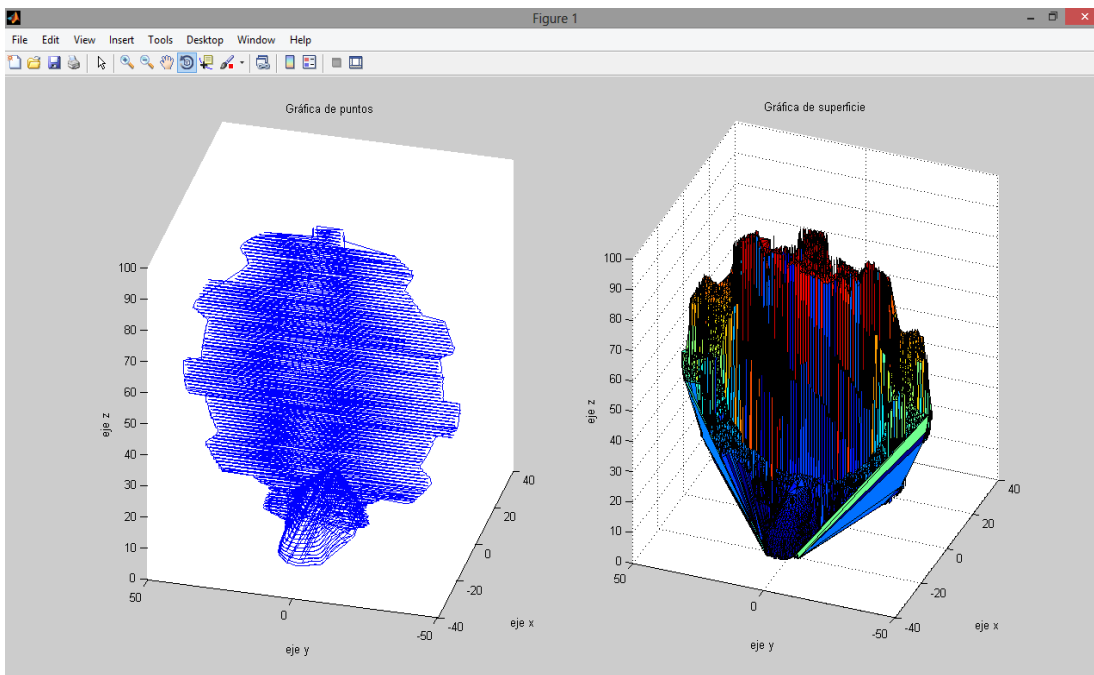
**trisurf (Tri, X, Y, Z)** utiliza  $C = Z$  así que el color es proporcional a la altura de la superficie (Mathworks, 2013).

Ésto constituye el ultimo paso de la programación desarrollada en Matlab.

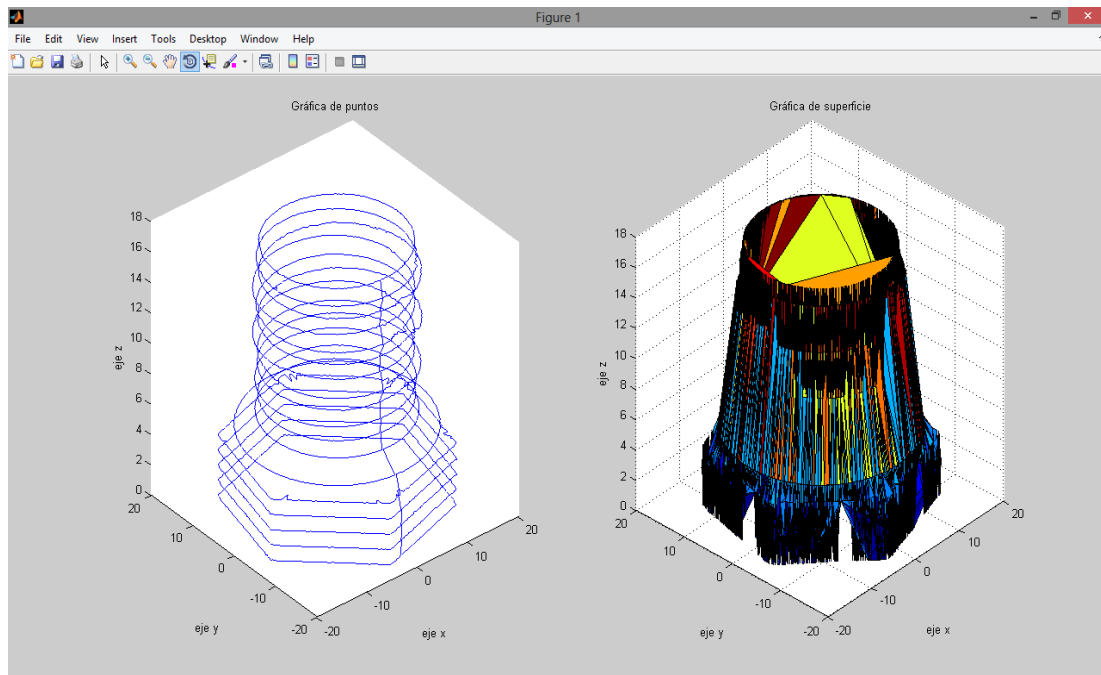
### 3.4 RESULTADOS



**Figura 23: Resultado**



**Figura 24: Resultado.**



**Figura 25:** Resultado.

### 3.5 ANALISIS

El algoritmo planteado nos permite únicamente visualizar y llegar a una aproximación del objeto escaneado mediante el proceso de triangulación de datos, cabe destacar el entendimiento de la matemática básica que utiliza este proceso para triangular los puntos y así llegar a la visualización del objeto.

## **CAPÍTULO 4**

### **POST-PROCESADO DE LA NUBE DE PUNTOS GENERADA POR EL ESCANEER**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el desarrollo del presente capítulo se da cumplimiento a uno de los objetivos del proyecto, el cual comprende investigar un proceso novedoso y sobre todo útil para llegar a un buen procesado de los datos generados por el escáner 3D

#### **4.2 NUBE DE PUNTOS**

Es un conjunto de puntos los cuales se identifican en coordenadas x y z, dichos puntos identificados con sus respectivas coordenadas son proporcionados por un scanner laser tridimensional, la aplicación principal es el desarrollo de modelos tridimensionales en CAD de piezas ya fabricadas es decir es de suma utilidad para realizar ingeniería inversa (S. Rusinkiewicz, M. Levoy, 2000).

#### **4.3 SOFTWARE PARA EL TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS (MESH LAB)**

MeshLab es un software de código abierto para el procesamiento de mallas 3D utilizado en áreas técnicas de desarrollo 3D y manejo de datos. MeshLab ha sido desarrollado por el centro de investigación ISTI-CNR; inicialmente, MeshLab fue creado como un trabajo de curso en la Universidad de Pisa a finales de 2005. Es un



sistema desarrollado para la transformación de modelos 3D no estructurado que se presentan en la digitalización en 3D. Además cumple propósitos para procesamiento de grandes mallas no estructuradas proporcionando un conjunto de herramientas para la edición, limpieza, reparación, inspección (Cignoni, 2009).

Filtro para limpieza de malla:

- Eliminación de duplicados, vértices, caras sin referencia
- Eliminación de componentes pequeños aislados
- Unificación normal
- Borrado de caras
- Llenado automático de agujeros

Filtro para Remallado:

- Reconstrucción de la superficie de puntos
- La subdivisión de superficies
- Característica de la preservación de alisado y filtros carenado
- Llenado de agujeros

Las herramientas de remallado se basan en la medida del error cuadrático medio, superficies de subdivisión y algoritmos de reconstrucción de la superficie de las nubes de puntos en función de la técnica “ball-pivoting” y en el enfoque de reconstrucción de la superficie de Poisson (Meshlab, s.f.).

Filtro de coloreado e Inspección

- Gaussiana y curvatura media
- Bordes fronterizos
- Auto intersección de caras
- Oclusión ambiental

Herramienta de medición.

- Tomar medidas lineales entre los puntos de las mallas.

Para la eliminación de ruido, posee varios tipos de filtros de suavizado y herramientas para el análisis y visualización de la curvatura. Incluye una herramienta para el registro de los mapas de distribución múltiples basados en el punto más cercano usando un algoritmo iterativo (Meshlab, s.f.).

MeshLab está disponible para la mayoría de plataformas, incluyendo Windows, Linux, Mac OS X, y con una funcionalidad reducida para iOS y Android (Meshlab, s.f.).

#### **4.3.1 IMPORTACION DE DATOS**

La Importación permite hacer uso de datos de fuentes externas las cuales proporcionan su información en diferentes extensiones las que Meshlab soporta son las siguientes:

- Importación: **CAPA, STL, OFF, OBJ, 3DS, Collada, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, el TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN** (Meshlab, s.f.)

### **4.3.2 LIMPIEZA DE DATOS**

Meshlab cuenta con la herramienta “Select Vertexes” la cual permite seleccionar los datos erróneos, inexactos presentes en una nube de puntos para posteriormente ser eliminados.

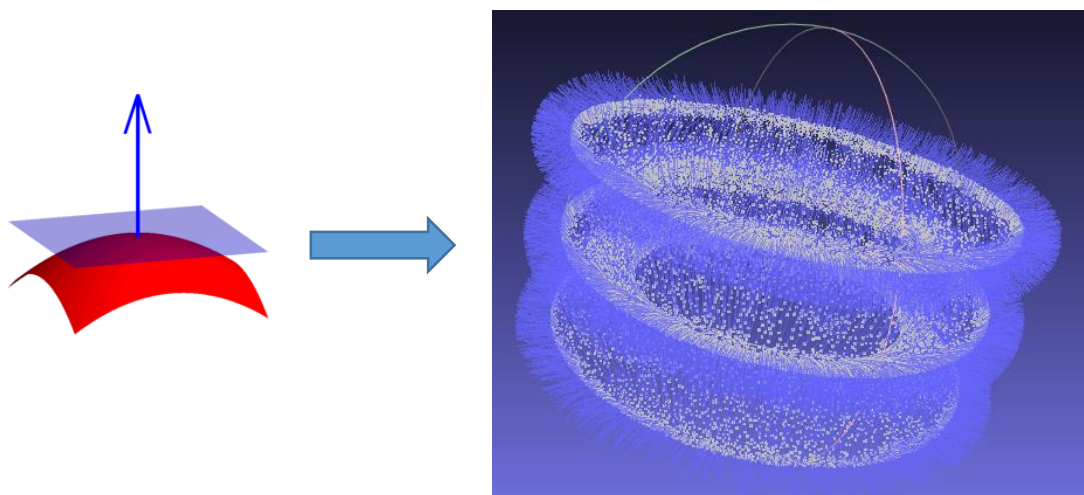
La calidad de datos debe cumplir algunos parámetros:

- Exactitud: Los datos deben cumplir los requisitos de integridad, consistencia y densidad.
- Entereza: Corrección de datos que contienen errores.
- Uniformidad: Irregularidades presentes.
- Densidad: Parámetro regulado por la cantidad de planos de escaneo.

### **4.3.3 CALCULO DE NORMALES (COMPUTE NORMALS FOR POINT SETS)**

Esta herramienta calcula las normales en cada elemento de una región de puntos sin la necesidad de explorar triangulación entre estos. Razón por la cual es de suma utilidad para objetos tridimensionales sin información de caras (Studylib, 2002).

El algoritmo básicamente identifica los planos tangentes para aproximar localmente la superficie y estimar así los vectores normales Figura 26. Así mismo calcula el centro geométrico del plano tangente en el punto obteniéndose del promedio de los puntos más cercanos en la región (Studylib, 2002).



**Figura 26:** Normal localizada de plano tangente a una superficie aproximada.

**Fuente:** (Studylib, 2002)

#### 4.3.4 UNIÓN DE NUBES DE PUNTOS (ALIGN)

En muchas ocasiones debido a la geometría del objeto y al tipo de scanner, se presentan nubes de puntos incompletas, Meshlab proporciona esta herramienta la cual permite importar diferentes archivos escaneados en diferente posición para que se compensen las características faltantes de un archivo en otro (HORUS, 2015).

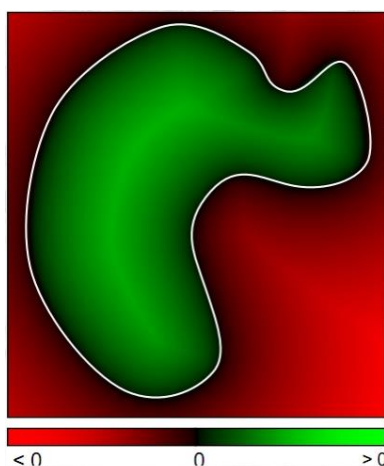
#### 4.3.5 RECONSTRUCCION DE SUPERFICIES MEDIANTE POISSON

La reconstrucción de Poisson combina características simples para elegir puntos vecinos además se adapta a zonas locales con características propias evitando

así perder detalles, se crea una jerarquía simple que deriva en un sistema lineal disperso (Valenzuela, 2012).

La idea básica del algoritmo es determinar una función que evalúe como 1 (uno) los puntos que se encuentren dentro de la superficie y como 0 (cero) los de fuera, eliminando estos últimos ver Figura 27 (Valenzuela, 2012).

Los datos de entrada son cada uno de los puntos  $x_i$  de la nube  $X$  y los vectores normales  $n_i$  asociados, los cuales forman el campo vectorial  $\vec{N}$  (Valenzuela, 2012).



**Figura 27:** Normal localiza de plano tangente.

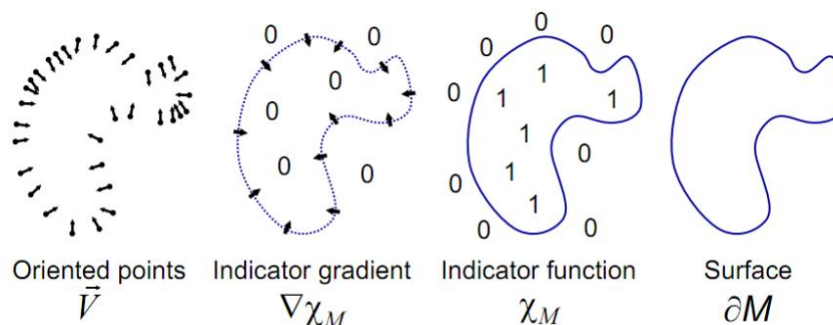
**Fuente:** (dccia.ua.es, 2012)

La idea principal es que existe una relación entre los puntos de la nube orientados y la función implícita del modelo. Concretamente, el gradiente de la función es un campo vectorial  $\vec{V}$ , que es 0 en casi todas partes excepto en los puntos cercanos a la superficie. De esta manera los puntos orientados pueden ser tratados como puntos del gradiente de la función implícita del modelo (Pozuelo-Nuñez, 2013).

El problema de calcular la función implícita se reduce a invertir el operador del gradiente, o lo que es lo mismo, a encontrar la función escalar  $\chi$  cuyo gradiente mejor se aproxime al campo vectorial  $\vec{V}$ , definido por los puntos. Esto quiere decir que  $x_{min} = |\nabla - \vec{V}|$  (Pozuelo-Nuñez, 2013).

Al aplicar el operador de divergencia (operador Laplaciano) el problema se convierte en una ecuación de Poisson:

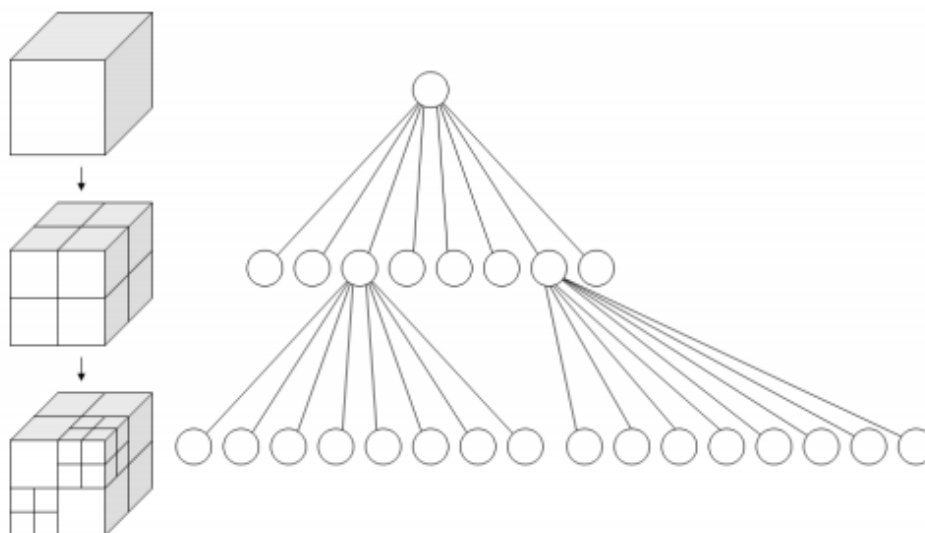
$$\Delta P = \nabla \cdot \nabla_x = \nabla \cdot \vec{V} \quad (\text{Pozuelo-Nuñez, 2013})$$



**Figura 28:** Reconstrucción por Poisson 2D.

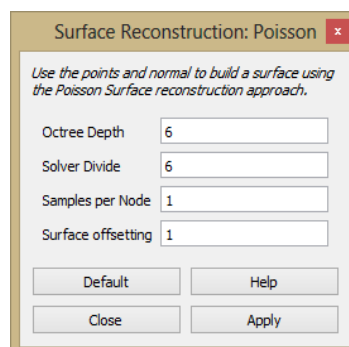
**Fuente:** (Pozuelo-Nuñez, 2013)

Para definir el campo vectorial es necesario primero dividir la superficie en celdas tridimensionales basadas en octrees. Un octree es una estructura de datos en árbol en la que cada nodo tiene 8 octantes o “hijos”, y se representa en forma de celdas 3D; cada nodo es una celda que se subdivide en 8 nuevas celdas. El nivel de profundidad  $Q$  del octree hace referencia al número máximo de veces en que se divide una celda ver Figura 29 (Pozuelo-Nuñez, 2013).



**Figura 29:** Octree de tres nodos y dos niveles de profundidad.

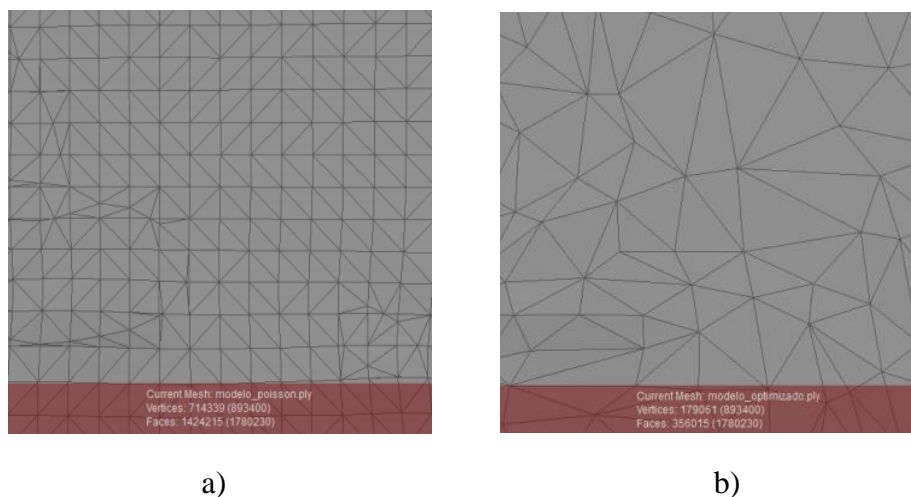
**Fuente:** (Pozuelo-Nuñez, 2013)



**Figura 30:** Datos requeridos en Meshlab para Reconstrucción de Poisson.

En definitiva, la construcción por Poisson genera nuevos vértices con la gran diferencia de adaptarse a nubes de distribuciones aleatorias gracias a la estructura octree (Pozuelo-Nuñez, 2013).

#### 4.3.6 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO



**Figura 31:** Zona del modelo antes a) y después b) de la optimización, donde se observa reducción de vértices y de triángulos

**Fuente:** (Pozuelo-Nuñez, 2013).

Un modelo con un número elevado de triángulos supone una necesidad alta al nivel de software. Existe una manera de reducir el número de triángulos como el

número de vértices que propone Meshlab realizando una optimización incremental. De este modo se consigue la reducción de datos y mejora en cuanto a rendimiento computacional, manteniendo la topología del objeto ver Figura 31 (Pozuelo-Nuñez, 2013).

#### **4.3.7 REDUCCION DEL RUIDO (TAUBIN SMOOTH)**

Cuando se reconstruyen objetos partiendo de una nube de puntos es probable que el resultado no sea preciso y que exista un déficit de información en ciertas áreas del objeto hay que tener en cuenta que en la reconstrucción el algoritmo está diseñado para siempre tender a cerrar caras para obtener superficies cerradas, sin embargo se presentan errores, razón por la cual Meshlab diseño una herramienta para suavizar estos errores (Pozuelo-Nuñez, 2013).

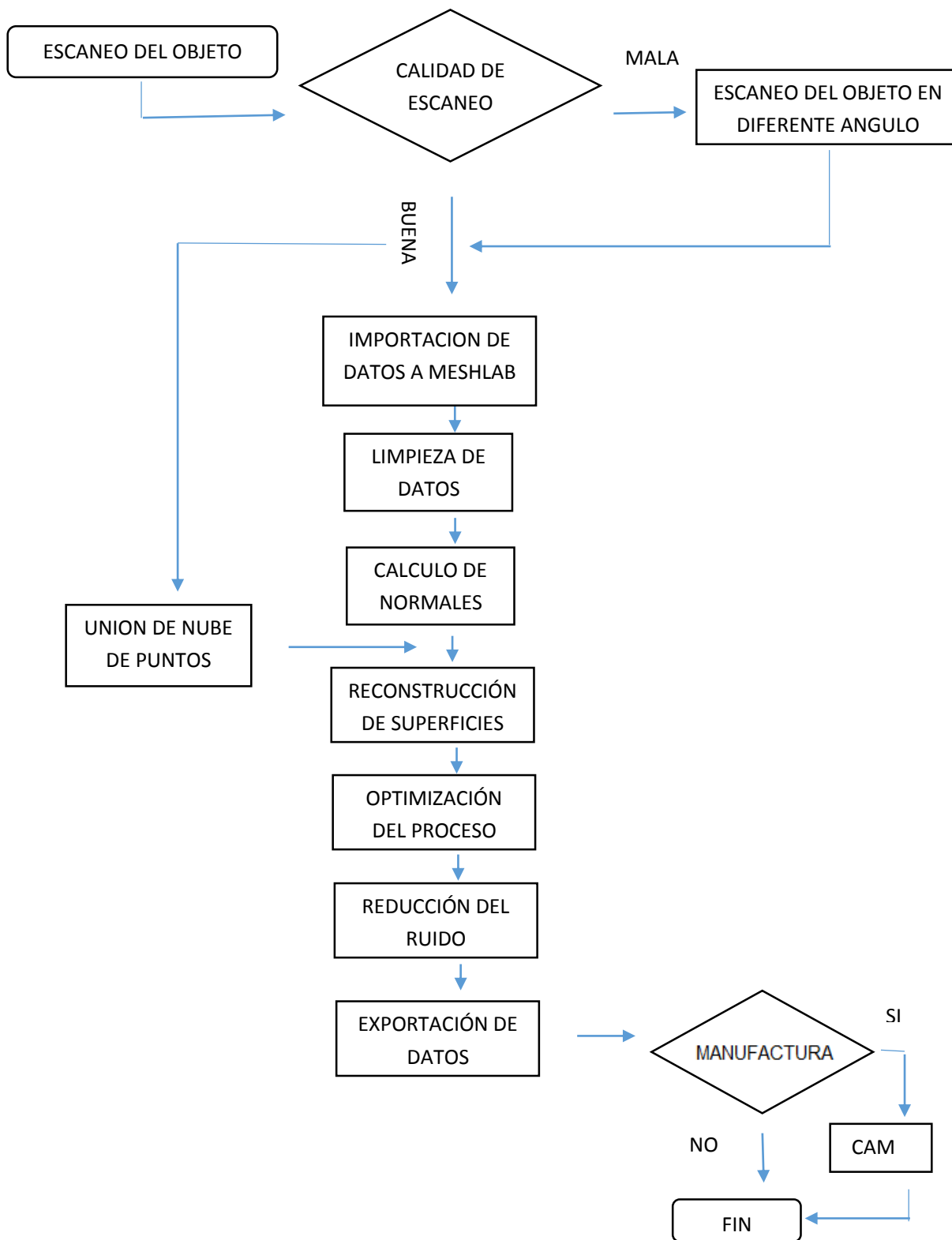
#### **4.3.8 EXPORTACIÓN DE DATOS**

La exportación permite convertir la extensión de entrada en una extensión de salida diferente, dependiendo de los requerimientos y pos procesados que el usuario requiera posteriormente, con las que Meshlab cuenta son las siguientes:

- Exportación: **CAPA, STL, OFF, OBJ, 3DS, Collada, VRML, DXF, GTS, U3D, IDTF, X3D** (Meshlab, s.f.).



#### 4.3.9 DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS PROCESADOS EN MESHLAB

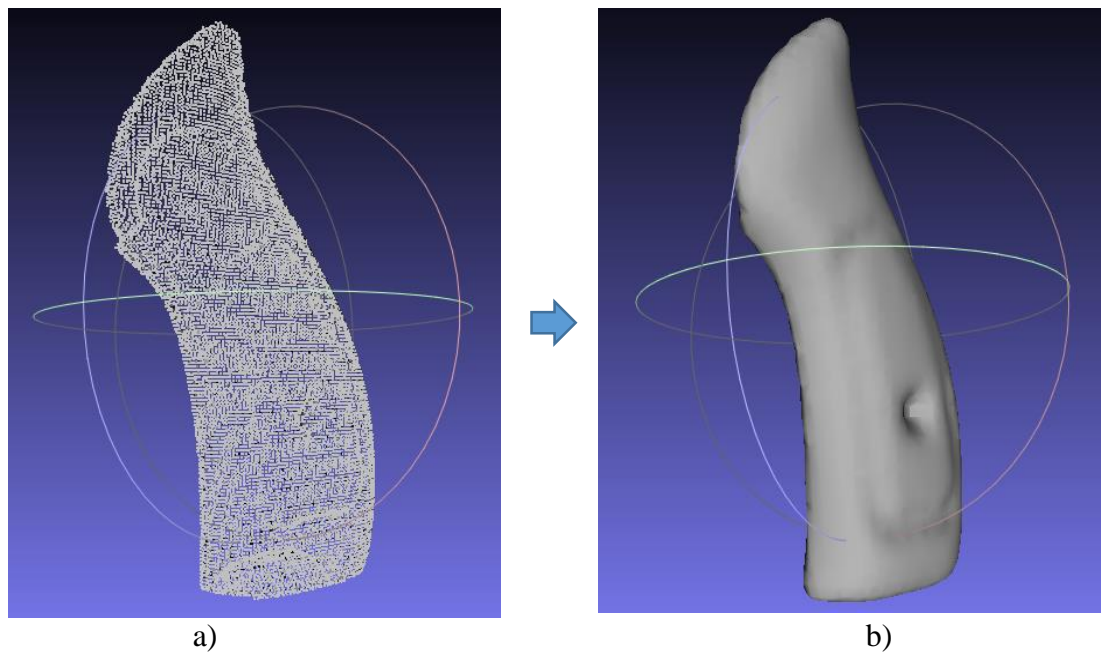


#### **4.3.10 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROGRAMA MESH LAB**

Es importante reconocer la facilidad y buen trabajo que proporciona el software Meshlab para la digitalización y reconstrucción de la nube de puntos, sin embargo, se debe tener en cuenta que se tiene ciertos limitantes según la forma del objeto, en algunos casos después de realizada la reconstrucción se exporta a un formato .stl y queda perfectamente para la manufactura, pero en otros casos no, ya que la reconstrucción omite detalles en las piezas ver Figura 32 b) , más que todo las piezas mecánicas, motivo por el cual en este desarrollo es importante contar con un software de apoyo, ya que Meshlab lo que proporciona son múltiples superficies, haciendo imposible la edición del objeto, si se cuenta con el apoyo de un software CAD, se puede mediante un proceso hacer de estas múltiples superficies un solo objeto, quedando listo para la edición y así poder definir estos detalles con que cuente el objeto, una de estas opciones es utilizar un software como Solidworks, el cual permite la edición de nube de puntos por medio de la herramienta “SCAN TO 3D”, que es un complemento del software.

#### **4.3.11 PERMISOS DEL USO DEL SOFTWARE CAD**

Con el fin de solventar requerimientos insatisfechos con el software libre Meshlab, se presenta la posibilidad de apoyarse en un software CAD, el cual se ha utilizado con una licencia de prueba que fue otorgada por la compañía COMPUENGINE CIA LTDA.



**Figura 32:** a) Digitalización de la nube de puntos, b) Reconstrucción en Meshlab.

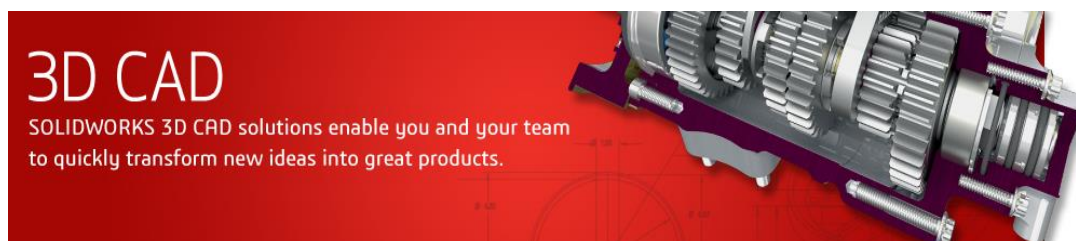
#### **4.4 SOFTWARE CAD PARA EL TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS**

Un sistema de diseño asistido por computador permite básicamente modelar sólidos, es importante las múltiples herramientas y complementos que estos software proporcionan al usuario

##### **4.4.1 SCAN TO 3D**

ScanTo3D es un complemento de Solidworks Figura 33 la cual se centra en la ingeniería inversa, busca acelerar el proceso de diseño de geometrías complejas en 3D

de aplicaciones reales, ahorrando tiempo y costo en el desarrollo, mediante datos escaneados de objetos físicos (Solidworks, s.f.).



**Figura 33:** Herramienta ScanTo3D del software CAD.

**Fuente:** (Solidworks, s.f.)

ScanTo3D se puede acceder directamente desde la interfaz principal. Todas las funciones de ScanTo3D utilizan la ventana común familiar y PropertyManager para guiar paso a paso el proceso de convertir los datos escaneados a un modelo sólido (Solidworks, s.f.).

Mediante esta herramienta se logra importar, analizar, manipular, modificar y por ultimo convertir en un sólido para su posterior procesamiento (Solidworks, s.f.).

Funciones:

- Convierte datos de escaneado 3D a un modelo CAD 3D.
- Crear ya sea una superficie, una malla o un solido
- Utilizar asistentes para la malla, curva, y la superficie
- Refina la nube de puntos importada y luego convierte a 3D como un solo objeto sólido
- Exportar datos escaneados en múltiples formatos: .xyz, .wrl , .stl ,3 ds, .obj

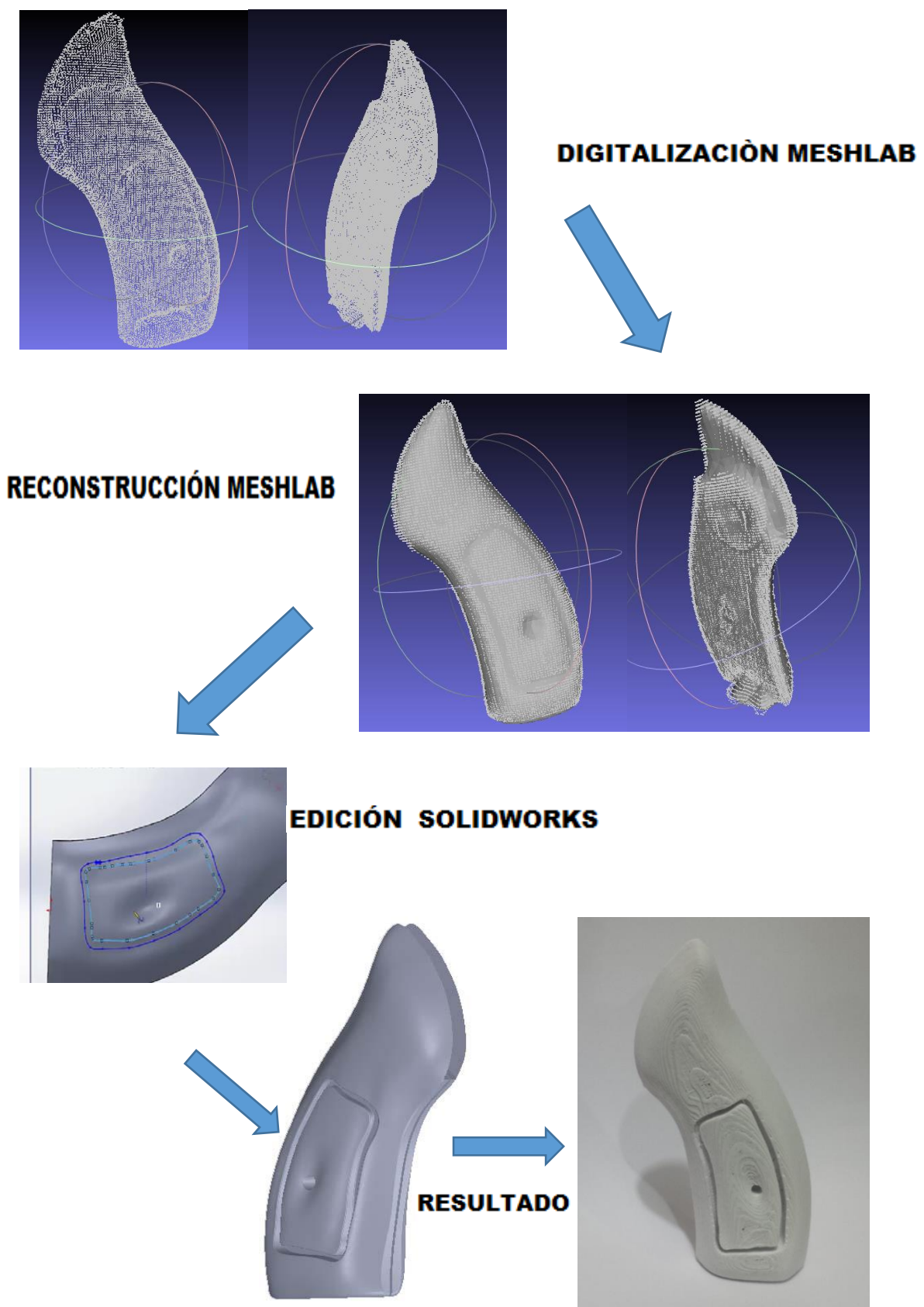
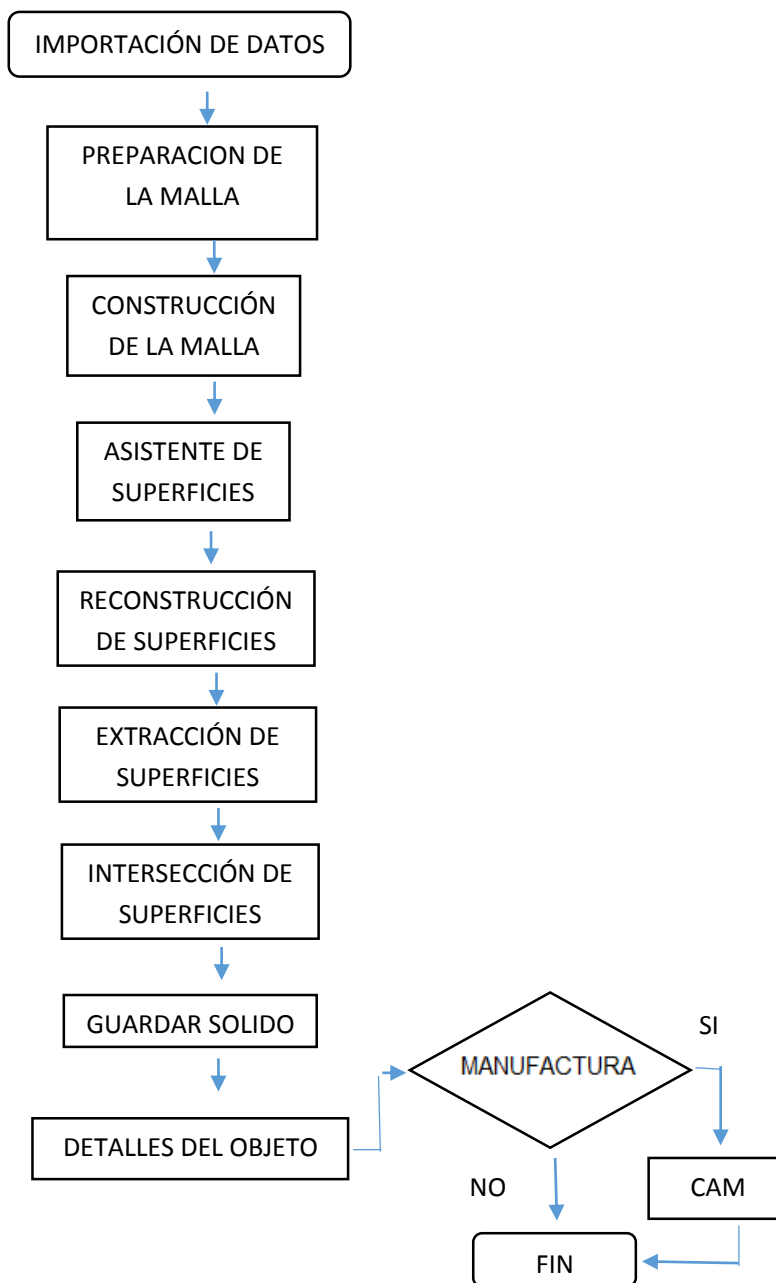


Figura 34: Ingeniería Inversa Mango de Arma de Fuego.

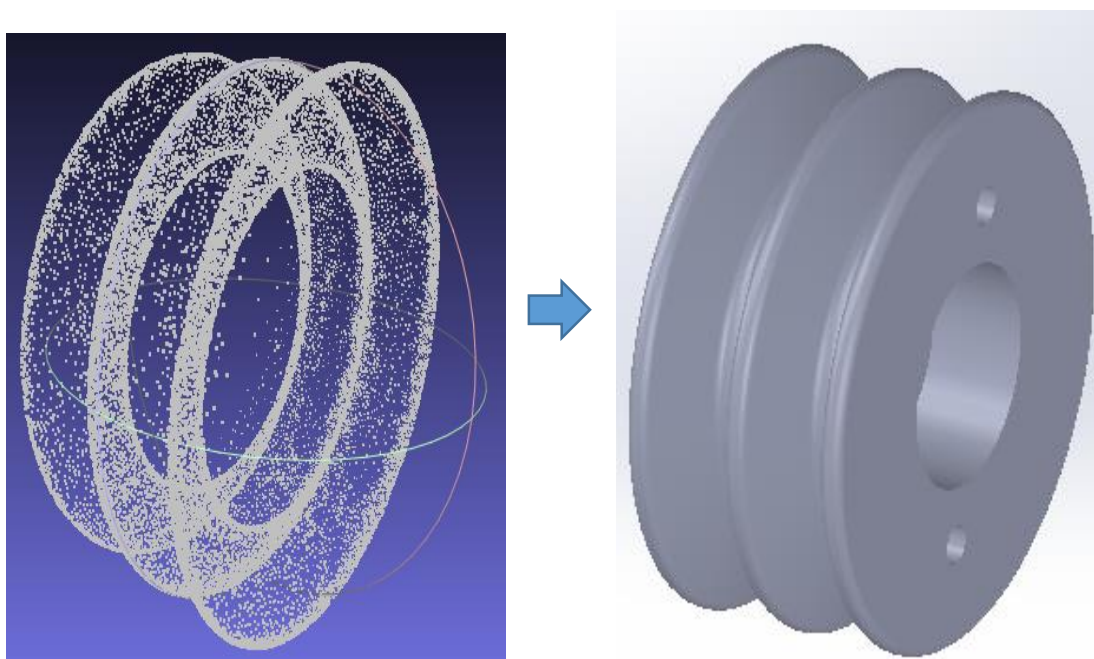
#### 4.4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS PROCESADOS EN SOFTWARE CAD



## 4.5 APLICACIONES

Para el modelado 3D existe una gran cantidad de aplicaciones, lo que ha generado buscar nuevos métodos para que faciliten el proceso además de optimizar, uno de estos métodos es el escaneo 3D, en la actualidad se ha hecho común utilizar esta herramienta debido a la facilidad de manejo de los diferentes software que nos permiten el tratamiento de los datos entregados por el escáner, incluso siendo algunos de forma gratuita.

Se utiliza en diversas industrias como es el cine, animación, juegos electrónicos, diseño de interiores, arquitectura, modelos industriales, medicina, diseño y construcción de modelos mecánicos por medio de CAD/CAM ver ejemplo en la Figura 35.



**Figura 35:** Ingeniería inversa Polea Alternador 1620.



#### 4.5.1 UTILIDADES ADICIONALES

A más de tener una herramienta para la optimización de recursos en el desarrollo de modelos industriales tenemos una aplicación muy útil a la hora del análisis de fluidos en ductos, esto de manera más común en el área automotriz ya que tenemos ductos de tramos cortos.

##### 4.5.1.1 Obtención De La Forma De Los Ductos

Se utiliza espuma de Poliuretano la cual tiene como componentes básicos el piliol e isocianato los cuales al mezclarse, ocasionan una serie de reacciones químicas que conducen a enlaces de uretanos, poliuretanos, en total unas 17 reacciones químicas simultáneas las cuales expanden el material de forma considerable ( Lee-Tsai, 1999).

Se utilizan básicamente como aislamientos térmicos ya que tiene un coeficiente de transferencia térmica de aproximadamente 0,0183 unidades BTU de transferencia de calor ( Lee-Tsai, 1999).

Por otra parte se puede considerar de utilidad para obtener moldes debido a la considerable expansión de material y posterior manipulación ver Figura 36.

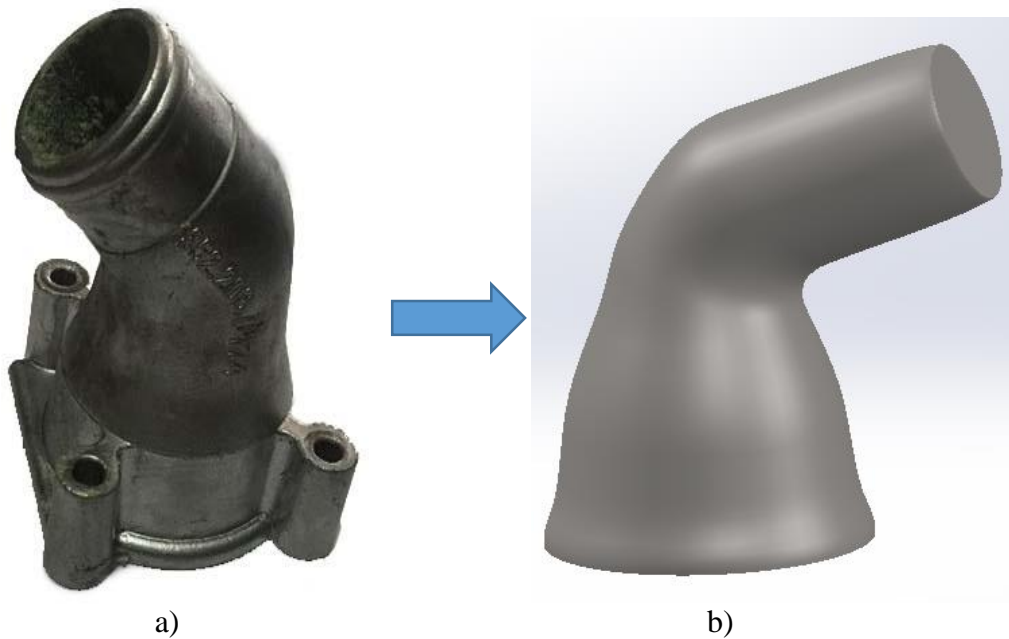


**Figura 36:** Obtención de Forma interna de ducto.



#### 4.5.1.2 Pos procesado De Los Ductos

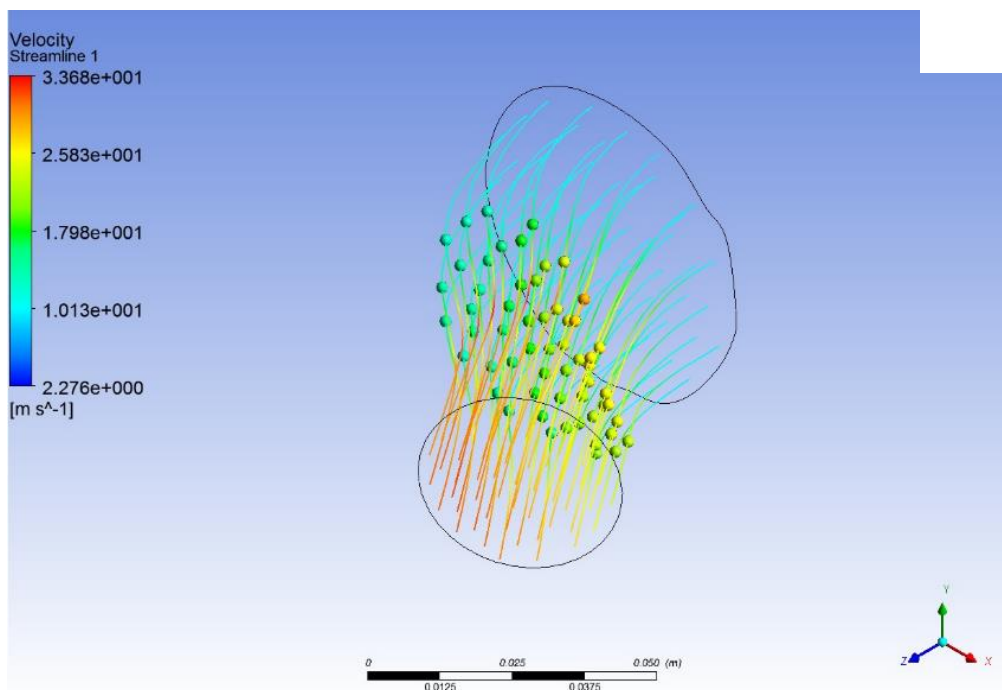
Con el escaneo de la forma interna del ducto procedemos al tratamiento de la nube de puntos para obtener un sólido de esta, para el posterior análisis del fluido.



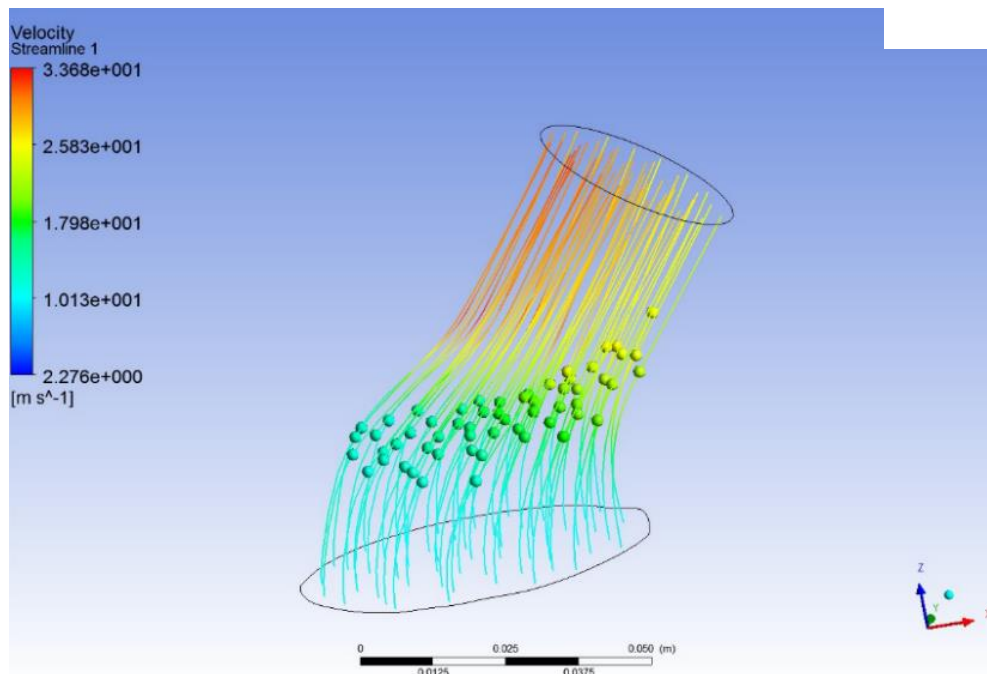
**Figura 37:** a) Tapa Termostato MB 352 b) Forma interna del ducto después del tratamiento con Meshlab y Solidwork

#### 4.5.1.3 Análisis De Fluidos

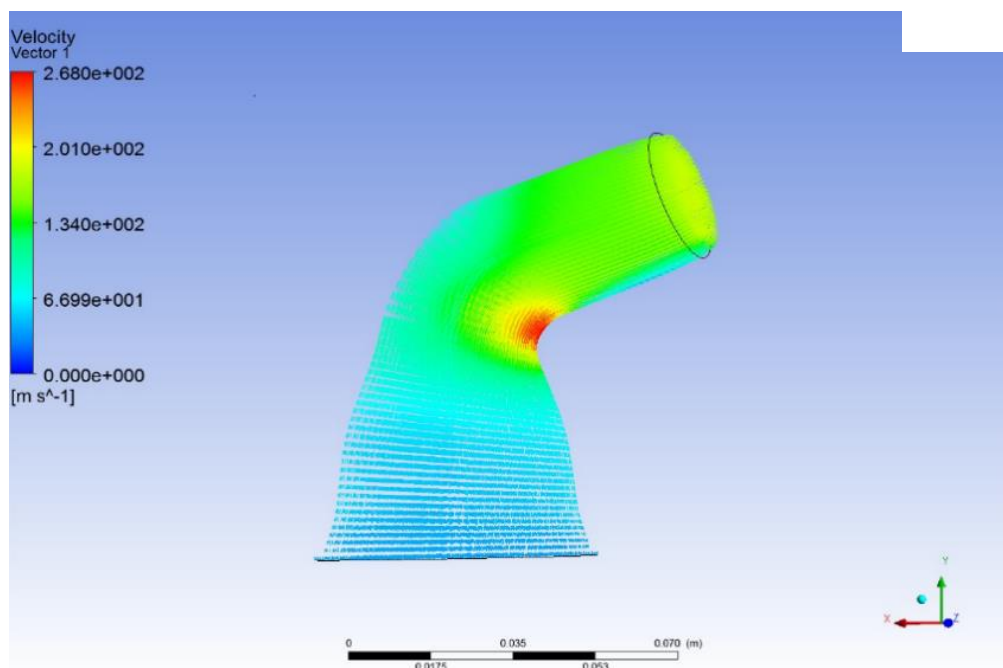
Mediante herramientas computacionales podemos obtener el análisis de fluidos de acuerdo a los requerimientos que el usuario tenga en el presente caso tenemos el análisis de fluido de un respiradero del intercooler para un Mercedes Benz modelo 352 y una tapa de Termostato para el mismo modelo.



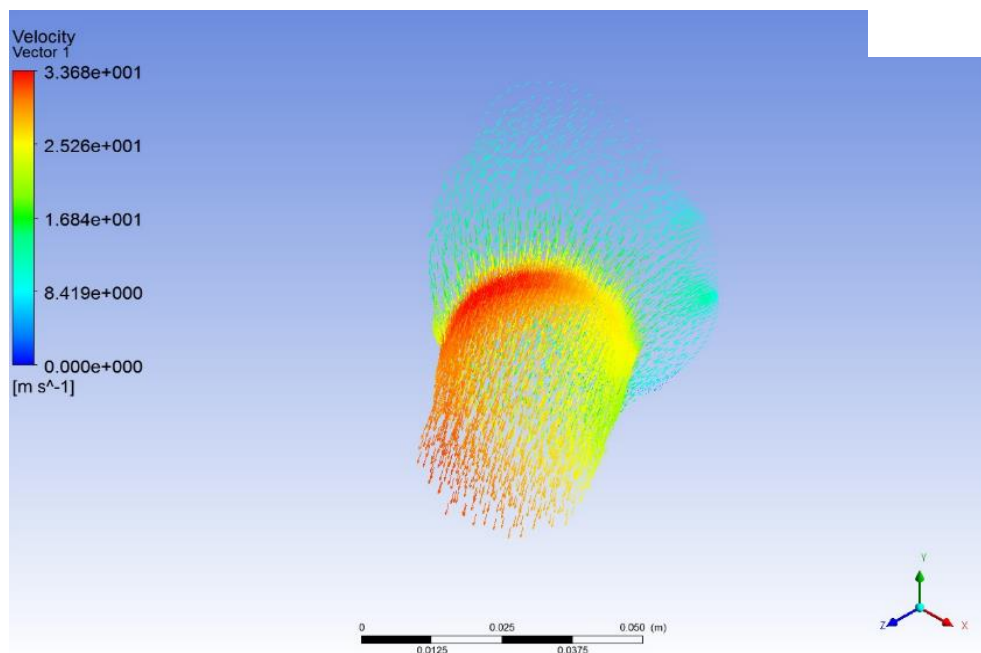
**Figura 38:** Análisis de fluido respiradero intercooler MB 352.



**Figura 39:** Análisis de fluido respiradero intercooler MB 352



**Figura 40:** Análisis de fluido Tapa Termostato MB 352.



**Figura 41:** Análisis de fluido Tapa termostato MB 352.

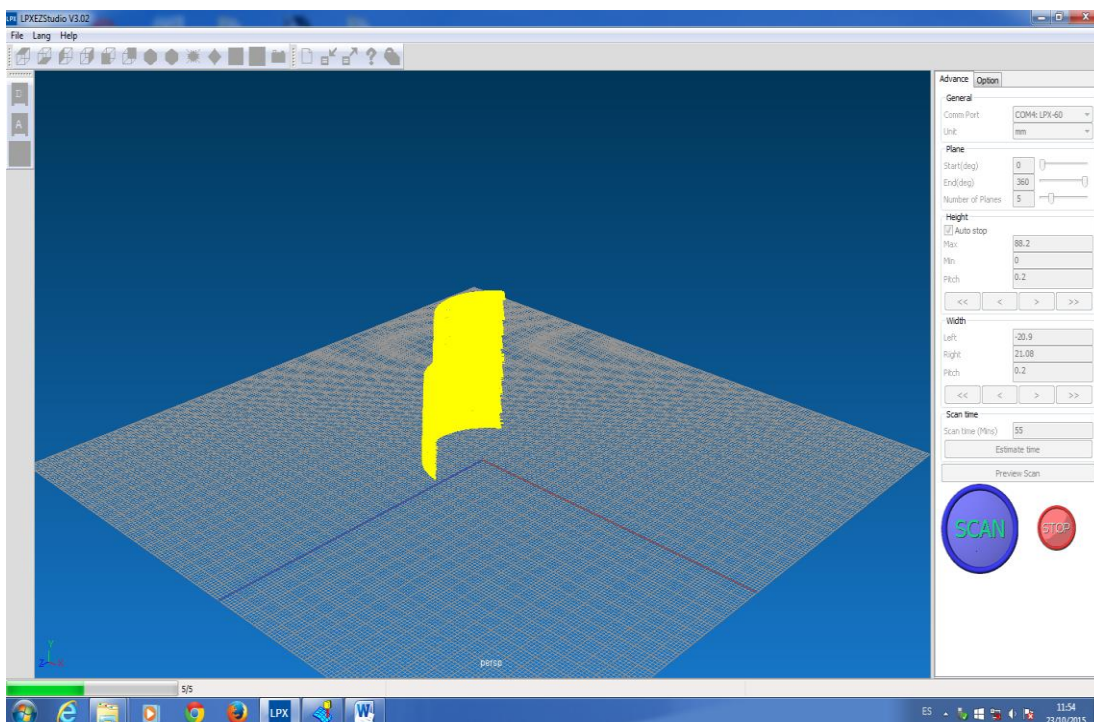
## CAPITULO 5

# DESARROLLO DE MANUAL DE PROCEDIMIENTOS O TUTORIALES

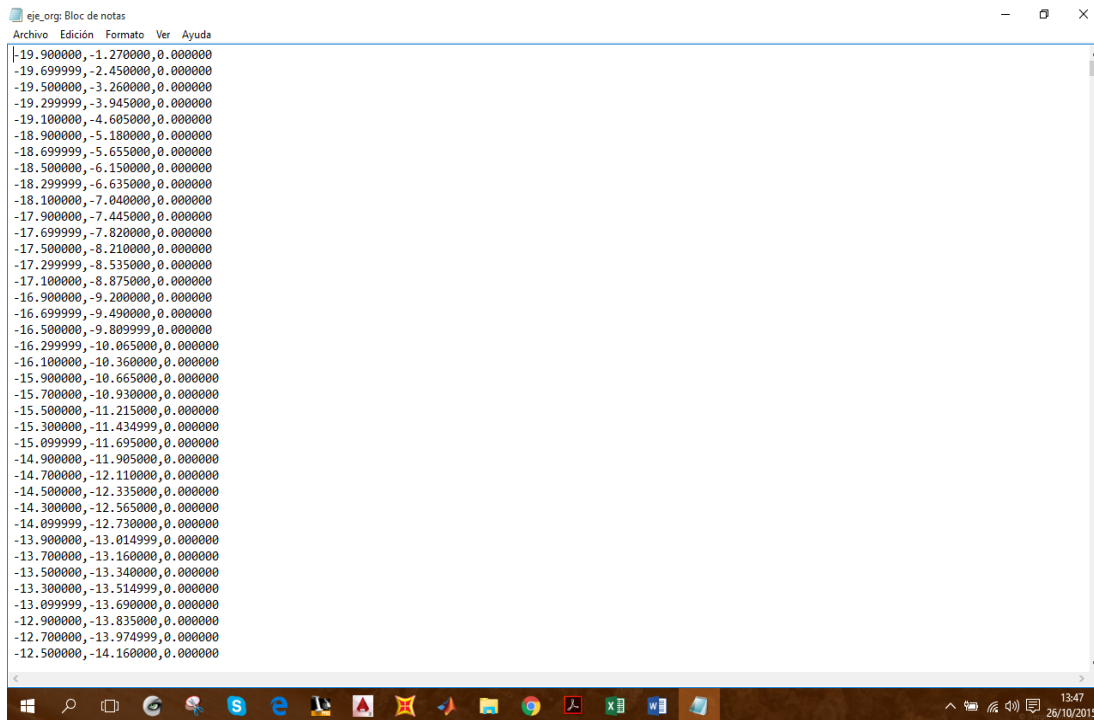
Los documentos contienen la descripción tanto escrita como grafica de cada paso que se debe seguir para el desarrollo de los capítulos planteados.

### 5.1 MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA DIGITALIZAR UNA NUBE DE PUNTOS CON MATLAB

1. Obtener del escáner un archivo .xyz



2. Abrir el archivo .xyz como bloc de notas
3. Verificar los datos



The screenshot shows a Notepad window titled "eje\_org: Bloc de notas" with a menu bar containing "Archivo", "Edición", "Formato", "Ver", and "Ayuda". The text area contains a list of 40 lines of numerical data, each consisting of four values separated by commas. The values are: -19.900000, -1.270000, 0.000000; -19.699999, -2.450000, 0.000000; -19.500000, -3.260000, 0.000000; -19.299999, -3.945000, 0.000000; -19.100000, -4.605000, 0.000000; -18.900000, -5.180000, 0.000000; -18.699999, -5.655000, 0.000000; -18.500000, -6.150000, 0.000000; -18.299999, -6.635000, 0.000000; -18.100000, -7.040000, 0.000000; -17.900000, -7.445000, 0.000000; -17.699999, -7.820000, 0.000000; -17.500000, -8.210000, 0.000000; -17.299999, -8.535000, 0.000000; -17.100000, -8.875000, 0.000000; -16.900000, -9.200000, 0.000000; -16.699999, -9.490000, 0.000000; -16.500000, -9.809999, 0.000000; -16.299999, -10.065000, 0.000000; -16.100000, -10.360000, 0.000000; -15.900000, -10.665000, 0.000000; -15.700000, -10.930000, 0.000000; -15.500000, -11.215000, 0.000000; -15.300000, -11.434999, 0.000000; -15.099999, -11.695000, 0.000000; -14.900000, -11.905000, 0.000000; -14.700000, -12.110000, 0.000000; -14.500000, -12.335000, 0.000000; -14.300000, -12.565000, 0.000000; -14.099999, -12.730000, 0.000000; -13.900000, -13.014999, 0.000000; -13.700000, -13.160000, 0.000000; -13.500000, -13.340000, 0.000000; -13.300000, -13.514999, 0.000000; -13.099999, -13.690000, 0.000000; -12.900000, -13.835000, 0.000000; -12.700000, -13.974999, 0.000000; -12.500000, -14.160000, 0.000000. The Windows taskbar at the bottom shows the time as 13:47 on 26/10/2015.

4. Seleccionar todos los datos con CTRL+E, y copiar todos los datos con CTRL+C, abrir un nuevo archivo de Microsoft Excel y pegar en la primera celda (A1)

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'DATOS' (Data) ribbon selected. The spreadsheet contains data in column A, with rows 1 through 25. The data in column A consists of a sequence of numbers: -19.900000, -19.699999, -19.500000, -19.299999, -19.100000, -18.900000, -18.699999, -18.500000, -18.299999, -18.100000, -17.900000, -17.699999, -17.500000, -17.299999, -17.100000, -16.900000, -16.699999, -16.500000, -16.299999, -16.100000, -15.900000, -15.700000, -15.500000, -15.300000, and -15.099999. The formula bar shows the active cell A1 contains the formula:  $-19.900000, -1.270000, 0.000000$ .

## 5. Seleccionar toda la columna A, Datos-texto en columnas

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'DATOS' (Data) ribbon selected. The 'Texto en columnas' (Text to Columns) dialog box is open, displaying the following text:

**Texto en columnas**  
 Divide el contenido de una columna de texto en varias columnas.  
 Por ejemplo, se puede dividir una columna que contenga nombres y apellidos en dos columnas distintas para los nombres y los apellidos.  
 Permite elegir cómo dividirla: con el ancho fijo o dividiendo a cada coma, punto u otro carácter.  
 Más información

The spreadsheet data is the same as in the previous screenshot. The formula bar shows the active cell A1 contains the formula:  $-19.900000, -1.270000, 0.000000$ .

## 6. Delimitados-siguiente

Asistente para convertir texto en columnas - paso 1 de 3

El asistente estima que sus datos son Delimitados.  
Si esto es correcto, elija Siguiente, o bien elija el tipo de datos que mejor los describa.

Tipo de los datos originales:

Elija el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión:

Delimitados - Caracteres como comas o tabulaciones separan campos.  
 De ancho fijo - Los campos están alineados en columnas con espacios entre uno y otro.

Vista previa de los datos seleccionados:

1	-19.900000	-1.270000	0.000000
2	-19.699999	-2.450000	0.000000
3	-19.500000	-3.260000	0.000000
4	-19.299999	-3.945000	0.000000
5	-19.100000	-4.605000	0.000000

Cancelar < Atrás **Siguiente >** Finalizar

## 7. Espacio-siguiente

Asistente para convertir texto en columnas - paso 2 de 3

Esta pantalla le permite establecer los separadores contenidos en los datos. Se puede ver cómo cambia el texto en la vista previa.

Separadores

Tabulación  
 Punto y coma  
 Coma  
 Espacio  
 Otro:

Considerar separadores consecutivos como uno solo

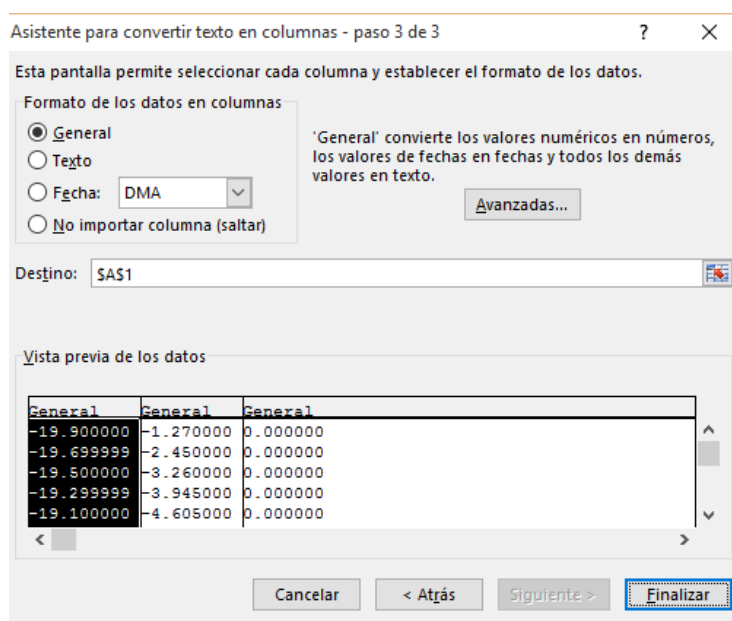
Calificador de texto:

Vista previa de los datos

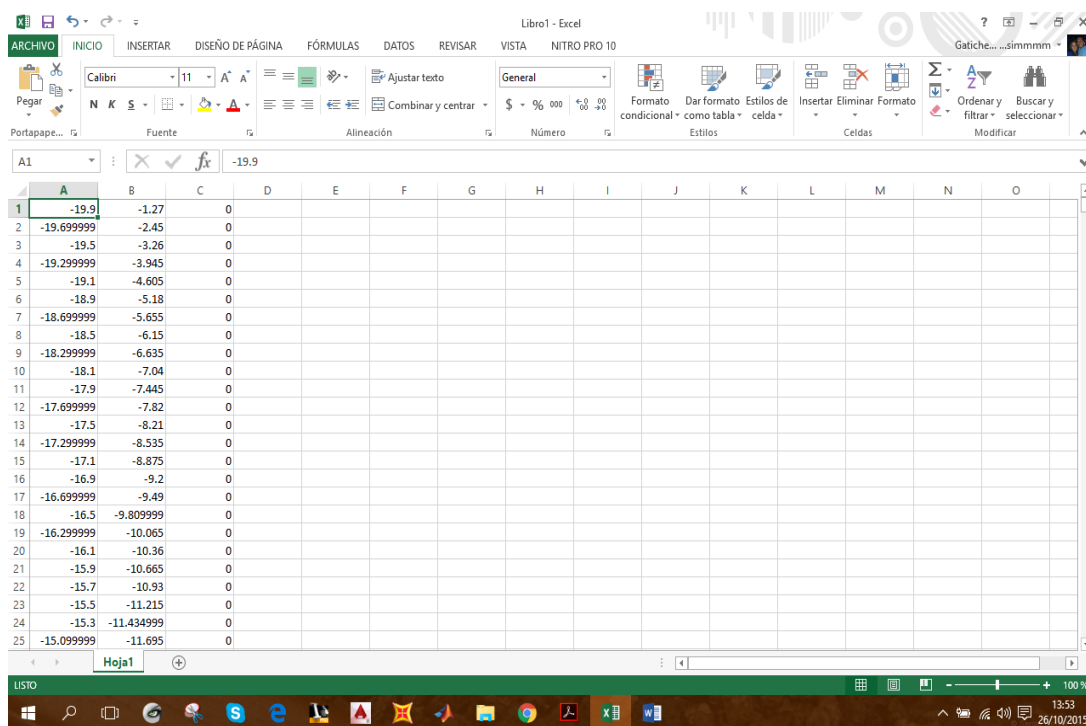
-19.900000	-1.270000	0.000000
-19.699999	-2.450000	0.000000
-19.500000	-3.260000	0.000000
-19.299999	-3.945000	0.000000
-19.100000	-4.605000	0.000000

Cancelar < Atrás **Siguiente >** Finalizar

## 8. General-Finalizar



9. Revisar los resultados, todos los datos generados están separados en tres columnas.

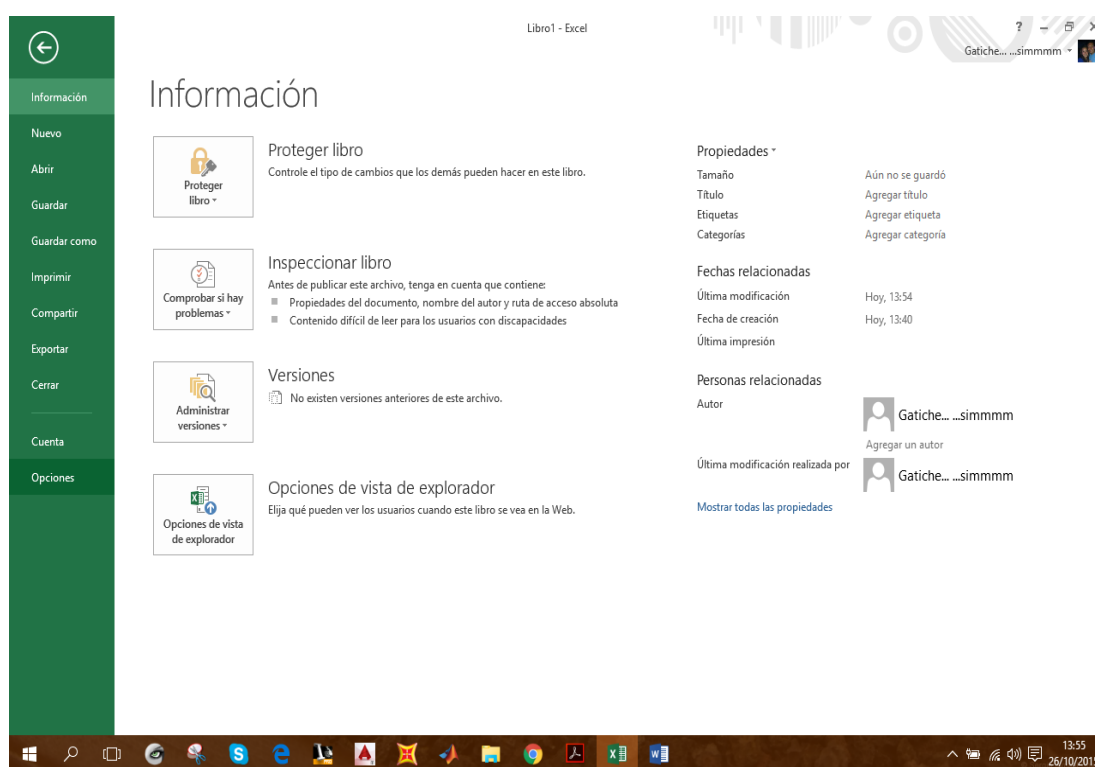




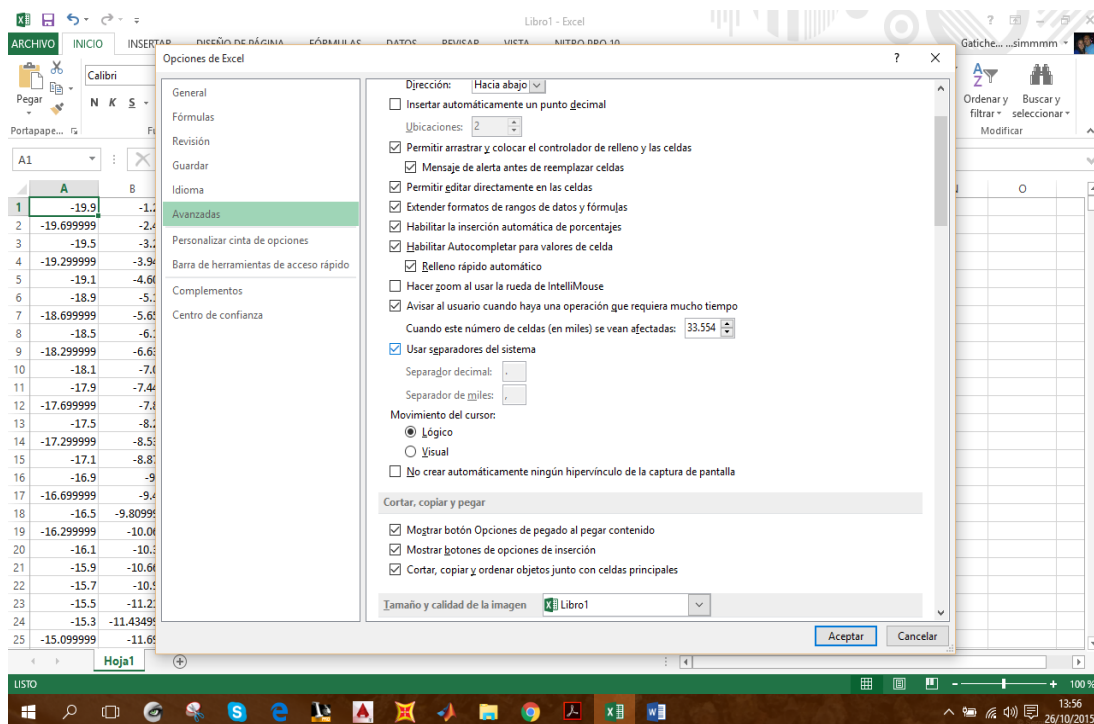
*Nota: Si los resultados obtenidos en excel están con coma (,) los datos generados tendrán error de distribución de miles y decimales, se aconseja cambiar la configuración de excel a que el punto (.) sea el separador de decimales.*

Cambio de separador de decimales de coma a punto

## Archivo-Opciones

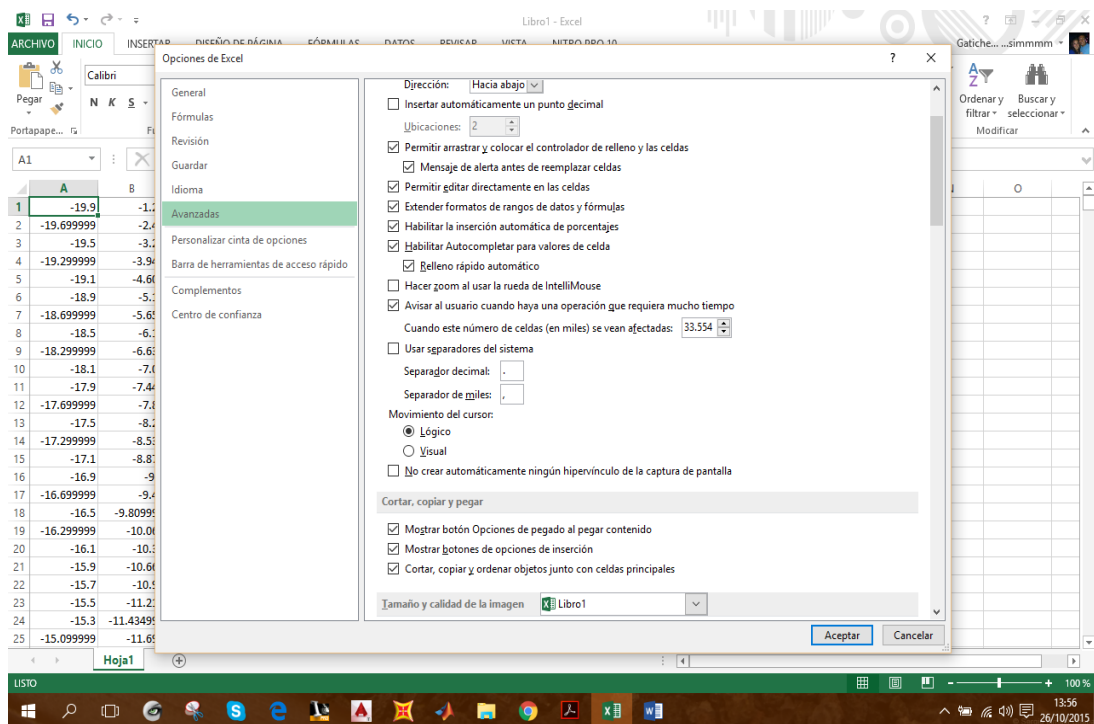


Avanzado-Desmarcar: Usar separador del sistema



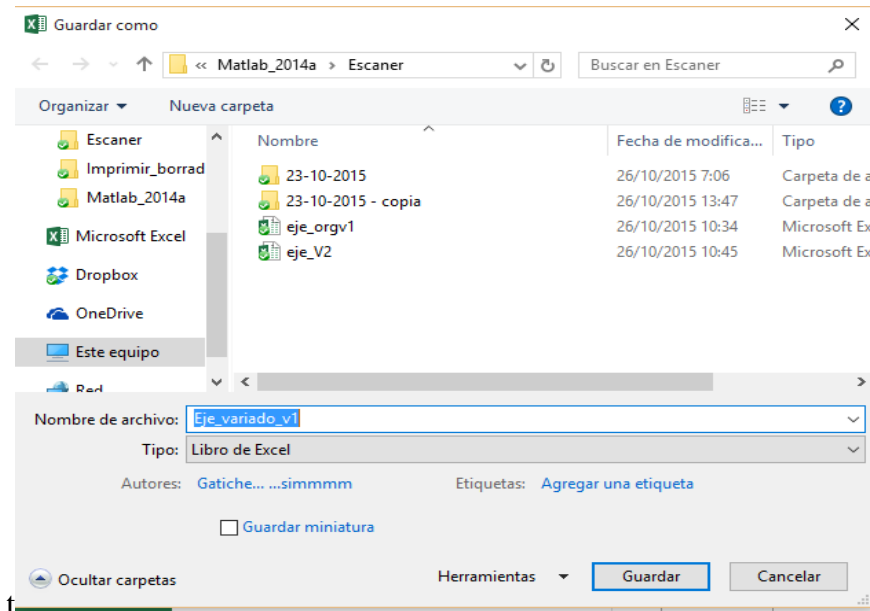
Colocar

Separador decimal (.), Separado de miles (,)

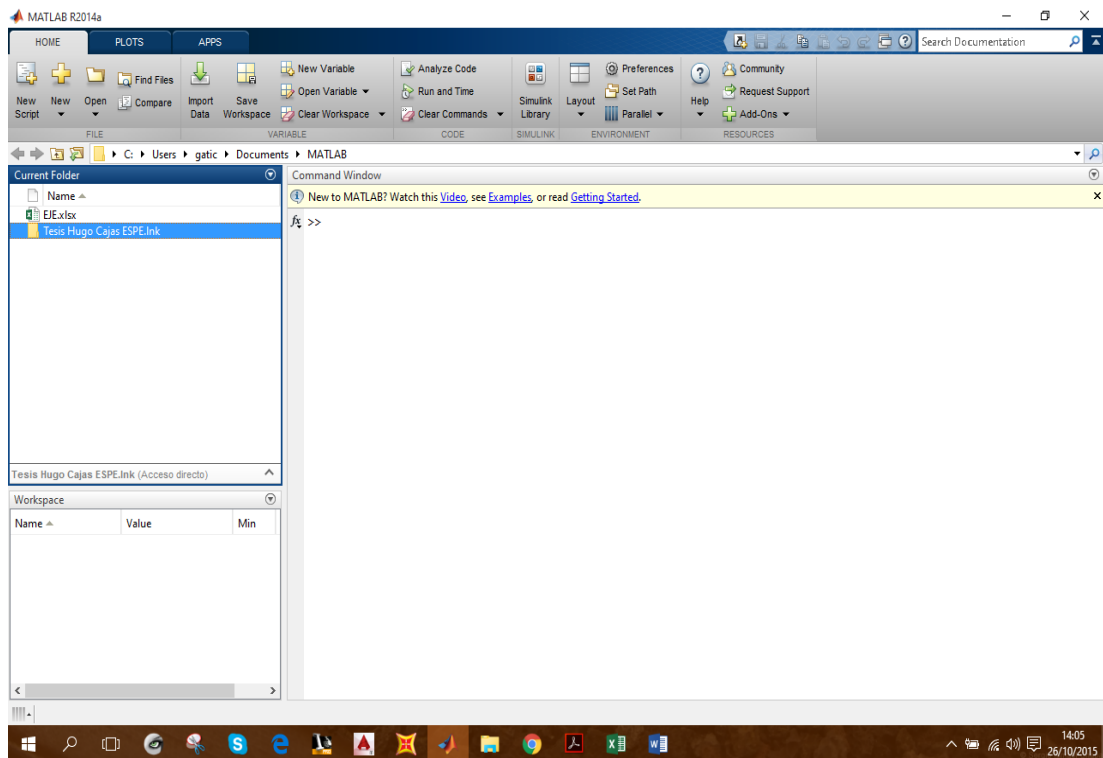


*Nota: Finalmente Corregido Este Error Repetir Los Pasos Del 4-9.*

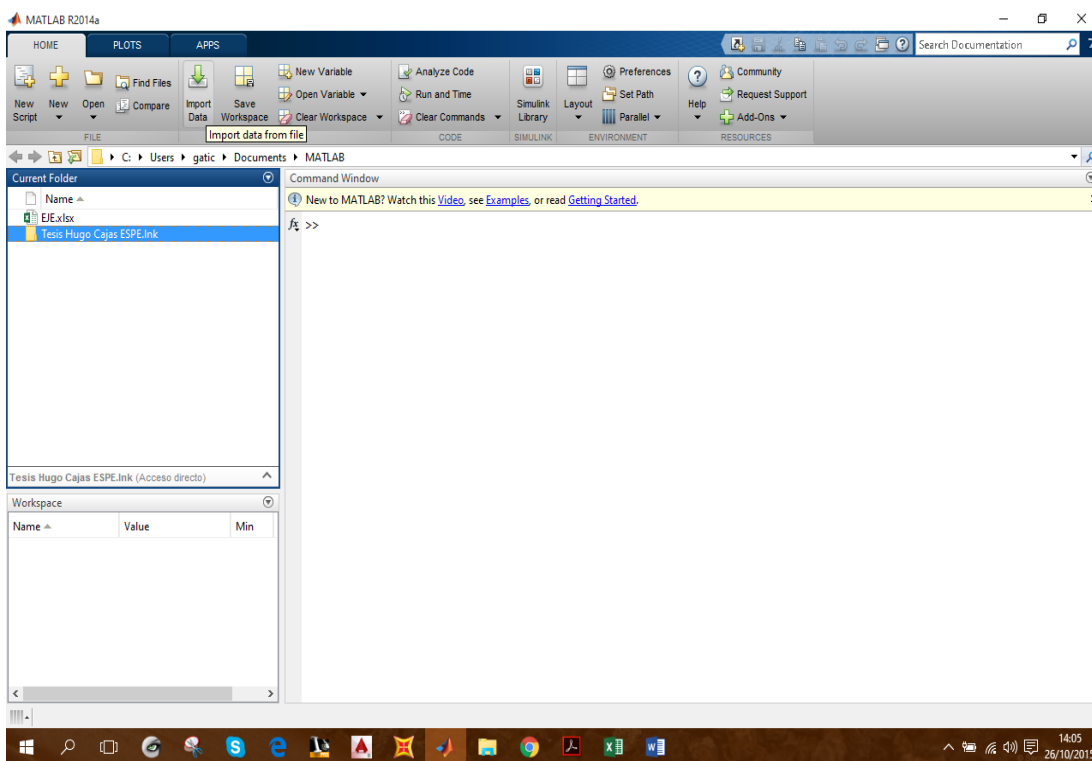
10. Si los datos están correctos (separados los decimales con punto) y en tres columnas, guardar.



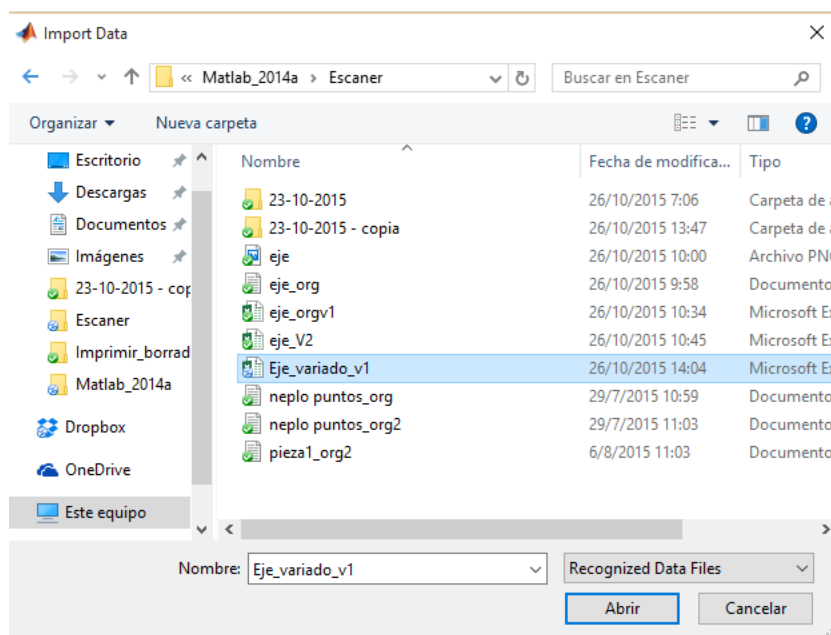
11. Guardar el archivo de Excel, cerrar Excel y abrir Matlab



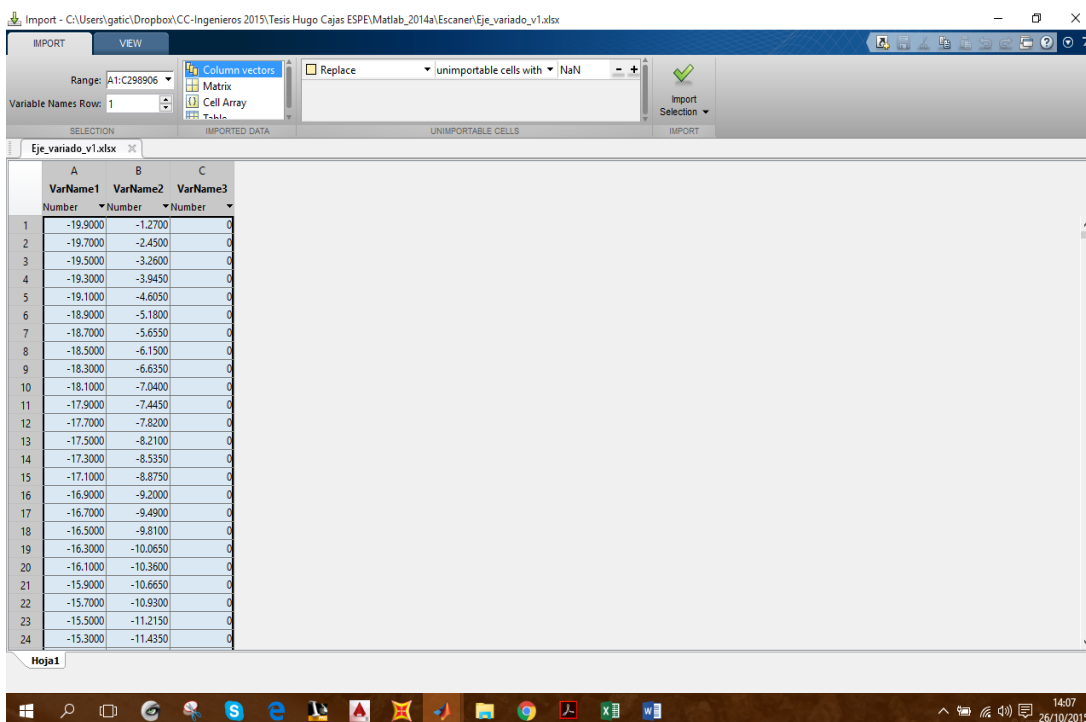
## 12. Importar archivo generado en Excel.



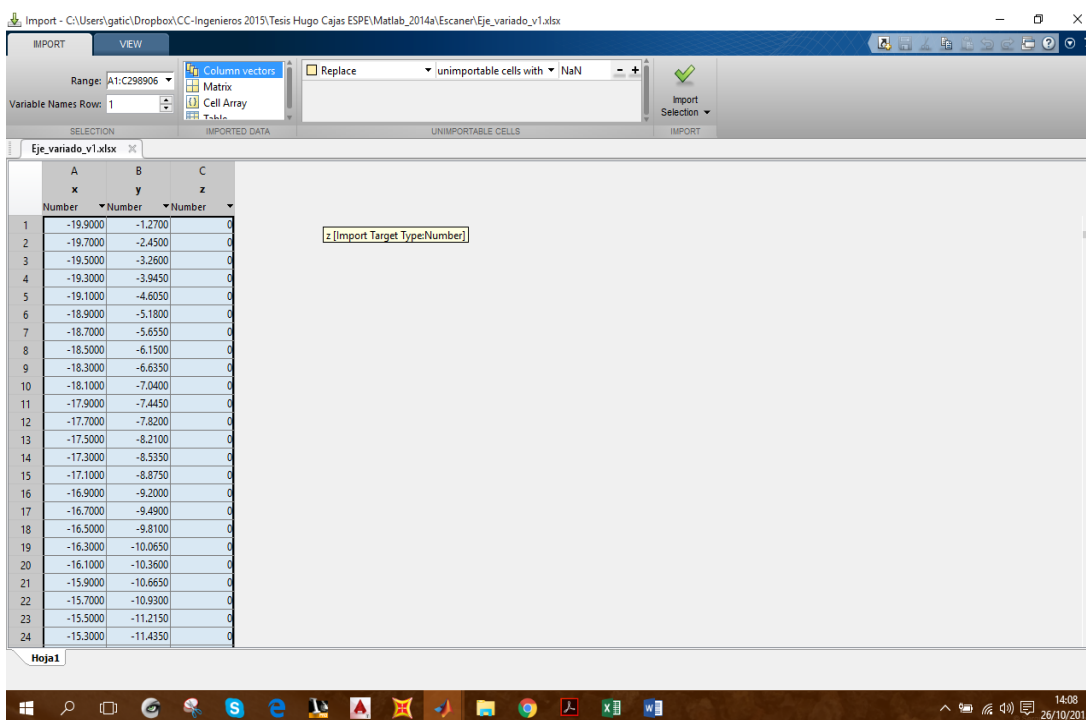
## 13. Buscar el archivo de Excel creado y abrir



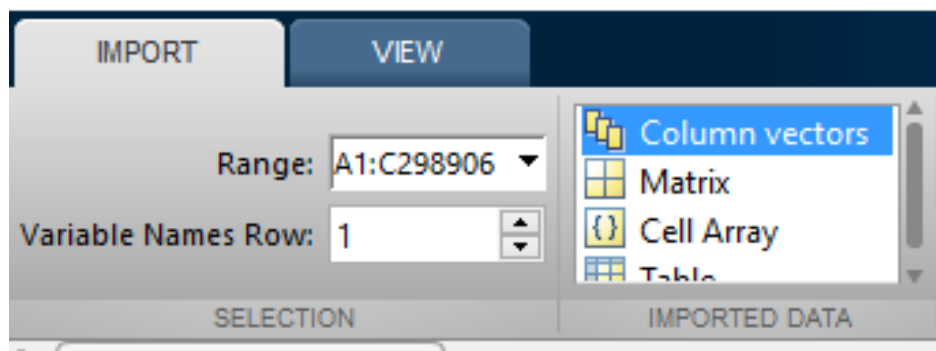
#### 14. Se abre la ventana de preferencia de importación



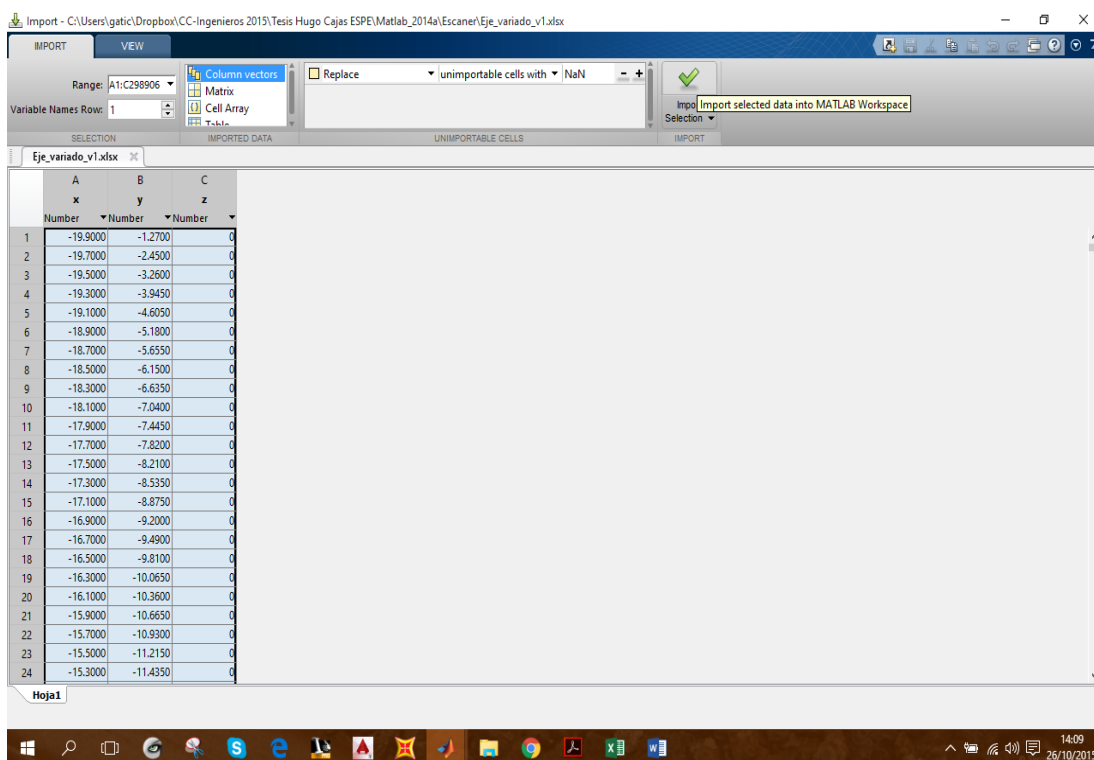
#### 15. Seleccionar con doble clic izquierdo VerName1 y cambiarlo a x, de igual forma VerName 2 y VerName3 por x y z respectivamente



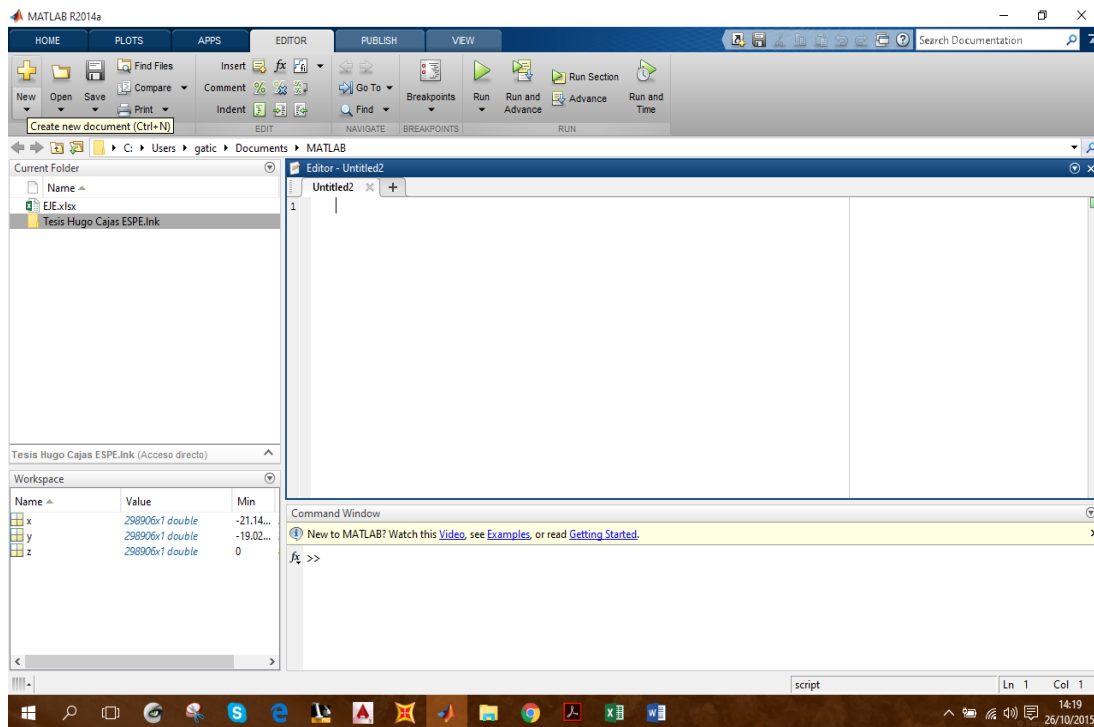
16. Revisar en la sección de “Import” que este seccionado “Column Vectors”



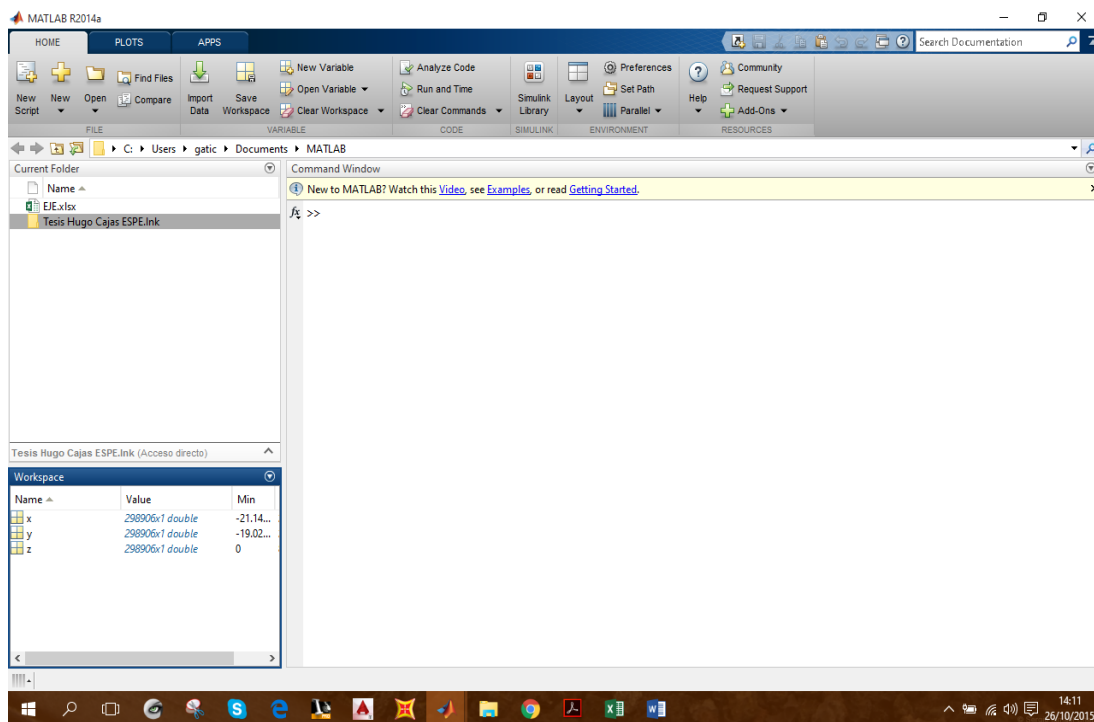
17. Finalizar dando clic en la flecha verde superior derecha para que se inicie la importación de datos



18. Revisar que se cree en el WORKSPACE de Matlab las variables de x y z y cerrar las preferencias de importación.



19. Crear un nuevo documento



20. Copiar internamente el siguiente código:

```
%    Generador de superficie con nube de puntos

%    Datos x y z

%    Transponer matrices x y z

x=x';

y=y';

z=z';

%    Triangular los datos

tri = delaunay(x, y);

%    Dibujar los datos:

%    Dibujar los puntos:

subplot(1,2,1);

plot3(x,y,z), title('Gráfica de puntos');

xlabel('eje x'), ylabel('eje y'),zlabel('eje z');

%    Dibujar superficie:

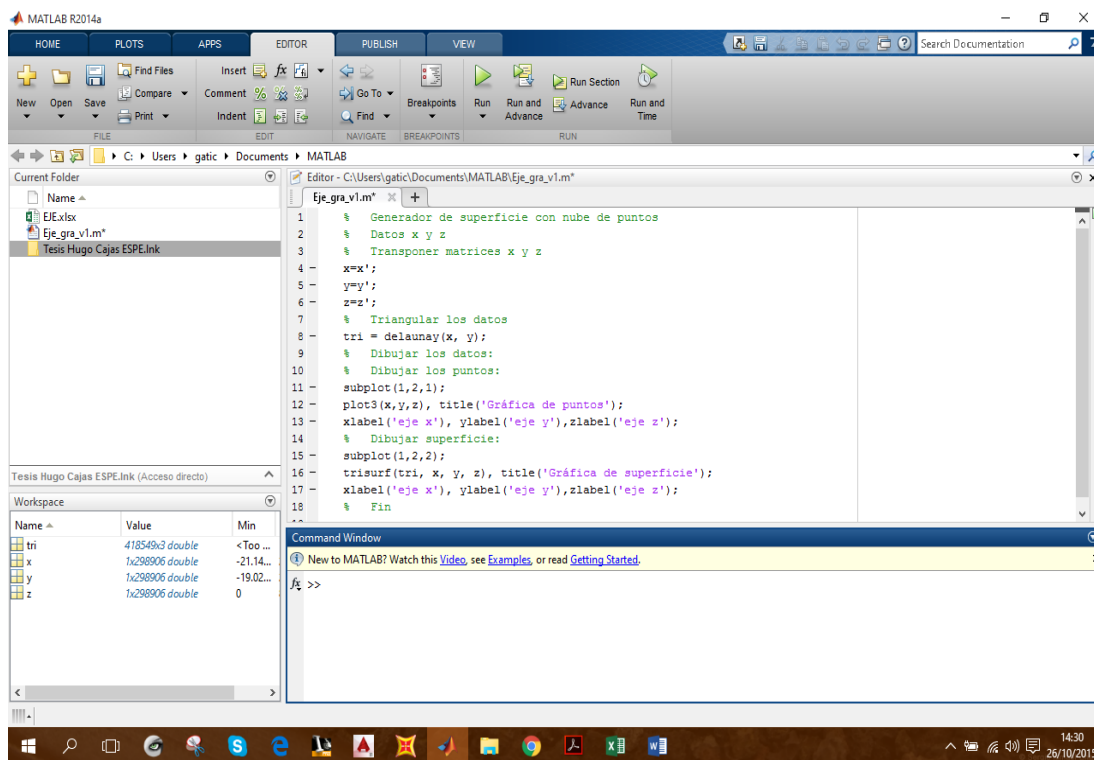
subplot(1,2,2);

trisurf(tri, x, y, z), title('Gráfica de superficie');

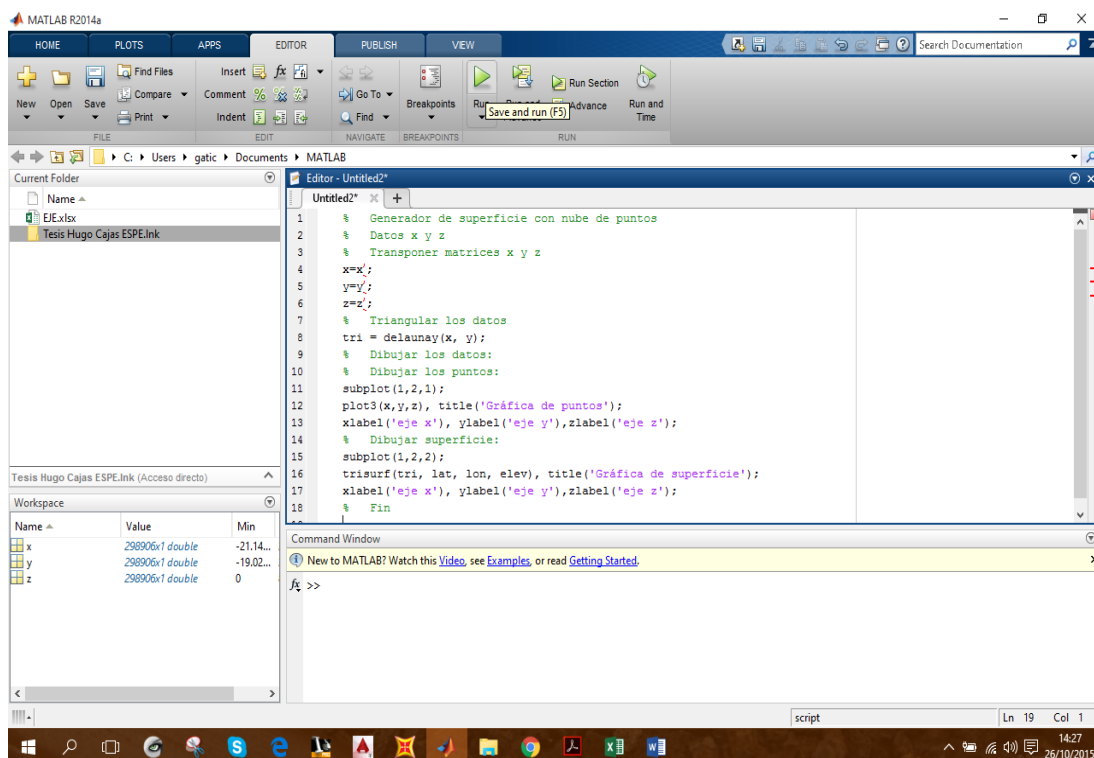
xlabel('eje x'), ylabel('eje y'),zlabel('eje z');

%    Fin
```

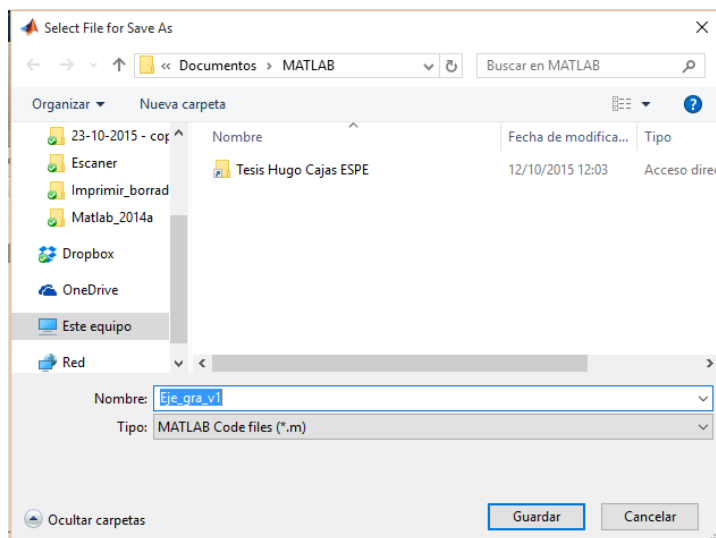




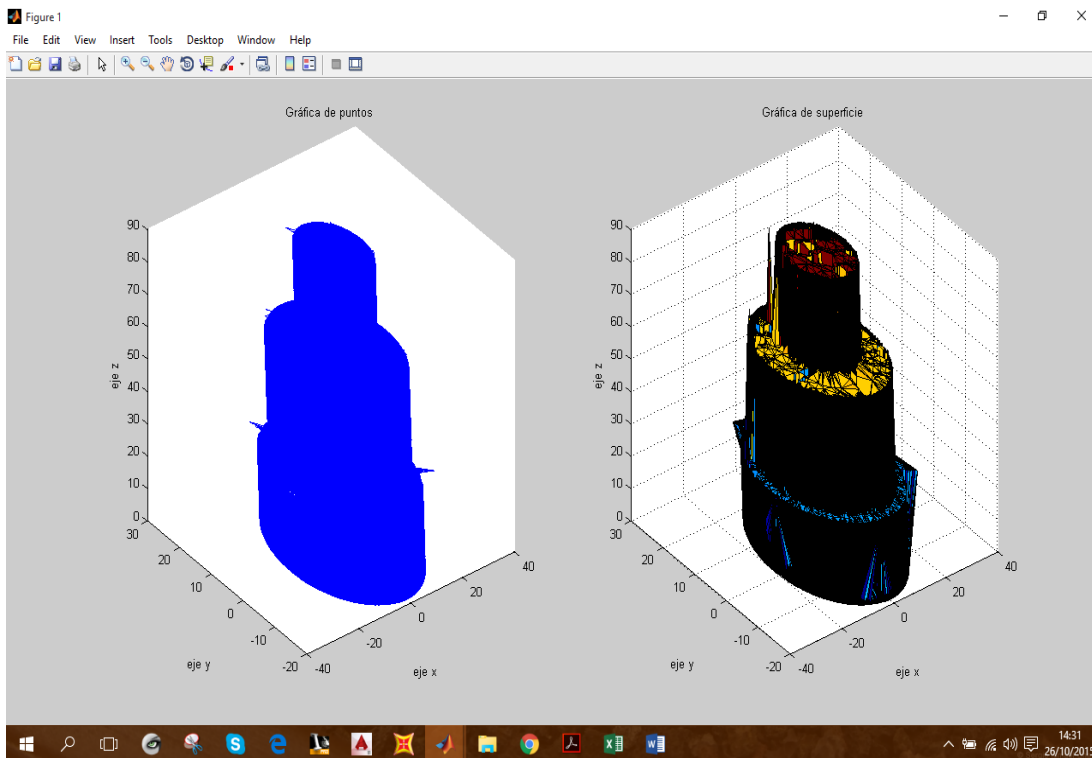
## 21. Run and save



22. Colocar un nombre y guardar en la carpeta predeterminada que se abre



23. Esperar a que se ejecute la programación y se abre una nueva ventana con:



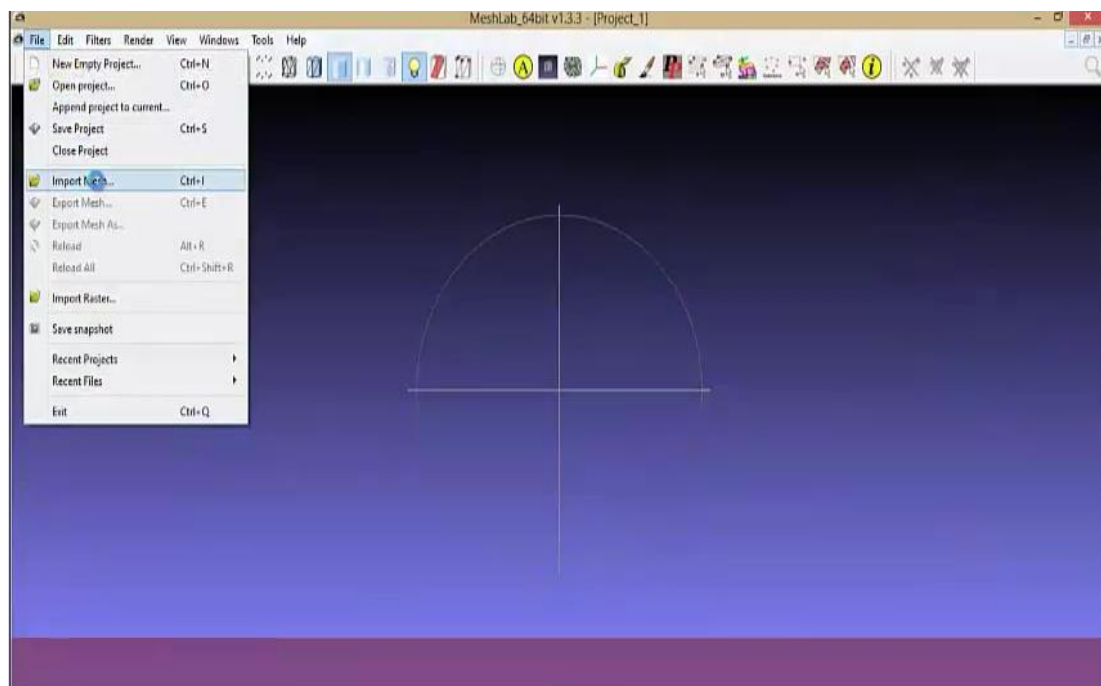
Se obtiene dos gráficas, la de la izquierda grafica en 3D los puntos y el de la derecha genera una superficie con los puntos.

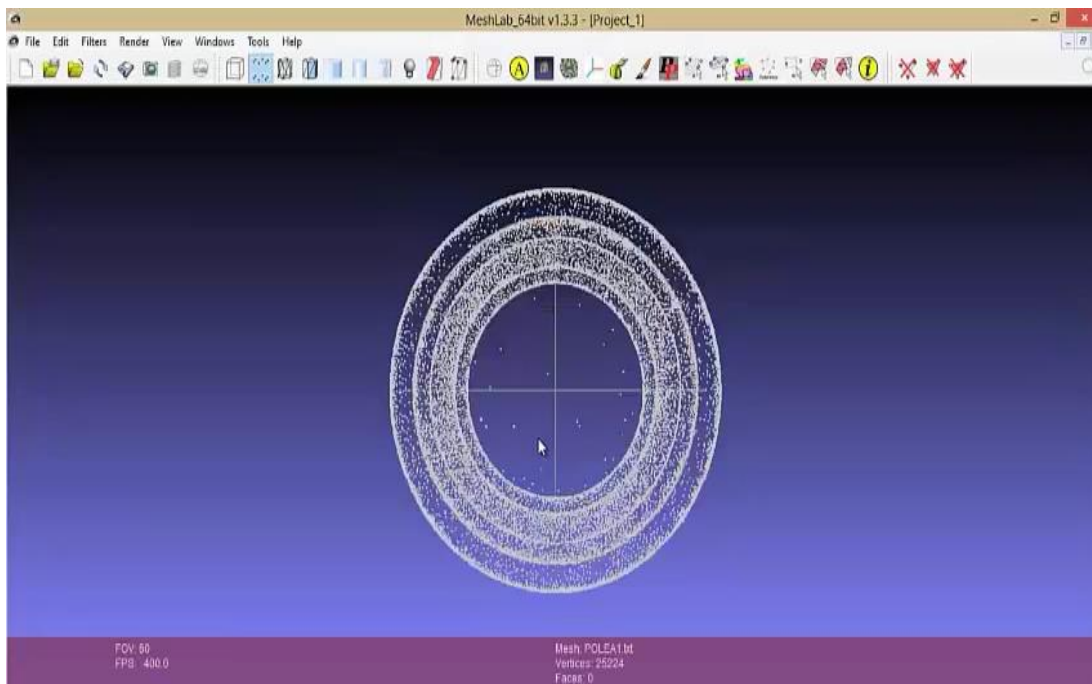
## 5.2 MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA DIGITALIZAR Y RECONSTRUIR LA NUBE DE PUNTOS GENERADA POR EL ESCANER PICZA LPX-60

### 5.2.1 TUTORIAL RECONSTRUCCION Y TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS POLEA DEL ALTERNADOR DE UN MERCEDEZ MODELO 1620

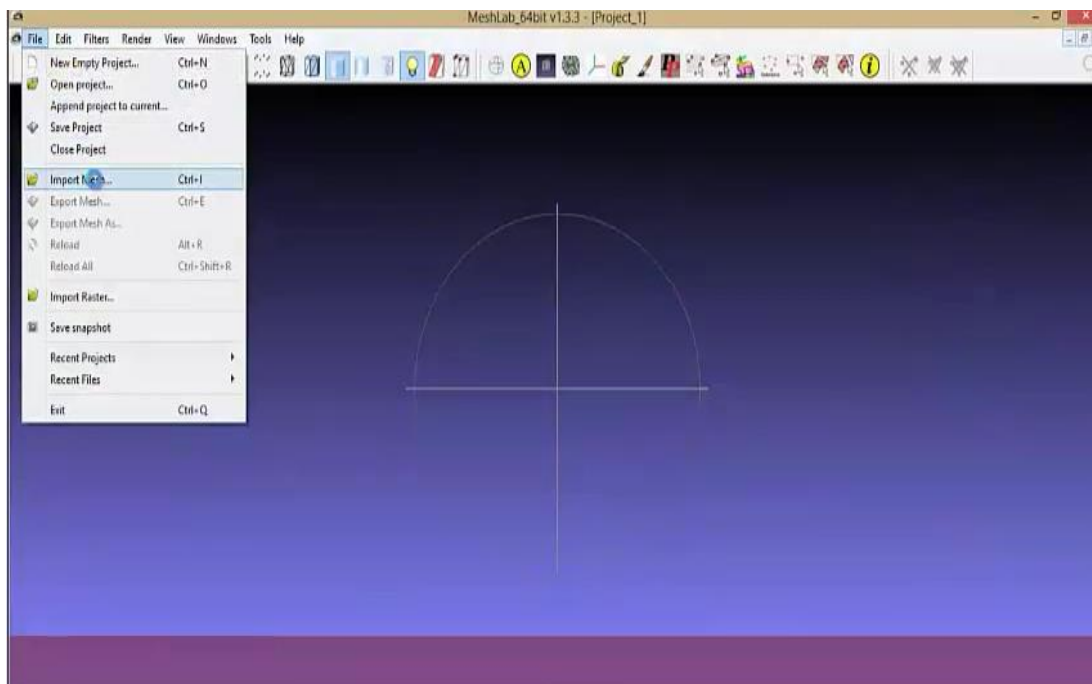
#### 5.2.1.1 Proceso En Meshlab

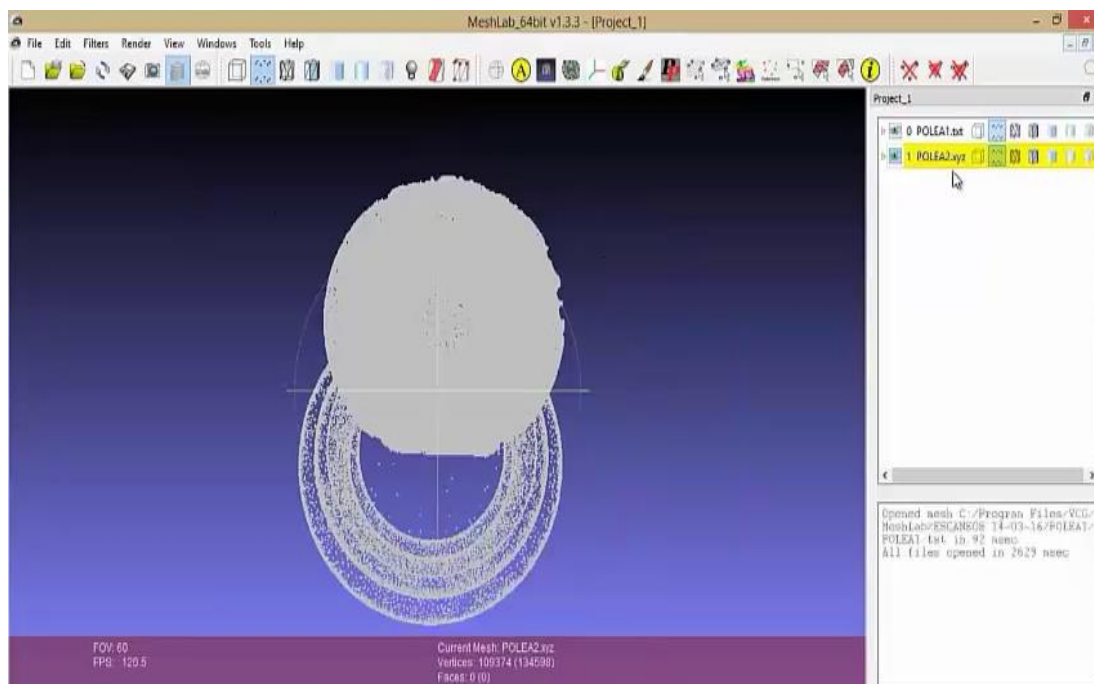
Importar el archivo .xyz o .txt (Nube de puntos)



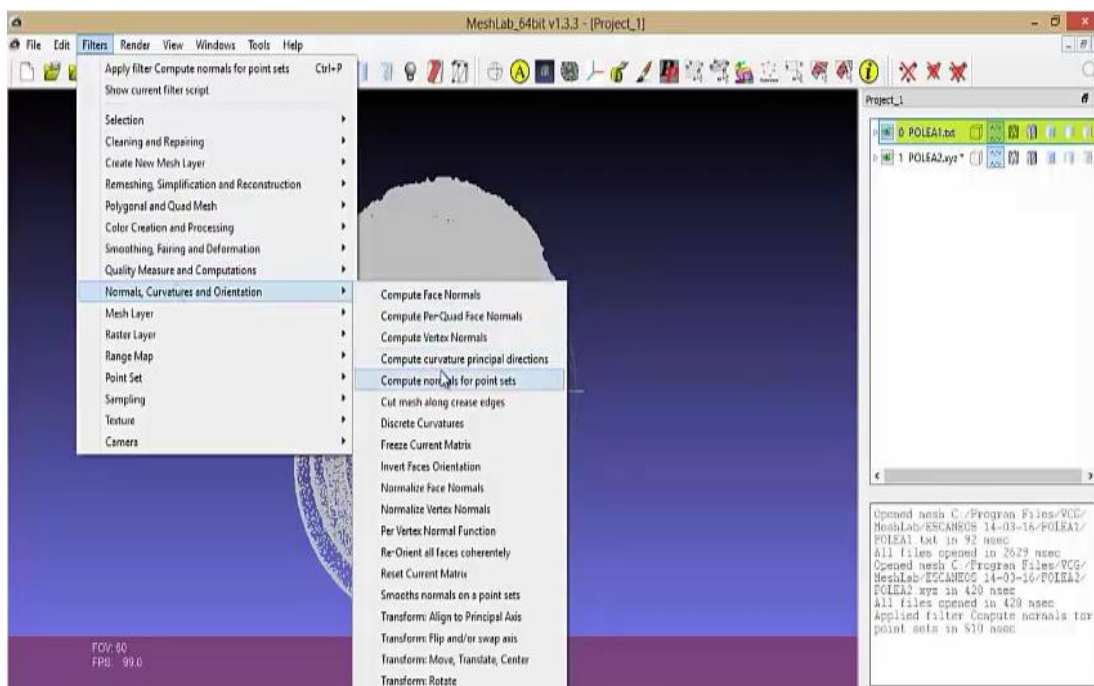


Repetir el proceso con el escaneo desde un ángulo diferente del objeto





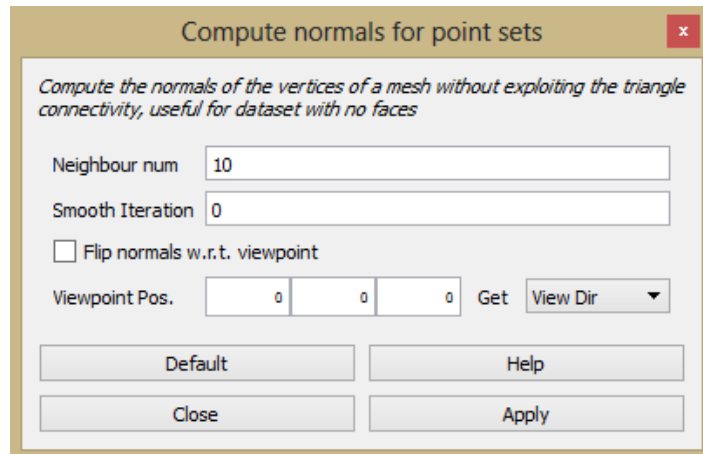
Computar las normales (Compute normals for point sets)



Heighbour num: 10,

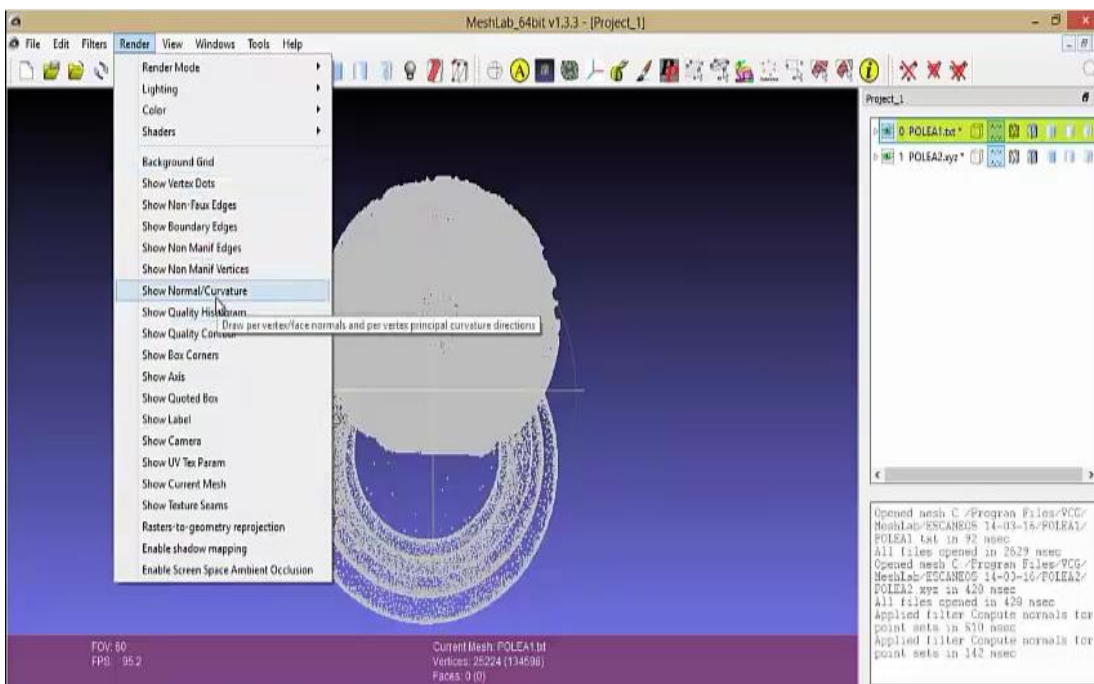
Clic en “Apply”

Clic en “Close”



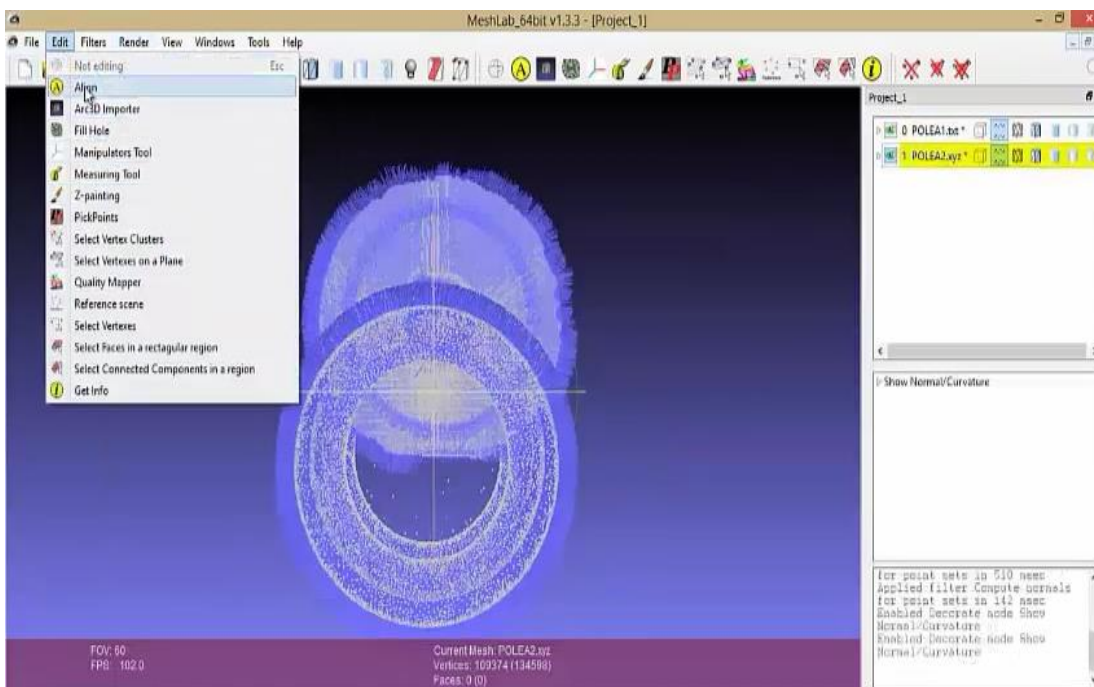
Render → Show Normal/Curvature (Visualizar las normales)

El mismo procedimiento para el otro archivo: Realizar el cálculo de las normales y posteriormente la visualización.



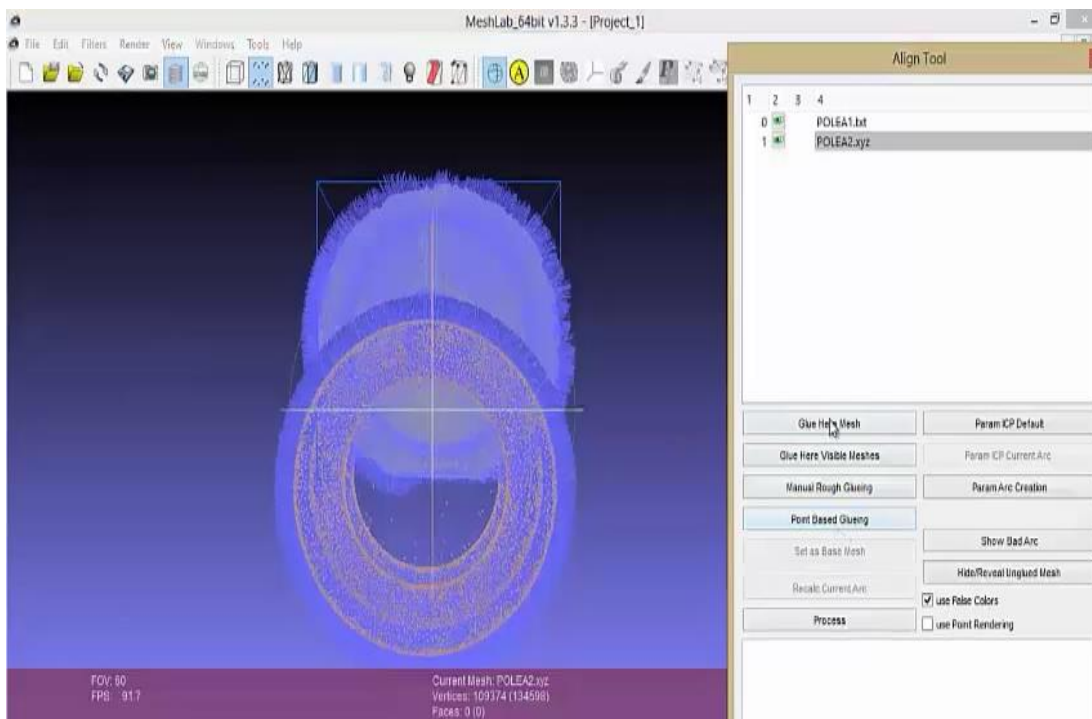
*Unir Nube De Puntos*

Usar la herramienta ALIGN

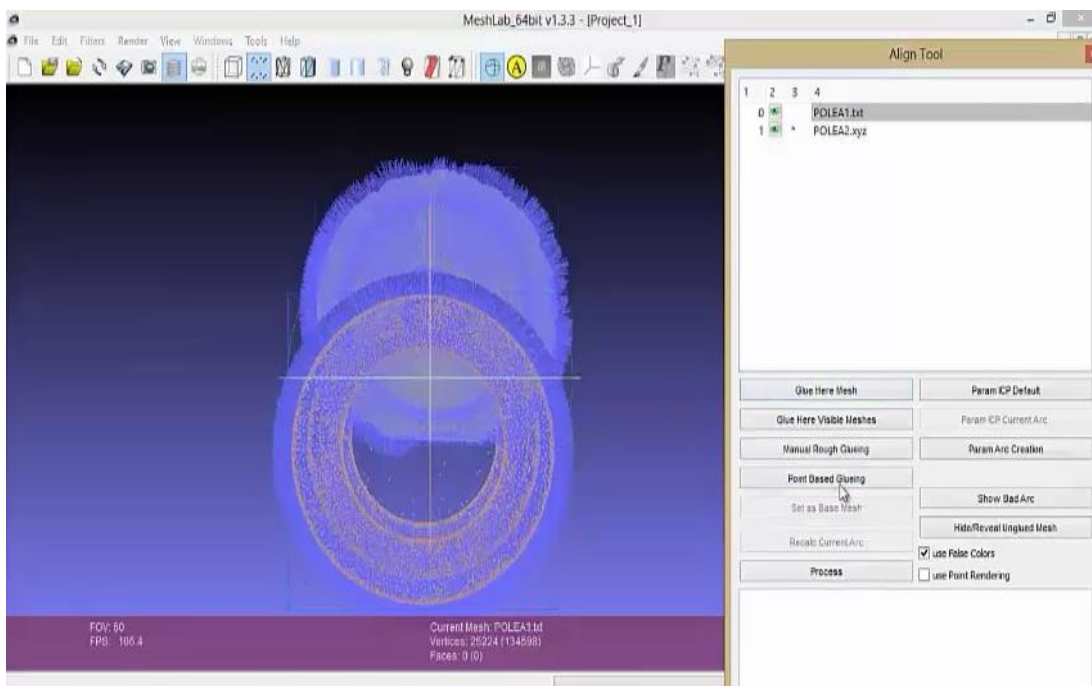




Escoger en el “Show Layer Dialog” uno de los archivos y dar clic en “Glue Here Mesh” para inmovilizar dicha nube de puntos.

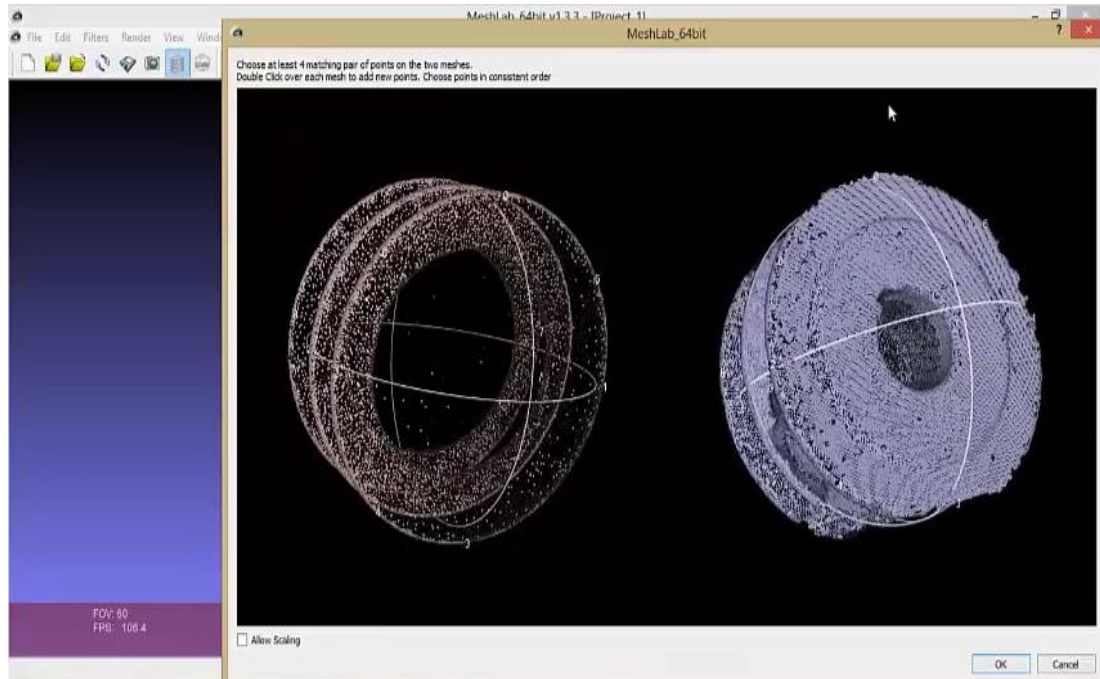


Escoger el otro archivo y dar clic en “Point Based Clipping”

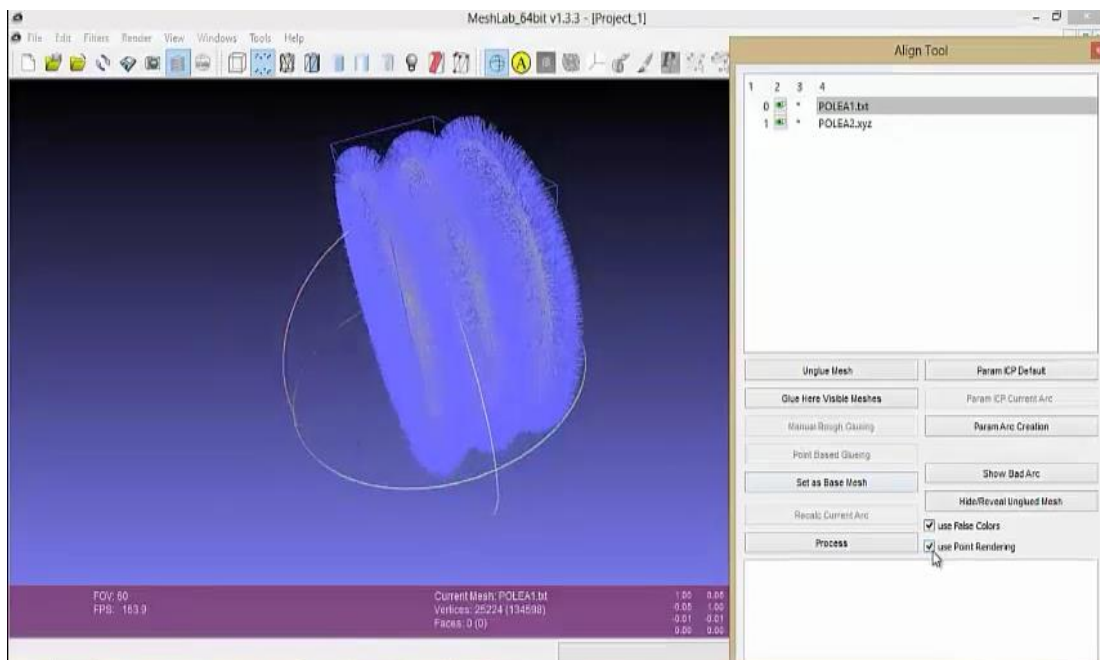




Escoger aleatoriamente por lo menos 4 puntos que sean ligeramente coincidentes entre archivo y archivo mostrados en la siguiente pantalla → Ok

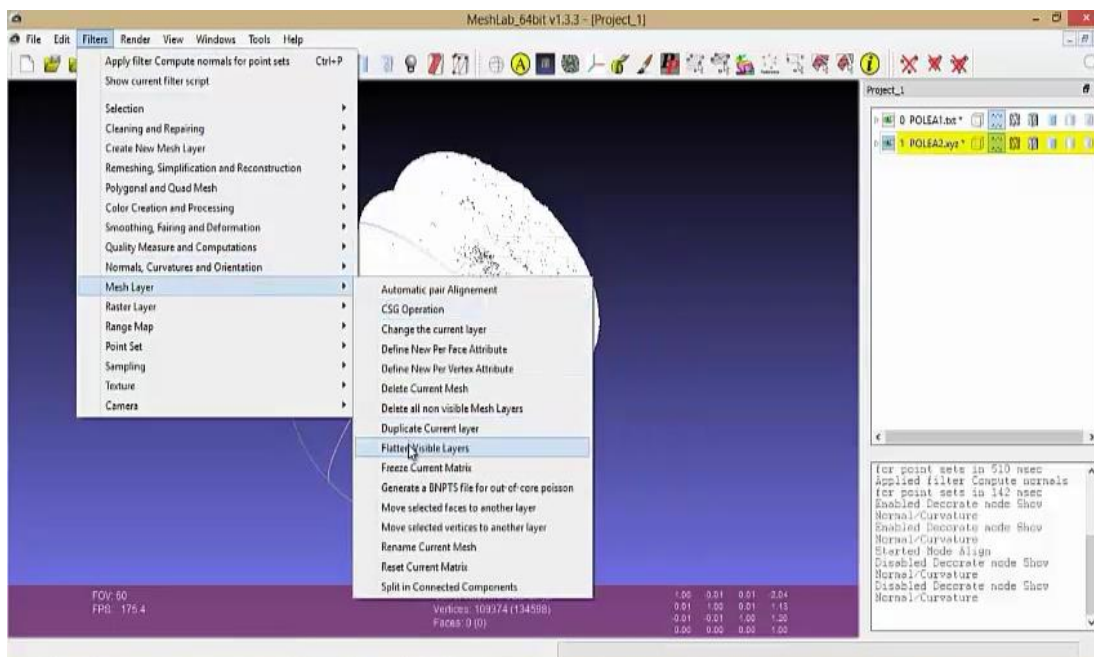


Verificar que las nubes de puntos estén ligeramente alineadas (en caso de no estar alineadas repetir el proceso), seleccionar “use point rendering” y luego clic en “process” → cerrar la pantalla.

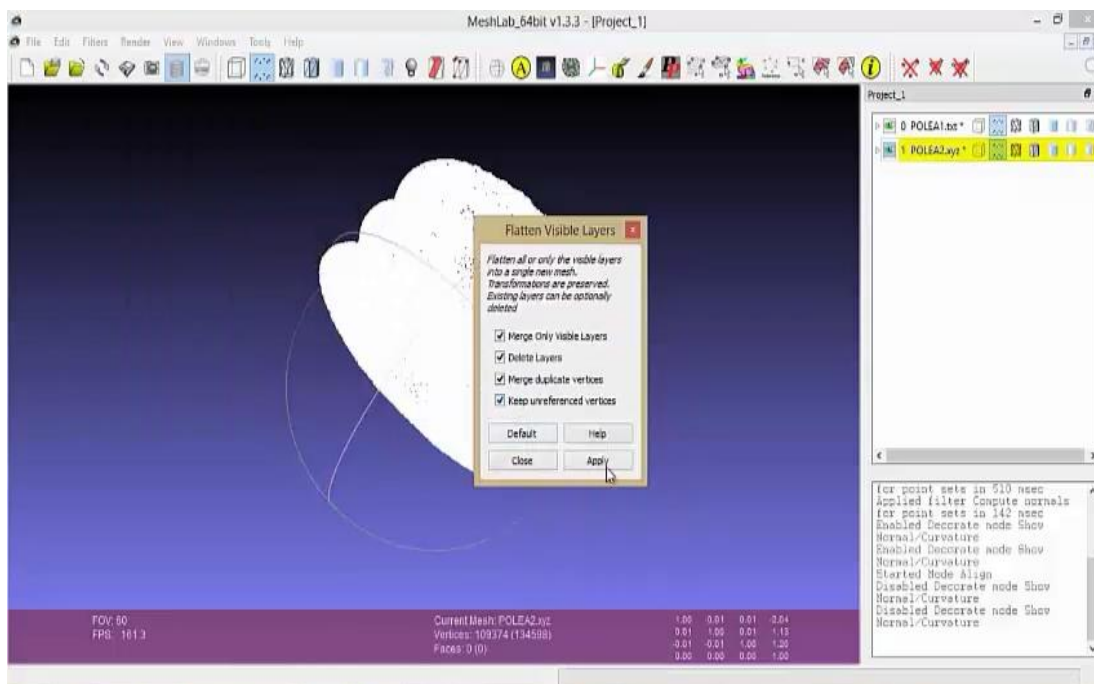


*Consolidar La Unión De Las Dos Nubes De Puntos En Un Solo Archivo*

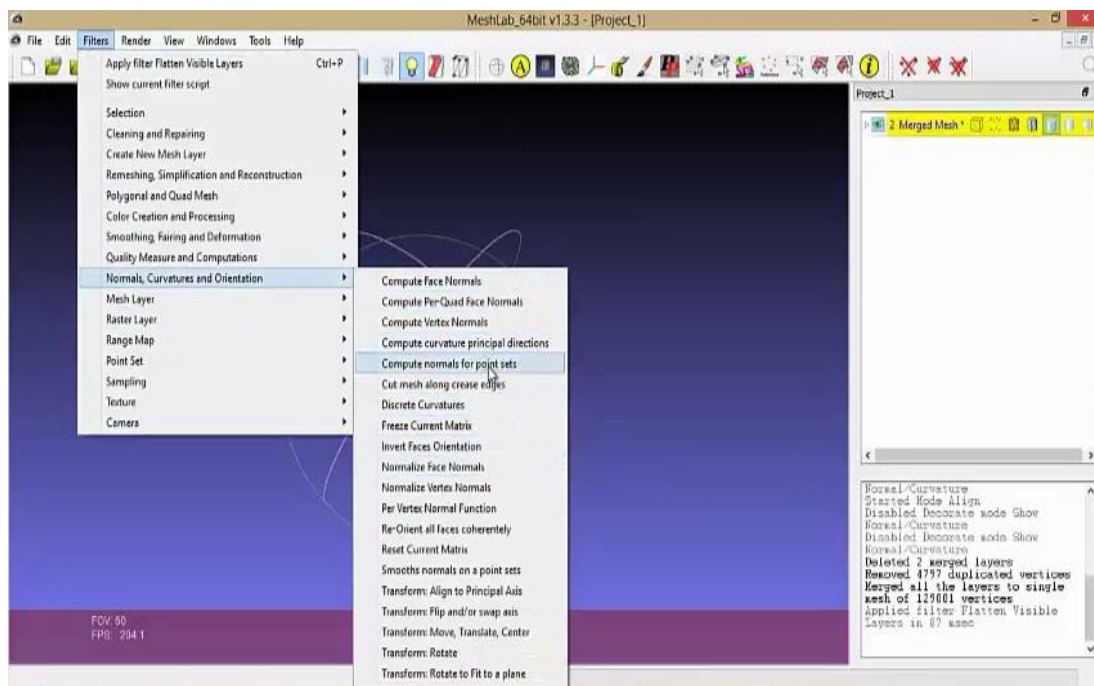
Filter → Mesh Layer → Flatten Visible Layers



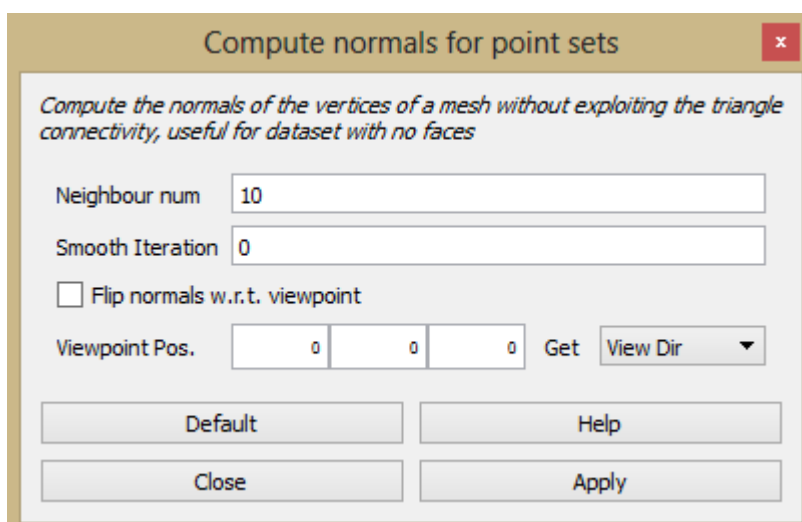
Seleccionar “Keep Unreferenced vértices” → Apply → Close



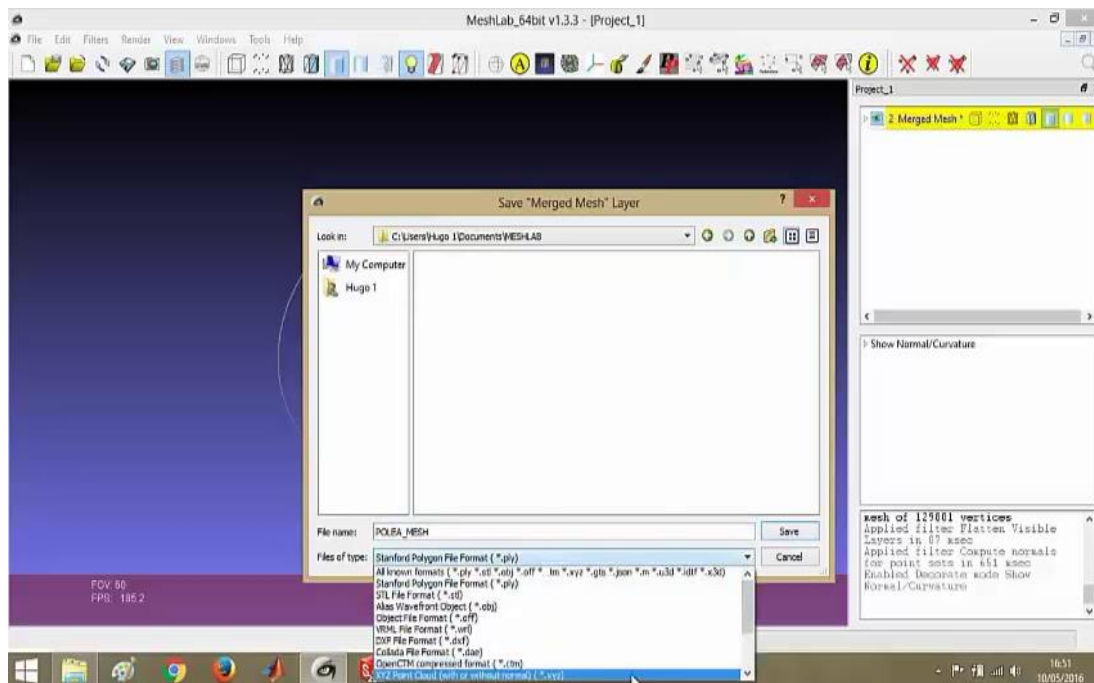
## Computar las normales (Compute normals for point sets)



Heighbour num: 10, clic en “Apply” y posteriormente “Close”



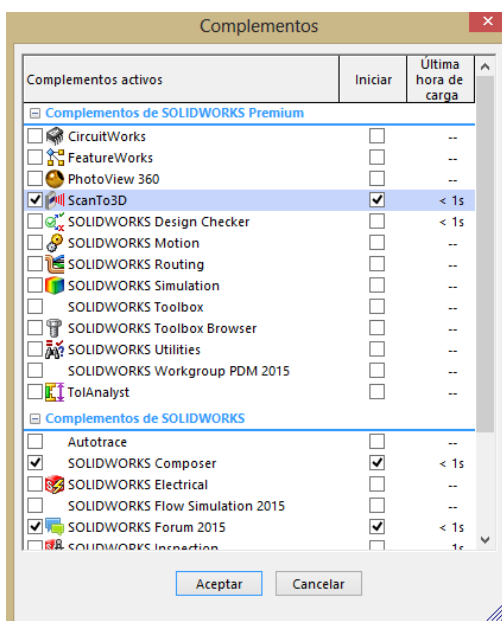
Guardar el archivo con extensión .xyz



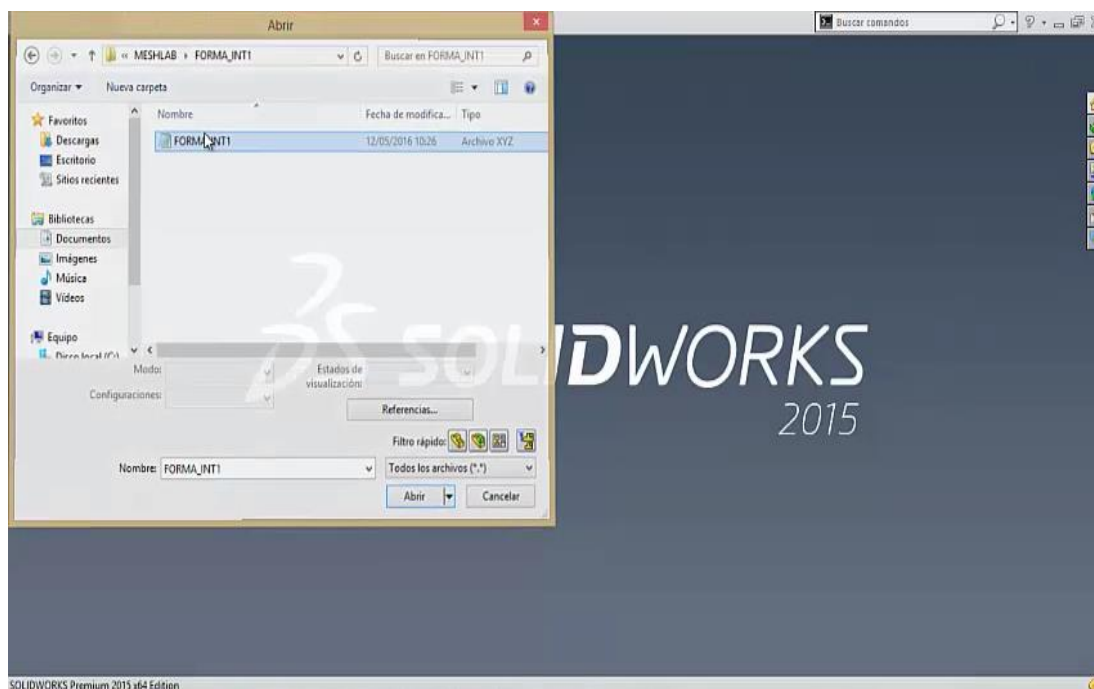
### 5.2.1.2 Proceso En Solidworks

Verificar que ScanTo 3D este habilitado en los complementos de SolidWorks.

En caso de no estar habilitado este y otros complementos se recomienda revisar el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=J6AX82pXLq0>

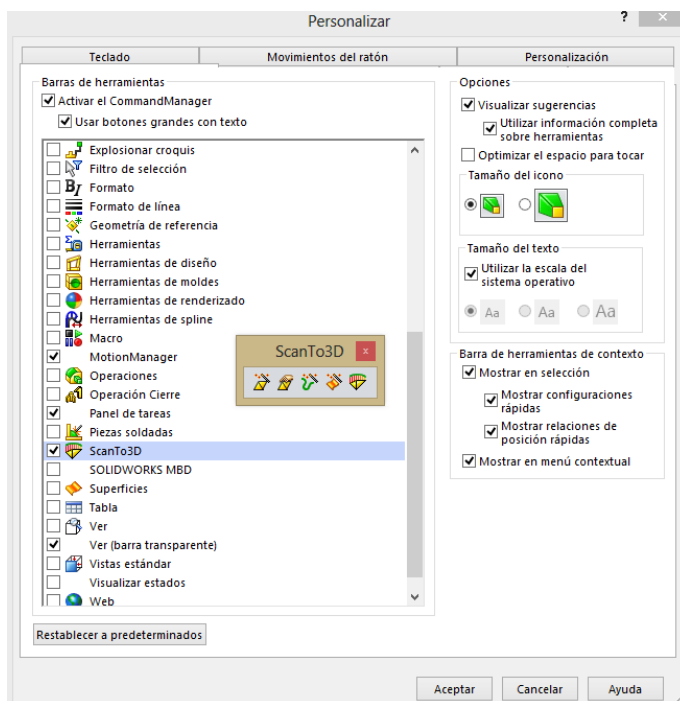


Abrir el archivo .xyz que fue previamente tratado en MESH LAB



Habilitar la barra de Herramientas ScanTo 3D para facilidad del Trabajo.

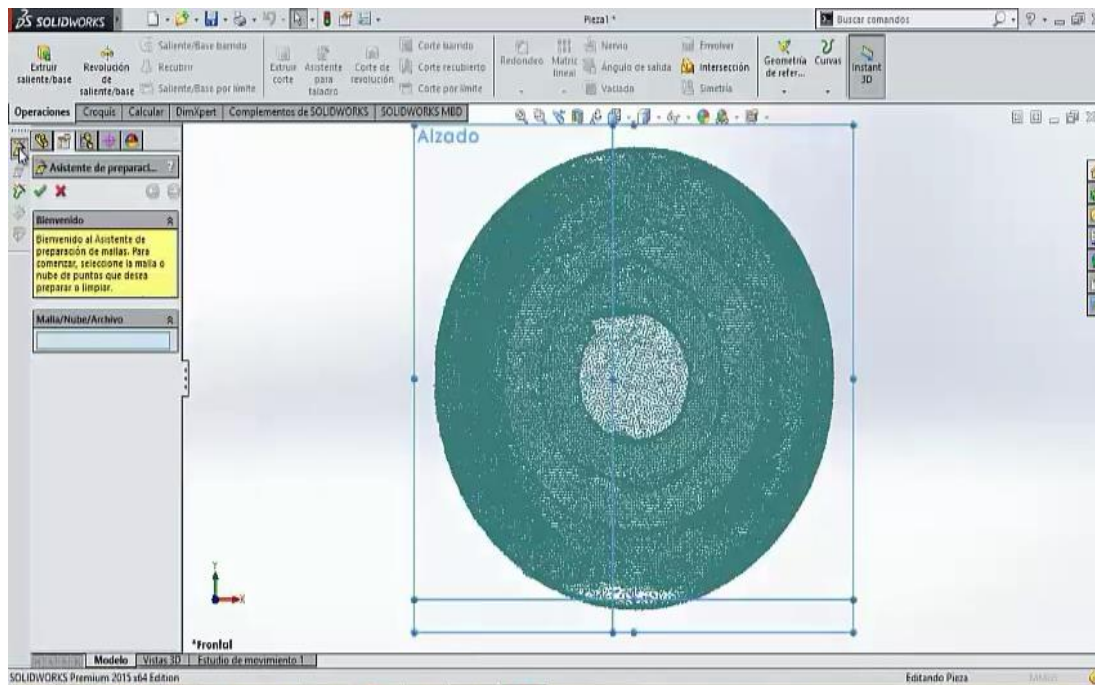
Herramientas → Personalizar → ScanTo 3D



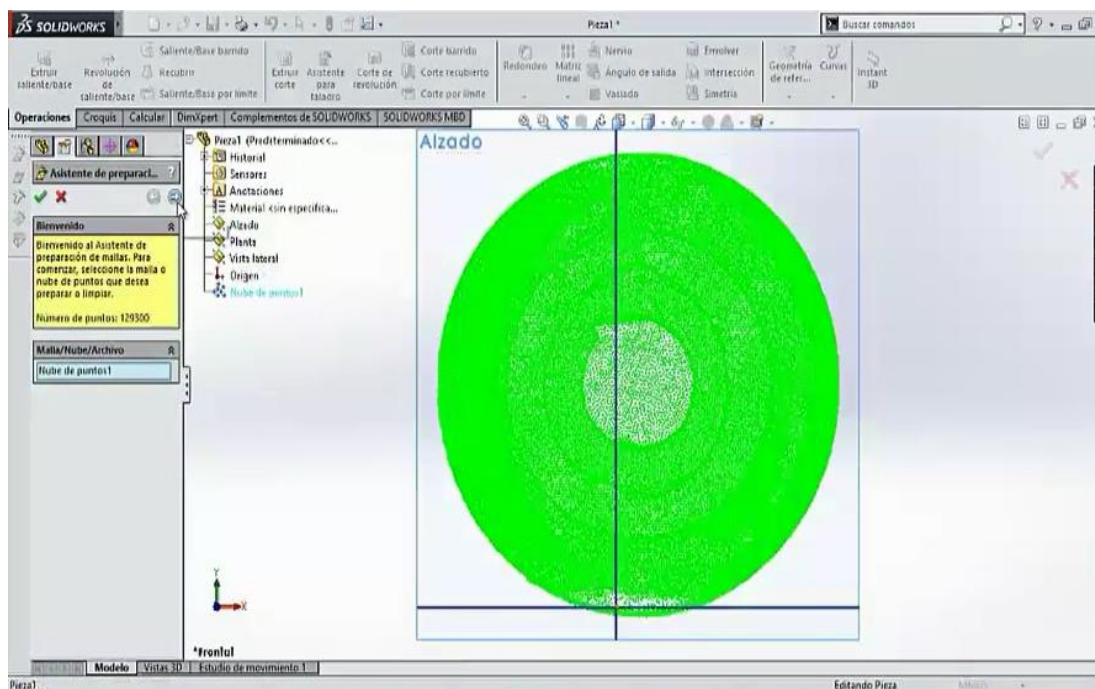


Mostrar los planos que proporciona SolidWorks

Clic en “Asistente de Preparación de Malla”



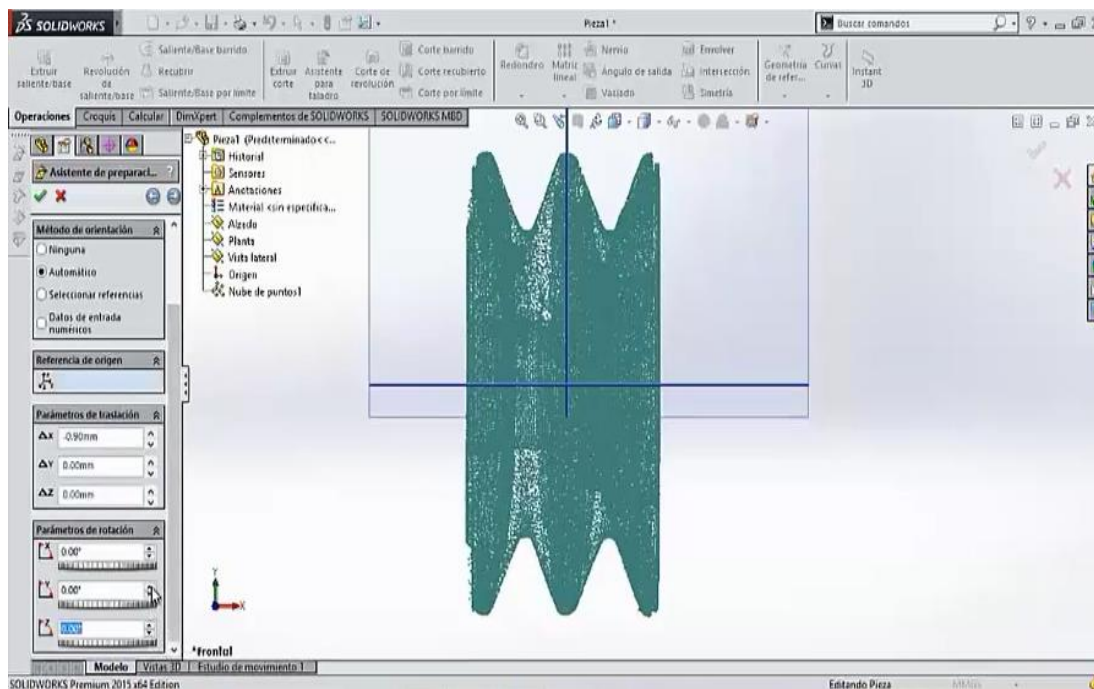
Seleccionar la Nube de puntos → Siguiete



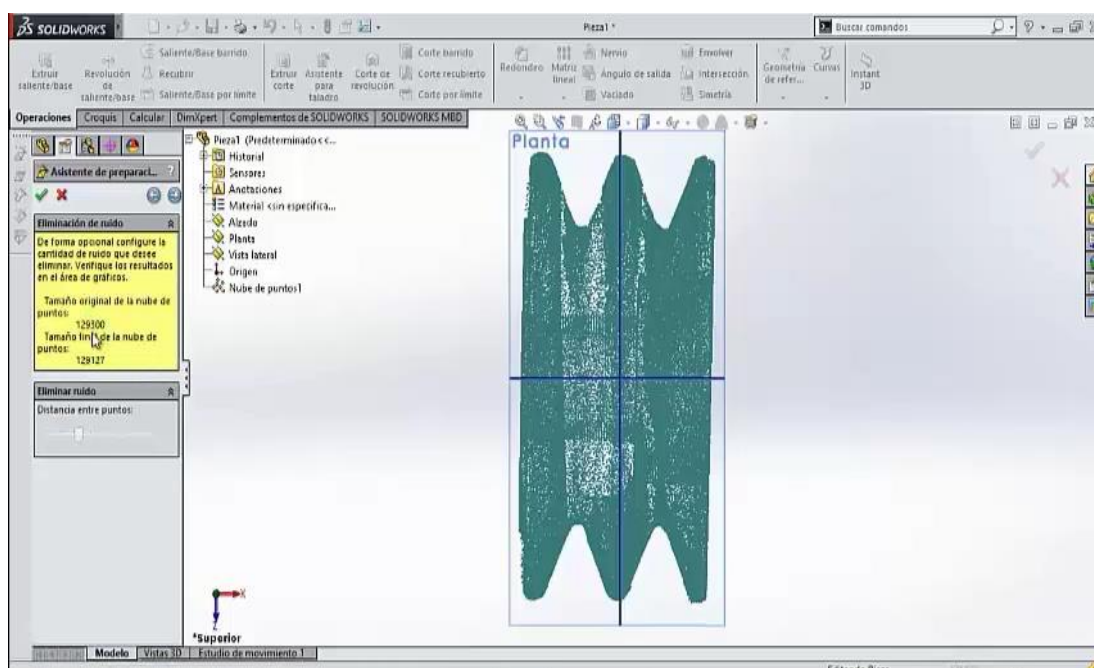
Seleccionar Automático

Modificar los Parámetros de Traslación y Rotación para que se alinee con los planos

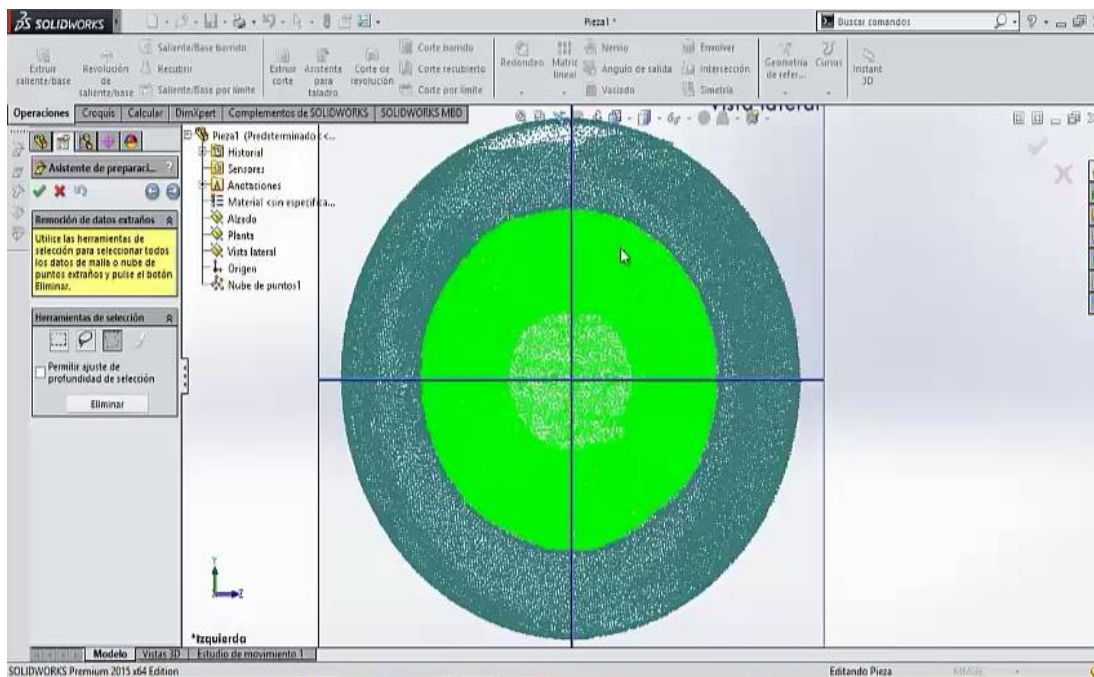
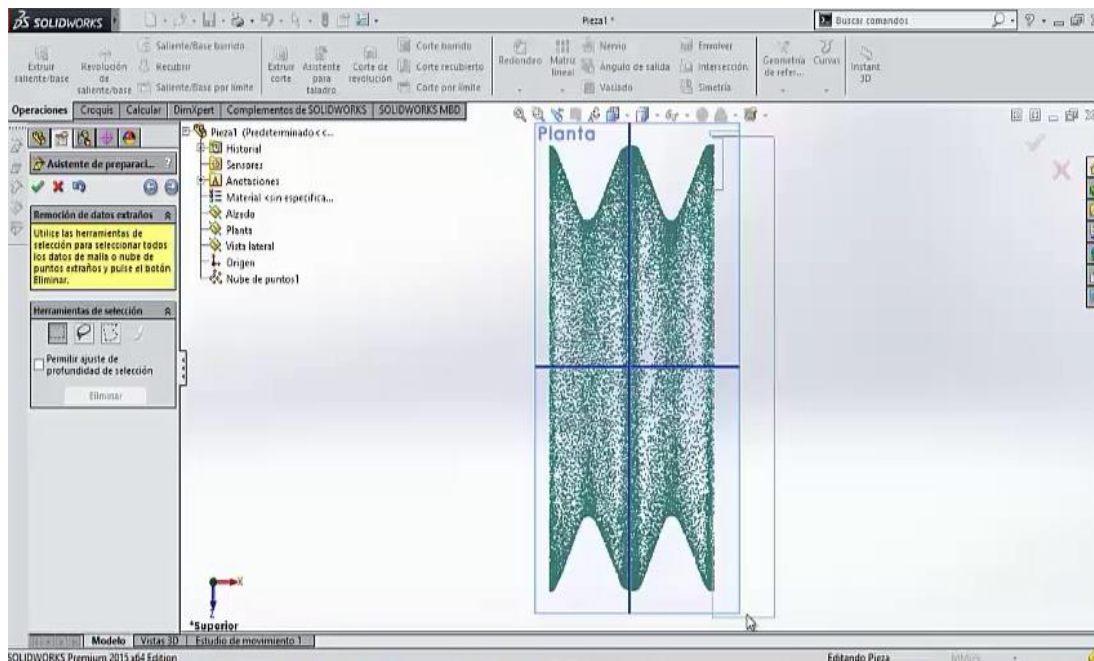
→ Siguiente



En este caso reducir un 30% la distancia entre puntos considerando la cantidad excesiva de puntos.



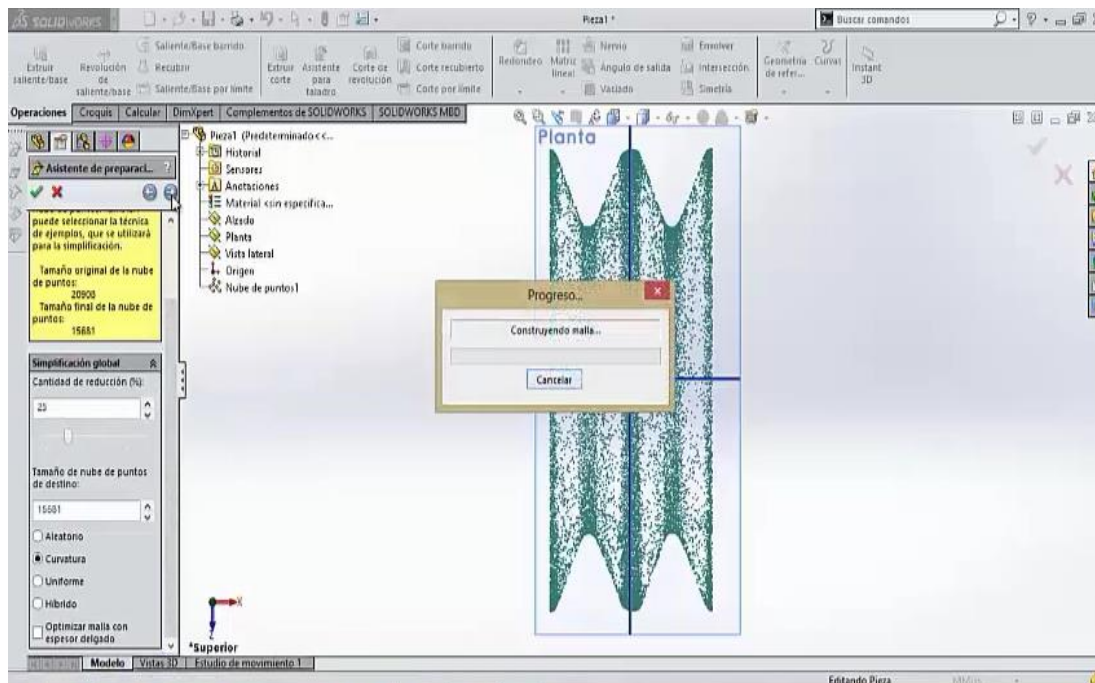
Utilizar las herramientas para seleccionar los puntos fuera de lugar, innecesarios o que modifiquen la forma del objeto, posteriormente → Eliminar



→Siguiente

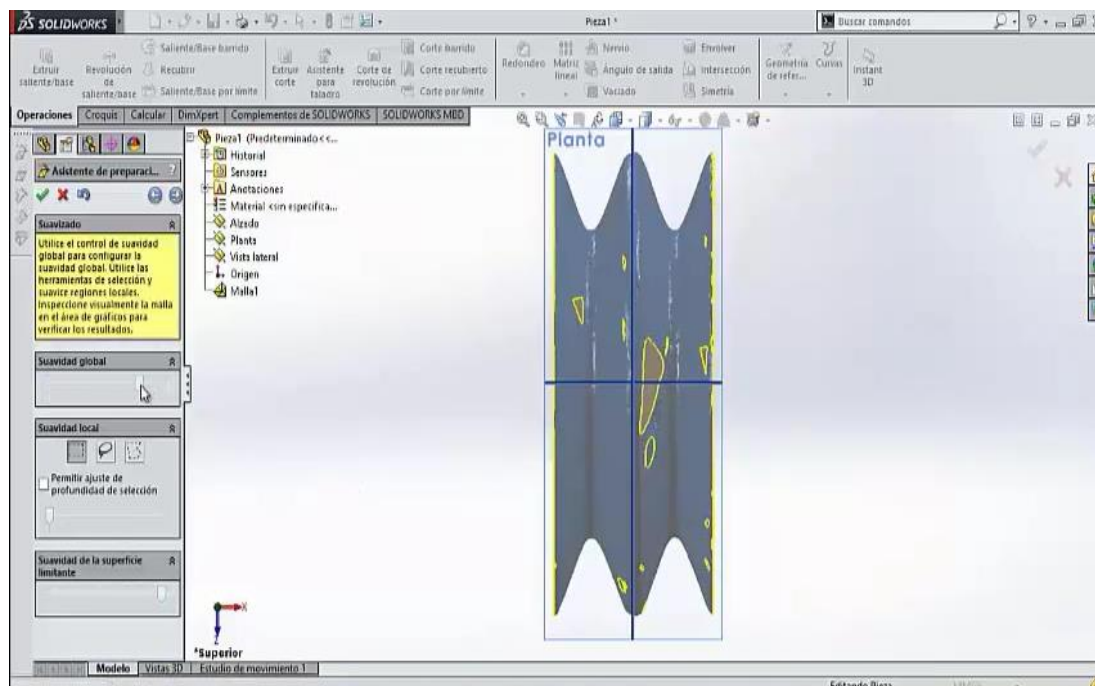


Seleccionar: Curvatura → Cantidad de reducción: 25% →Siguiente

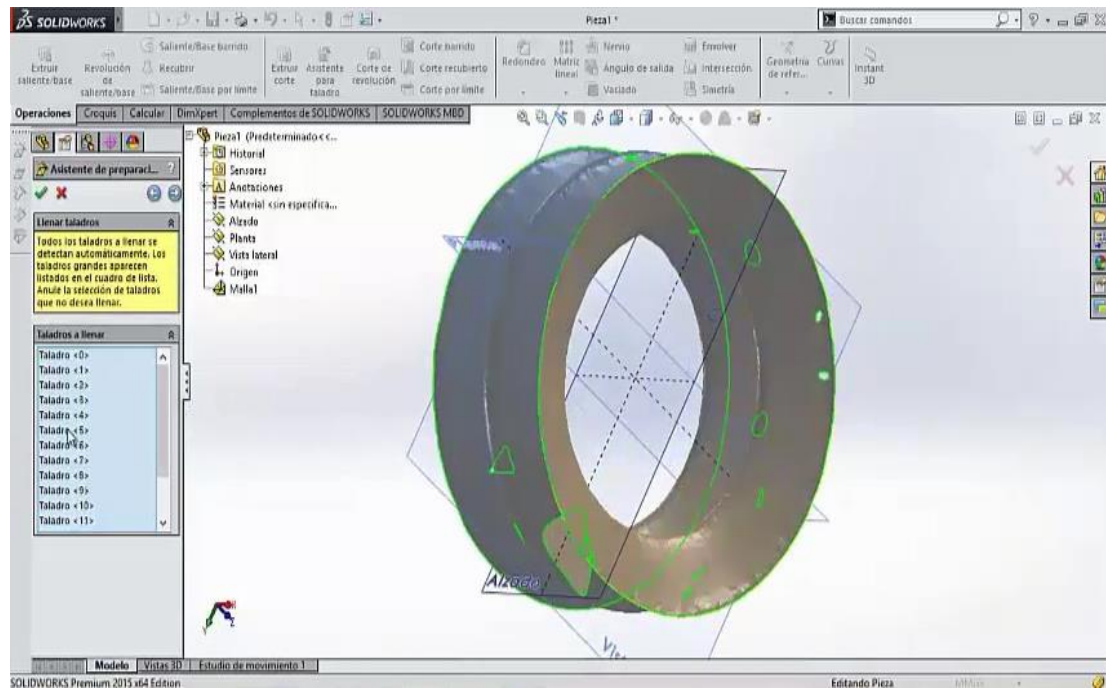


*Se Construye El Mallado Del Objeto*

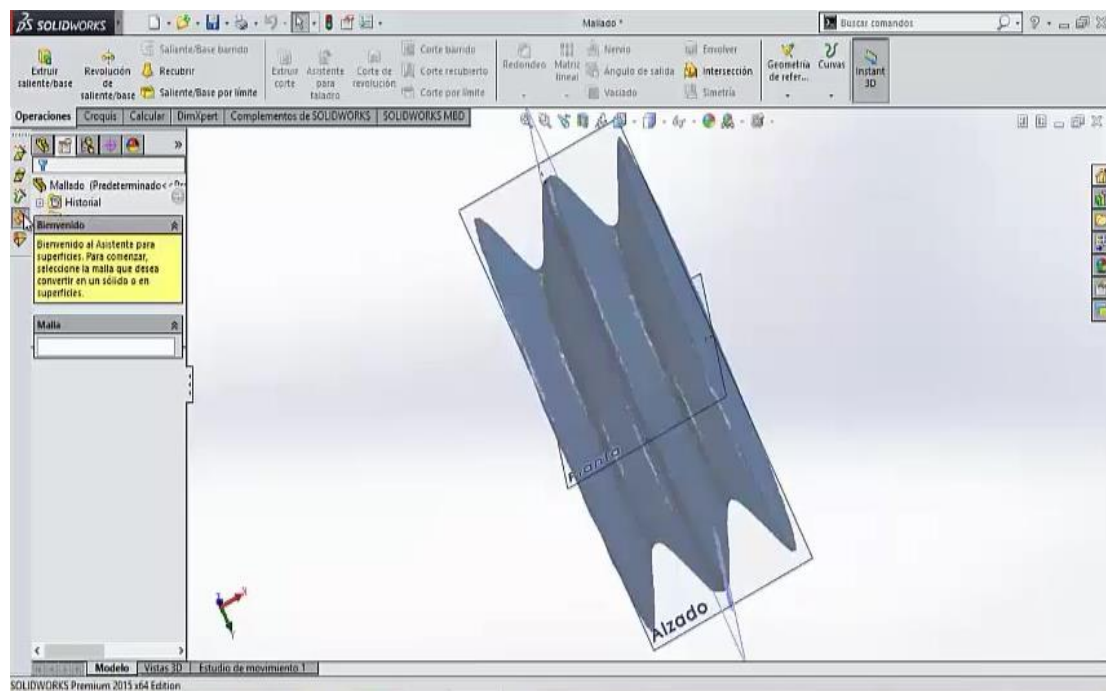
Suavidad de la superficie limitante: 100%, Suavidad Global: 75% →Siguiente



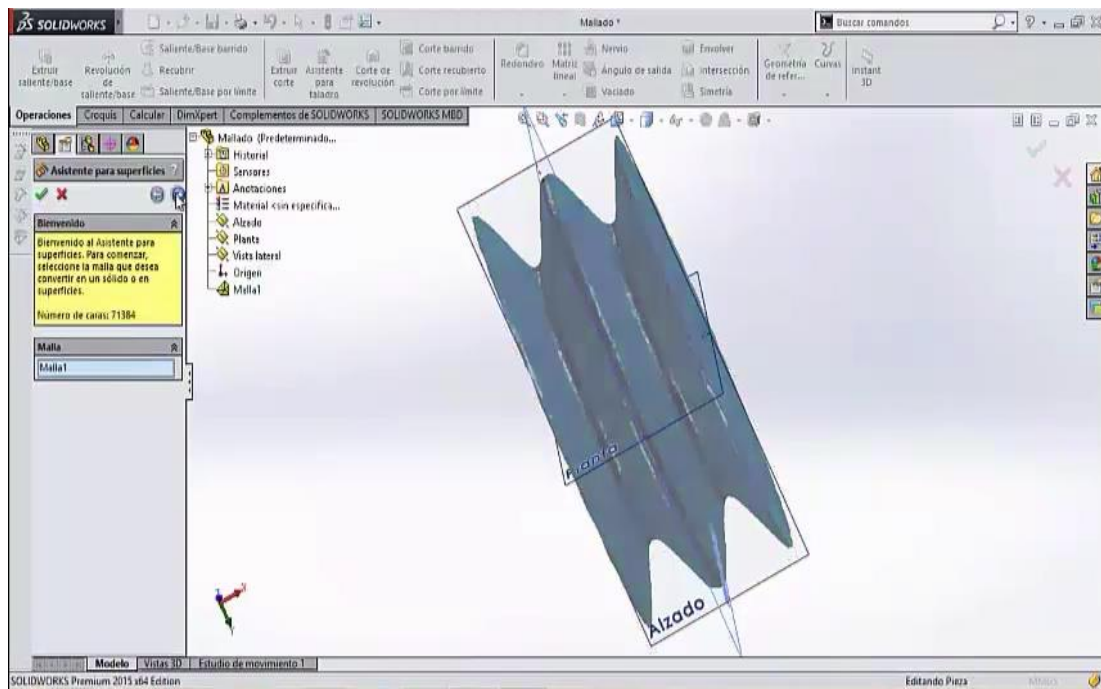
Seleccionar los huecos que el mallado genero para cubrir →Siguiente→OK



Seleccionar “Asistente Para Superficies”

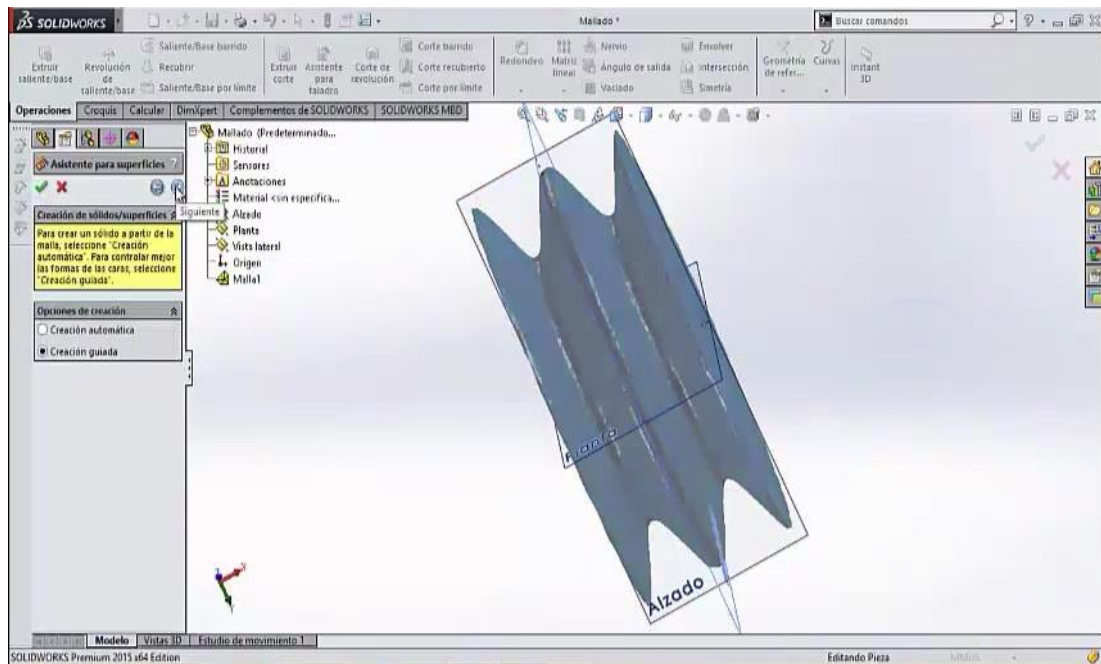


## Seleccionar la Malla



→Siguiente

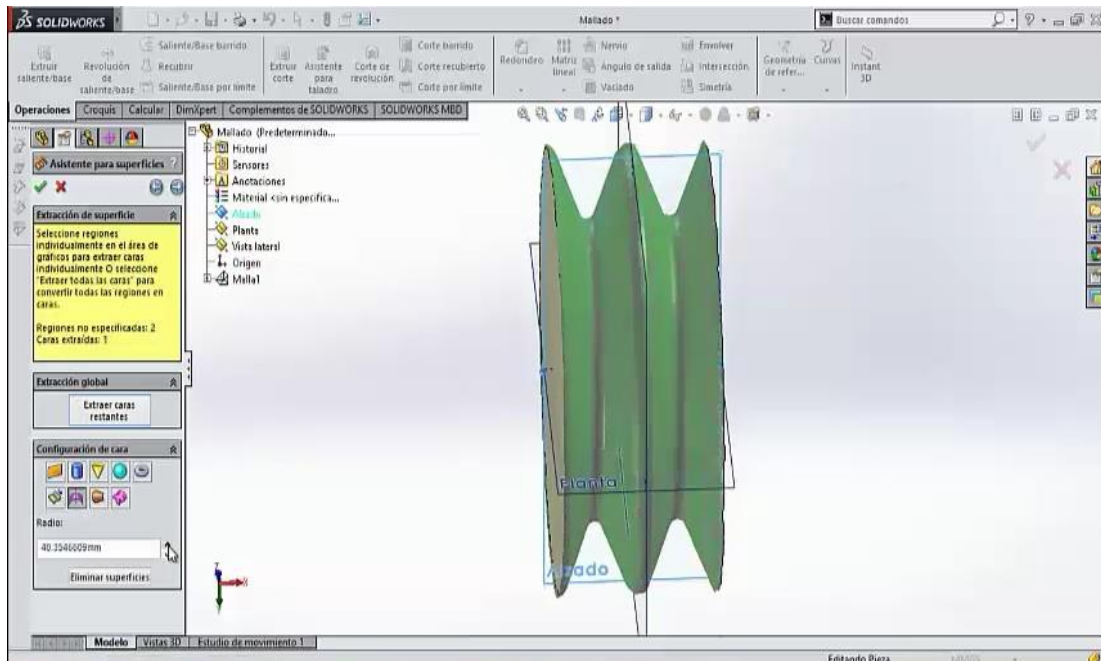
## Seleccionar “Creación guiada”



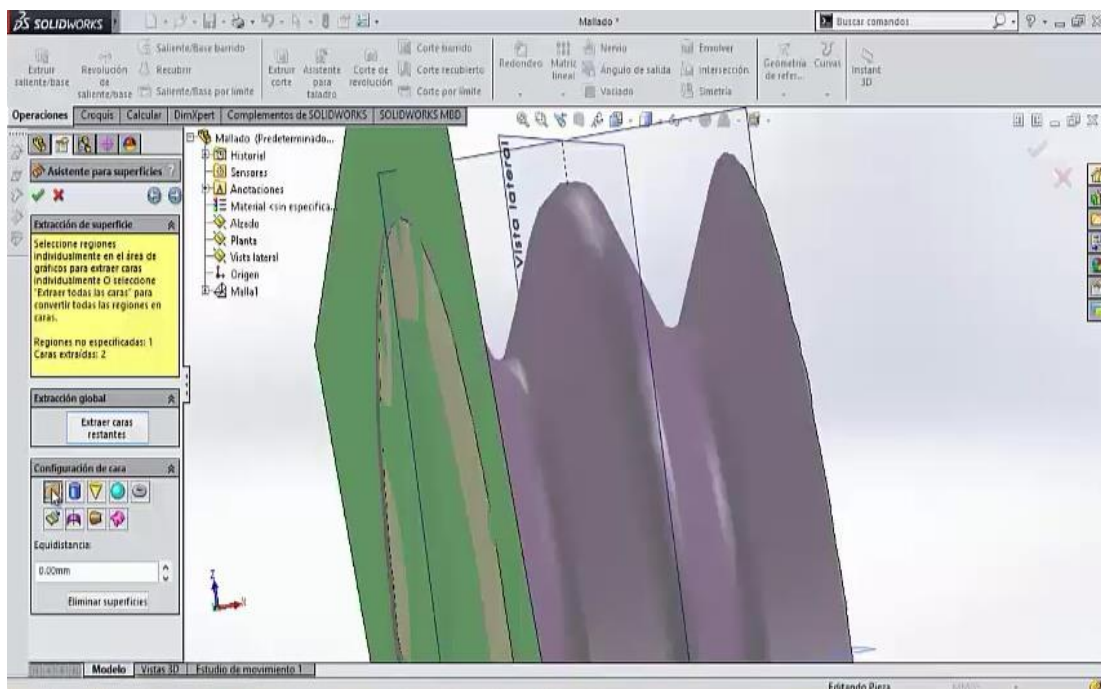




Seleccionar regiones (colores) individualmente para extraer las superficies que se requieran

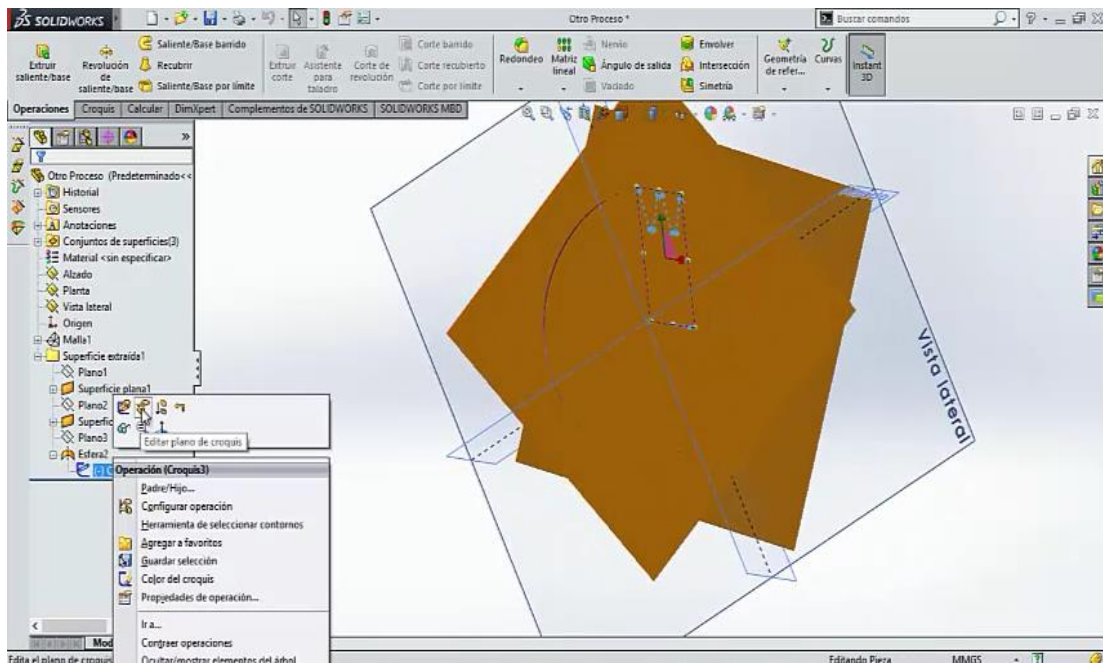


Extraer las caras planas

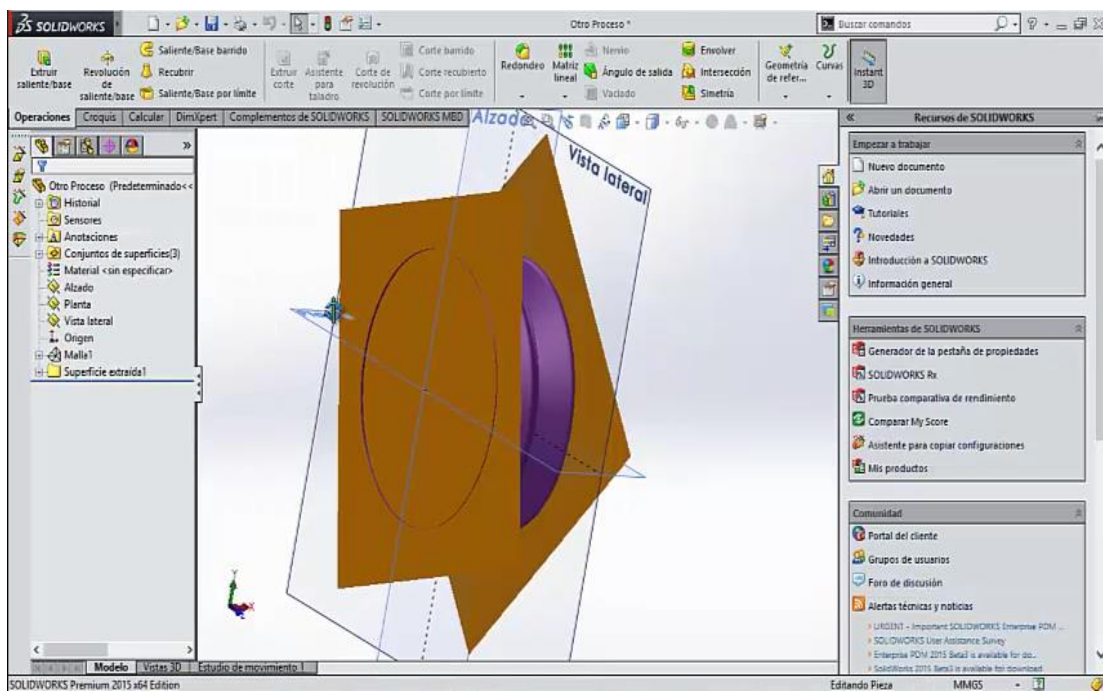


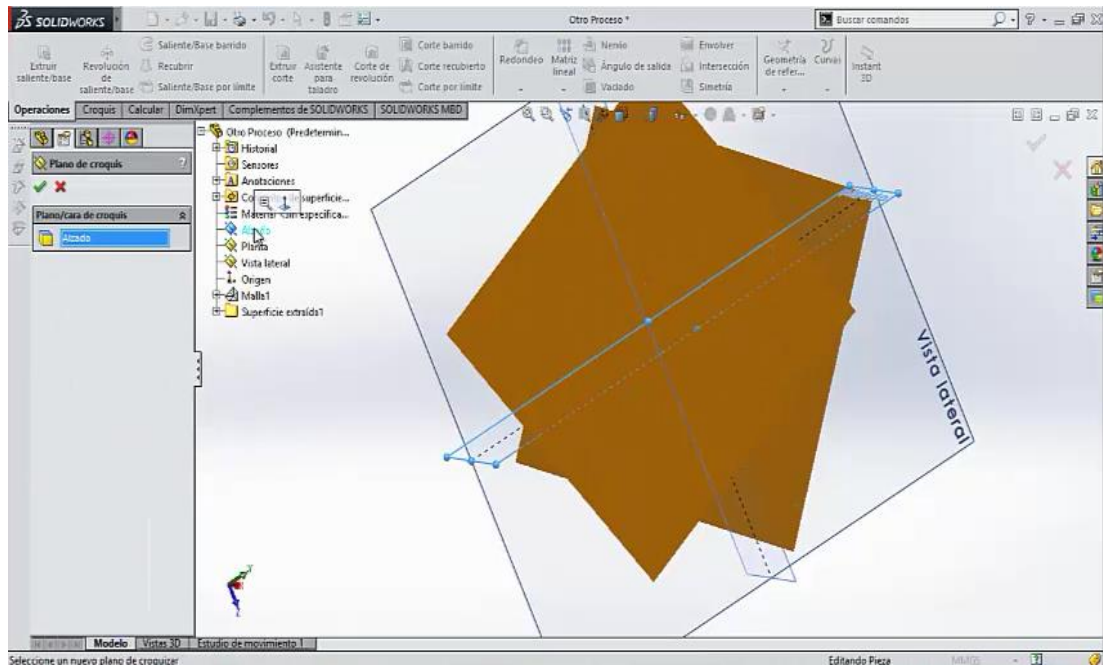
→Siguiente

En “Superficie extraída1” Ir al croquis que contiene las curvaturas del objeto, se aprecia que no está alineado a ningún plano de referencia. Clic derecho → Editar plano de croquis

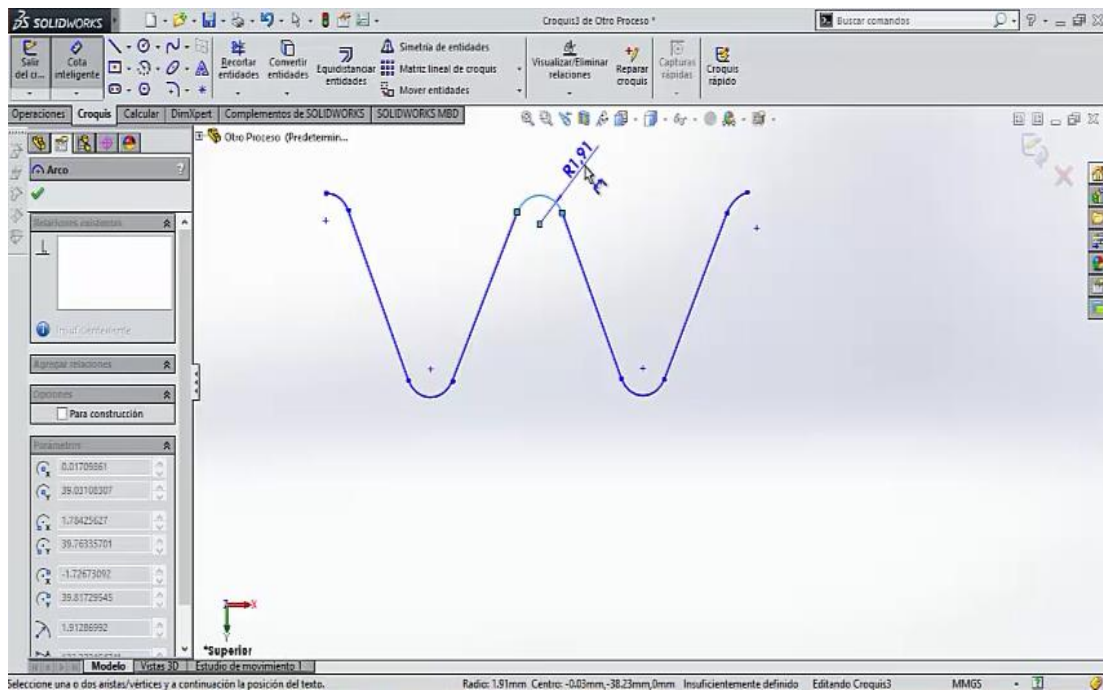


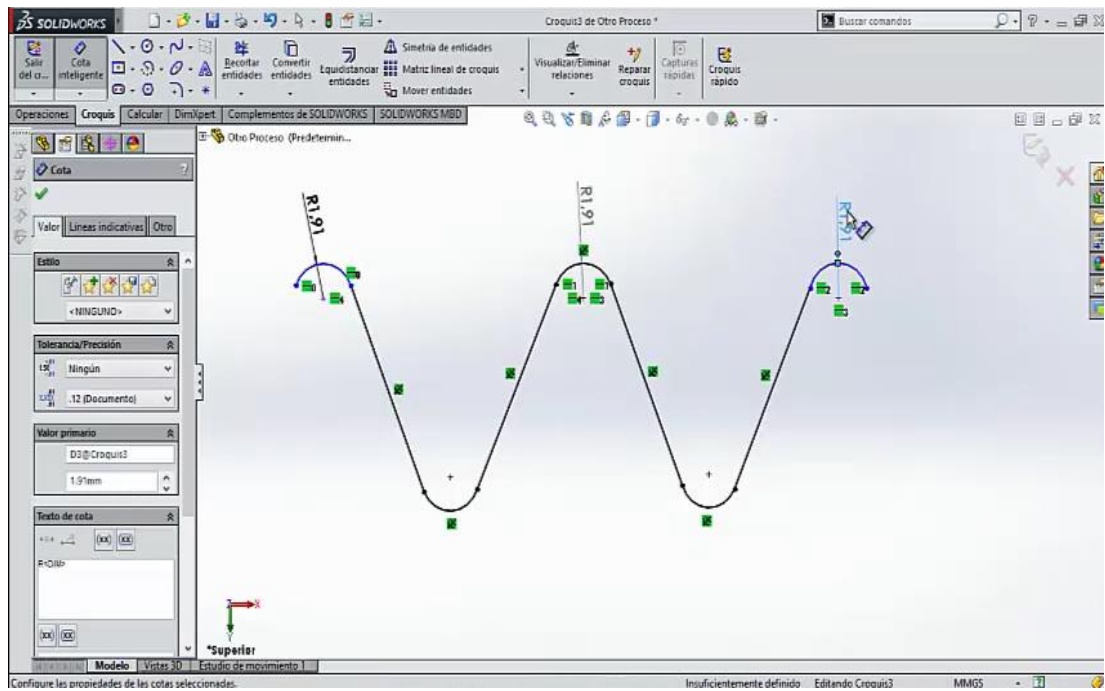
Alinear el croquis con un plano de referencia



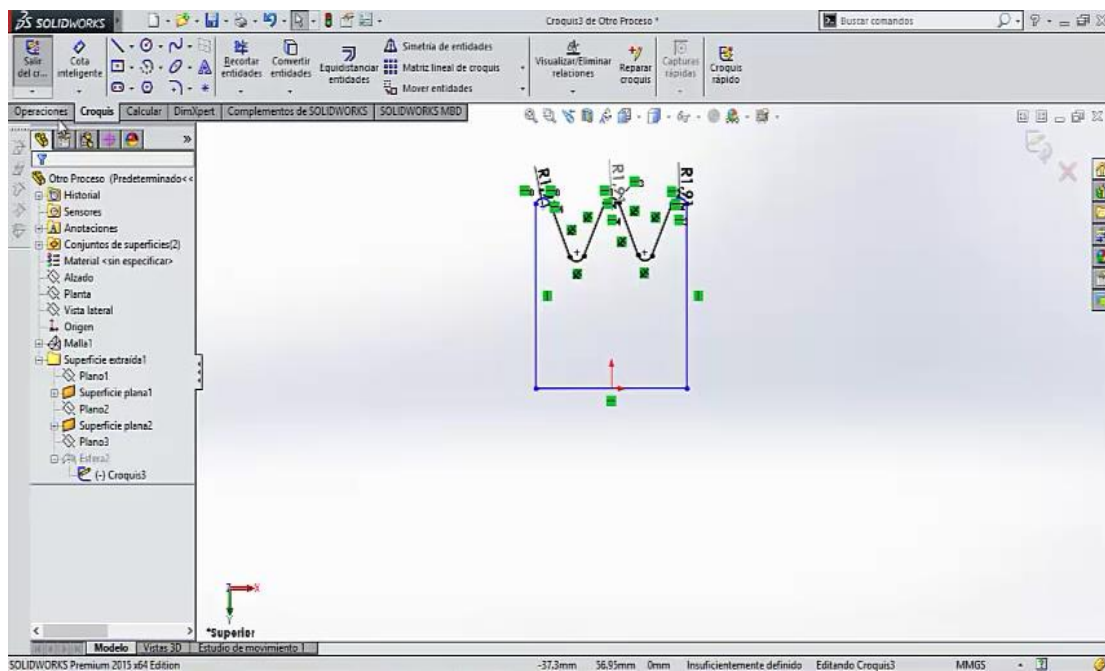


### Editar dicho Plano de Croquis



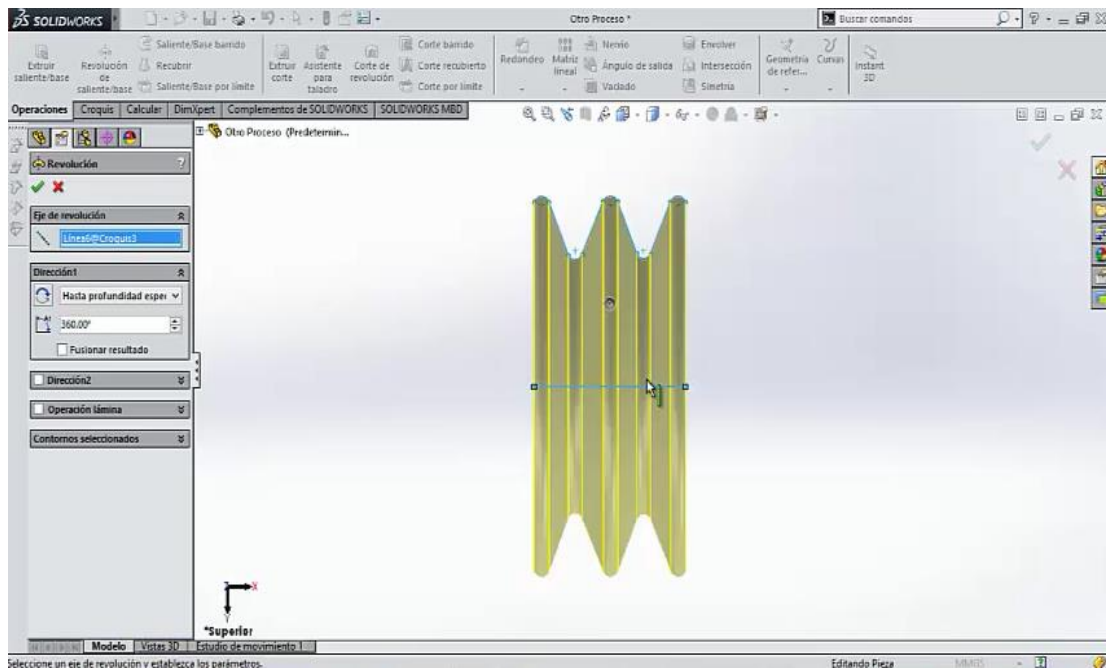


Crear un croquis cerrado respecto a eje referencial

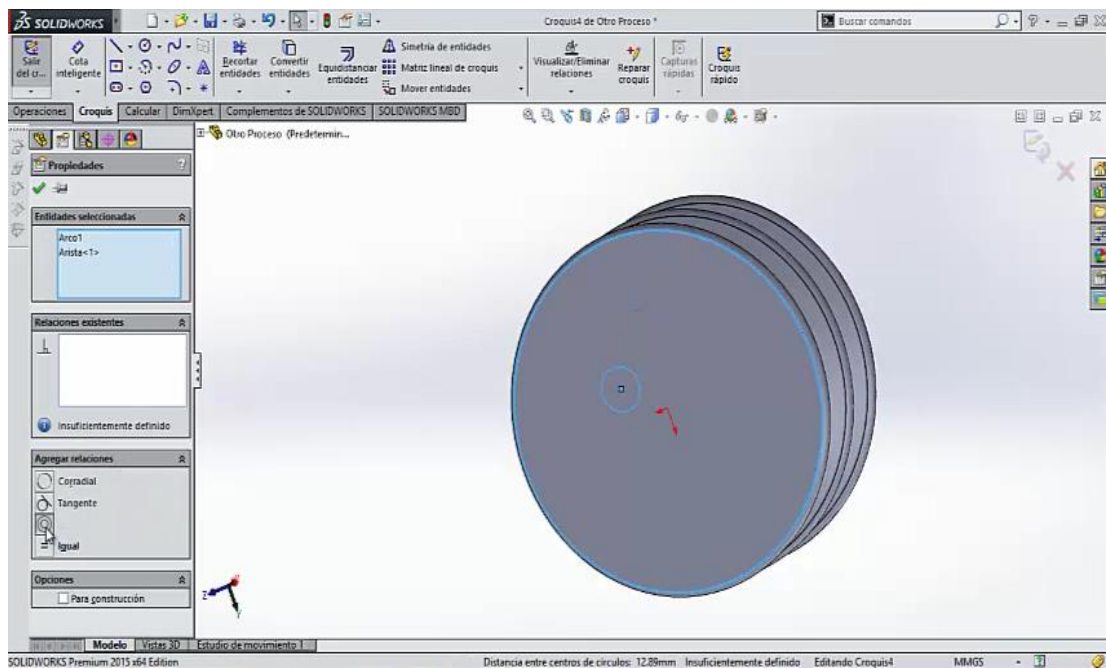


Escoger la herramienta “Revolución” → seleccionar el eje donde se va a revolucionar el sólido. → OK



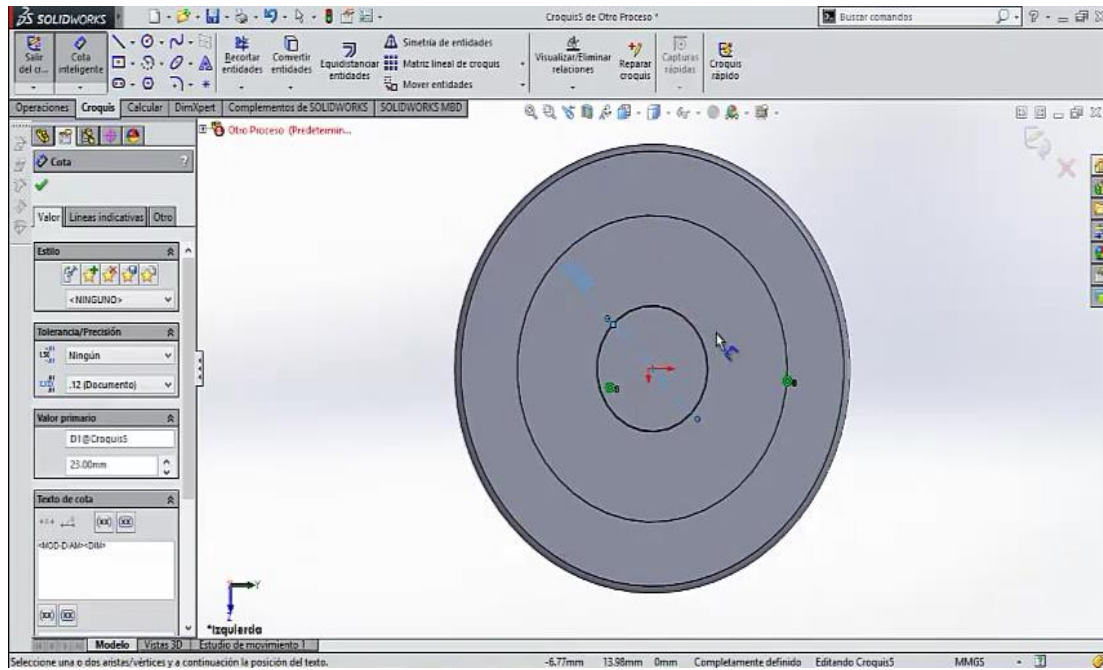


Croquis en una cara del objeto → Circunferencia 56mm → Concentricidad con la circunferencia exterior

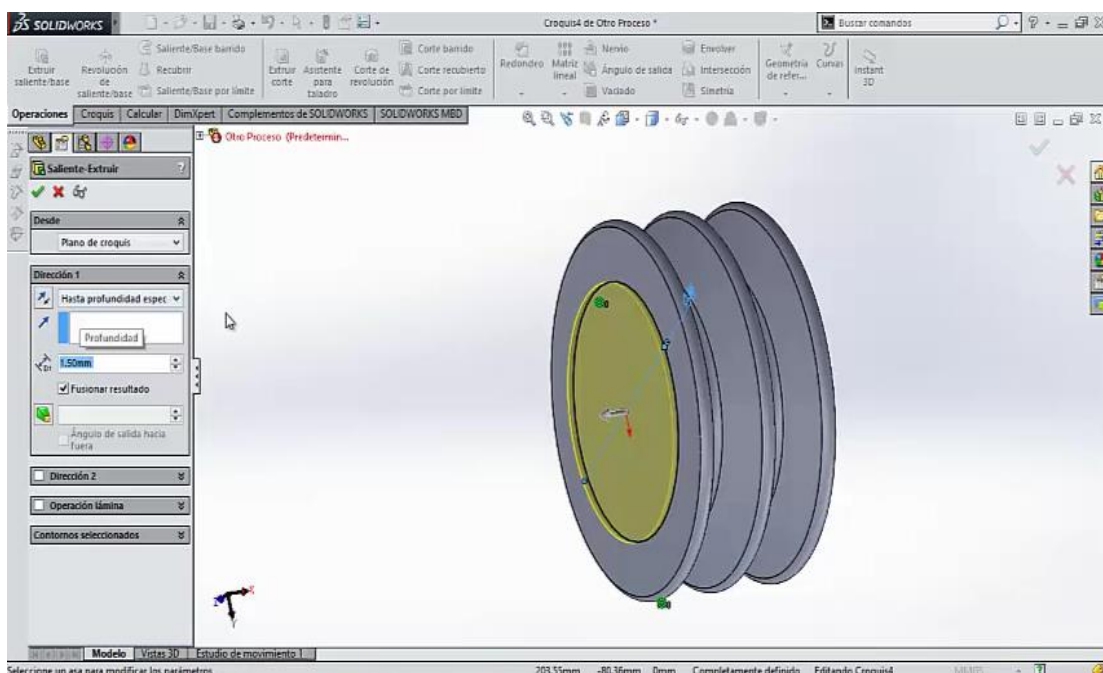


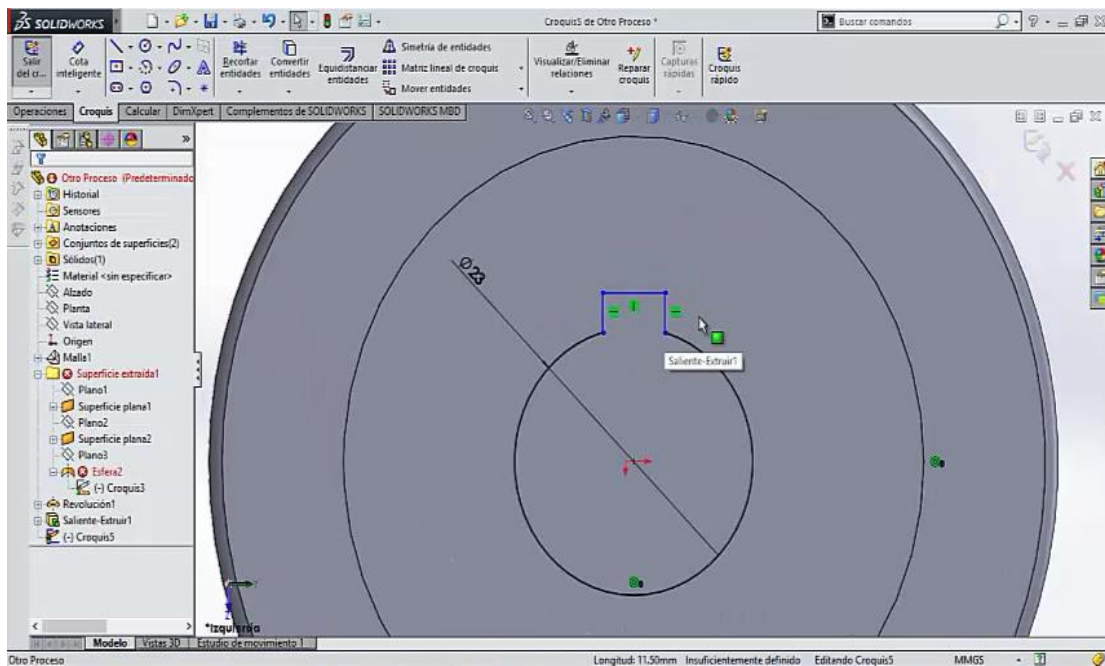
Seleccionar herramienta “Saliente-Extruir” a 1.5mm.

Sobre la cara crear un croquis con otra circunferencia de 23mm concéntrica a la anterior.

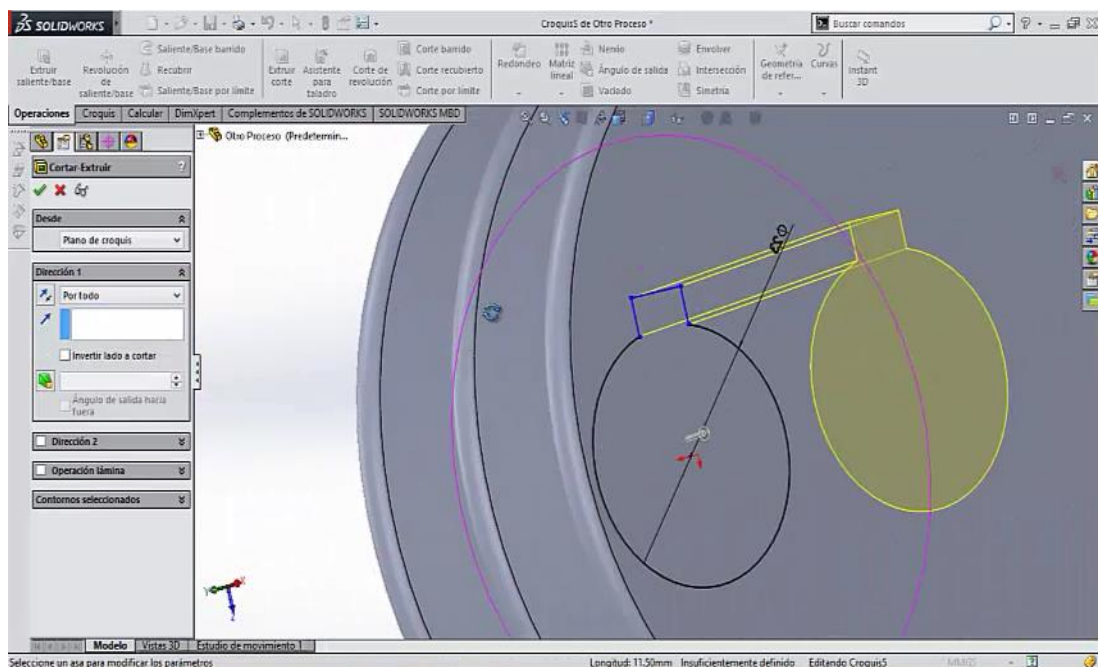


Dibujar en el croquis una chaveta de (6\*3) mm

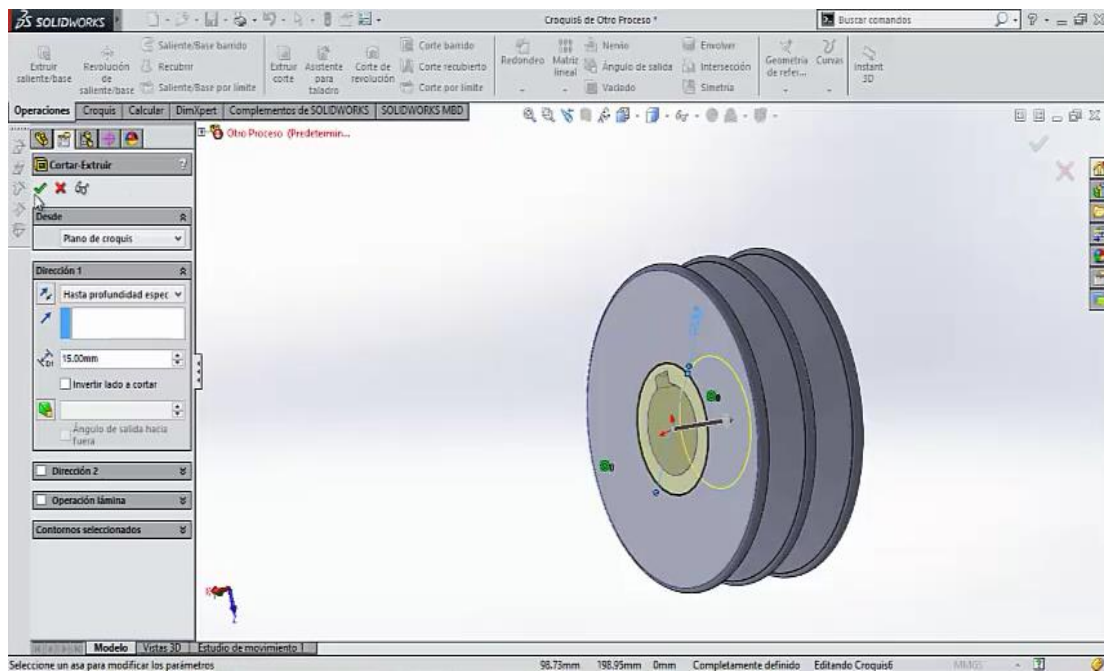




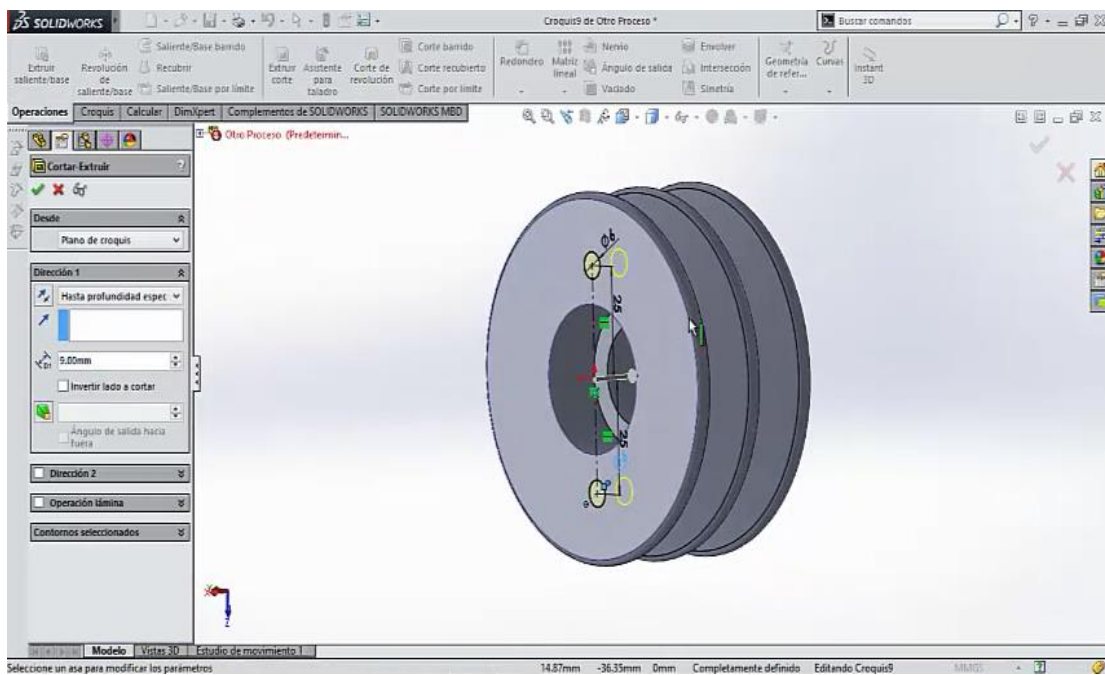
Con la herramienta “Extruir Corte” por todo el objeto → OK



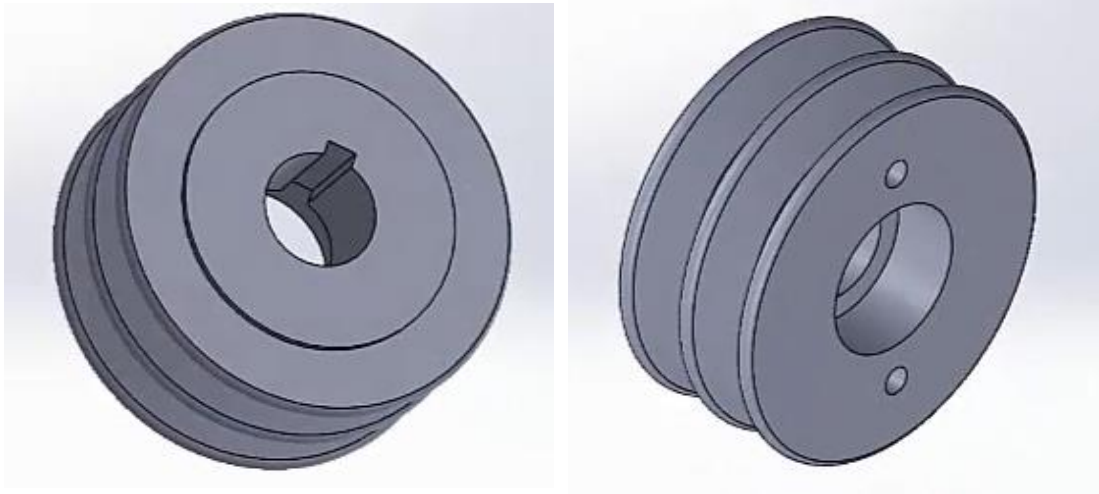
En el lado posterior realizar un croquis con una circunferencia de 33mm y con la herramienta “Extruir-Corte” a una profundidad de 15 mm



Se crea un croquis sobre la misma cara se realizan dos circunferencias de 6mm de distancia equidistantes entre si 50mm posteriormente con el comando “Cortar-Extruir” a una profundidad de 9mm.



### 5.2.1.3 Resultado

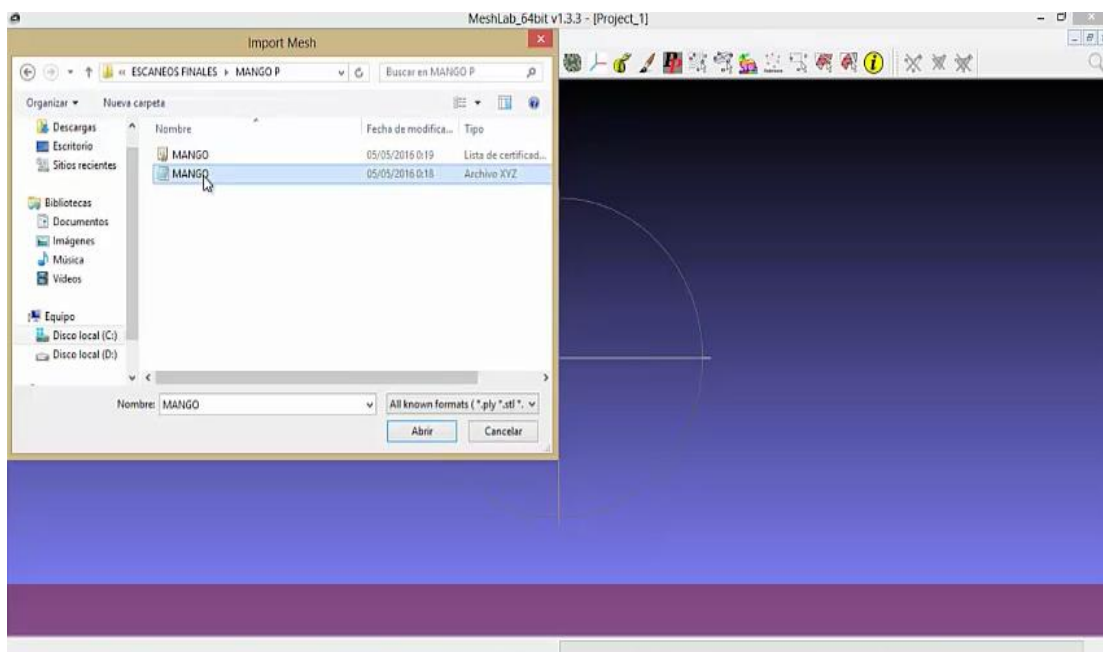
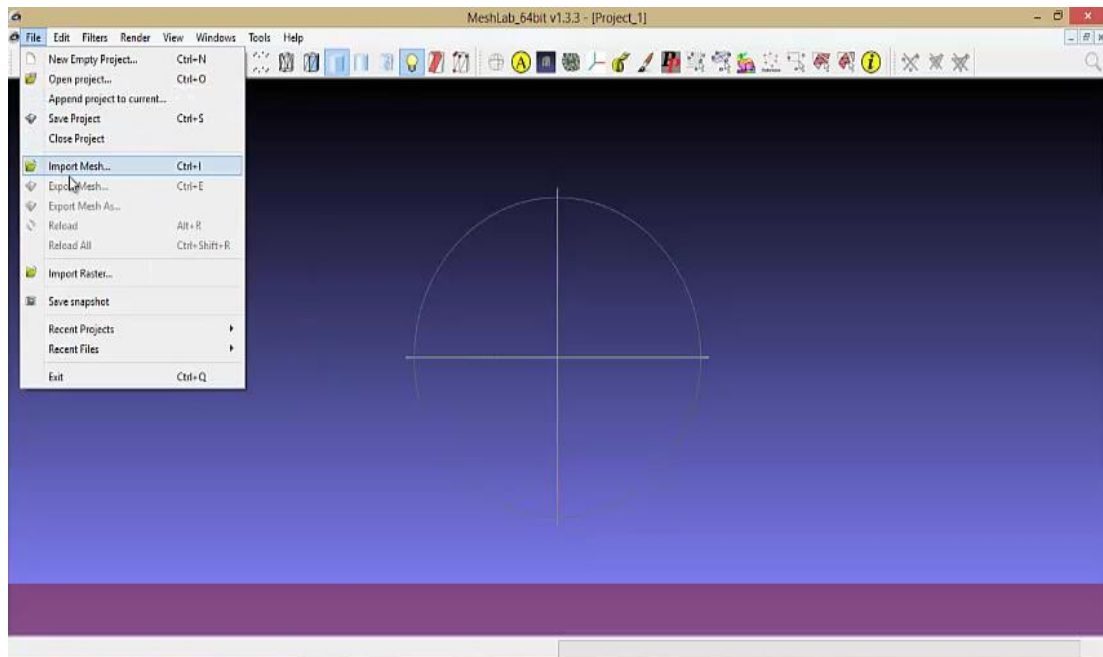




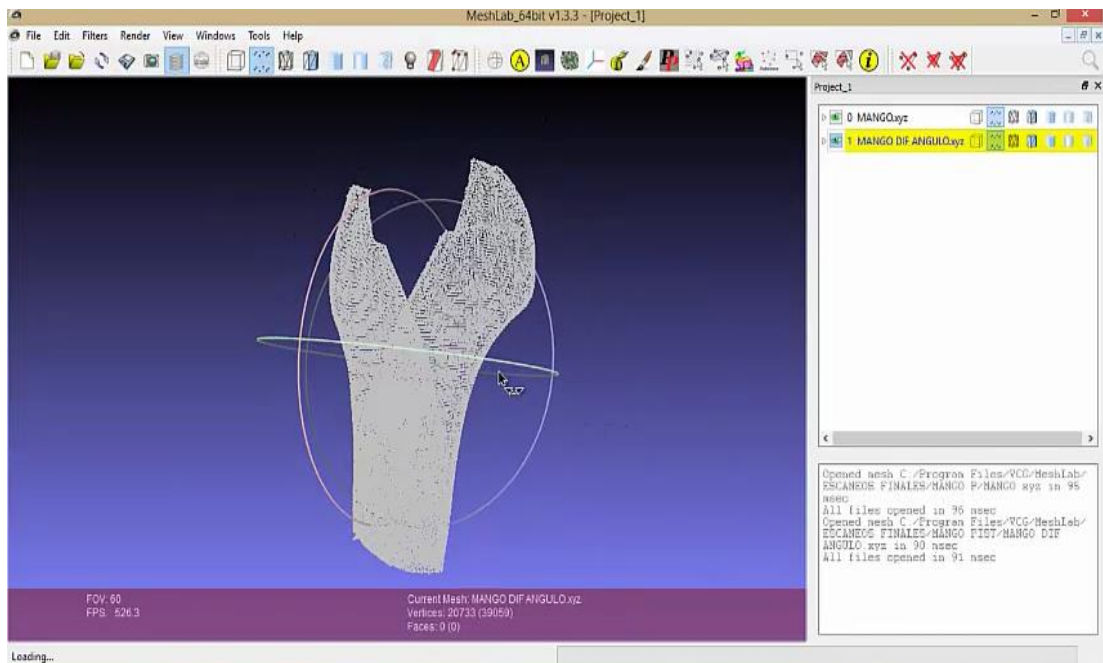
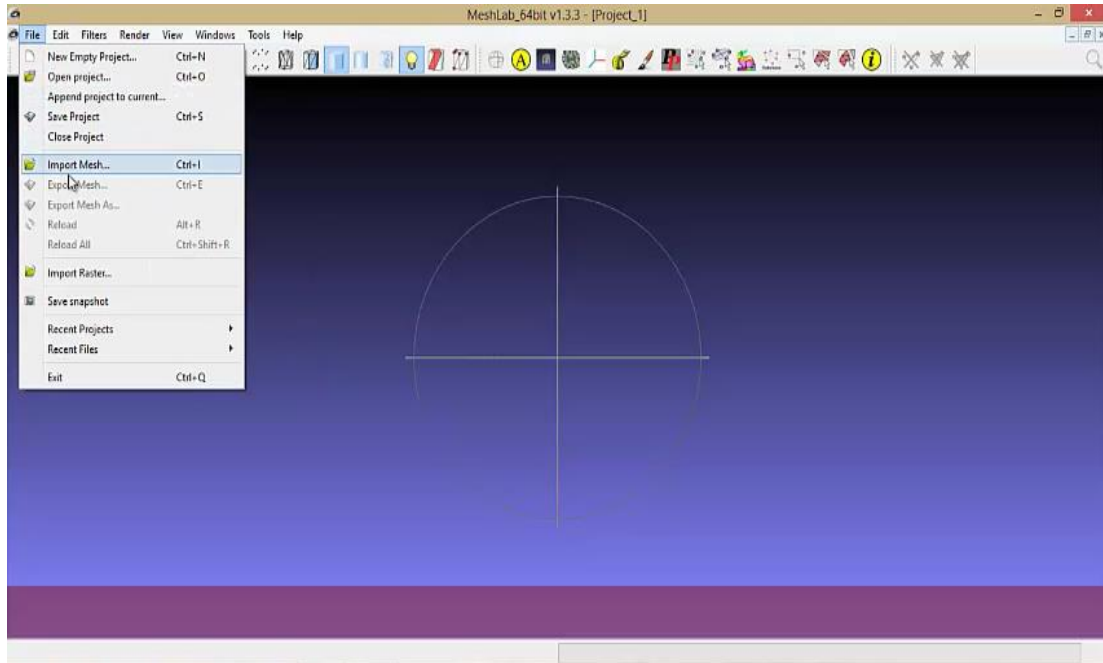
## 5.2.2 TUTORIAL RECONSTRUCCION Y TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS MANGO DE ARMA DE FUEGO PROPORCIONADO POR LA FABRICA DE MUNICIONES “SANTA BARBARA”

### 5.5.2.1 Proceso En Meshlab

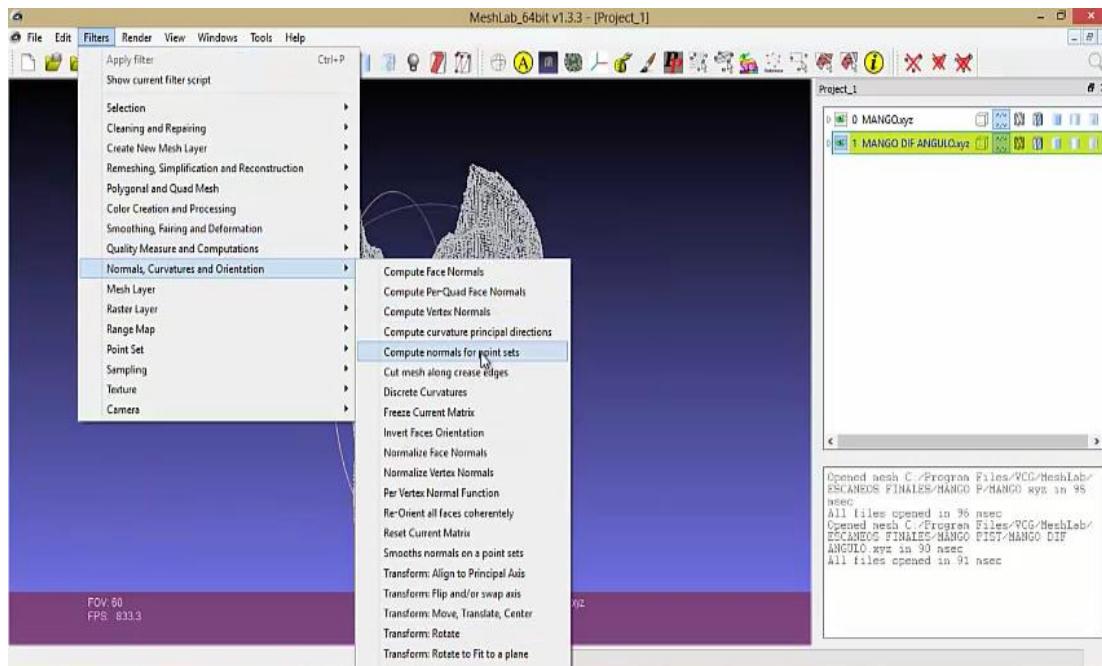
Importar el archivo .xyz o .txt (Nube de puntos)



Repetir el proceso con el escaneo desde un ángulo diferente del objeto



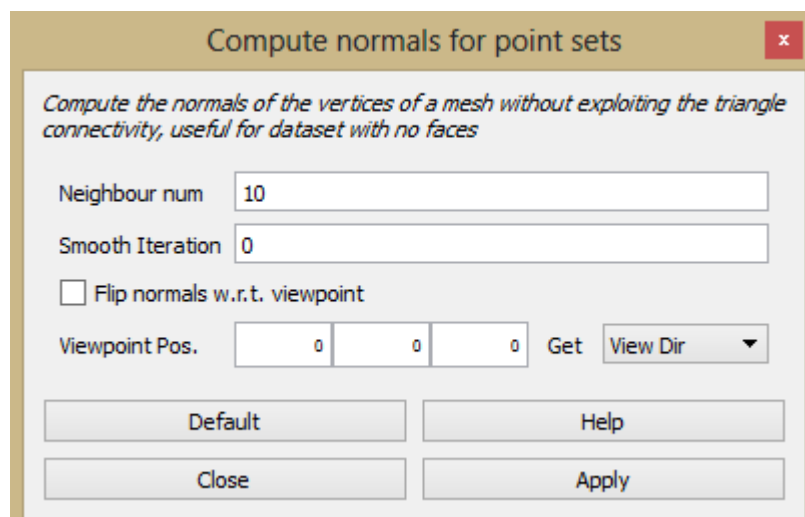
## Computar las normales (Compute normals for point sets)



Heighbour num: 10,

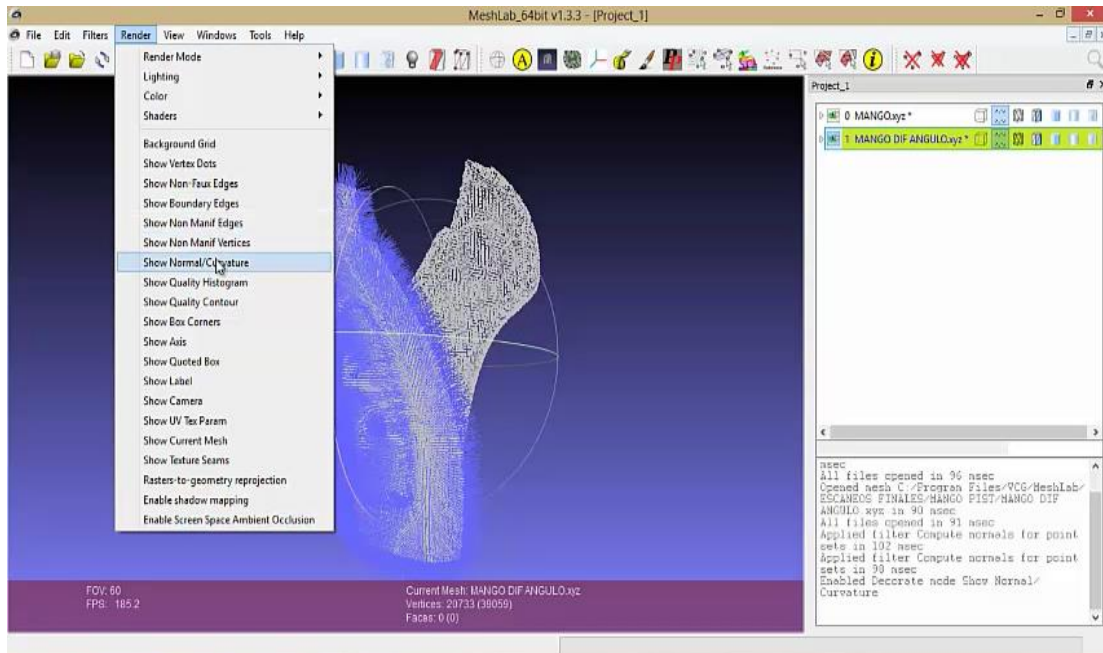
Clic en “Apply”

Clic en “Close”





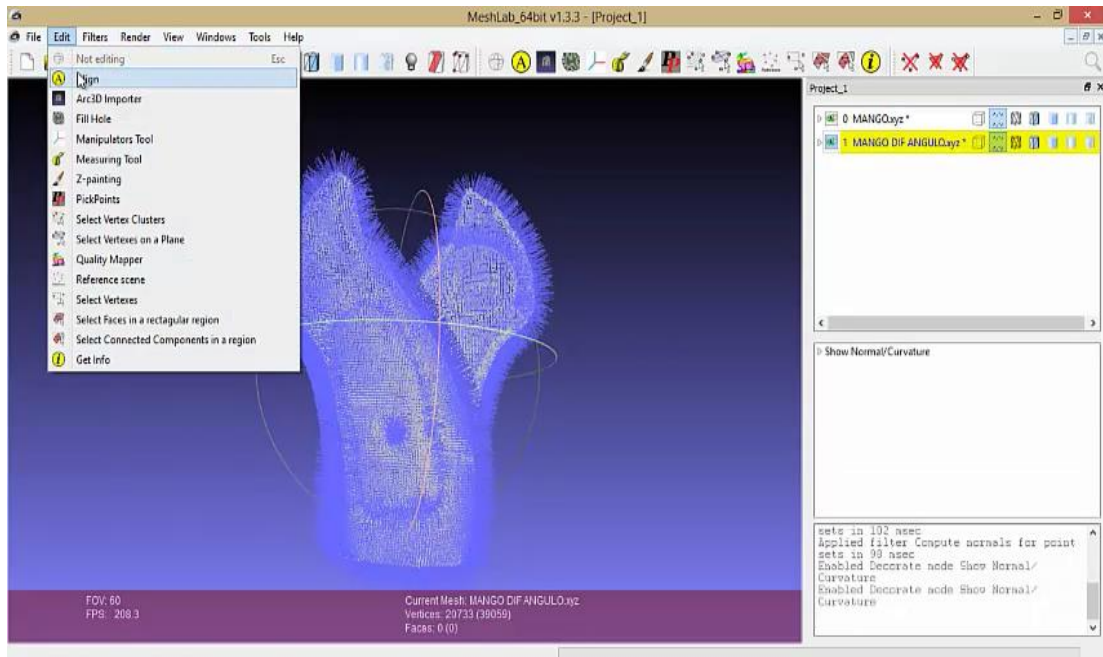
Render → Show Normal/Curvature (Visualizar las normales)



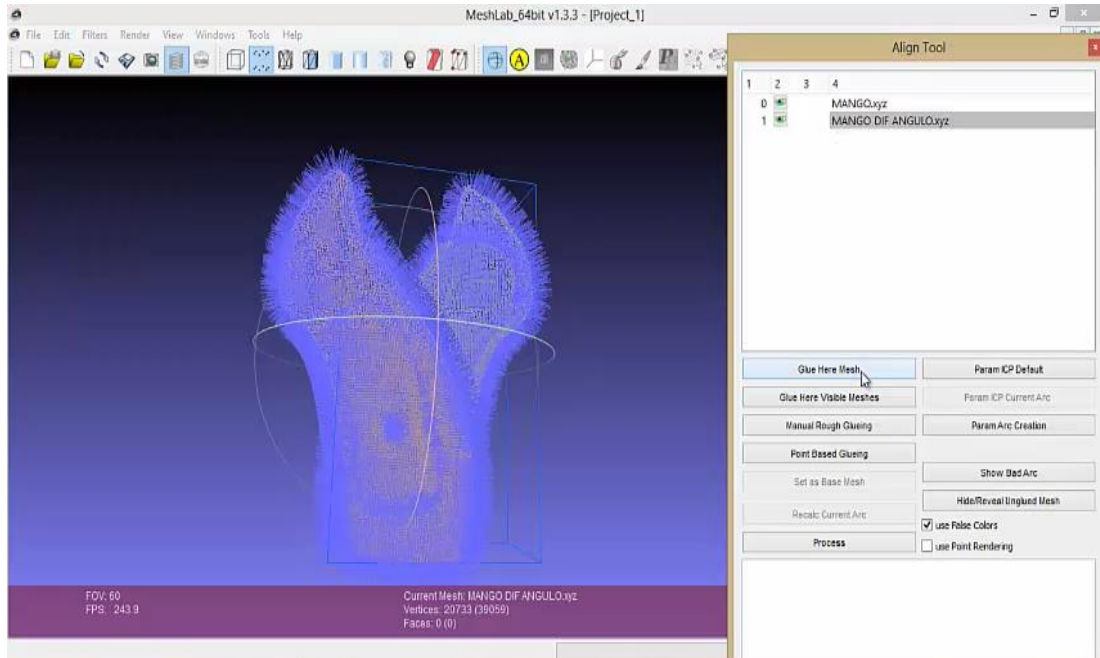
El mismo procedimiento para el otro archivo: Realizar el cálculo de las normales y posteriormente la visualizar.

### *Unir Nube De Puntos*

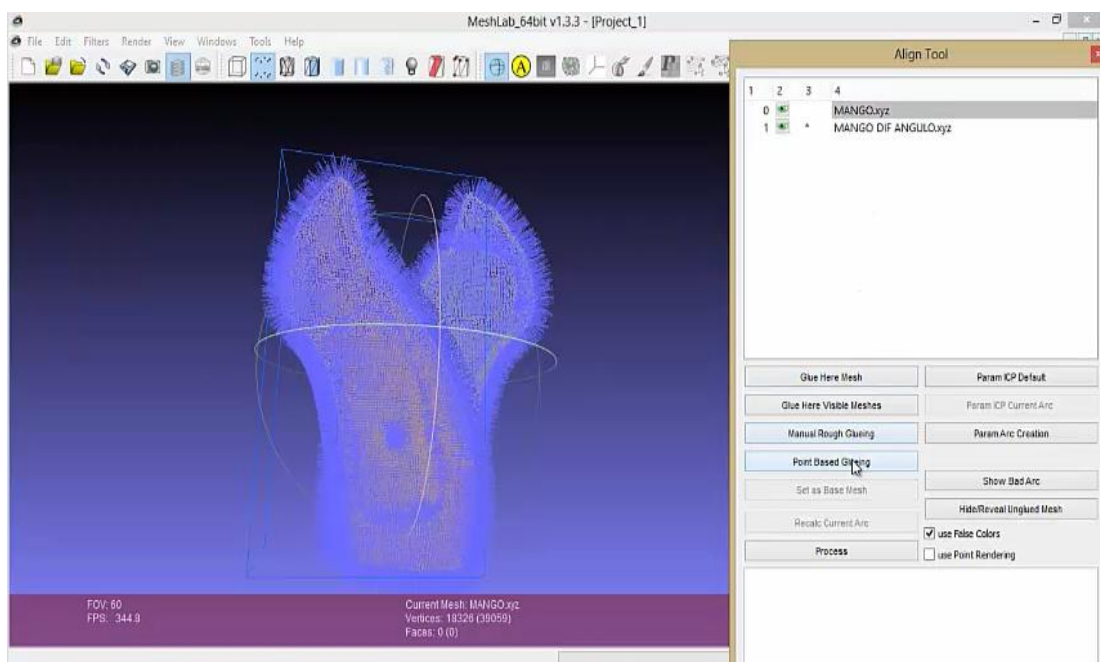
Usar la herramienta ALIGN



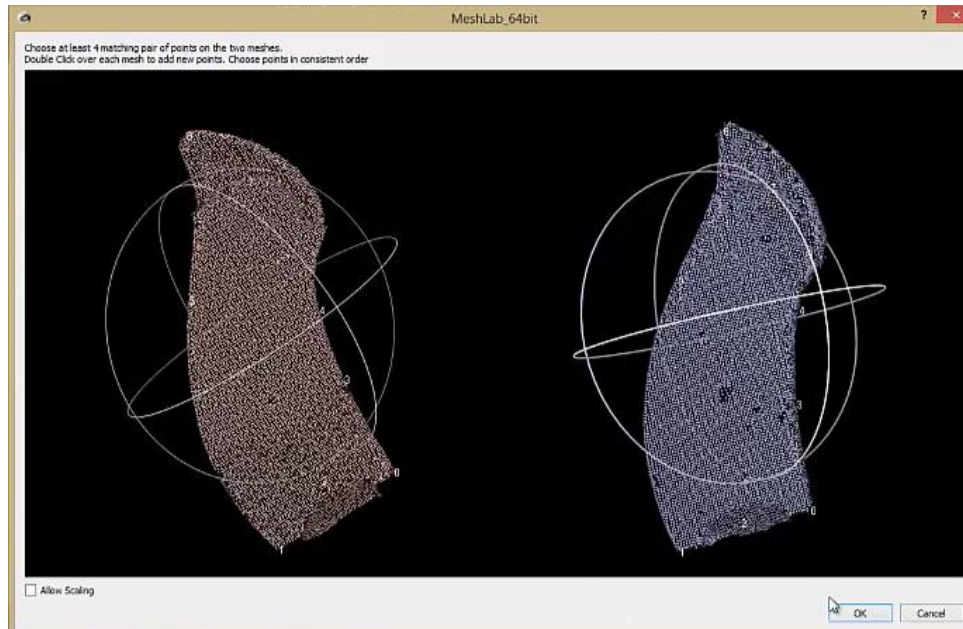
Escoger en el “Show Layer Dialog” uno de los archivos y dar clic en “Glue Here Mesh” para inmovilizar dicha nube de puntos.



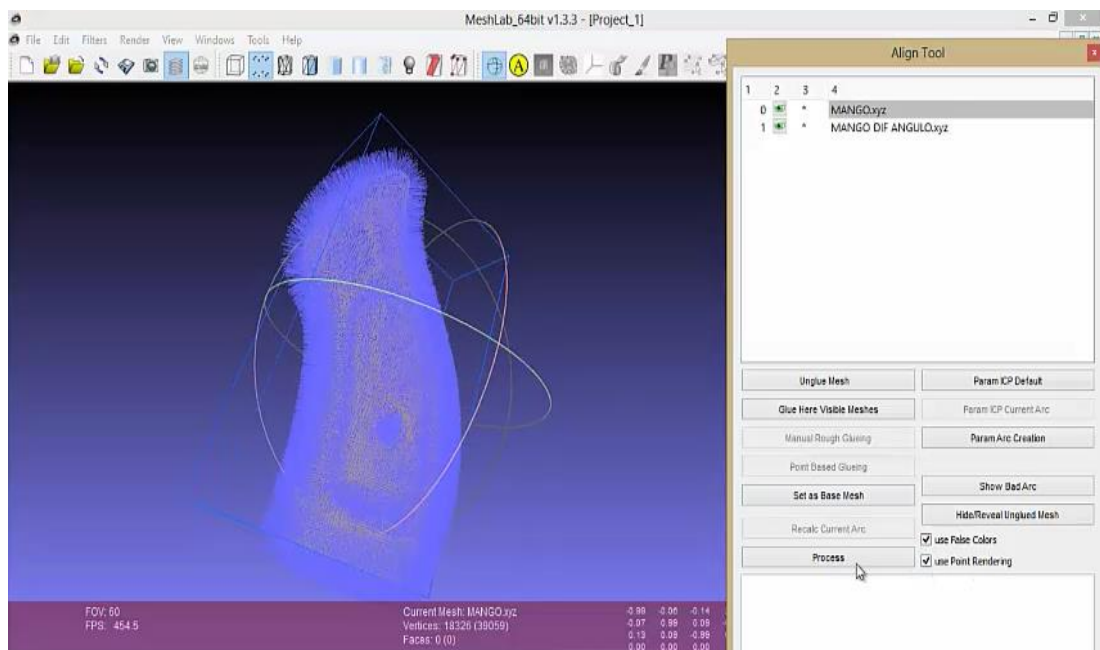
Escoger el otro archivo y dar clic en “Point Based Gluing”



Escoger aleatoriamente por lo menos 4 puntos que sean ligeramente coincidentes entre archivo y archivo mostrados en la siguiente pantalla → OK

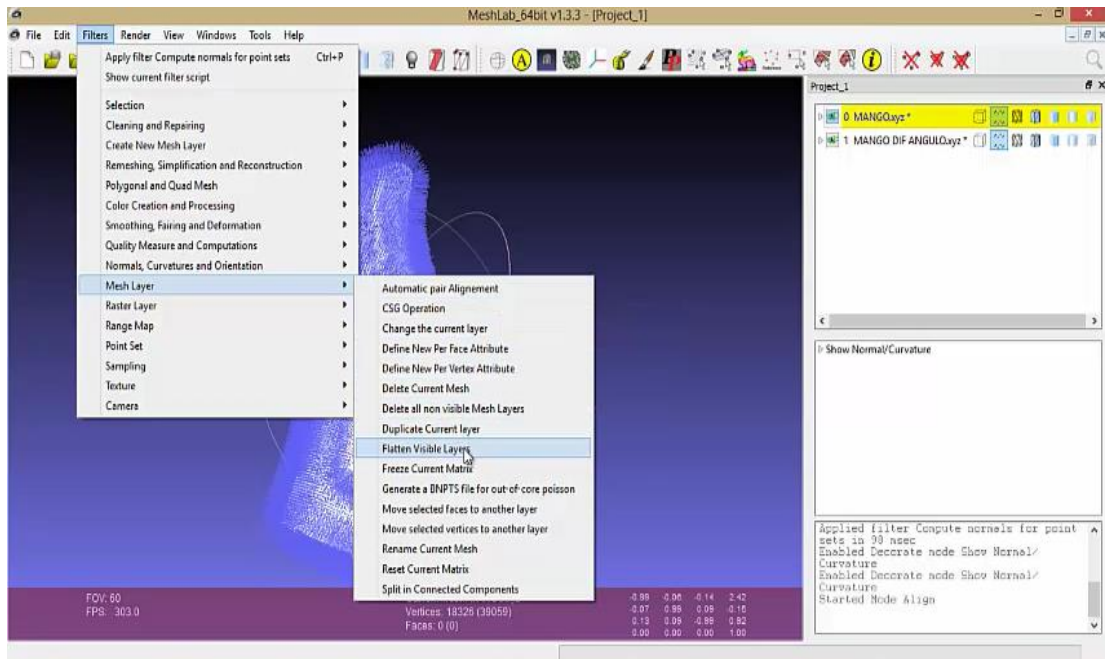


Verificar que las nubes de puntos estén ligeramente alineadas (en caso de no estar alineadas repetir el proceso), seleccionar use “Point Rendering” y luego clic en “Process” → cerrar la pantalla.

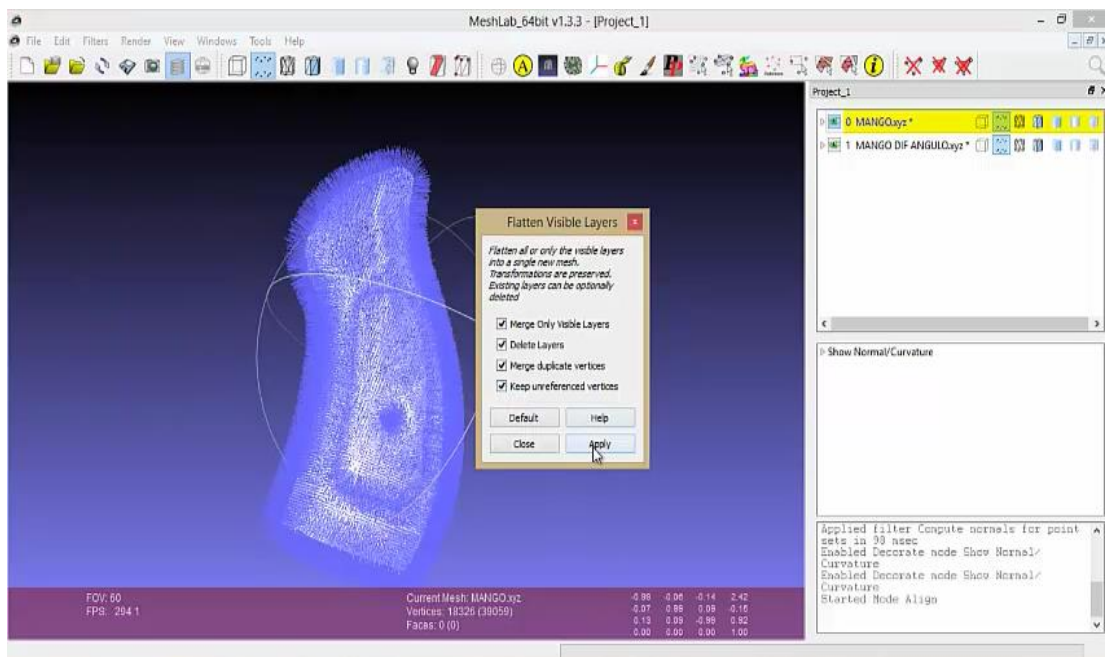


## Consolidar La Unión De Las Dos Nubes De Puntos En Un Solo Archivo

Filter → Mesh Layer → Flatten Visible Layers

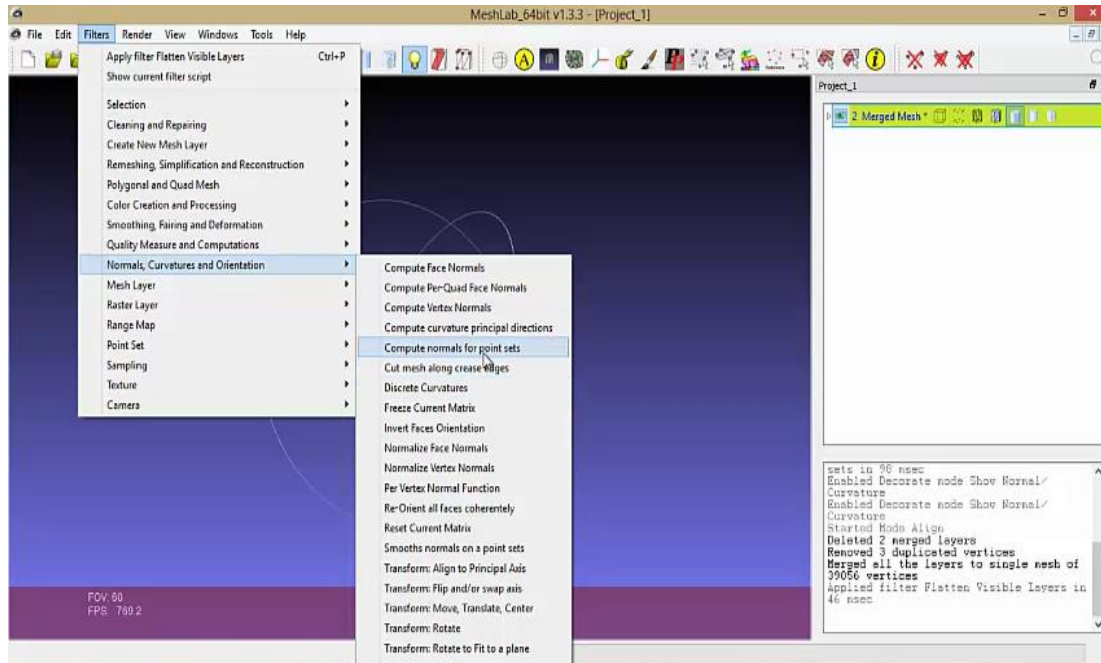


Seleccionar “Keep Unreferenced vértices” → Apply → Close

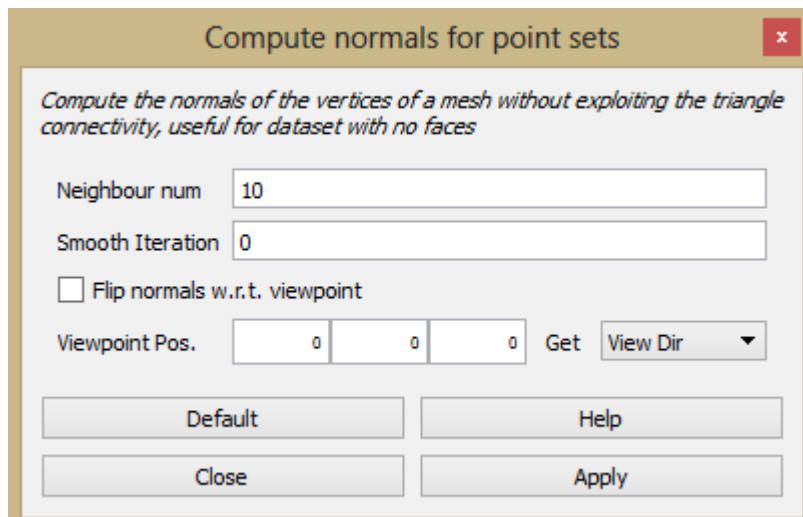




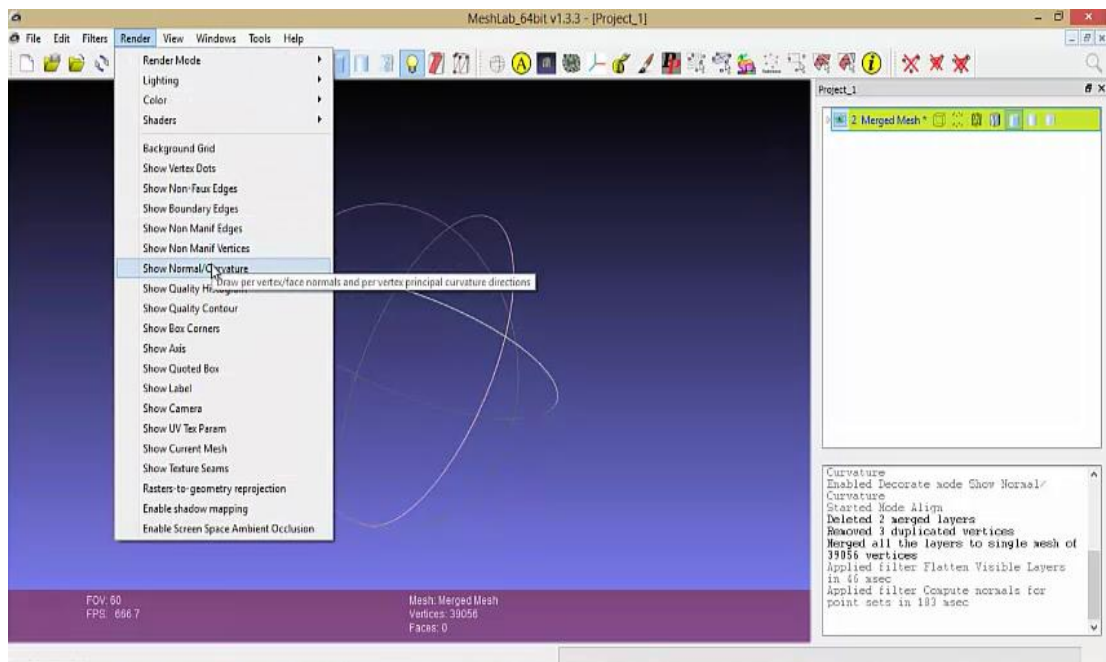
Computar las normales de los puntos (Compute normals for point sets)



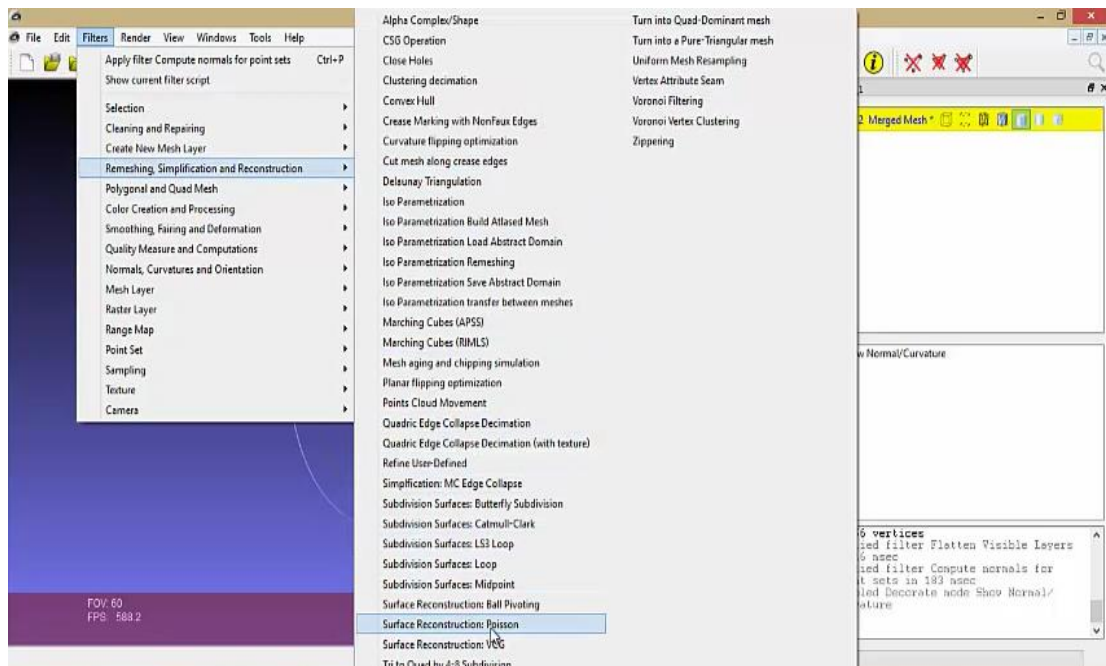
Heighbour num: 10, clic en “Apply” y posteriormente “Close”



Render → Show Normal/Curvature (Visualiza las normales)

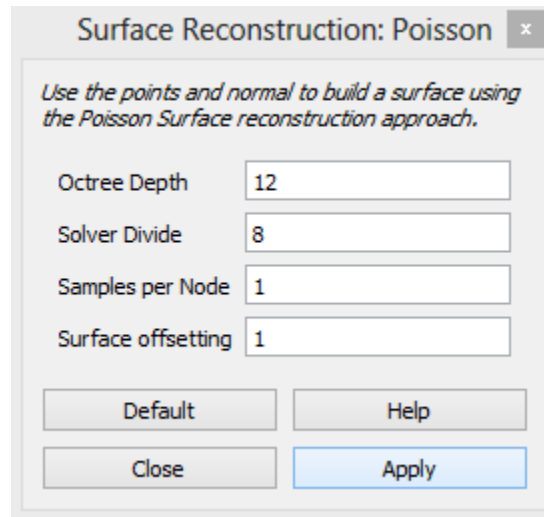


Reconstrucción de Superficies mediante Poisson



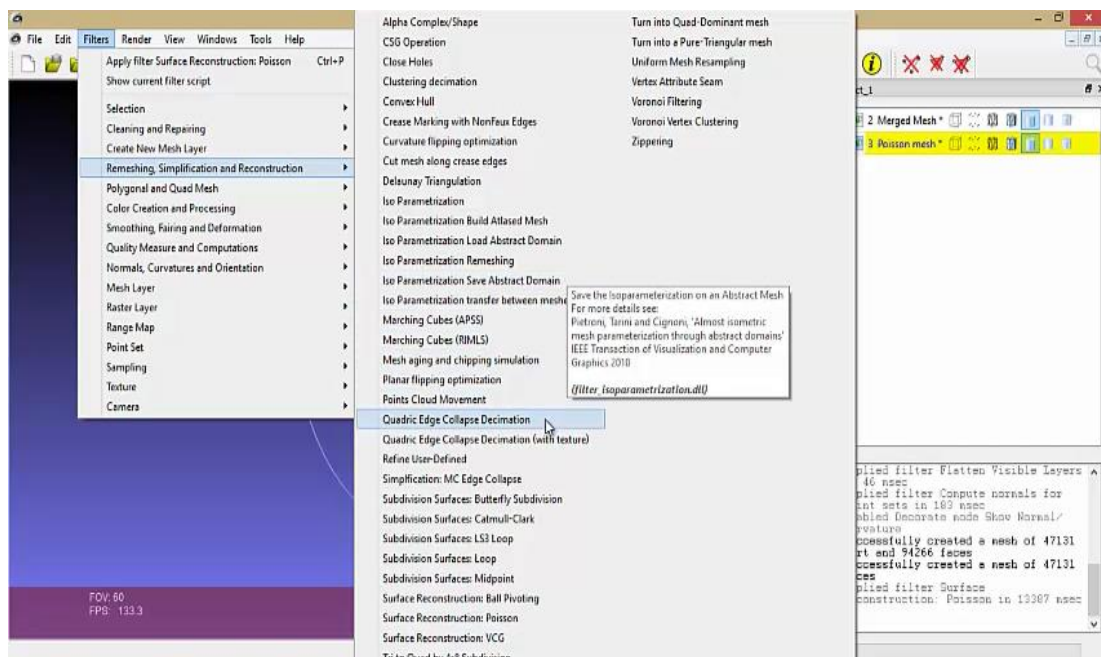
Parámetros de Reconstrucción:

Octree Degt: 12, Solver Divide: 8, Samples per Node: 1, Surface offsetting: 1.

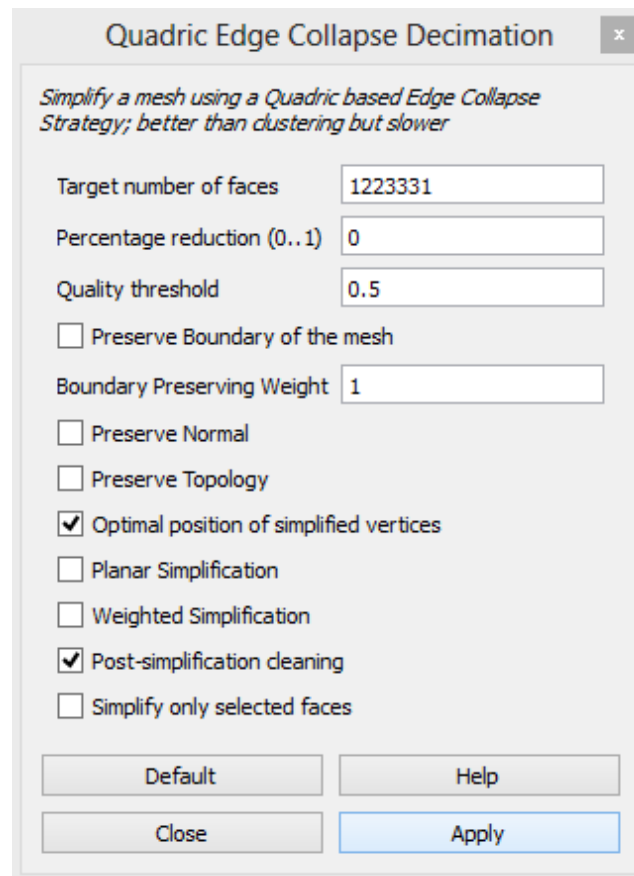


Realizar una reducción de vértices (puntos) y caras (triangulaciones)

Remeshing, Simplification and Reconstruction → Quadric Edge Collapse Decimation



Quality threshold: 0.5



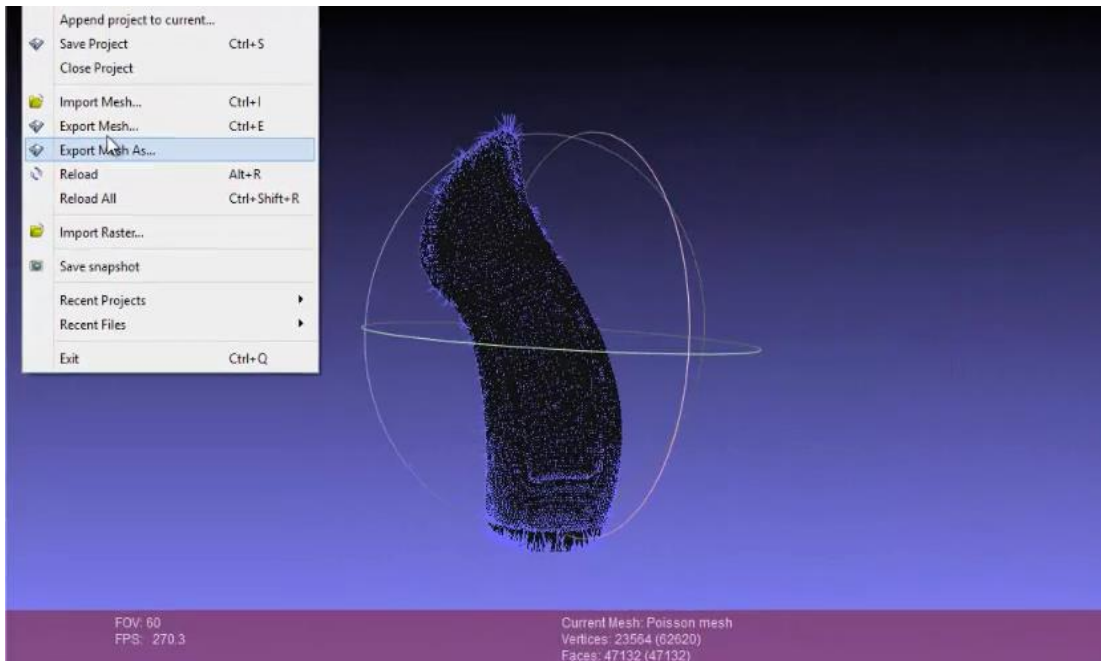
Se evidencia la reducción de vértices (puntos) y caras (triangulaciones) en un 50%.

Current Mesh: Poisson mesh  
Vertices: 48943 (88403)  
Faces: 97882 (97882)

Current Mesh: Poisson mesh  
Vertices: 23472 (63932)  
Faces: 48940 (48940)



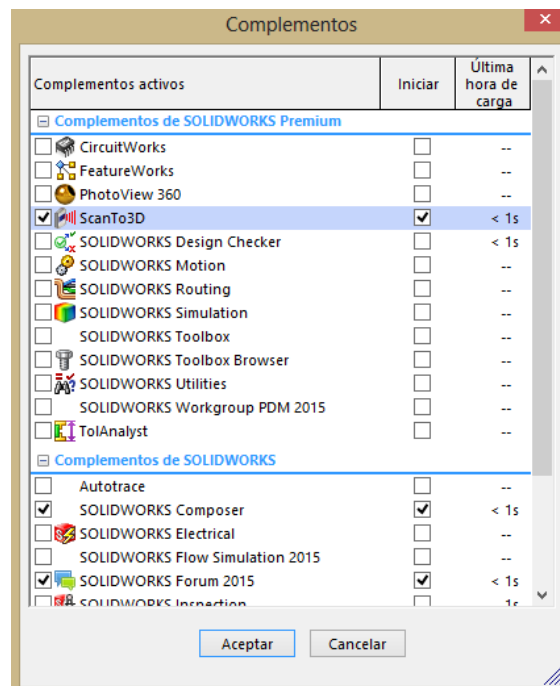
Guardar: Exportando con extensión .xyz



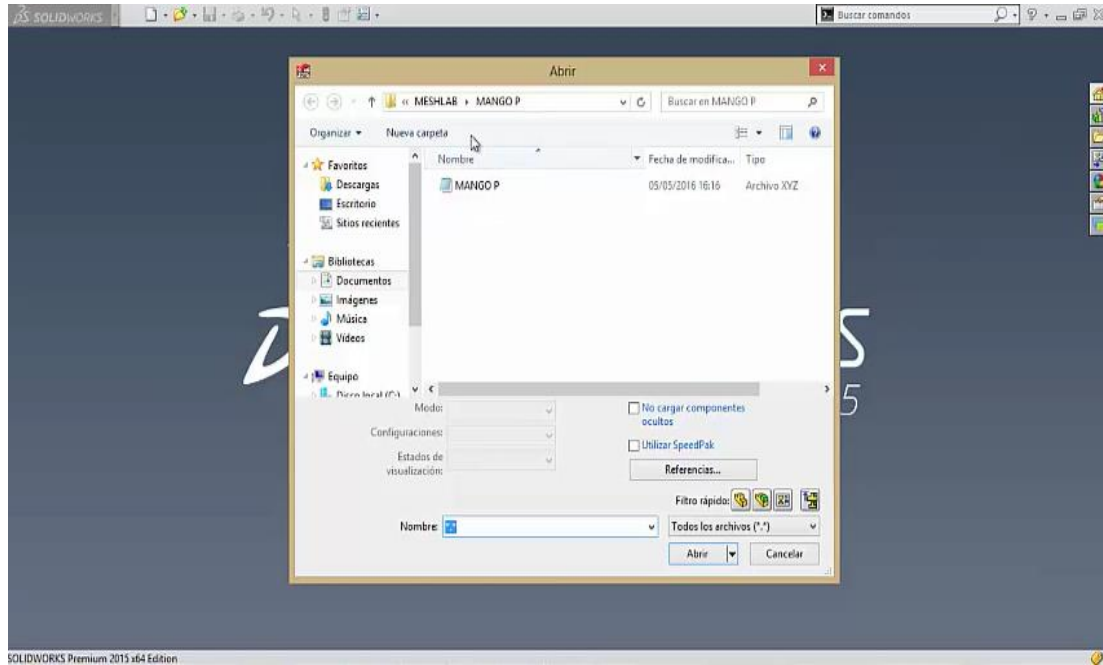
### 5.2.2.2 Proceso En Solidworks

Verificar que ScanTo 3D este habilitado en los complementos de SolidWorks.

En caso de no estar habilitado este y otros complementos se recomienda revisar el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=J6AX82pXLq0>

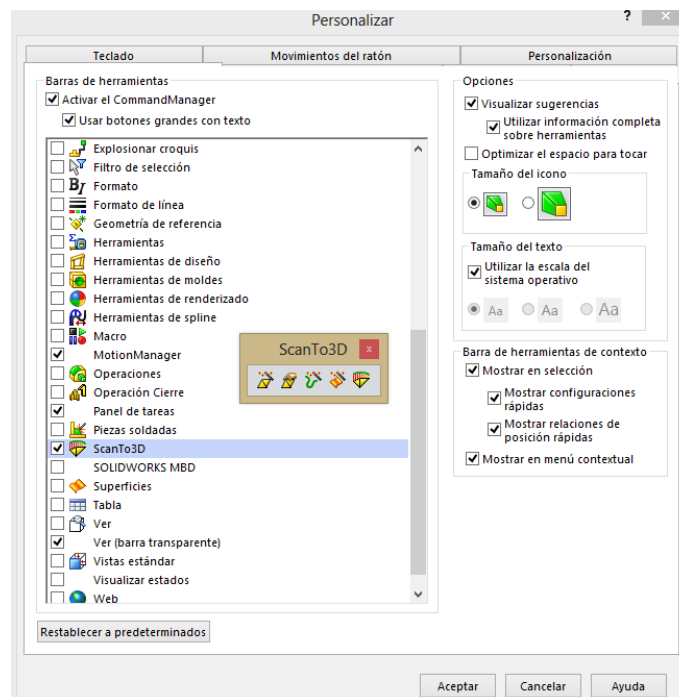


Abrir el archivo .xyz que fue previamente tratado en MESH LAB



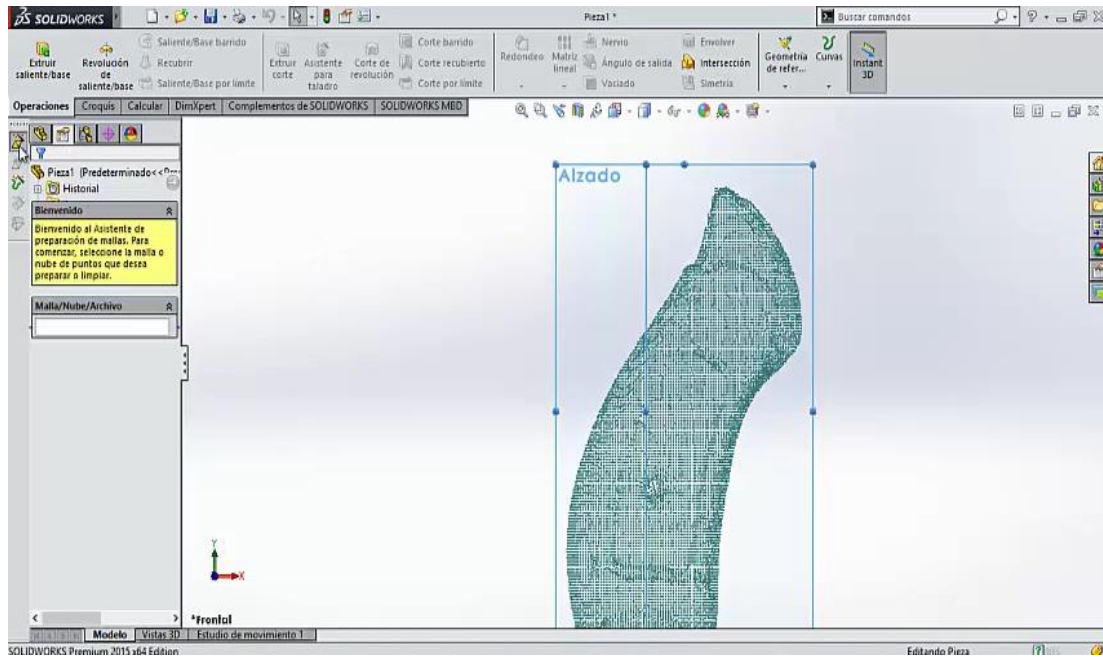
Habilitar la barra de Herramientas ScanTo 3D para facilidad del Trabajo.

Herramientas→Personalizar→ ScanTo 3D

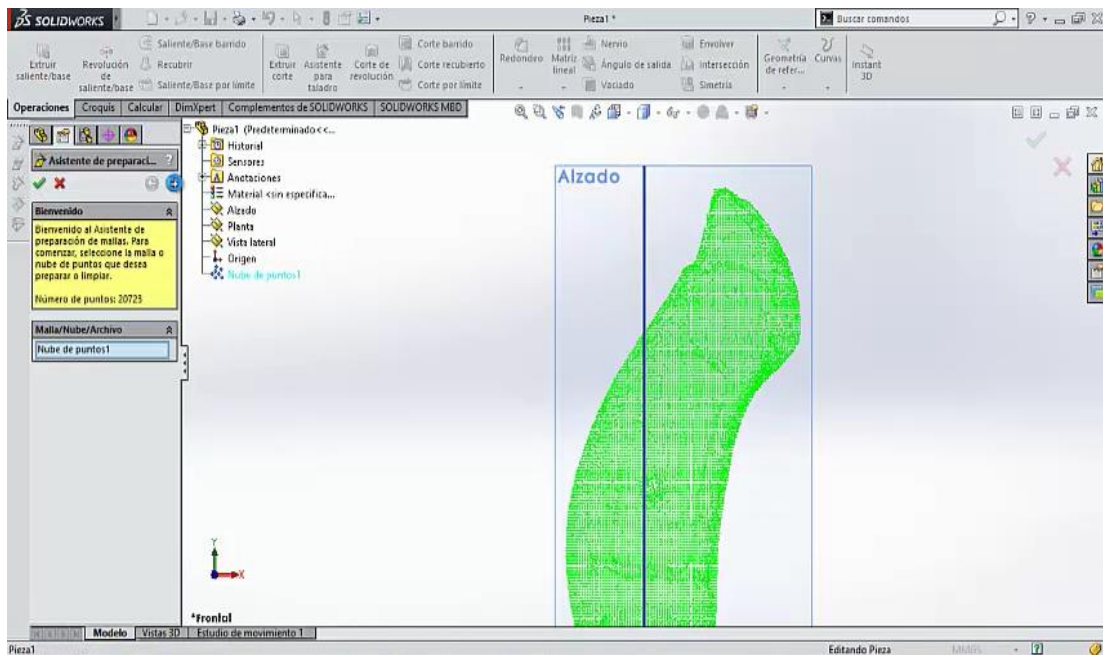


Mostrar los planos que proporciona SolidWorks

Clic en “Asistente de Preparación de Malla”



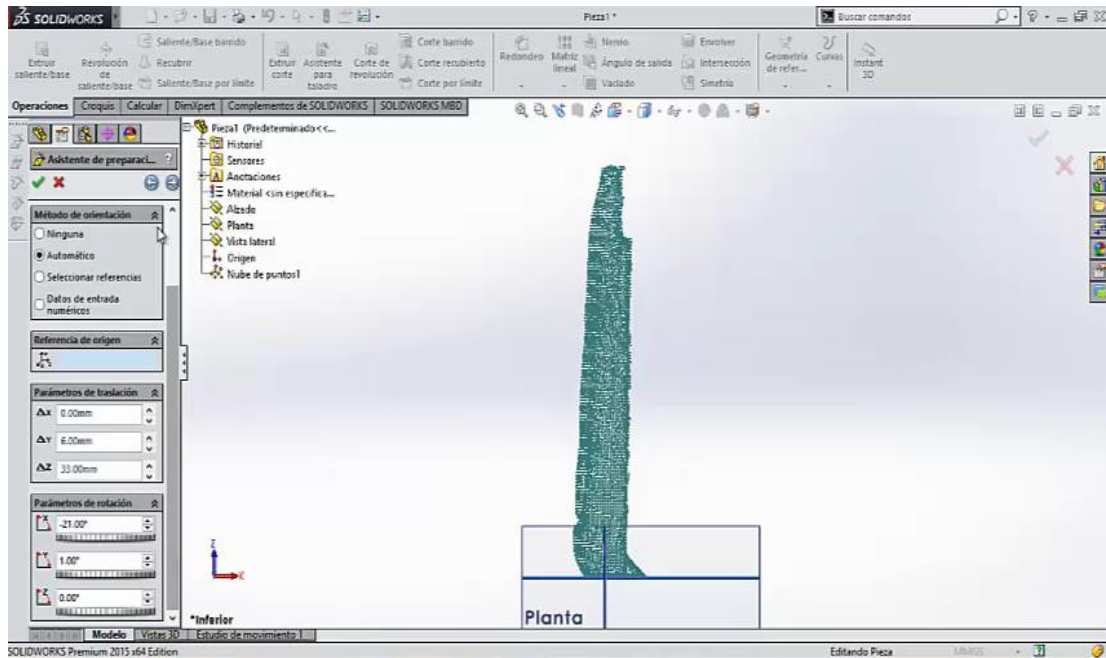
Seleccionar la Nube de puntos → Siguiete



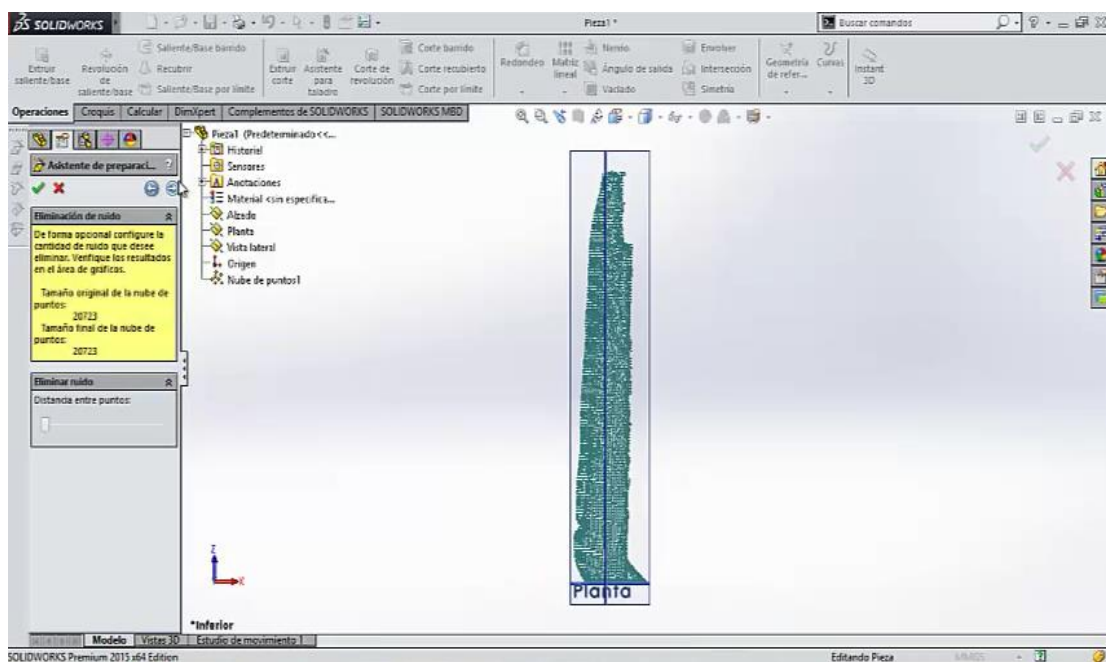
Seleccionar Automático

Modificar los Parámetros de Traslación y Rotación para que se alinee con los planos

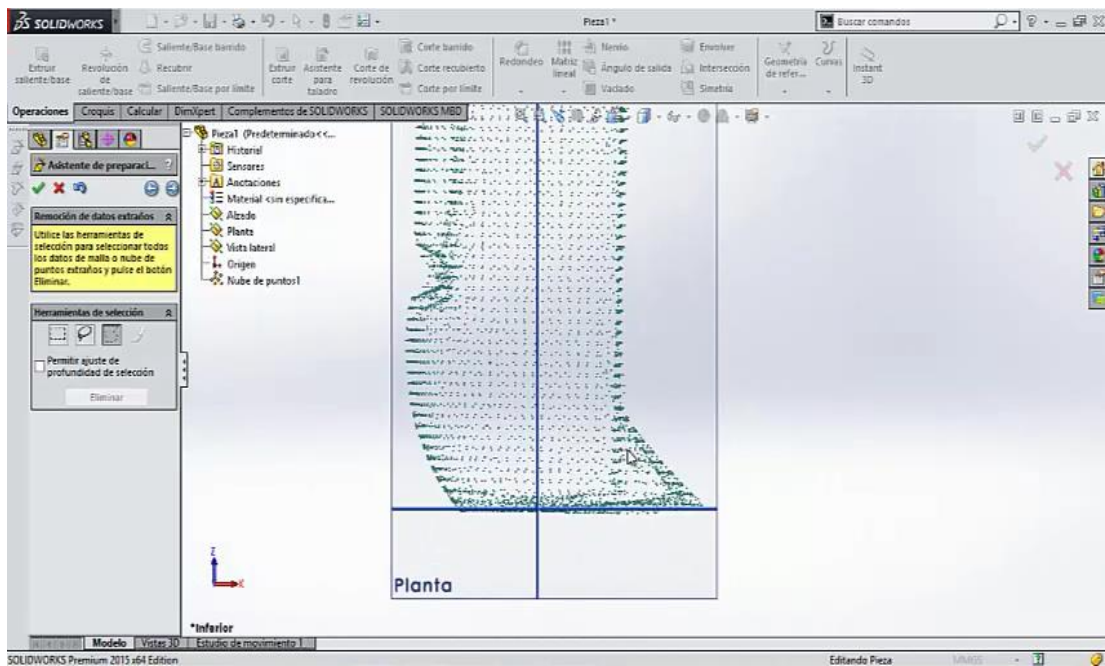
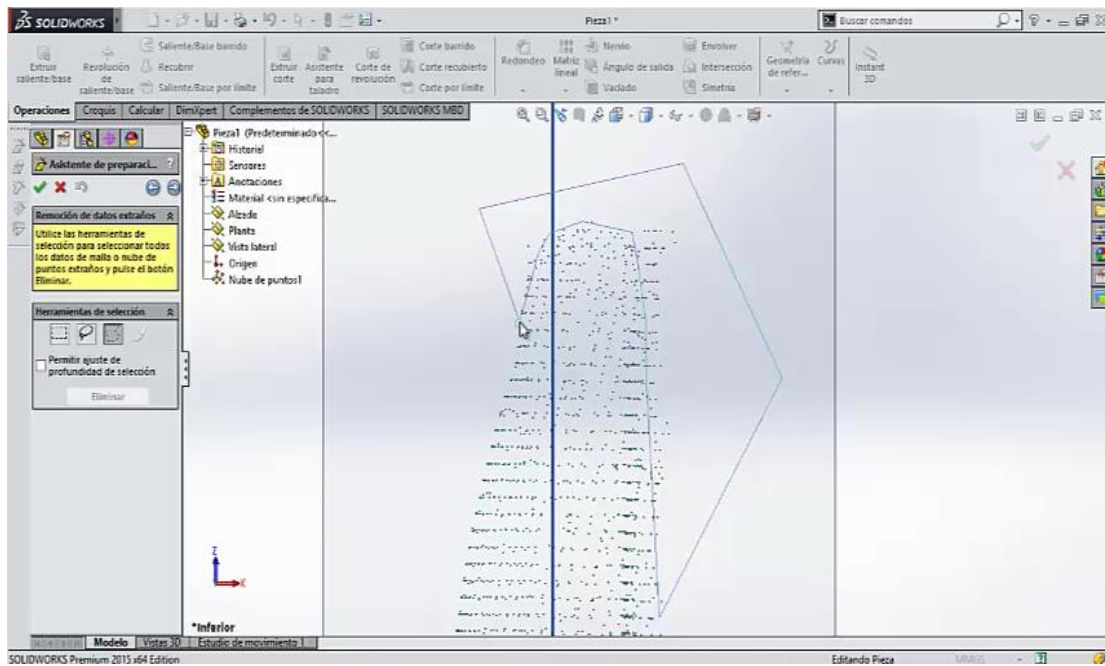
→ Siguiente



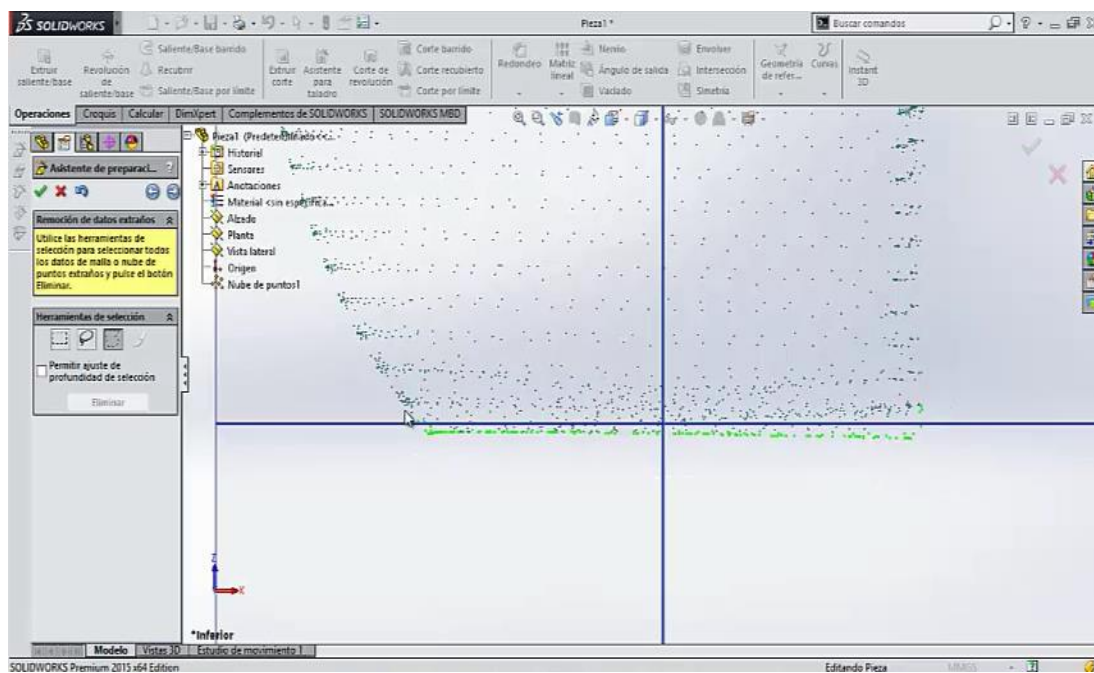
En el presente caso no hay reducción de la distancia entre puntos, para obtener un mejor mallado → Siguiente



Utilizar las herramientas para seleccionar los puntos fuera de lugar, innecesarios o que modifiquen la forma del objeto, posteriormente → Eliminar



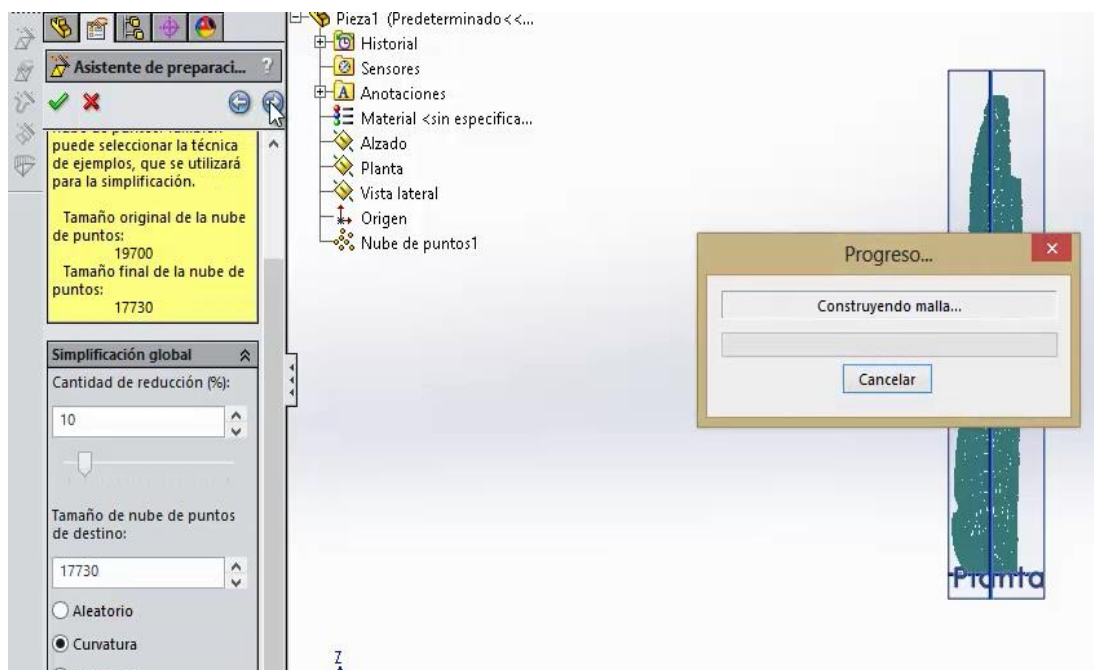




→Siguiente

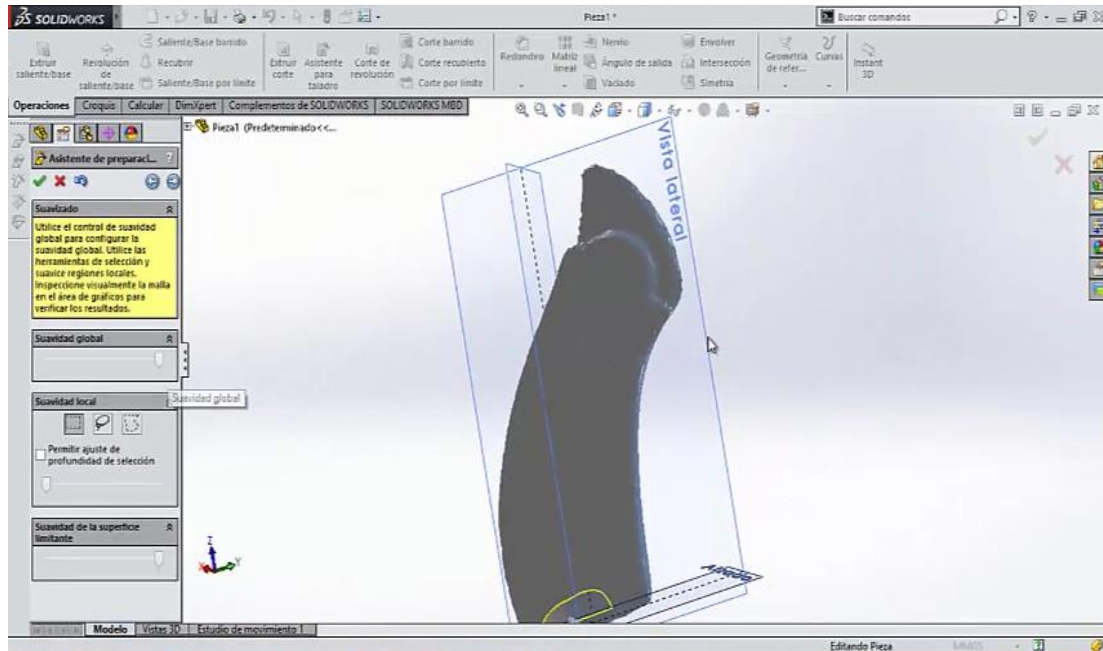
Seleccionar: Curvatura

Cantidad de reducción: 10% →Siguiente

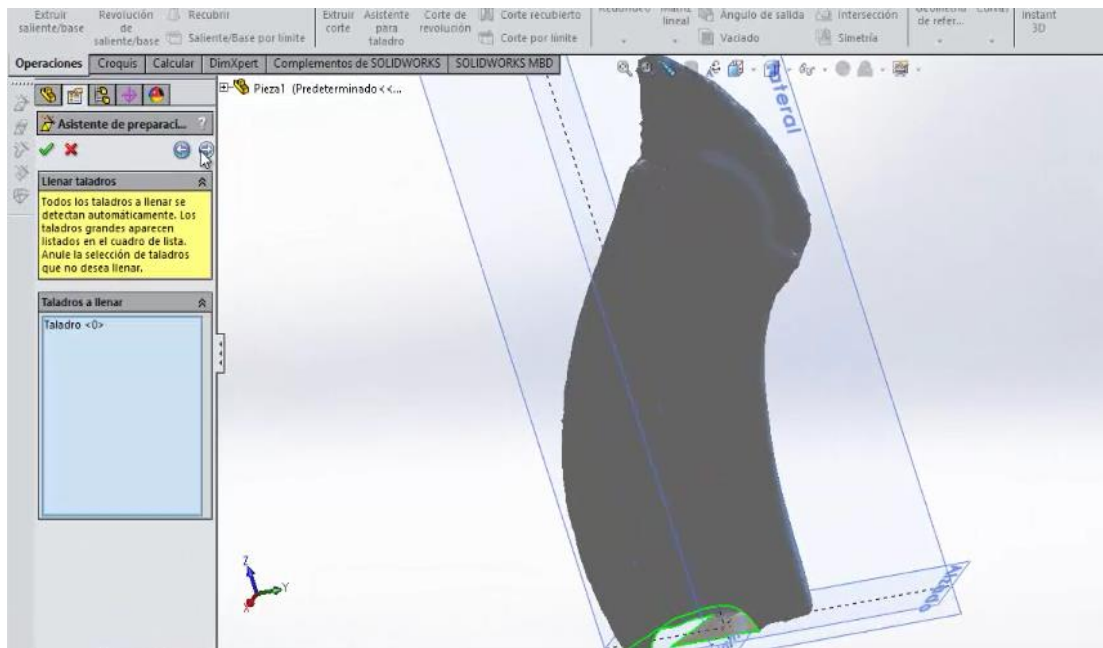


*Se Construye El Mallado Del Objeto*

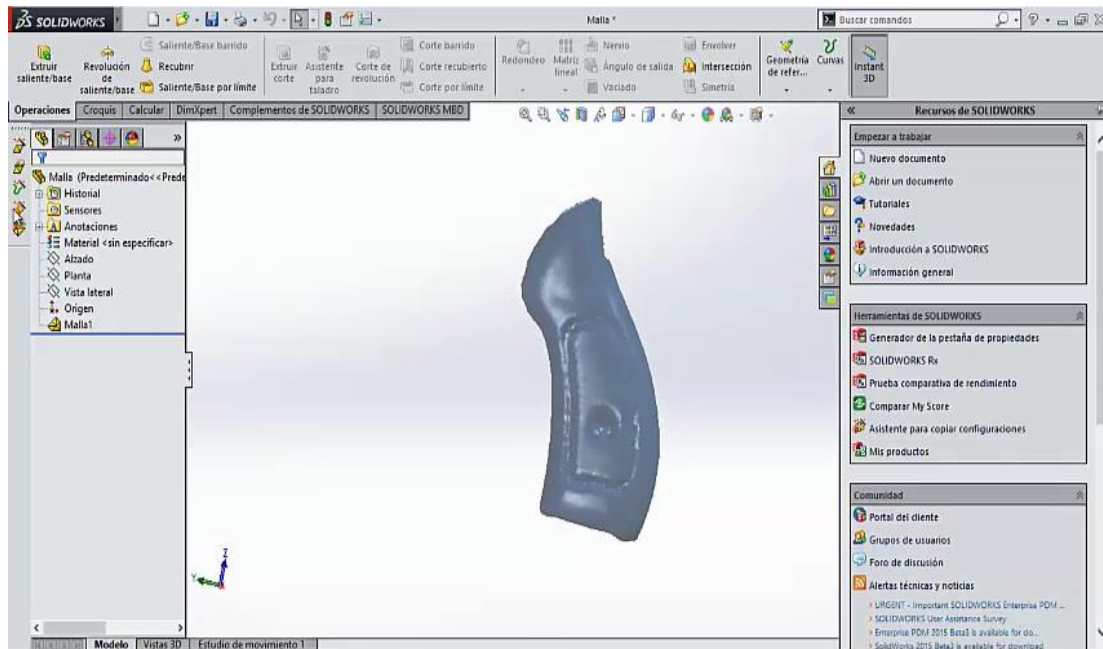
Suavidad de la superficie limitante: 100%, Suavidad Global: 100% →Siguiente



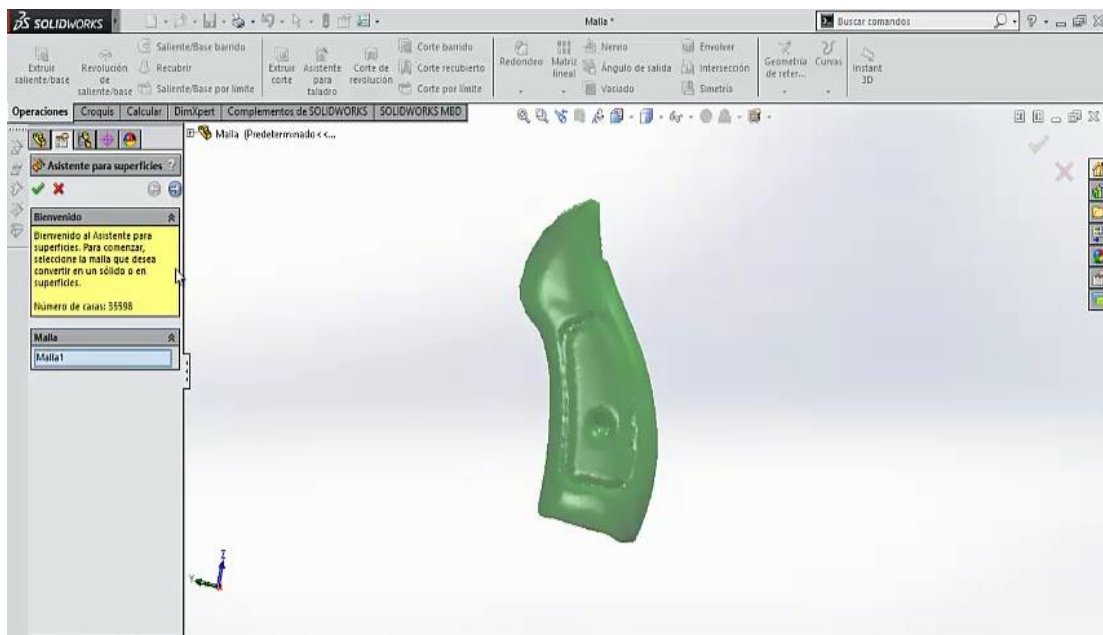
Seleccionar los huecos que el mallado genero para cubrirlos →Siguiente →OK



Seleccionar “Asistente Para Superficies”

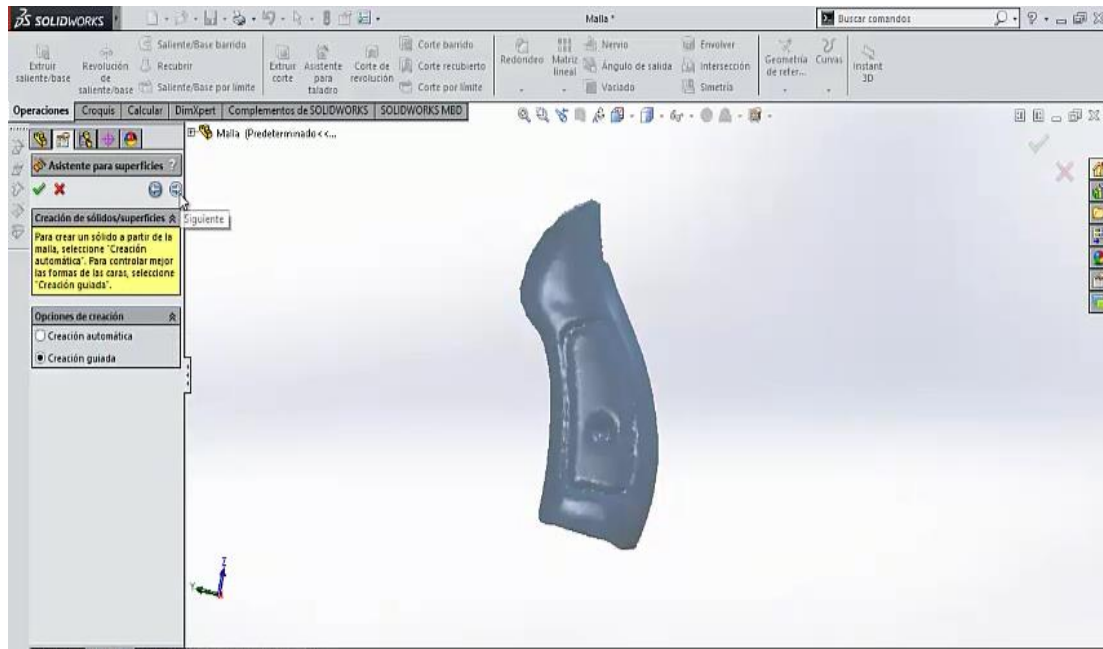


Seleccionar la Malla →Siguiente

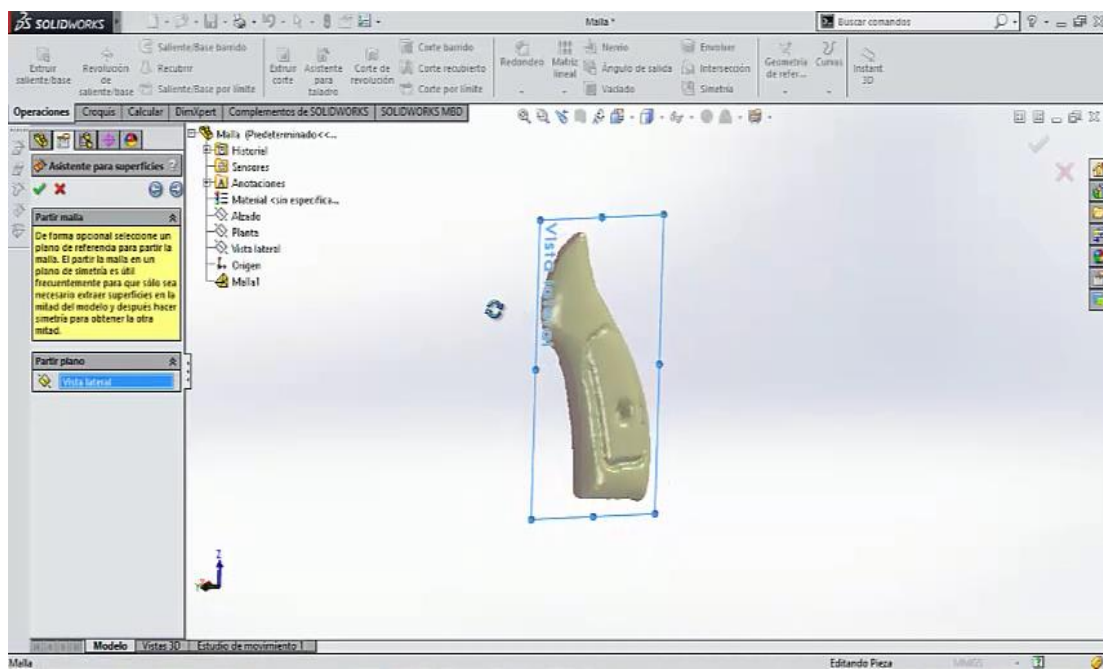




Seleccionar “Creación guiada”



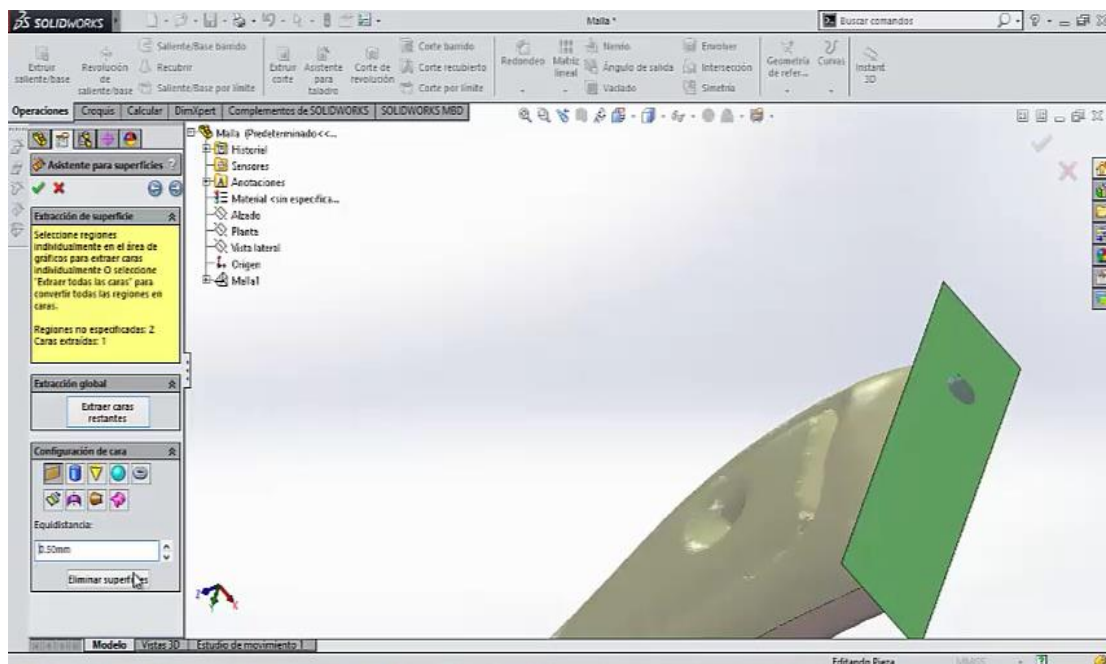
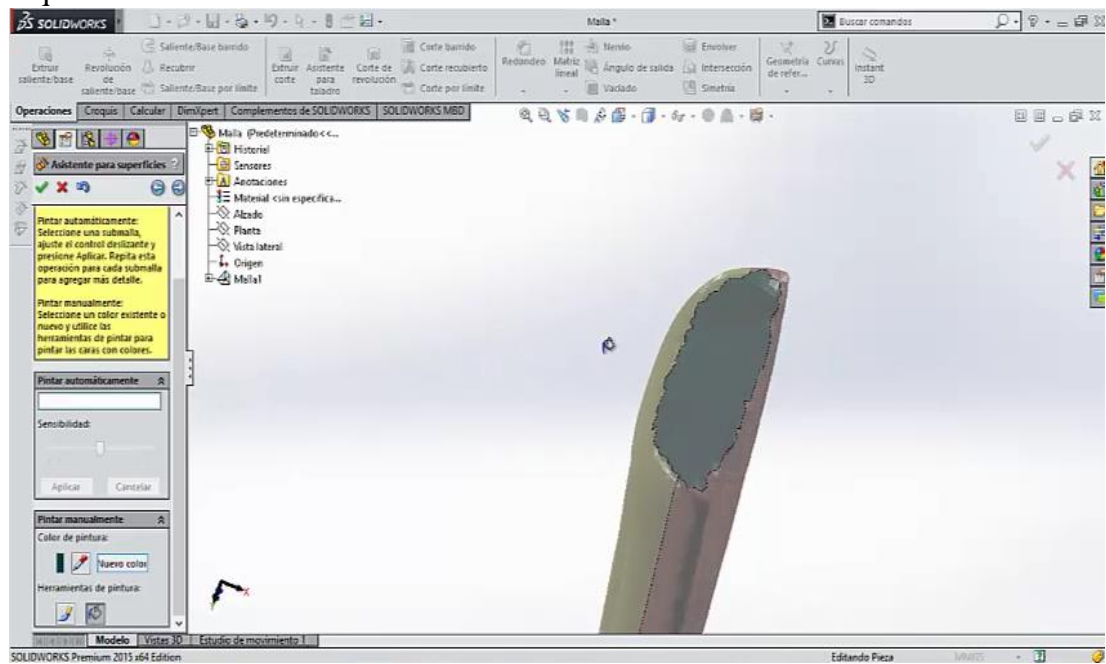
Seleccionar un plano de referencia para partir la malla, generalmente se utiliza en los objetos simétricos pero no es una restricción como en el presente caso

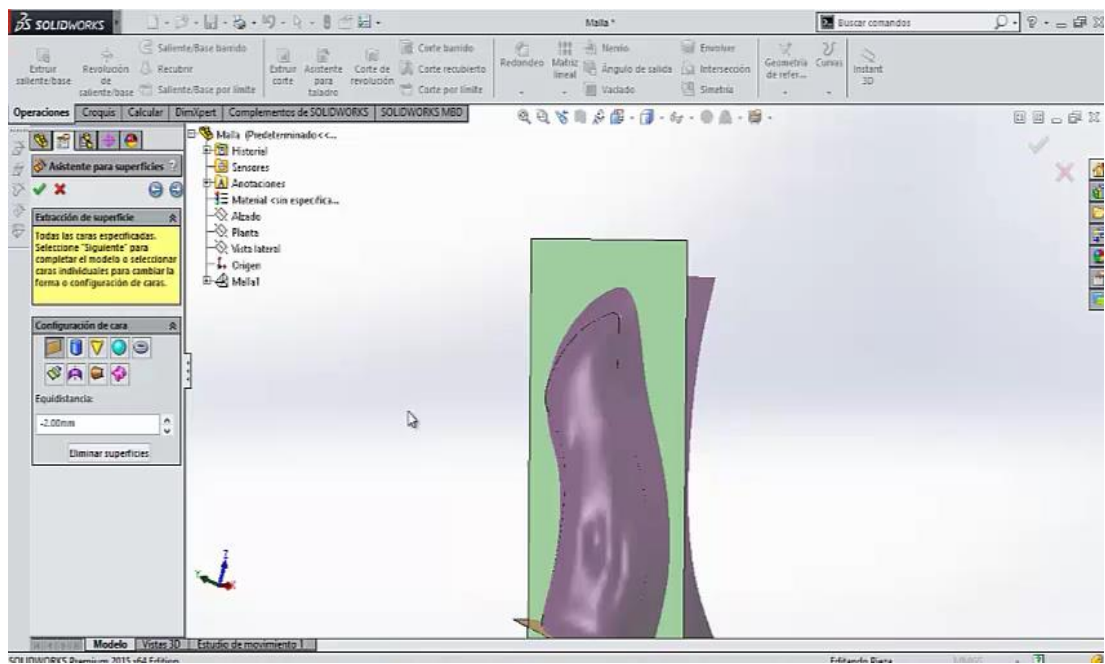
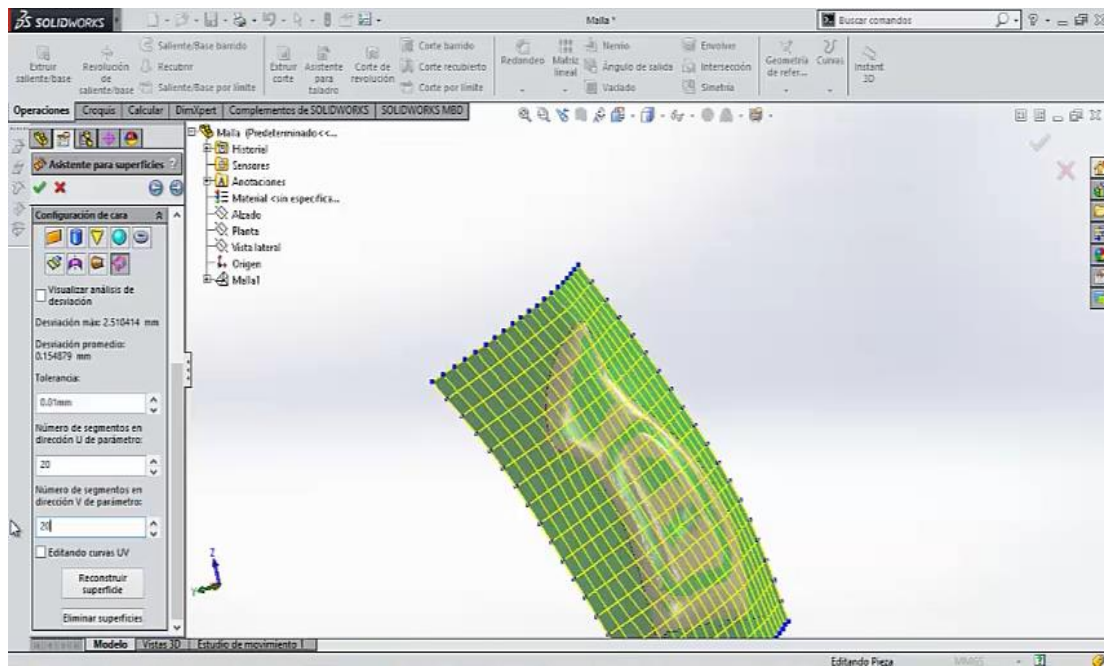


→Siguiente

Pintar las caras planas de diferente color →Siguiente

Seleccionar regiones (colores) individualmente para extraer las superficies que se requieran

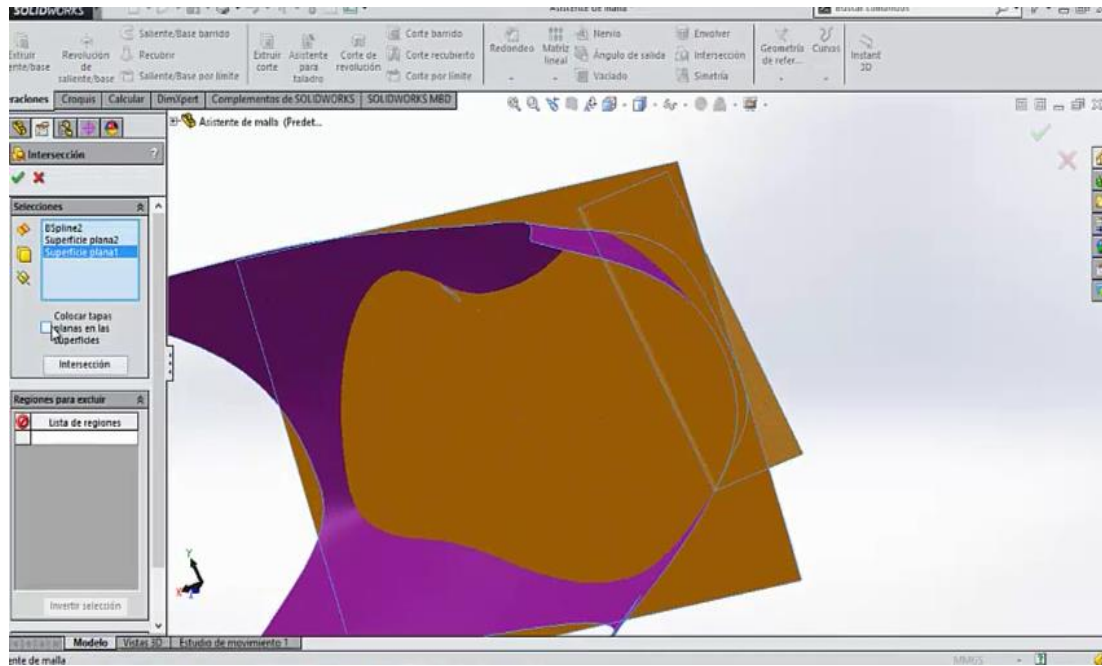




→Siguiente

Utilizar la herramienta “Intersección”

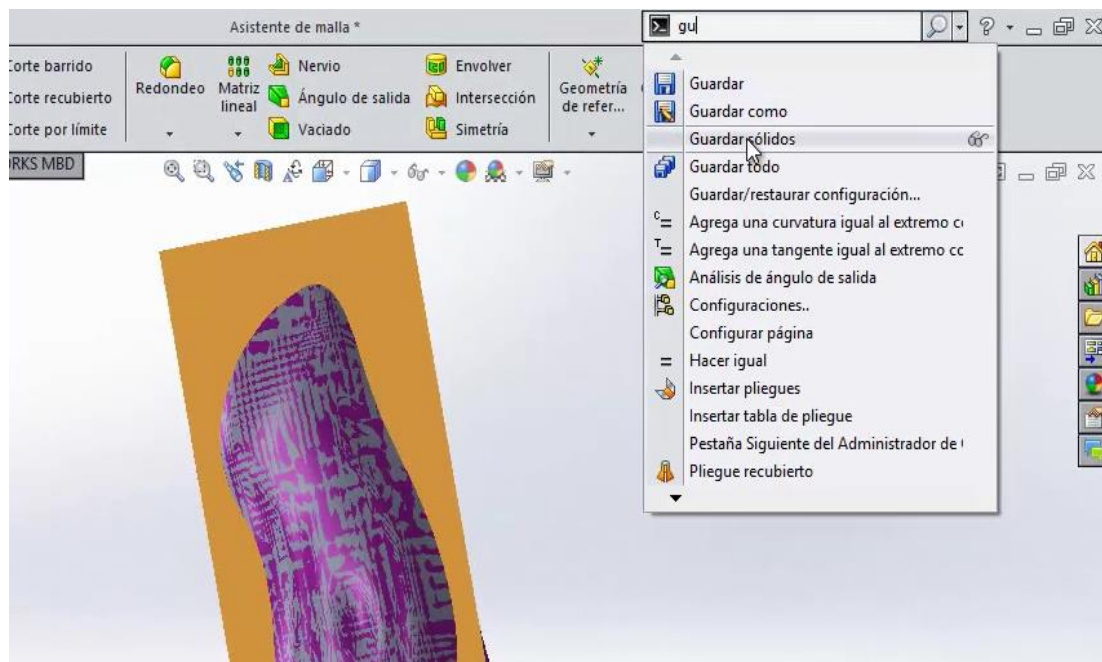
Seleccionar todas las superficies extraídas → Marcar “Colocar tapas planas en las superficies”



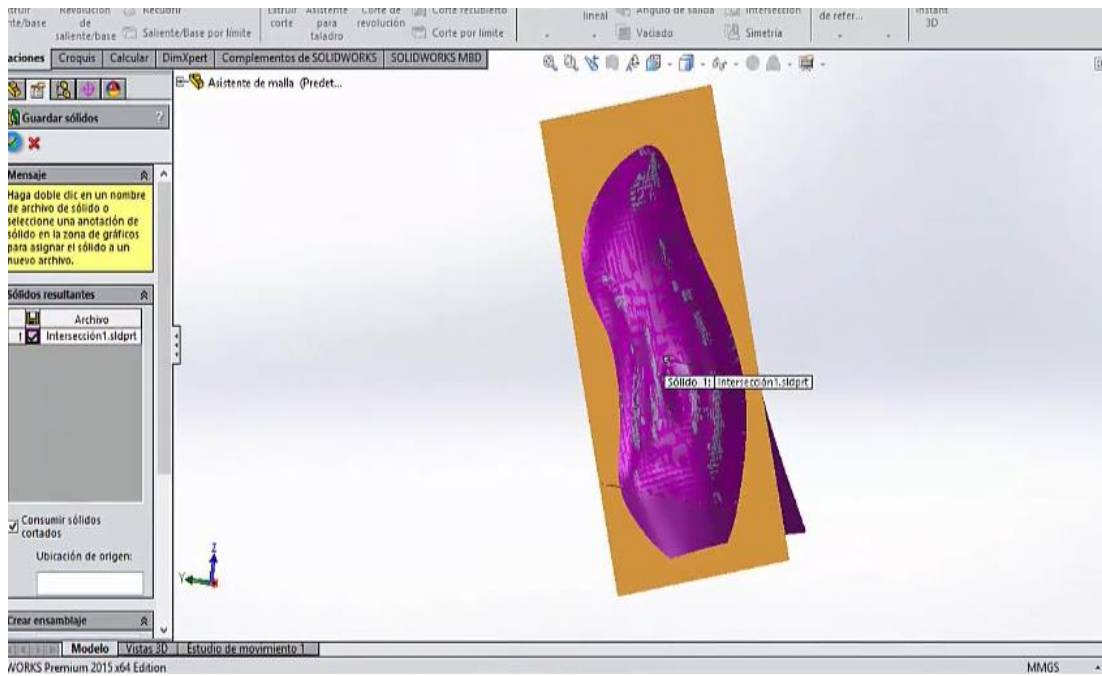
Clic en “Intersección” → OK

*Guardar Previamente El Archivo En Una Carpeta Exclusiva Del Objeto*

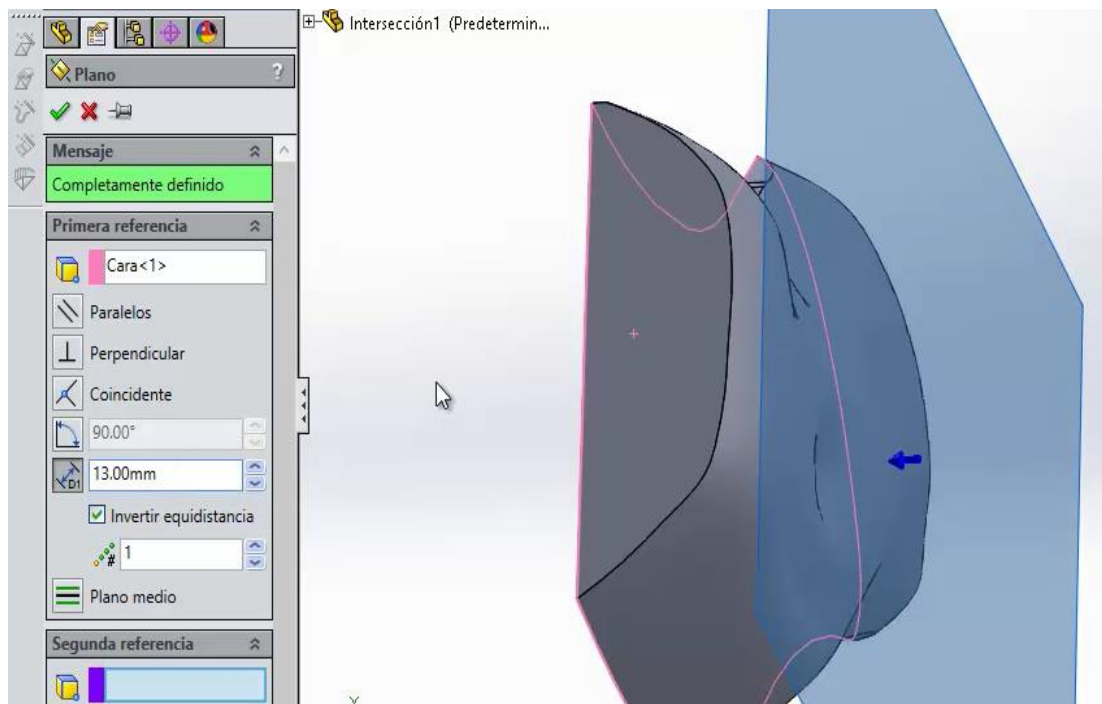
Seleccionar el comando “Guardar Solidos”



Clic en Intersección1 → Clic en OK

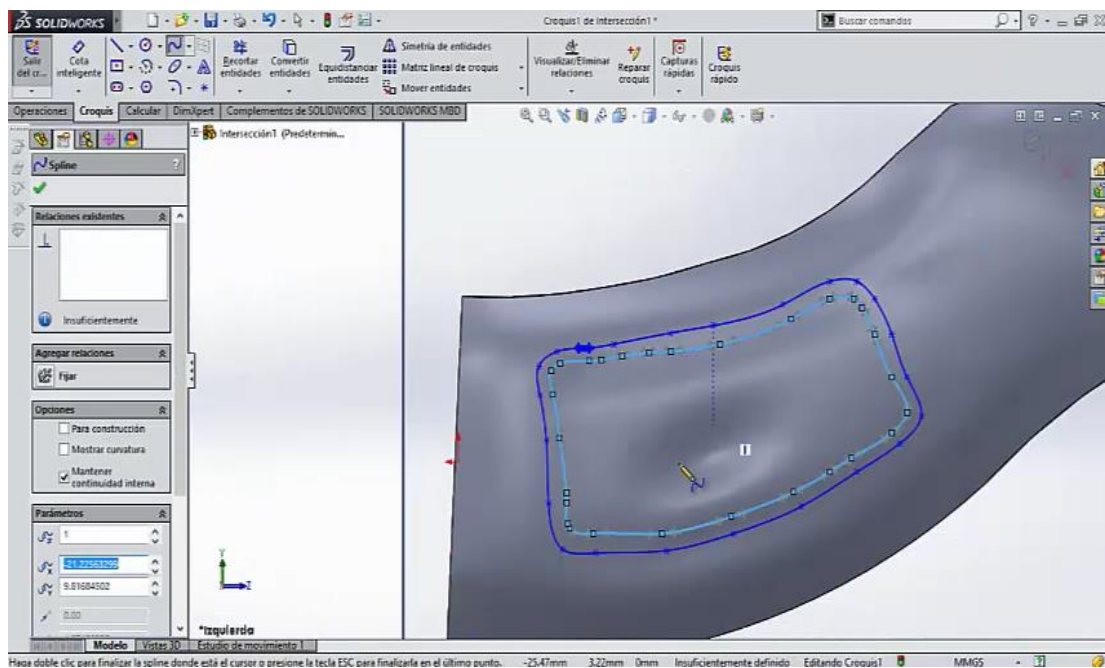


Abrir el nuevo archivo que se generó en la carpeta exclusiva del objeto  
Realizar un plano con referencia en la cara1 a una distancia de 13mm

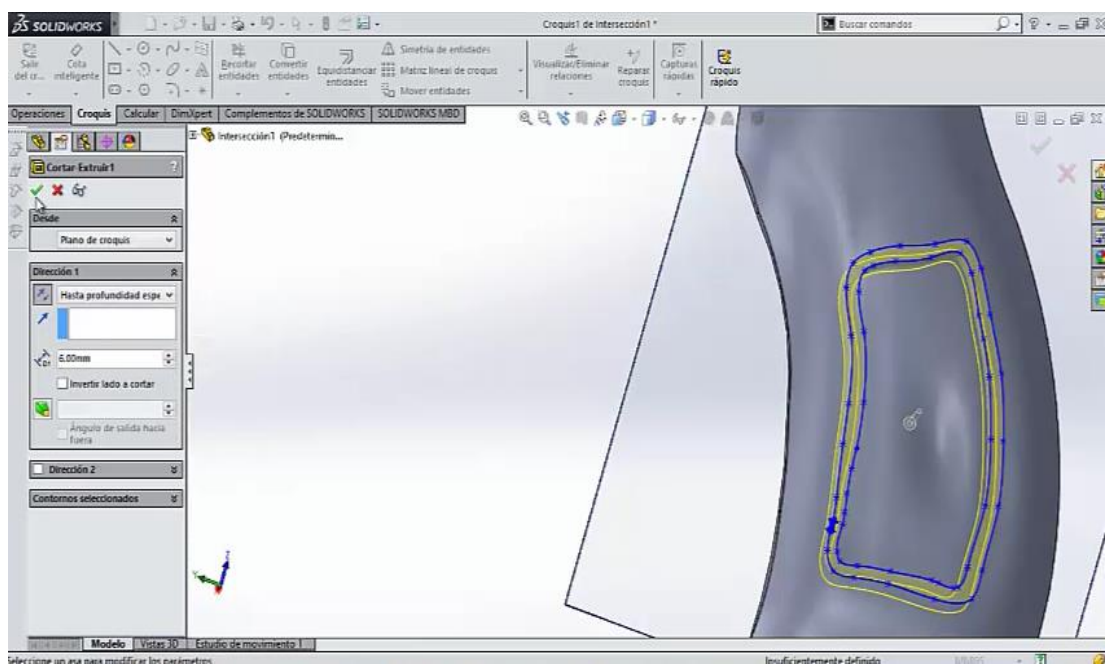




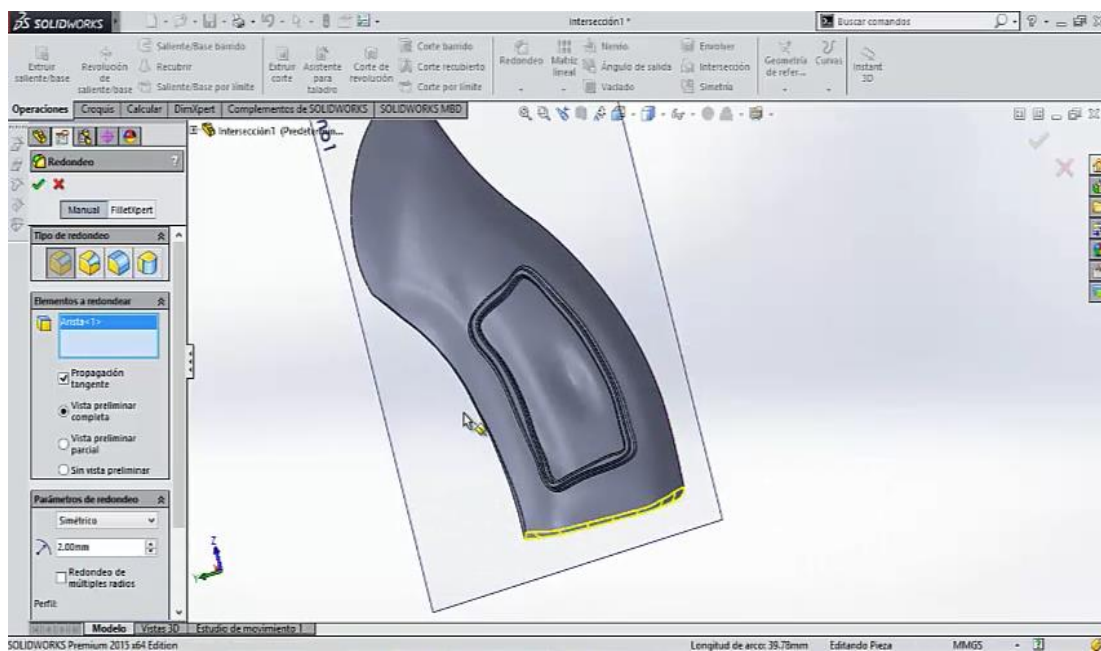
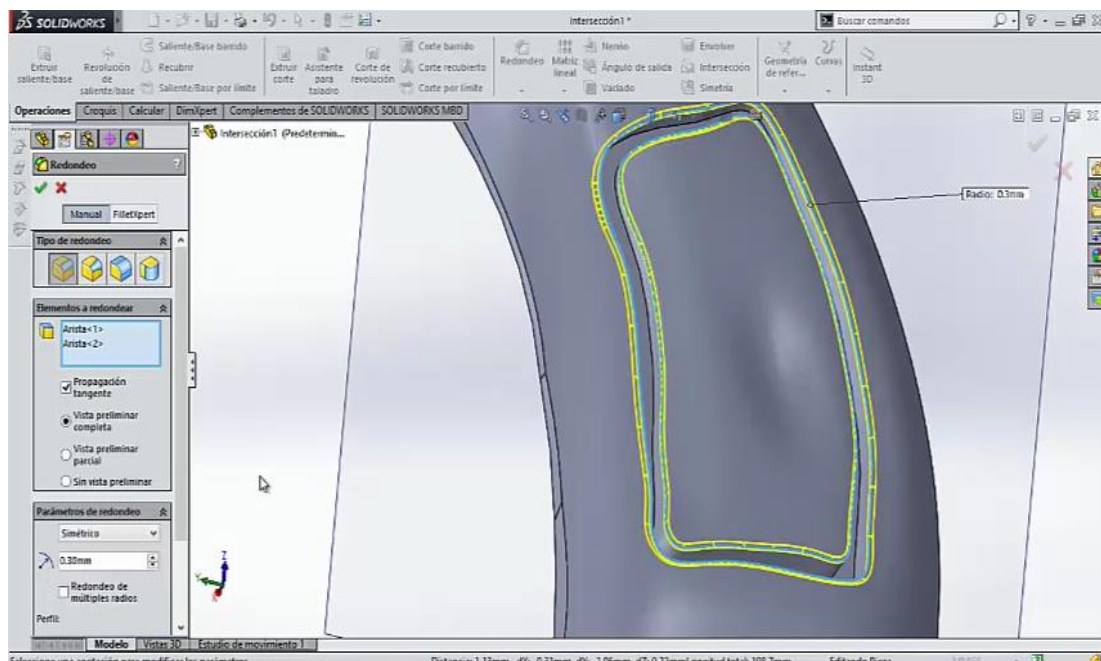
Con la herramienta “Spline” dibujar el siguiente detalle.



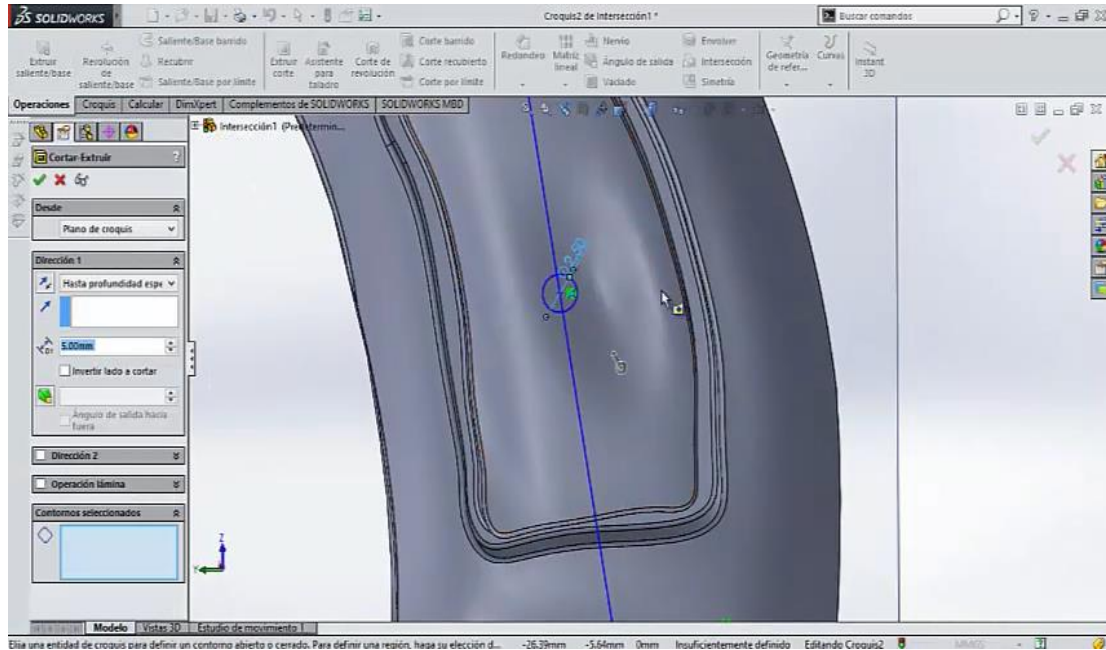
Con la herramienta “Cortar-Extruir” a una profundidad de 4mm se fija el detalle



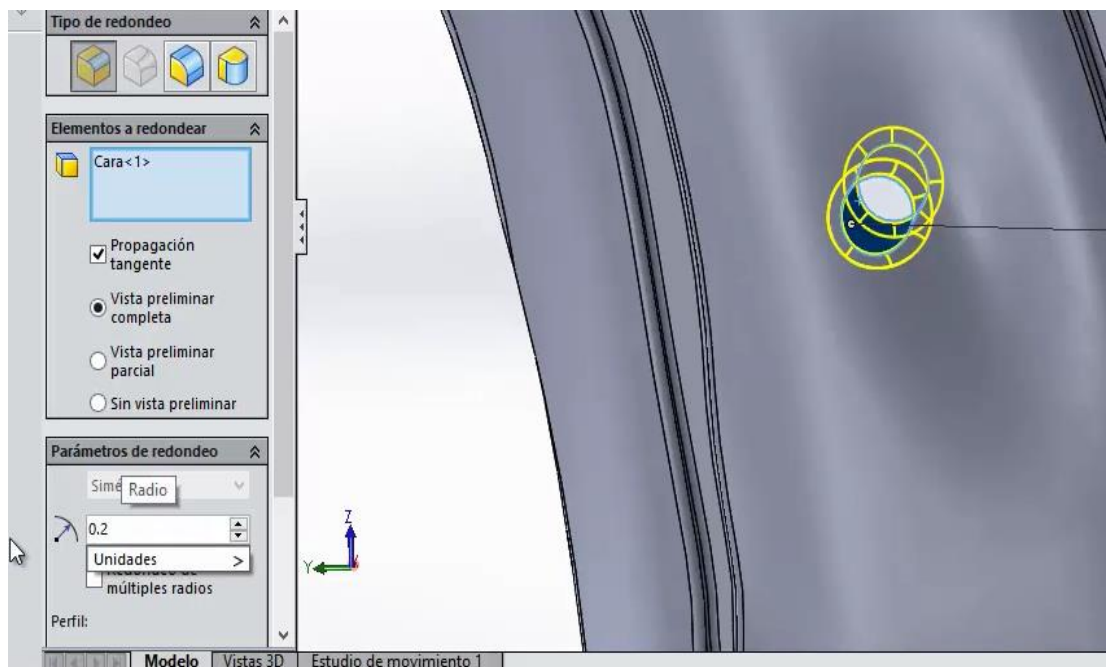
Con la herramienta “Redondeo” realizar los redondeos respectivos para que no queden aristas vivas.



Se realiza un croquis en el mismo plano, dibujando una circunferencia de 2.5 mm de diámetro.

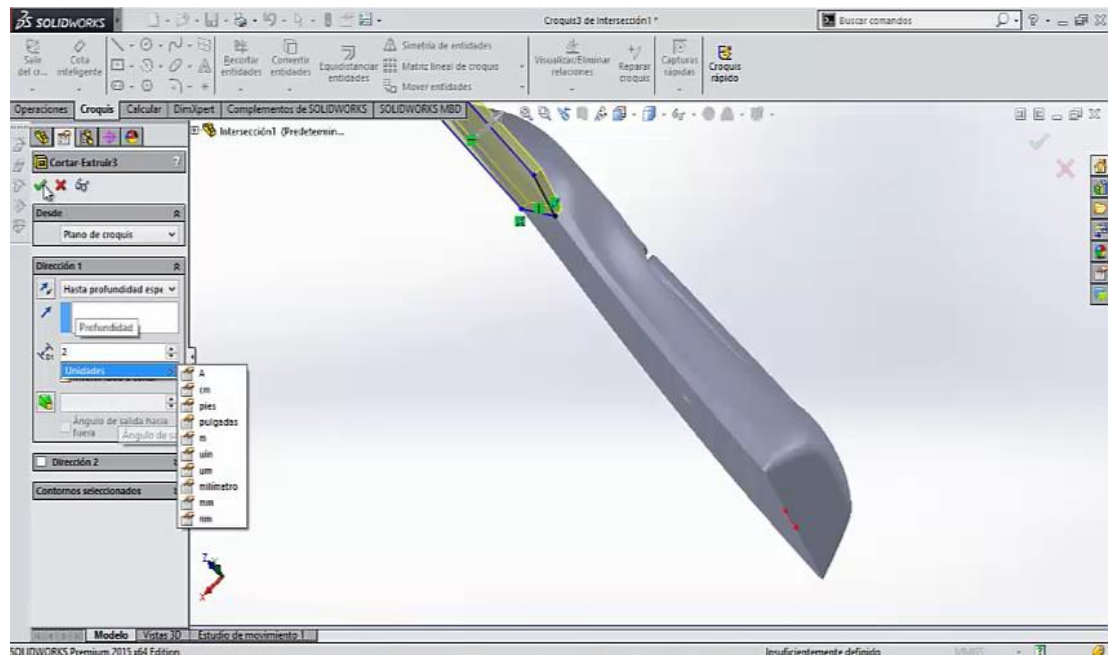
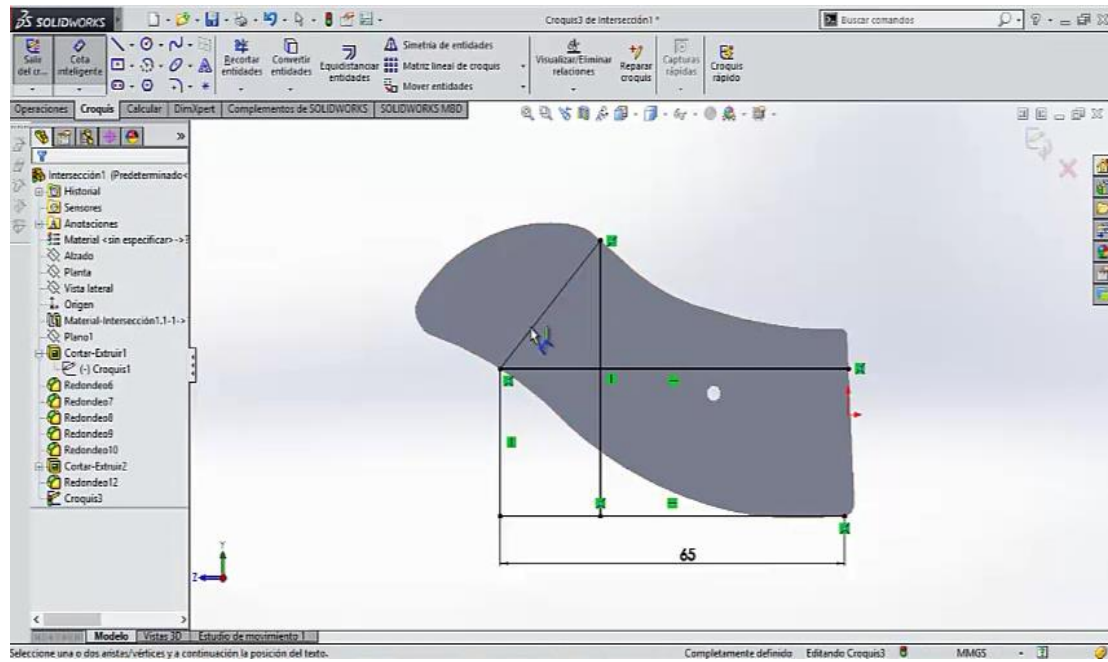


Utilizar la herramienta “Extruir-Corte” y posteriormente, con la herramienta “Redondeo” realizar los redondeos respectivos para que no queden aristas vivas

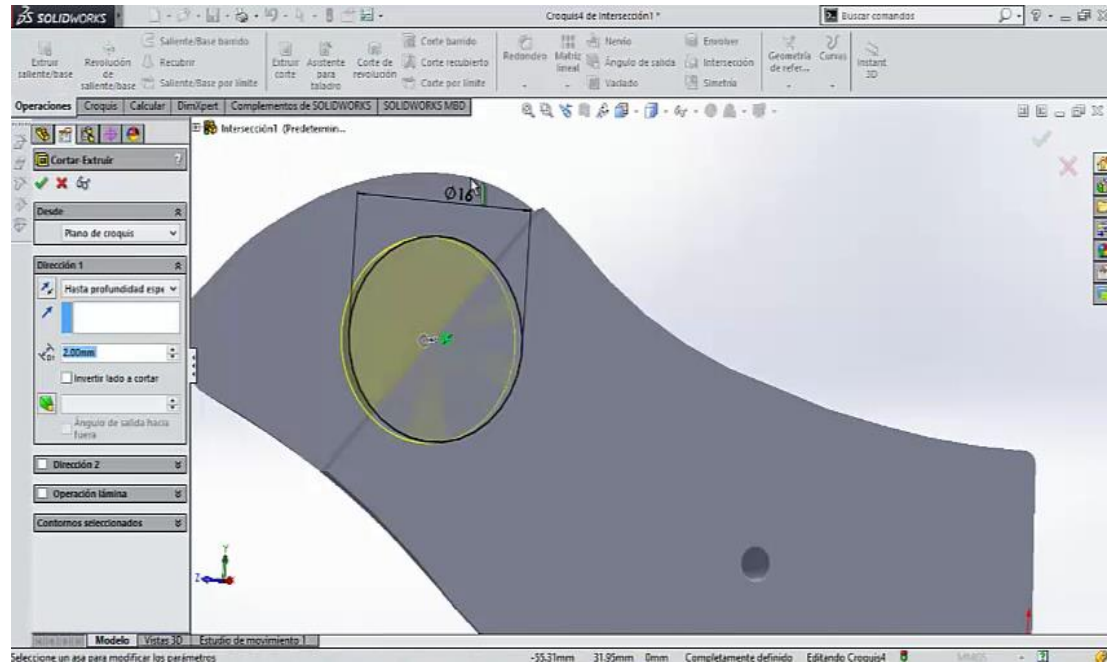




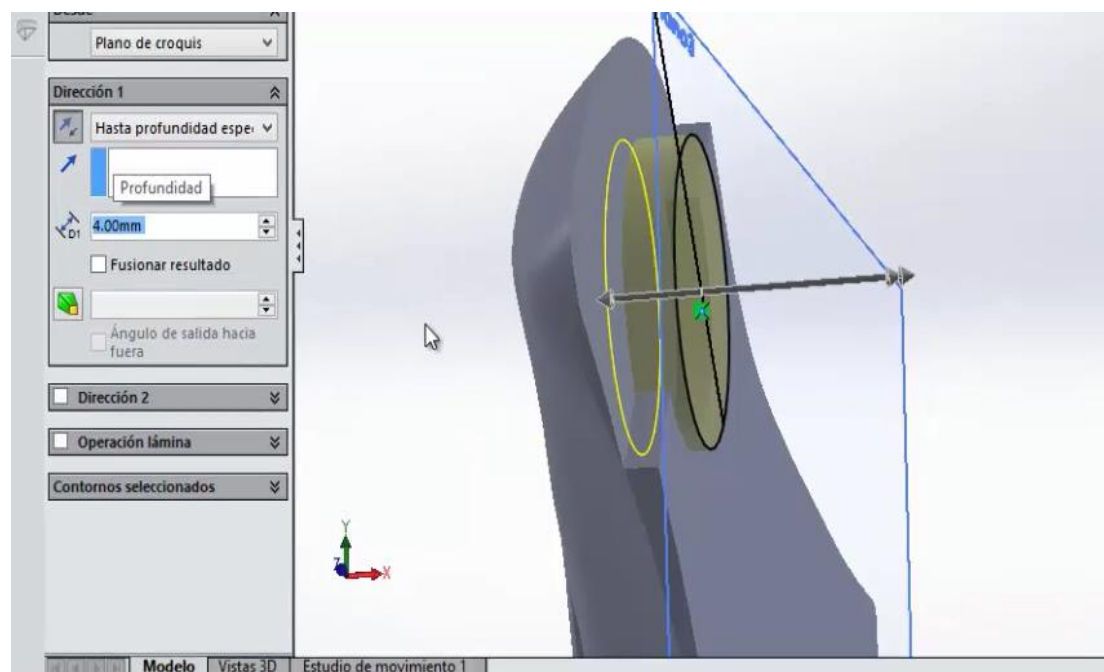
Se realiza un croquis en la parte posterior del objeto con el siguiente croquis para realizar el corte de material para el detalle, utilizar un ángulo de 50 grados.



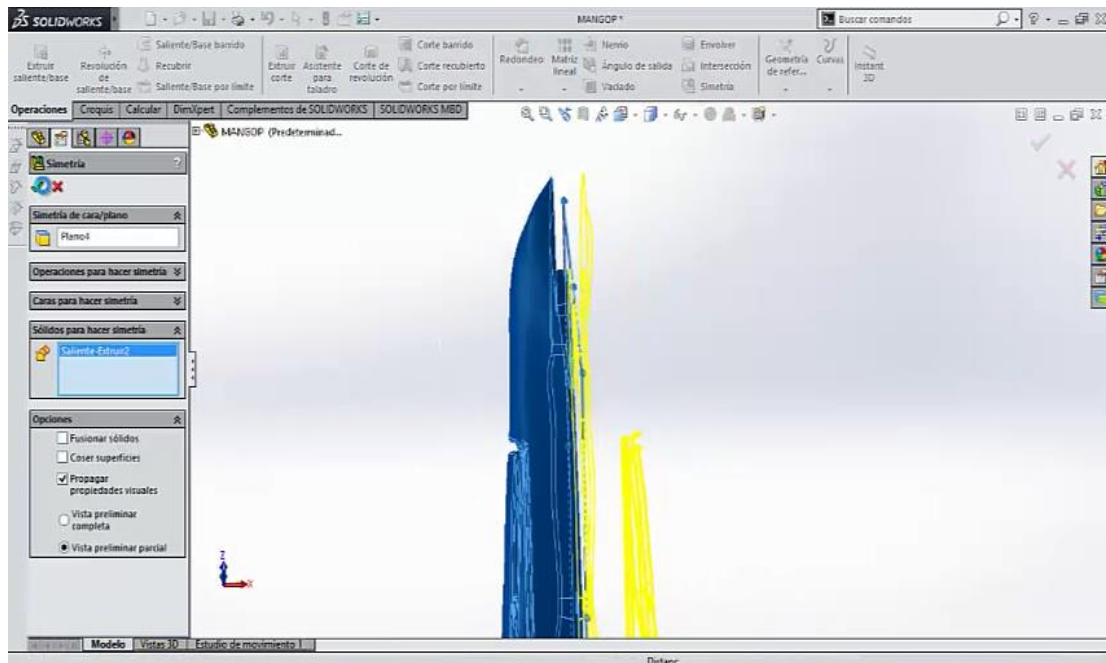
Se dibuja un croquis en la parte posterior con una circunferencia de 16mm de diámetro posteriormente se utiliza la herramienta “Extruir-Corte” para obtener el detalle siguiente.



Con el mismo croquis y la herramienta “Extruir” se obtiene el siguiente detalle.



Se utiliza la herramienta “Simetría”



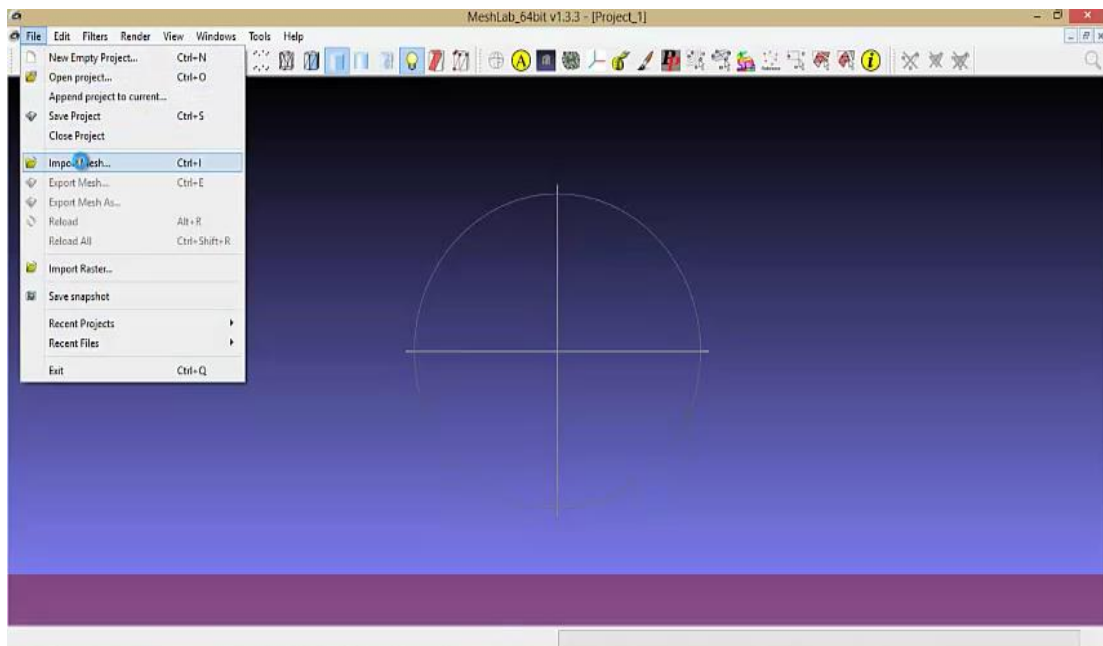
### 5.2.2.3 Resultado



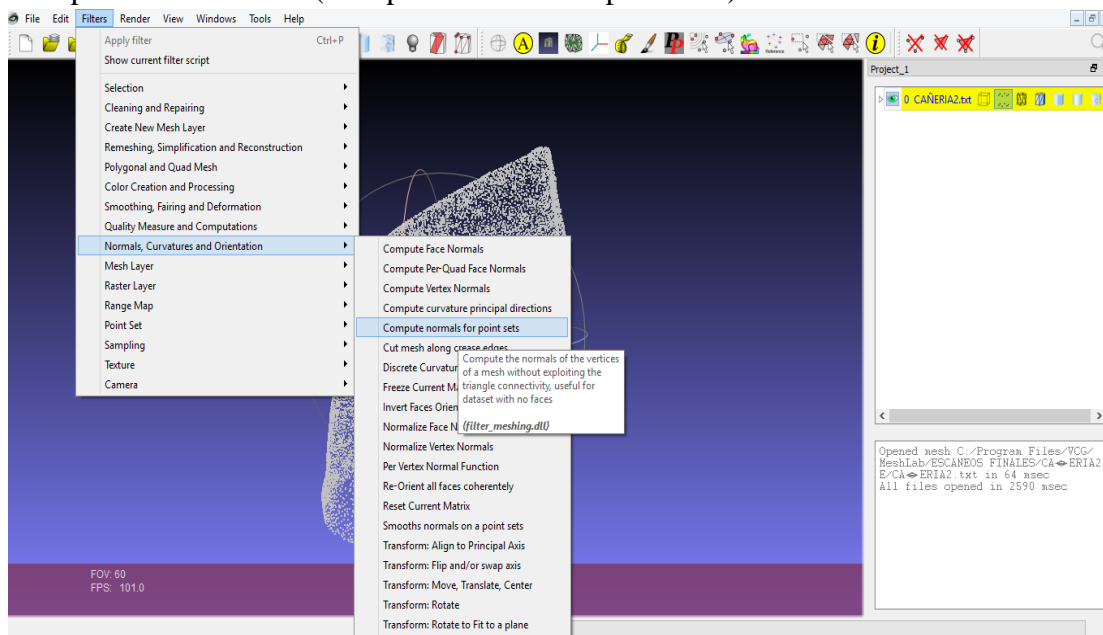
## 5.2.3 TUTORIAL RECONSTRUCCION Y TRATAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS FORMA INTERNA DE LA TAPA DEL TERMOSTATO DEL MERCEDES BENZ MODELO 352

### 5.2.3.1 Proceso En Meshlab

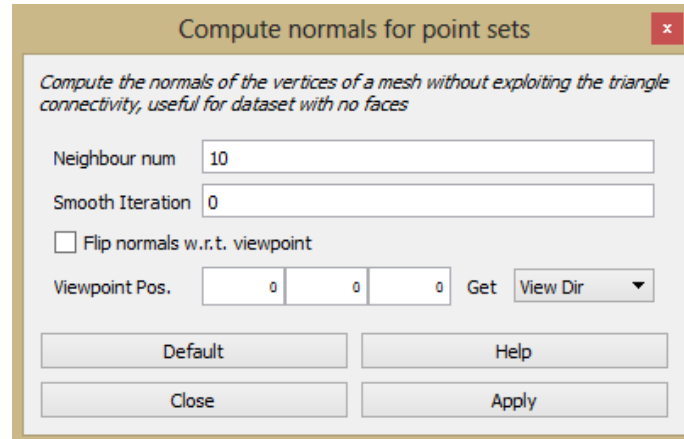
Importar el archivo .xyz o .txt (Nube de puntos)



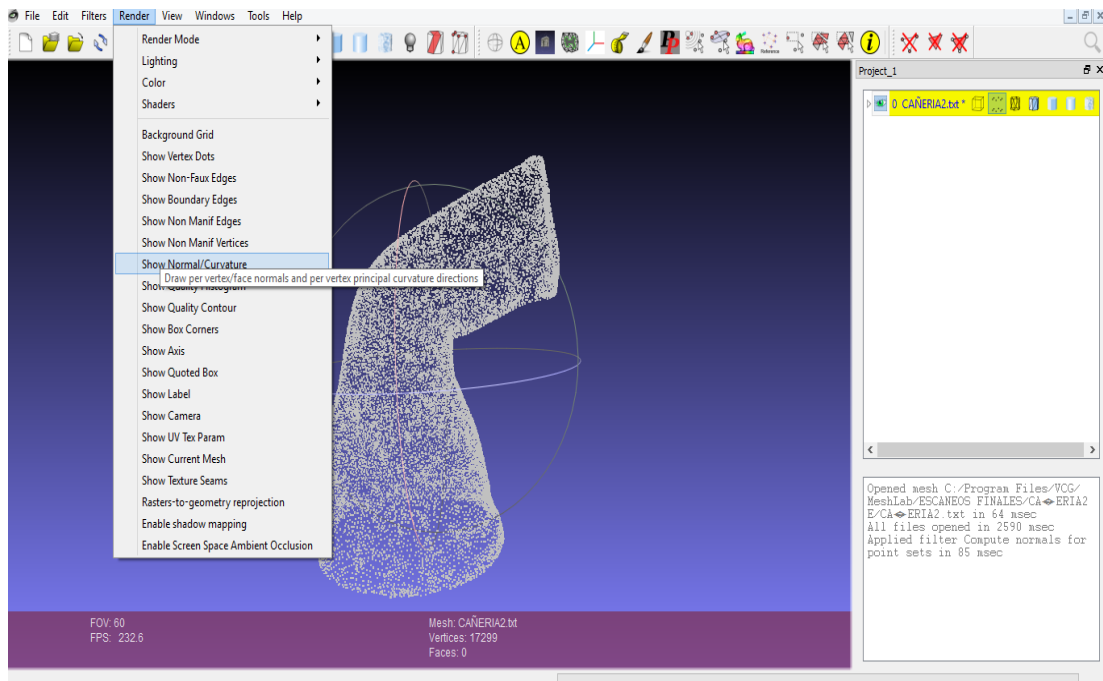
Computar las normales (Compute normals for point sets)



Heighbour num: 10, clic en “Apply” y posteriormente “Close”

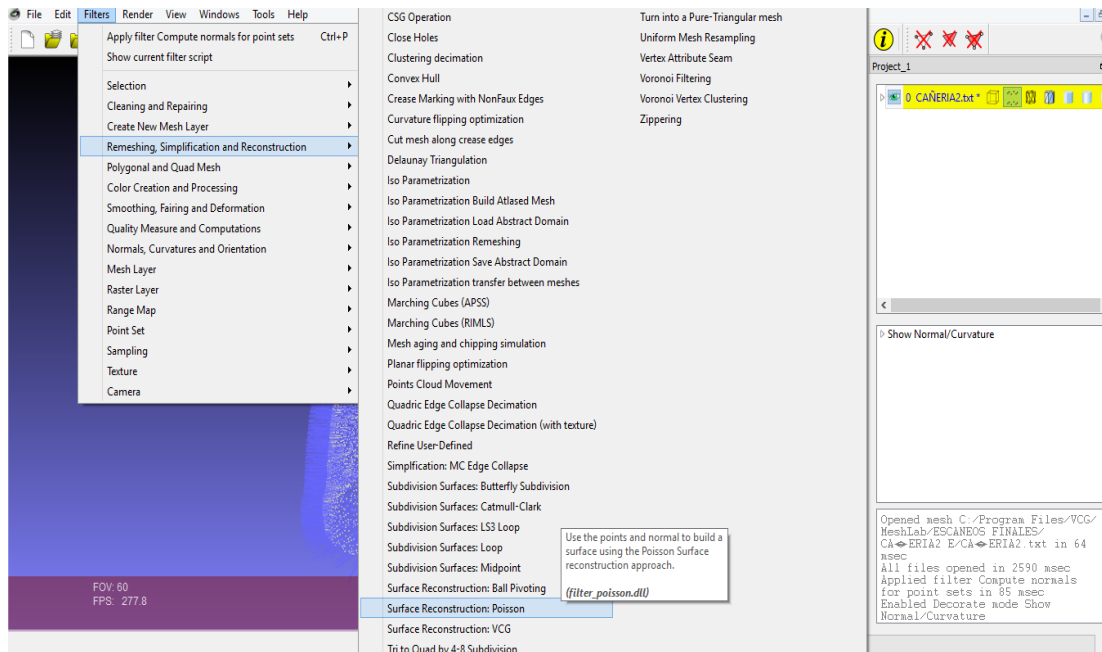


Render → Show Normal/Curvature ( Visualizamos las normales)



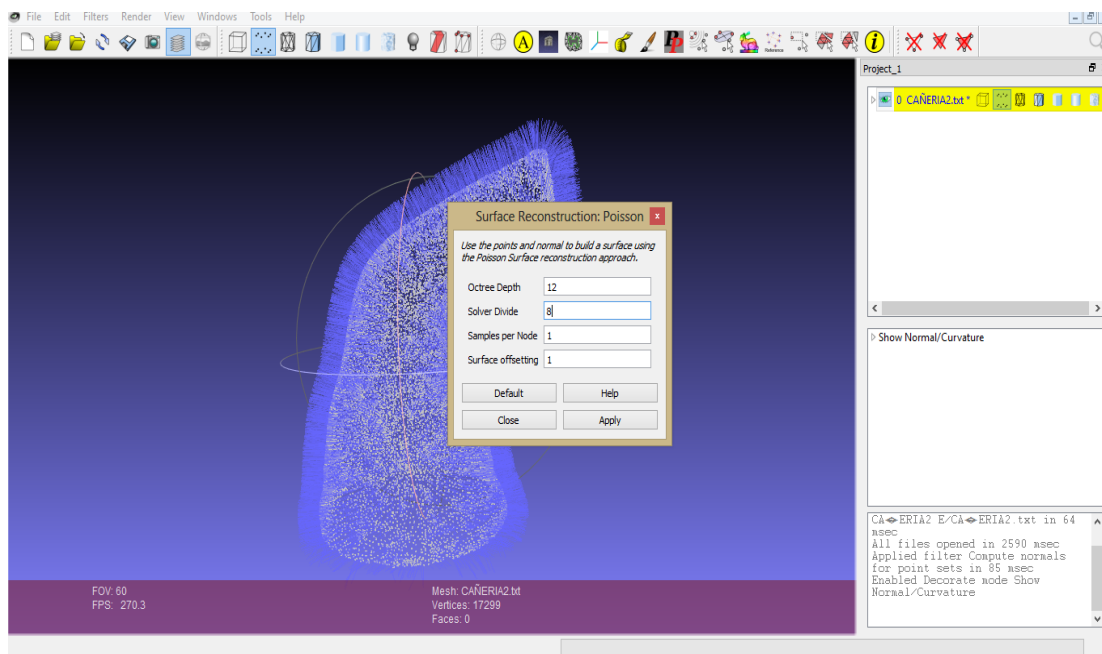
## Reconstrucción de Superficies mediante Poisson

### Remeshing, Simplification and Reconstruction → Surface Reconstruction: Poisson

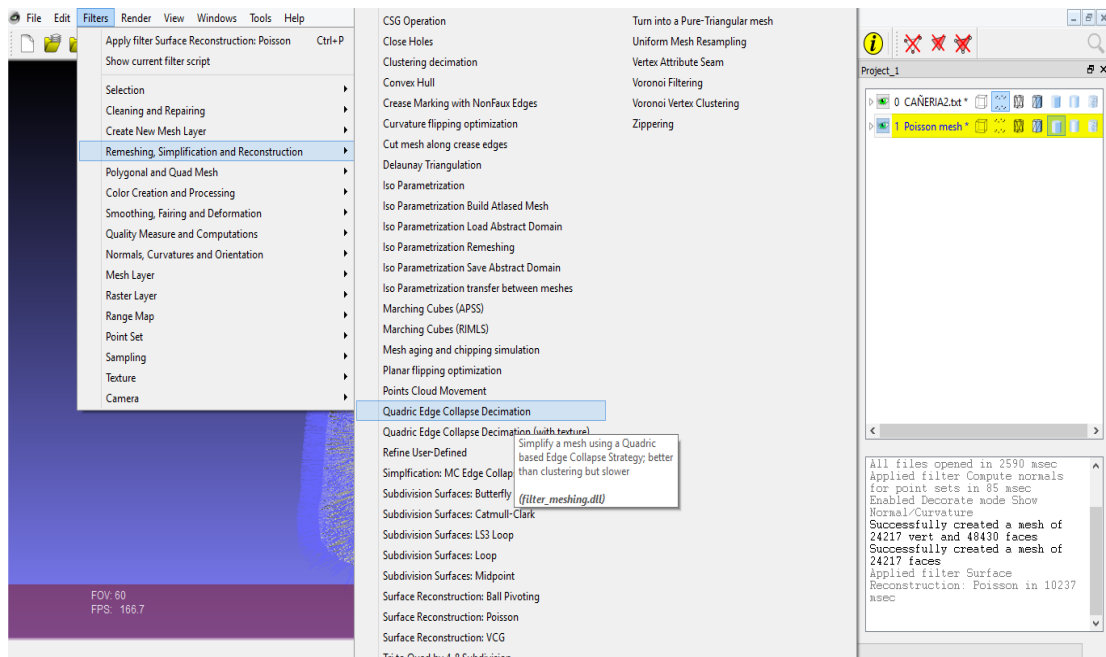


### Parámetros de Reconstrucción:

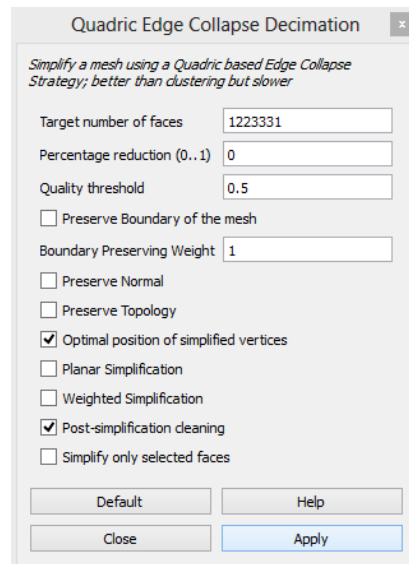
Octree Degt: 12, Solver Divide: 8, Samples per Node: 1, Surface offsetting: 1.



Realizamos una reducción de vértices (puntos) y caras (triangulaciones)



Quality threshold: 0.5



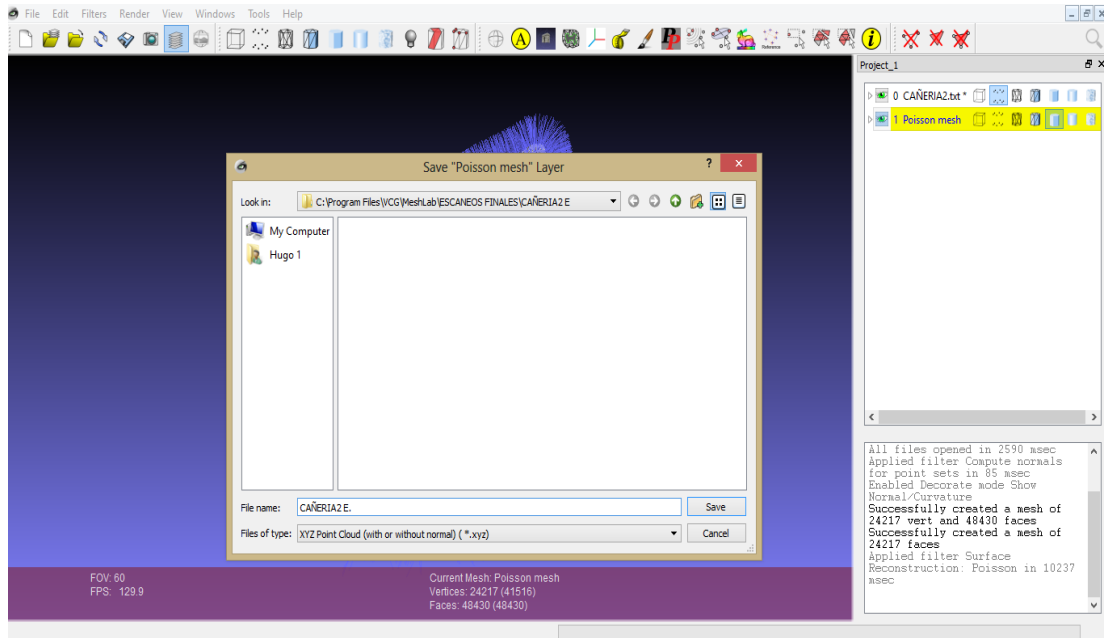
Evidenciamos la reducción de vértices (puntos) y caras (triangulaciones) en un 50%.

Current Mesh: Poisson mesh  
 Vertices: 12109 (29408)  
 Faces: 24214 (24214)

Current Mesh: Poisson mesh  
 Vertices: 24217 (41516)  
 Faces: 48430 (48430)



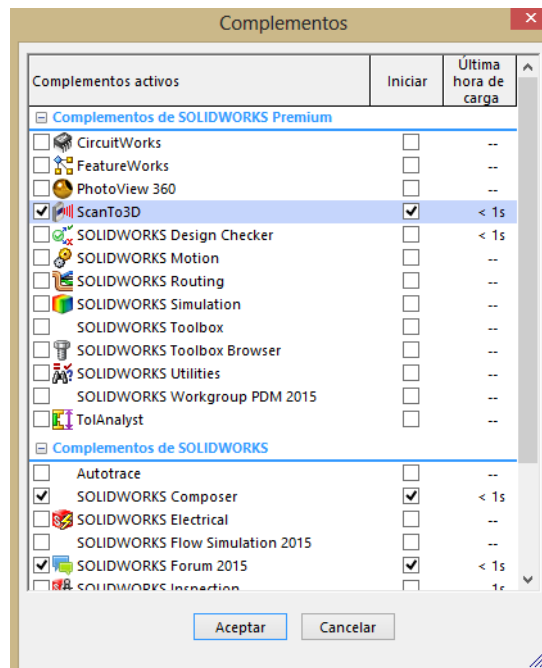
Guardar: Exportando con extensión .xyz



### 5.2.3.2 Proceso En Solidworks

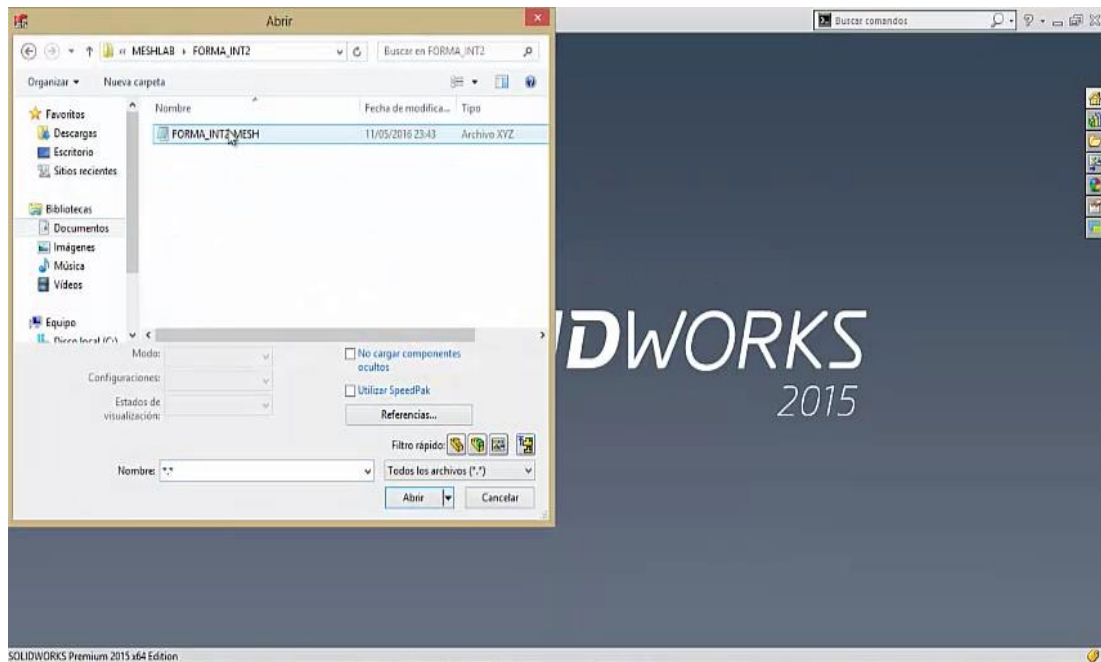
Verificar que ScanTo 3D este habilitado en los complementos de SolidWorks.

En caso de no estar habilitado este y otros complementos se recomienda revisar el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=J6AX82pXLq0>

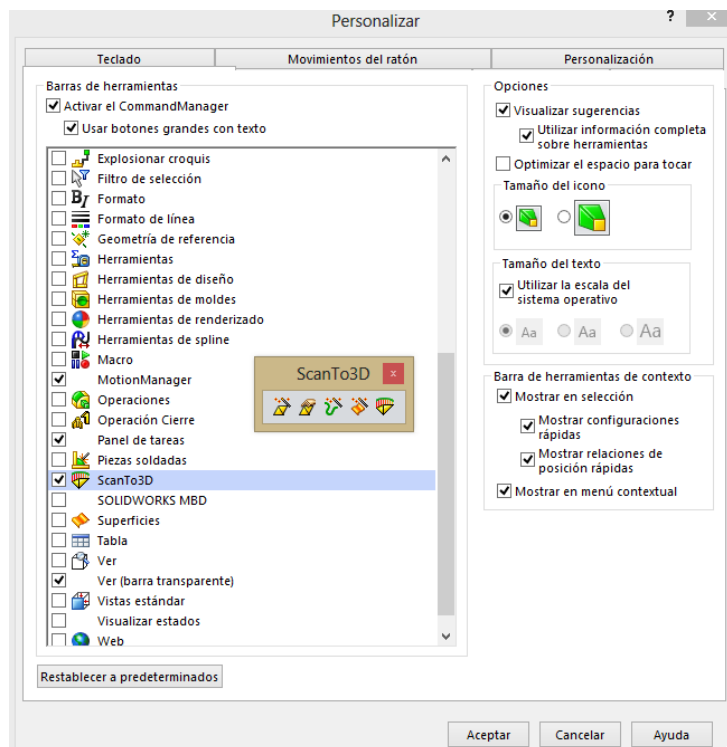




Abrir el archivo .xyz que fue previamente tratado en MESH LAB

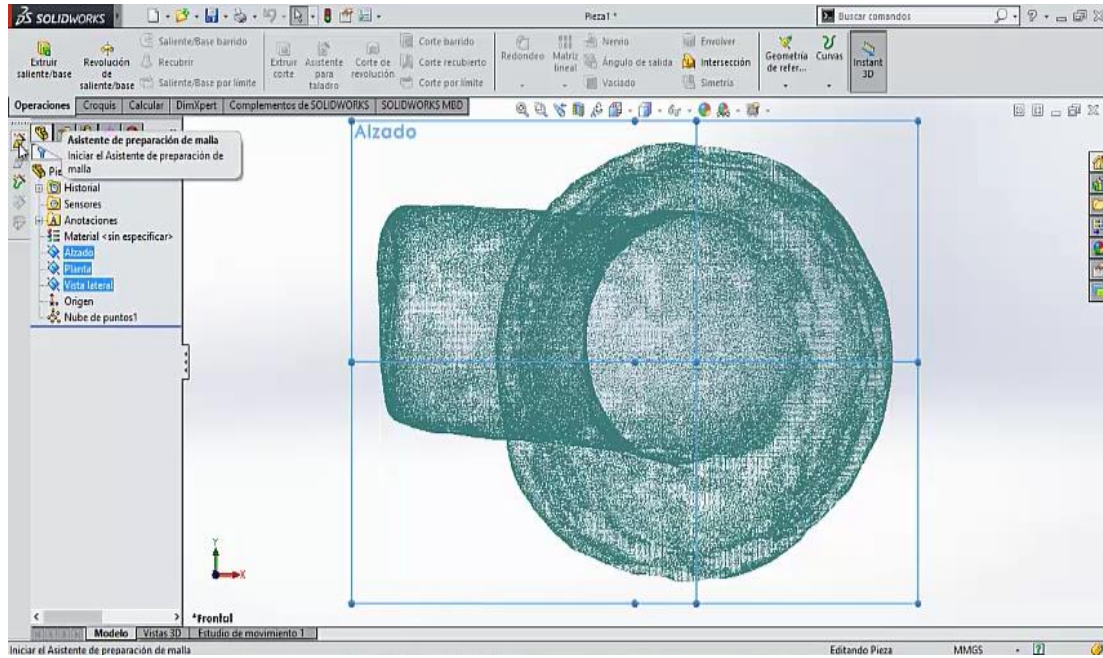


Habilitar la barra de Herramientas ScanTo 3D para facilidad del Trabajo.  
Herramientas→Personalizar→ ScanTo 3D

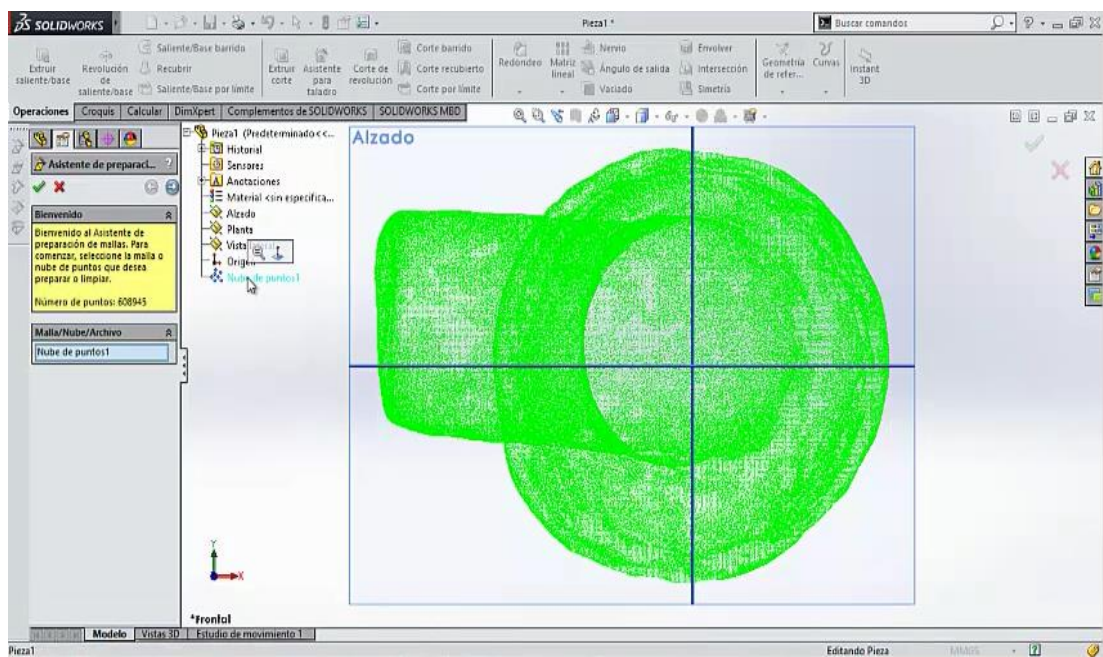


Mostrar los planos que proporciona SolidWorks

Clic en “Asistente de Preparación de Malla”

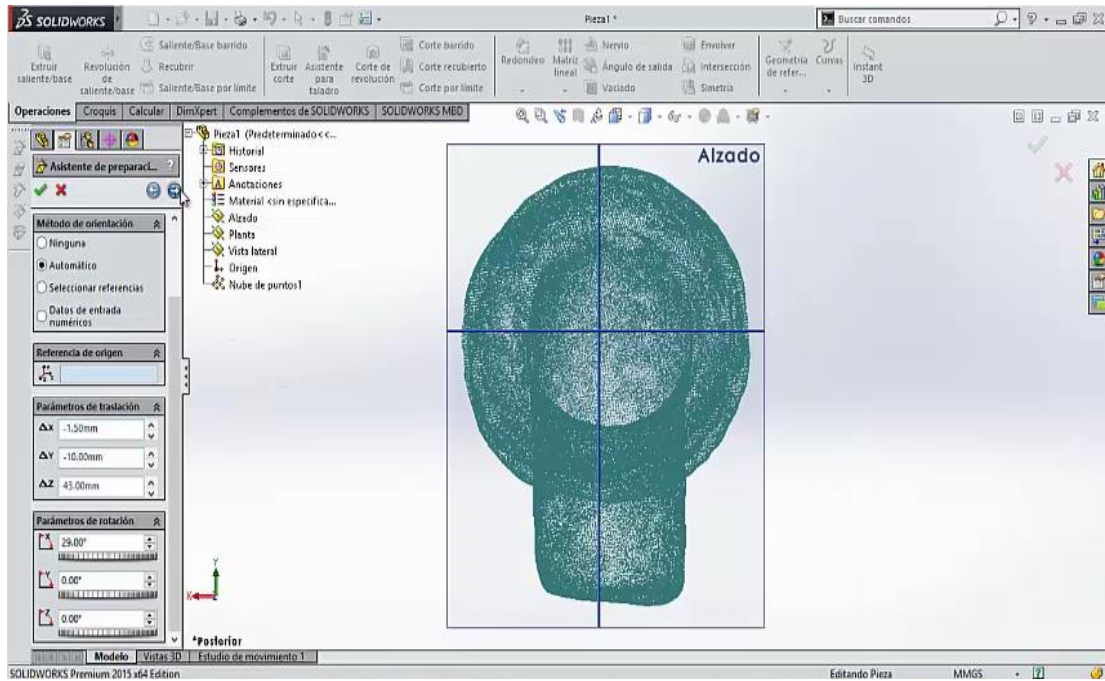


Seleccionar la Nube de puntos → Siguiente

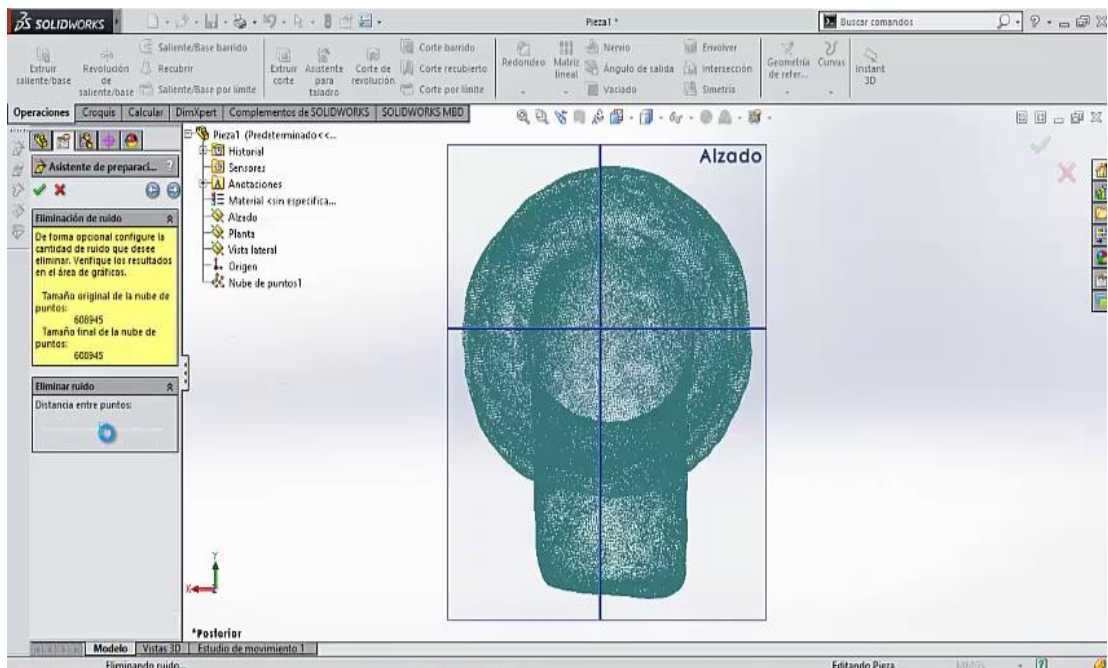


Seleccionar Automático

Modificar los Parámetros de Traslación y Rotación para que se alinee con los planos  
→ Siguiente

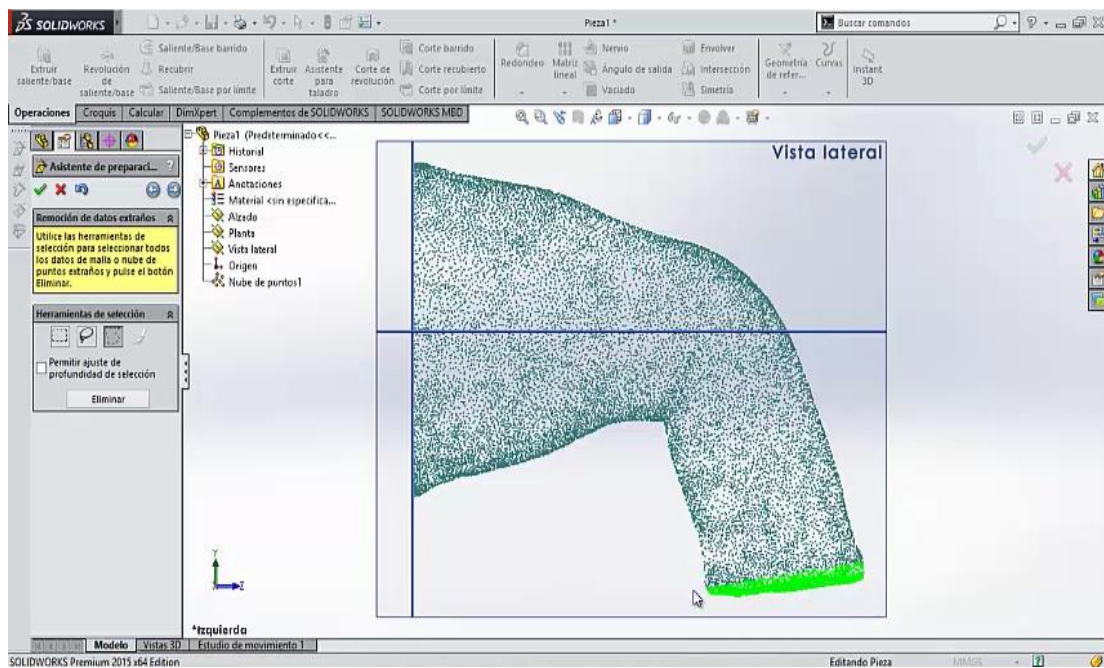
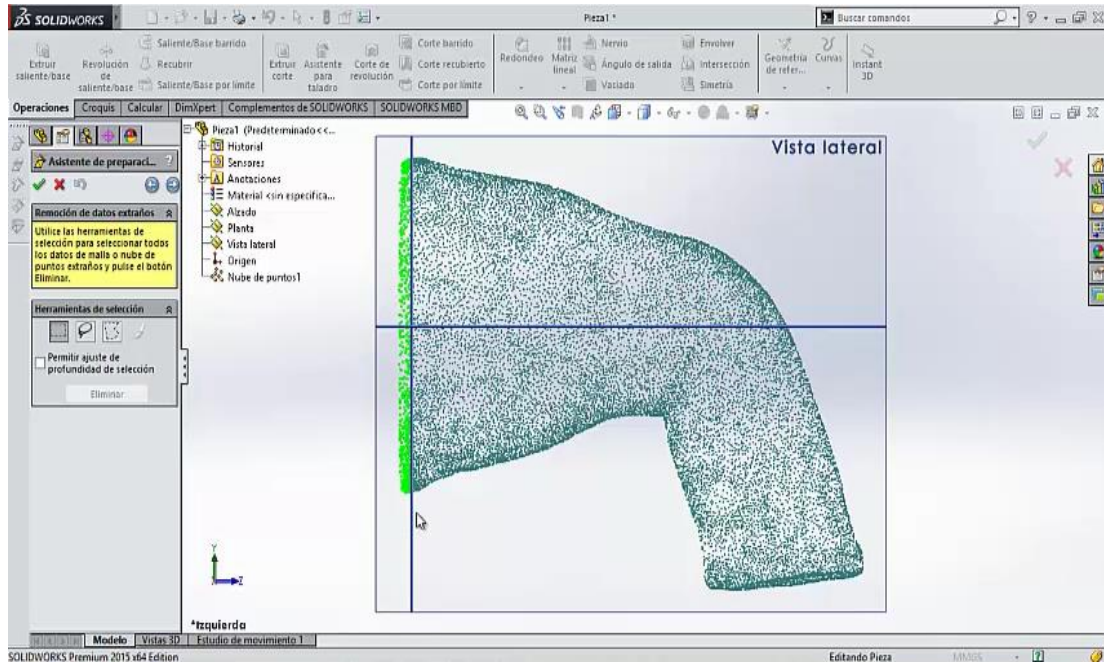


En este caso se reduce un 50% la distancia entre puntos para un mejor procesado →  
Siguiente



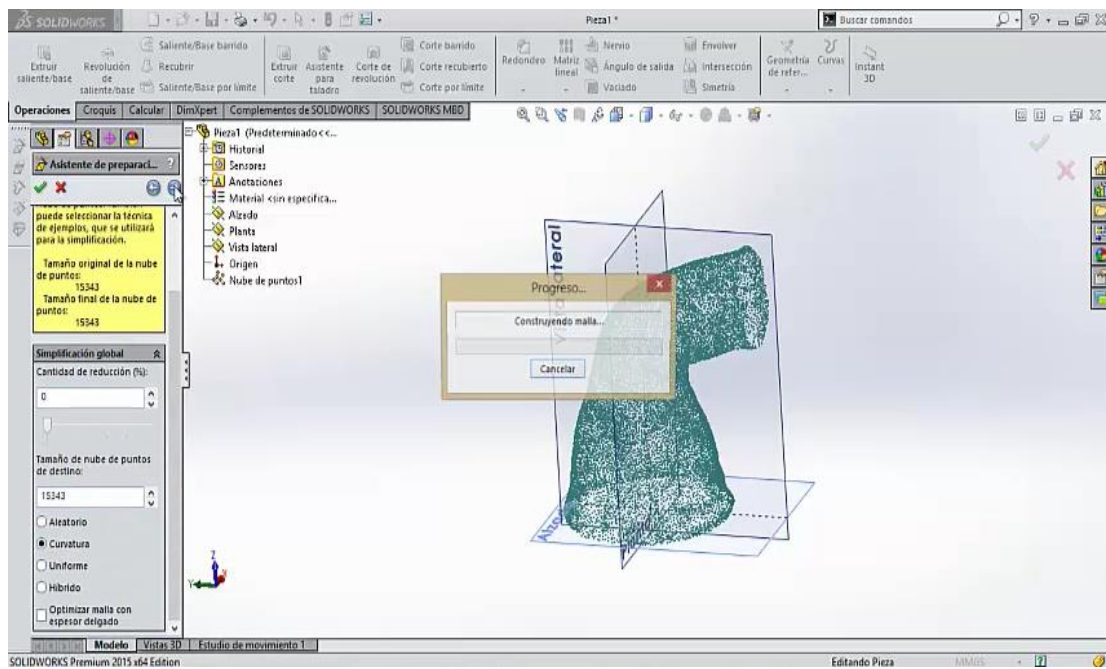


Utilice las herramientas para seleccionar los puntos fuera de lugar, innecesarios o que modifiquen la forma del objeto, posteriormente → Eliminar



→Siguiente

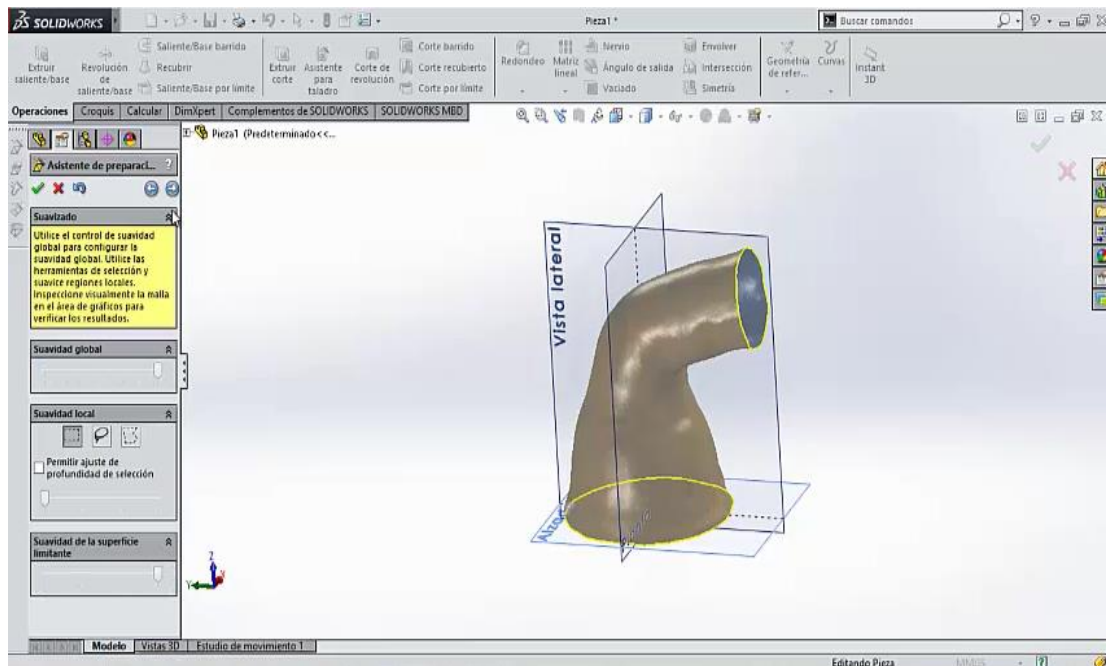
Seleccionar: Curvatura → Cantidad de reducción: 10%



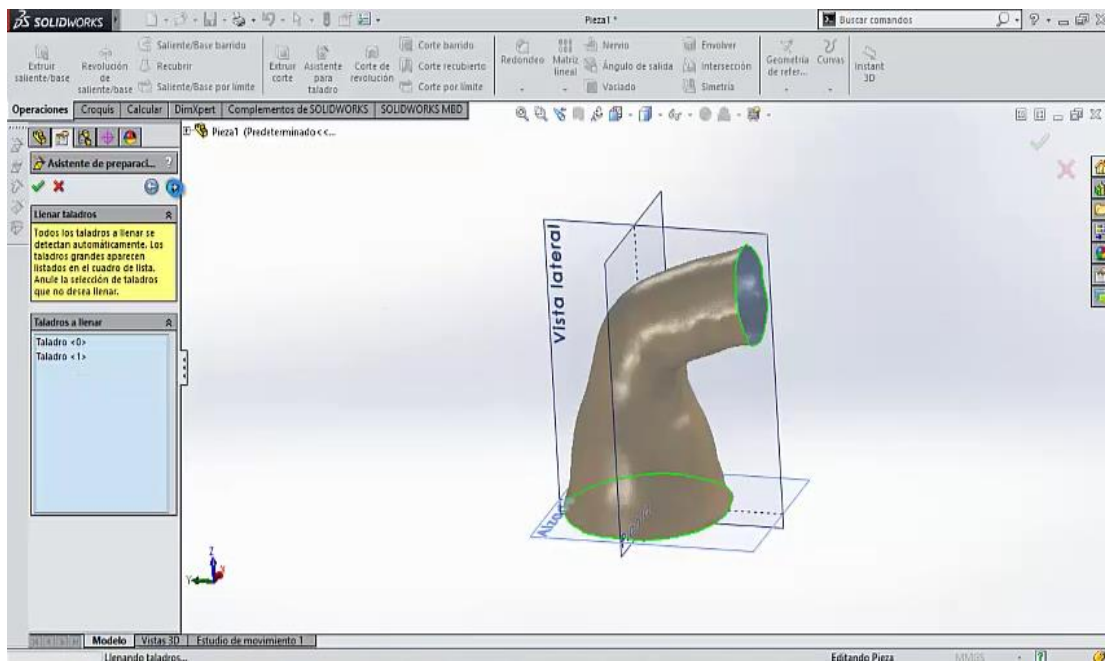
→Siguiente

SE CONSTRUYE EL MALLADO

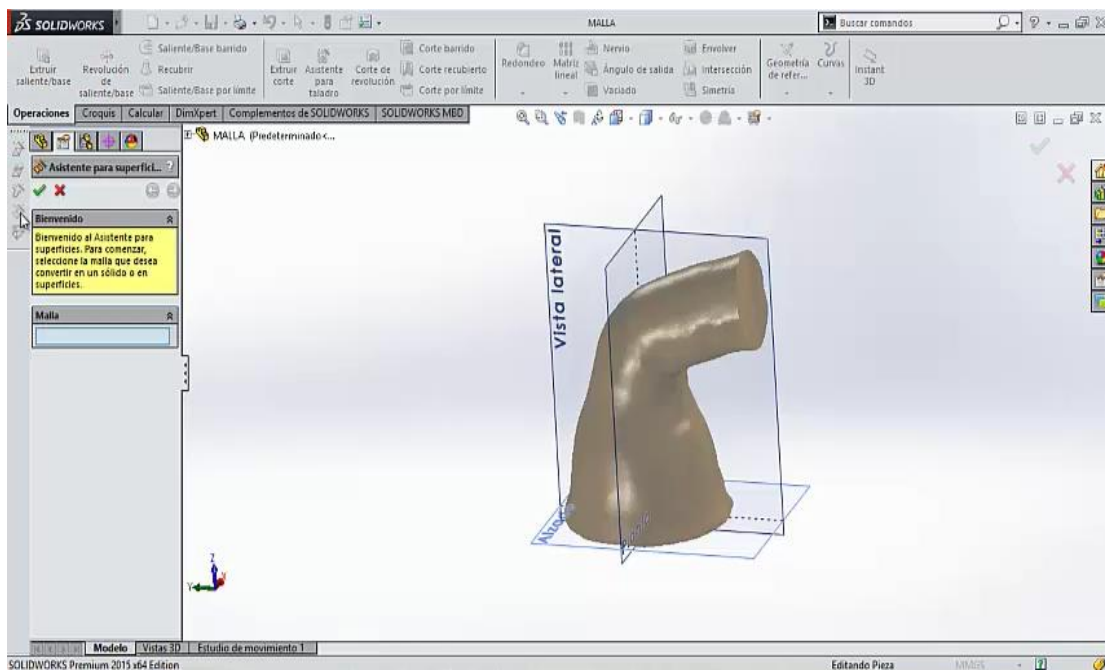
Suavidad de la superficie limitante: 100%, Suavidad Global: 50% →Siguiente



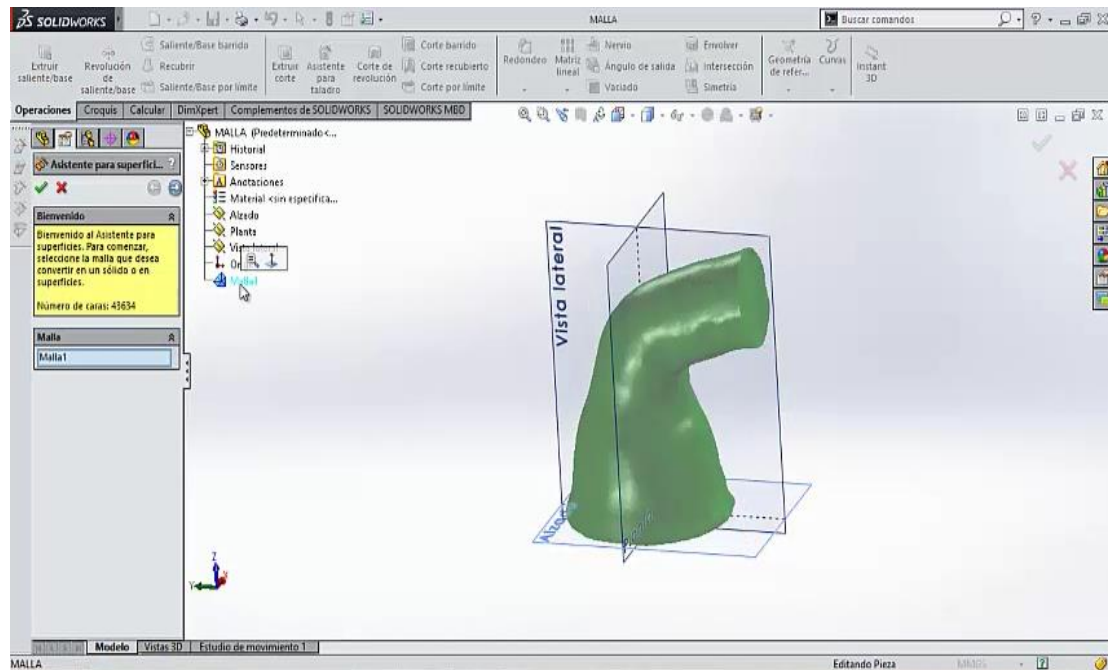
Seleccionar los huecos que el mallado genero para cubrirlos →Siguiente



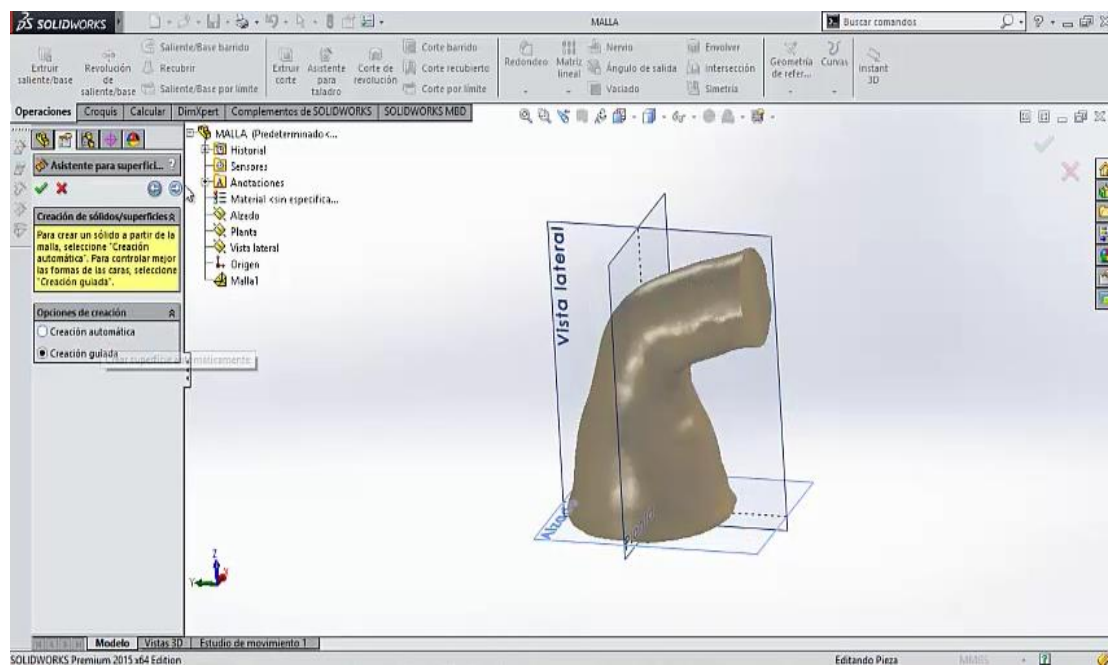
Seleccionar Asistente para Superficies



Seleccionar la Malla →Siguiente

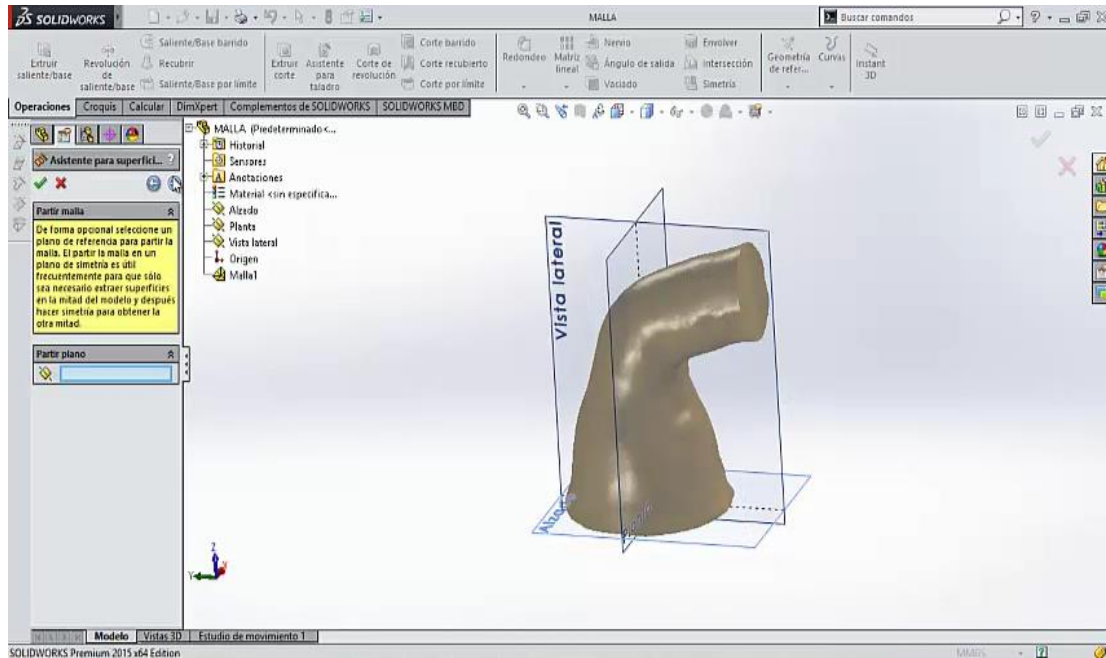


Seleccionar “Creación guiada”

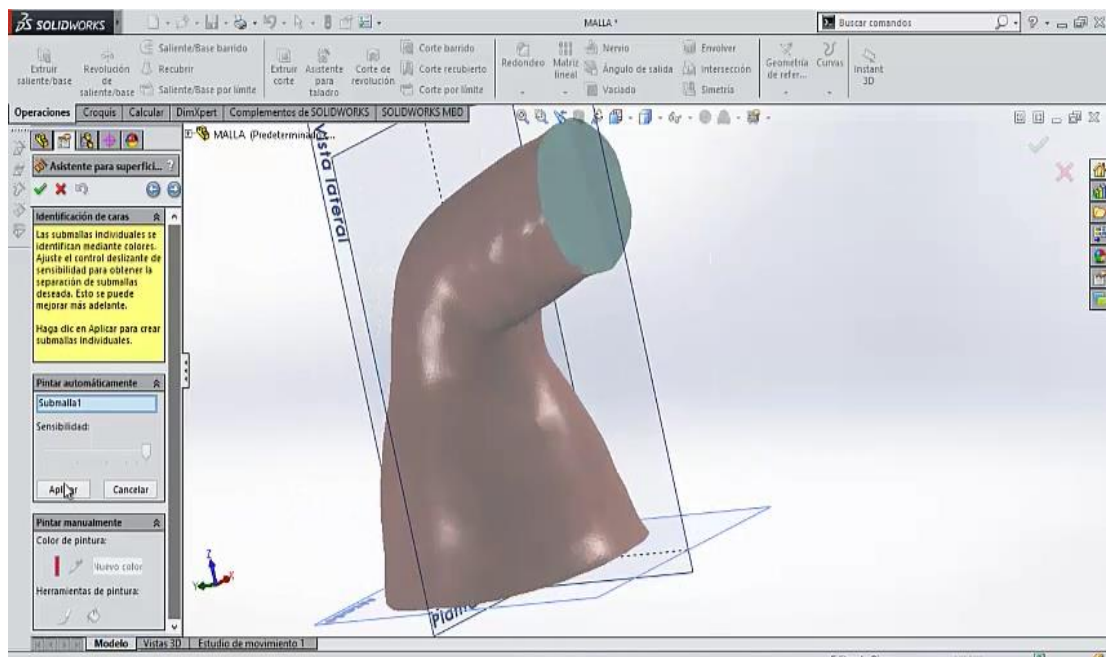




Seleccionar un plano de referencia para partir la malla, generalmente se utiliza en los objetos simétricos pero no es una restricción como en este caso, que no se seleccionara ningún plano.

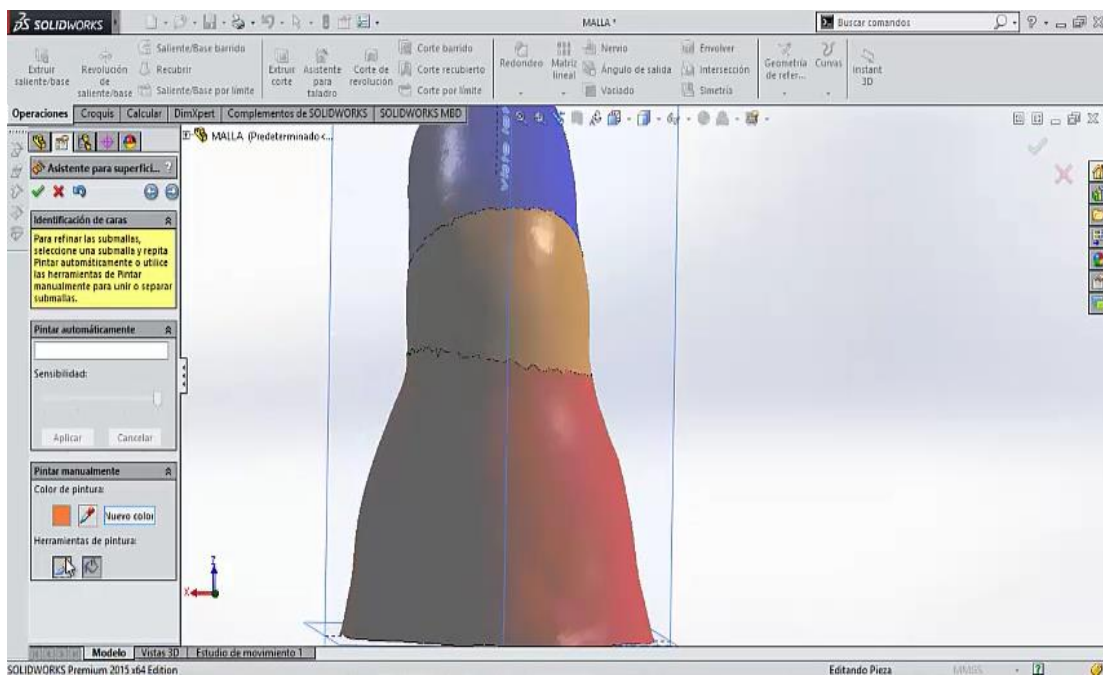
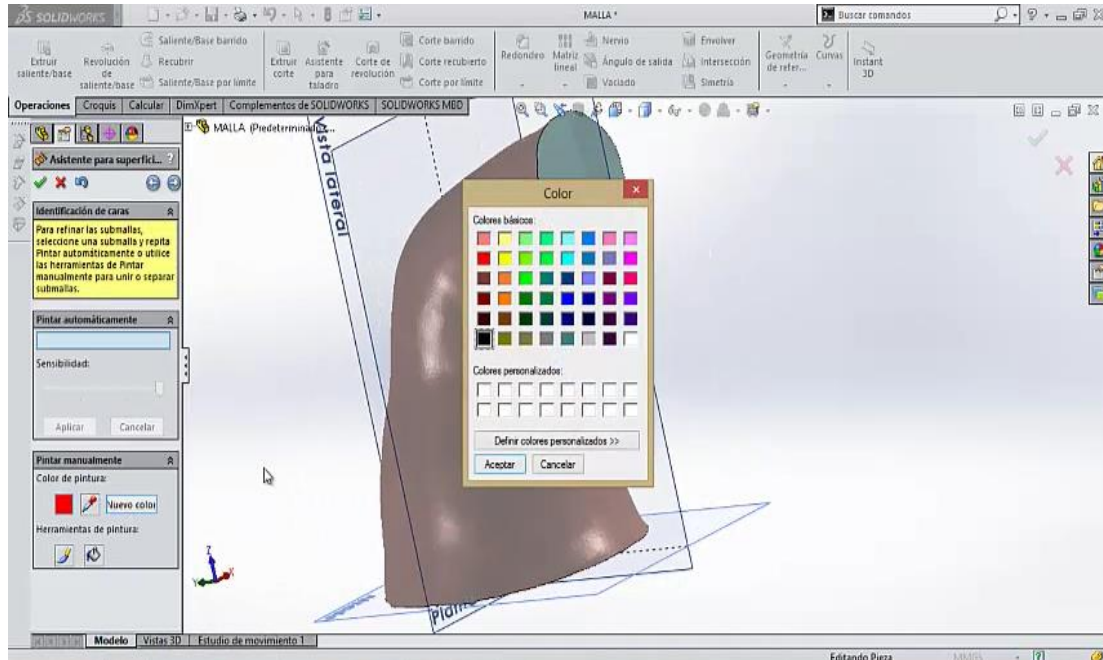


Sensibilidad 100% → Aplicar



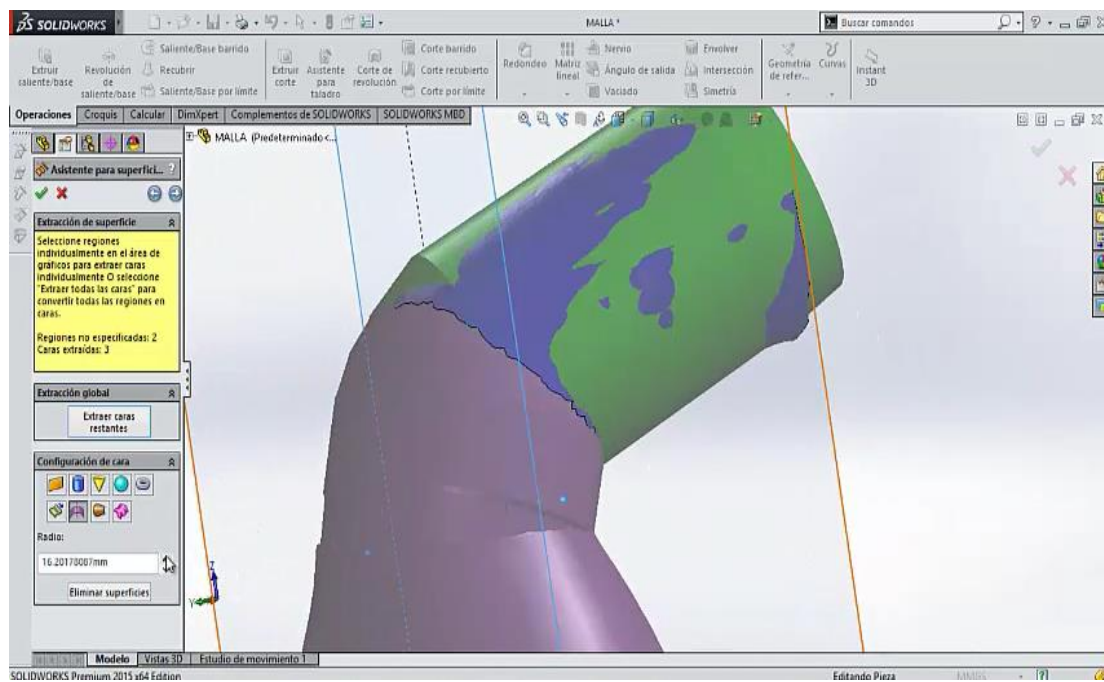
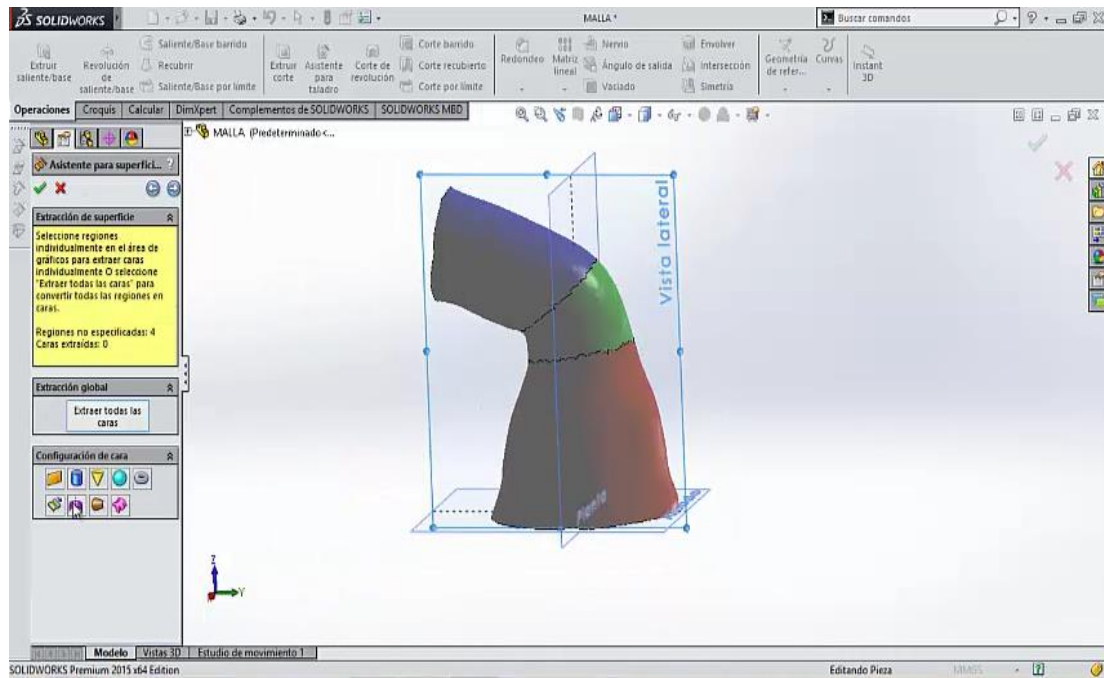


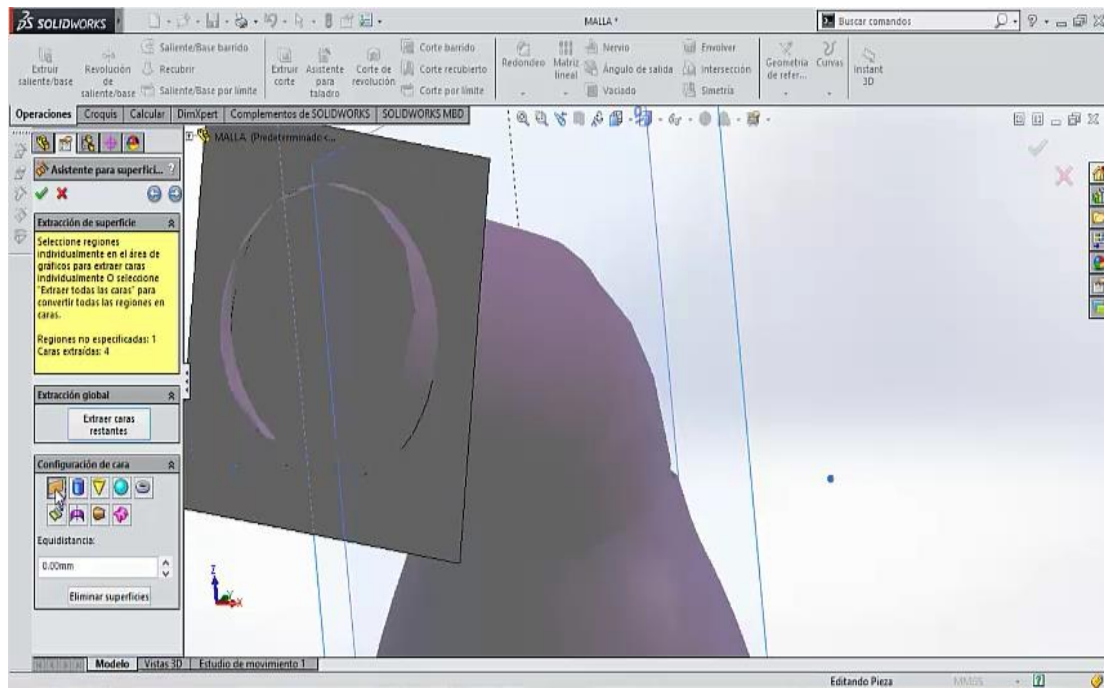
Seleccionar nuevos colores para pintar las curvaturas más pronunciadas y caras planas de diferente color.



→Siguiente

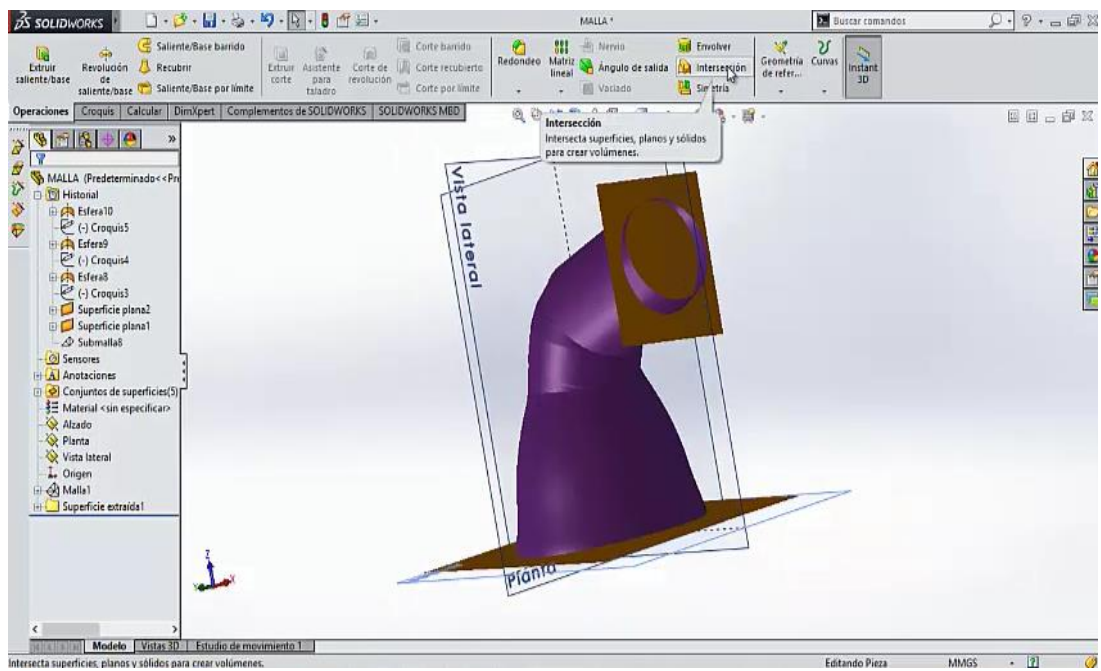
Seleccionar regiones (colores) individualmente para extraer las superficies que se requieran





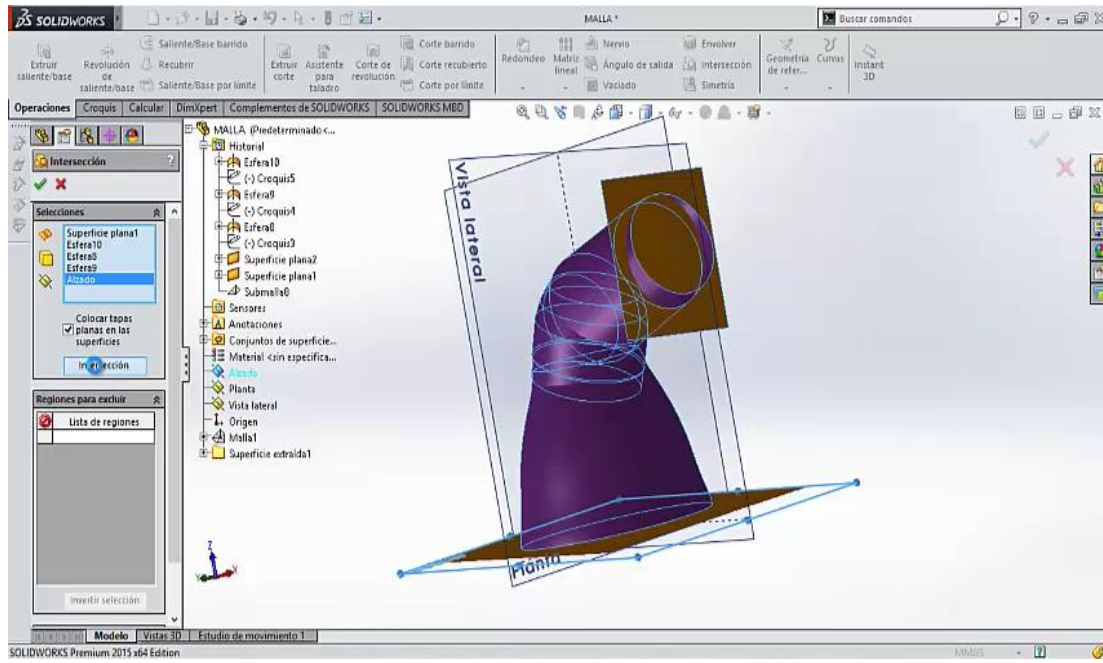
Clic OK

Utilizar la herramienta “INTERSECCIÓN”



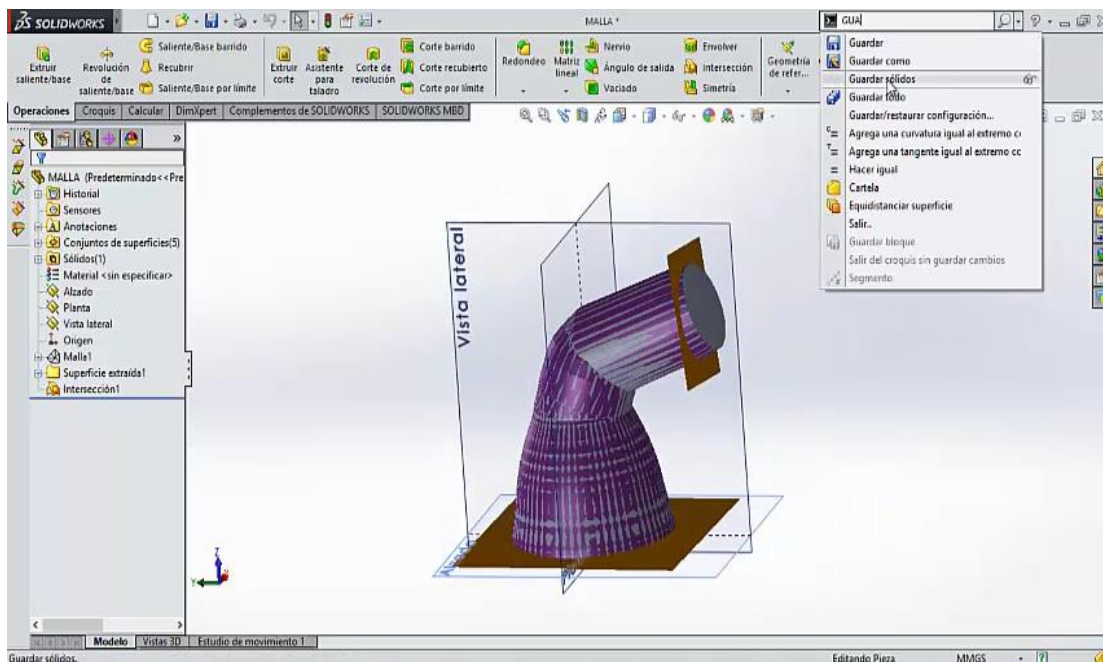
Seleccionar todas las superficies extraídas

Marcar “Colocar tapas planas en las superficies” → OK



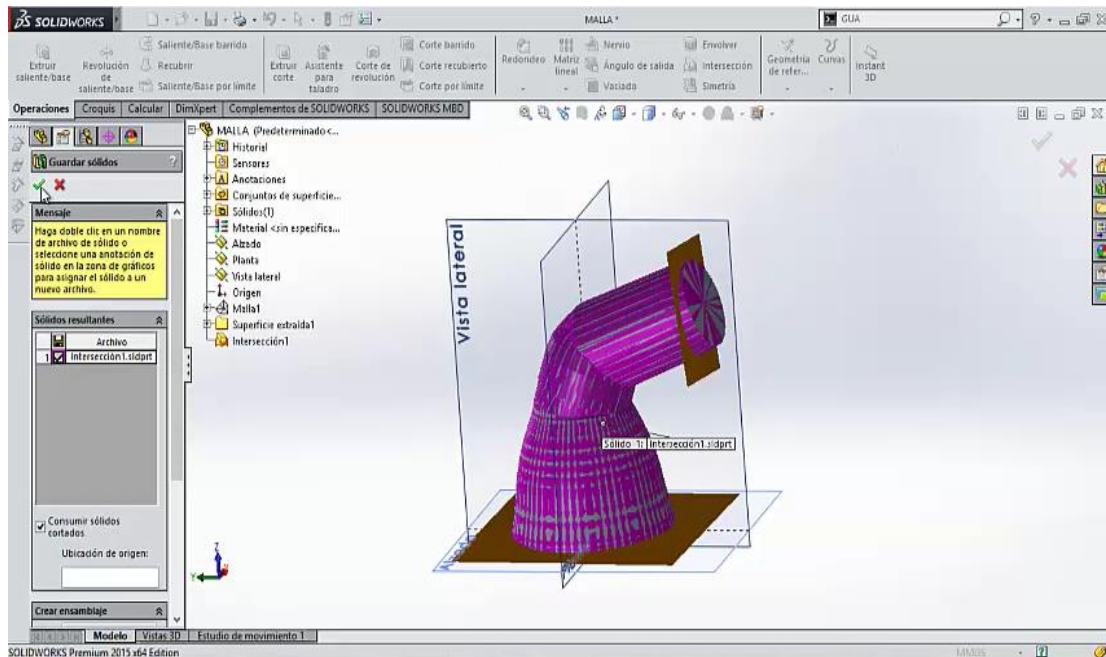
*Guardar Previamente El Archivo En Una Carpeta Exclusiva Del Objeto*

Seleccionar el comando GUARDAR SÓLIDOS





Clic en Intersección1 → OK

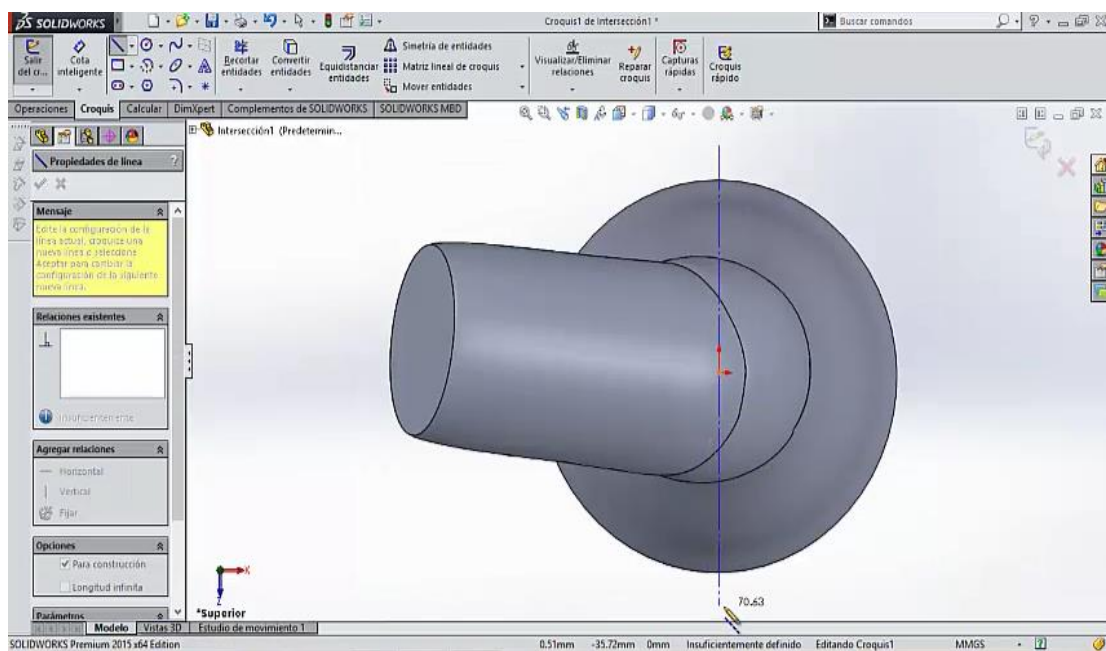


Abrir el nuevo archivo que se generó en la carpeta exclusiva del objeto

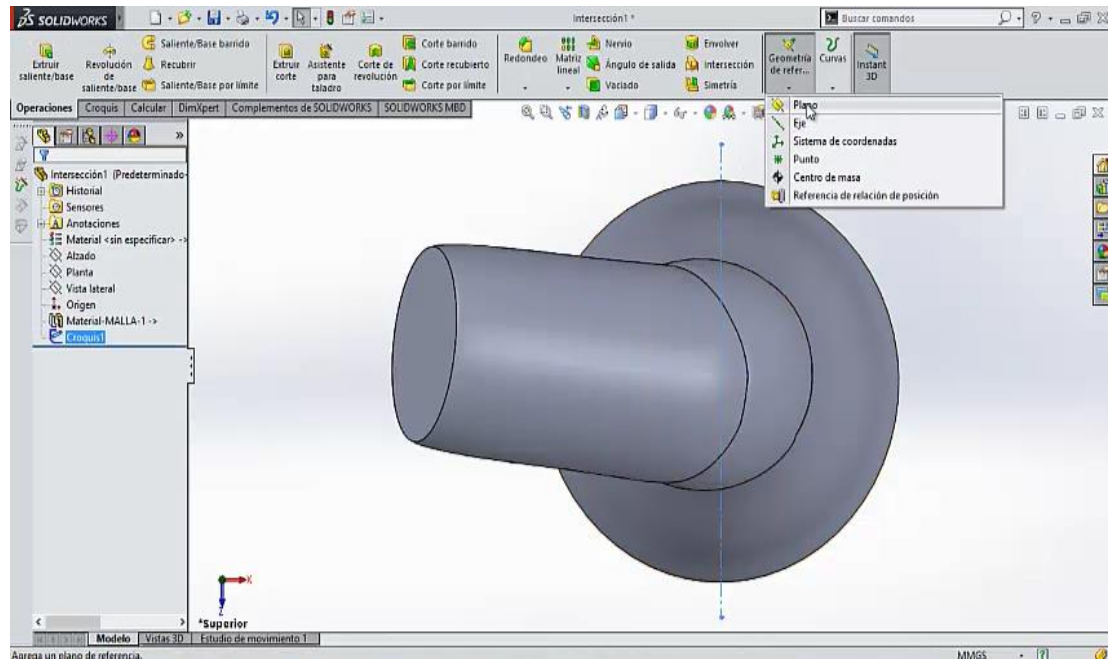
*El Siguiete Procedimiento Es Con El Fin De Eliminar Las Inconsistencias O Abruptos Que Se Presenten En El Objeto Resultado De La Extracción, Intersección De Las Superficies En Los Pasos Anteriores*

Abrir un croquis en el plano Alzado

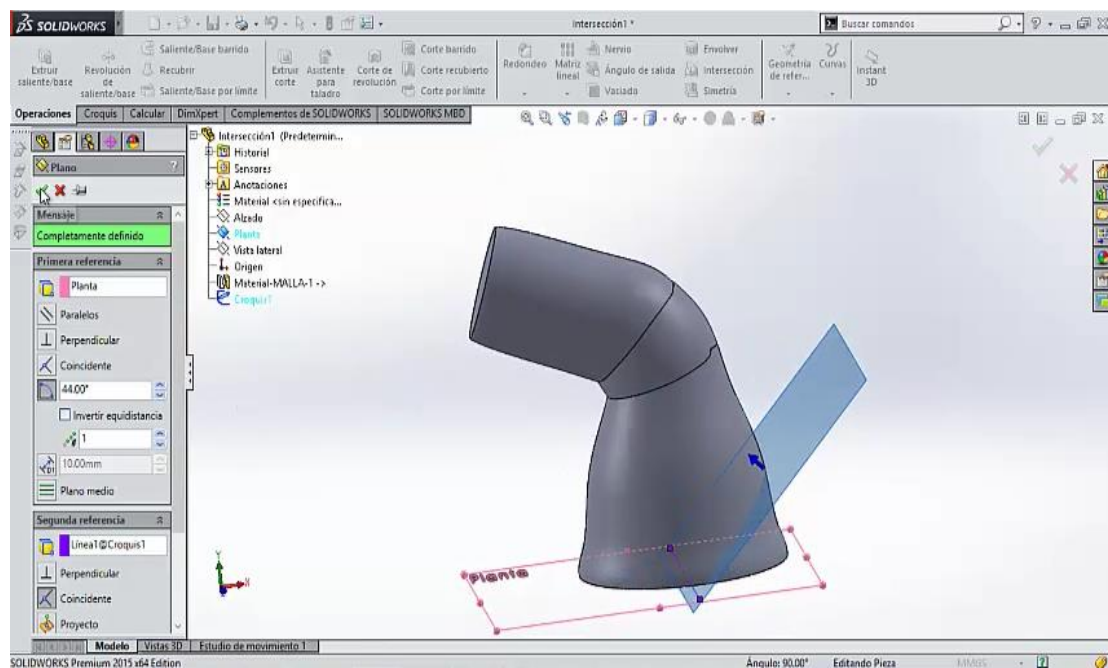
Trazar una línea constructiva en uno de los ejes referenciales.



Generar un plano con referencia en el plano de Planta y la línea constructiva previamente trazada

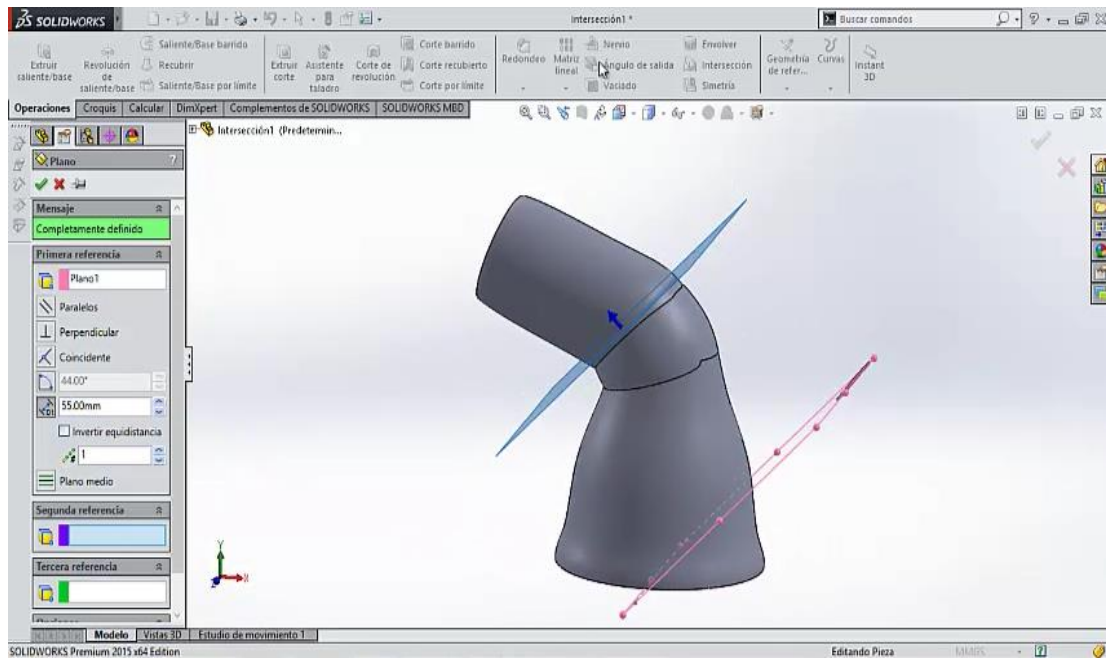


Seleccionar un ángulo de 44 grados

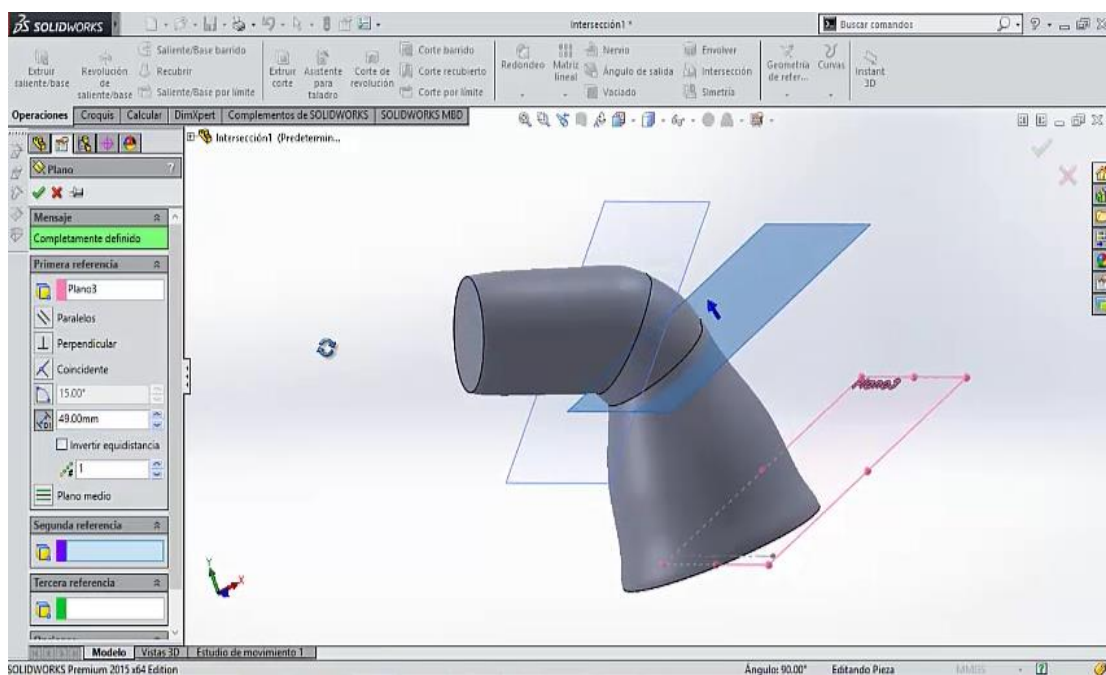


Generar un plano con referencia en el plano1

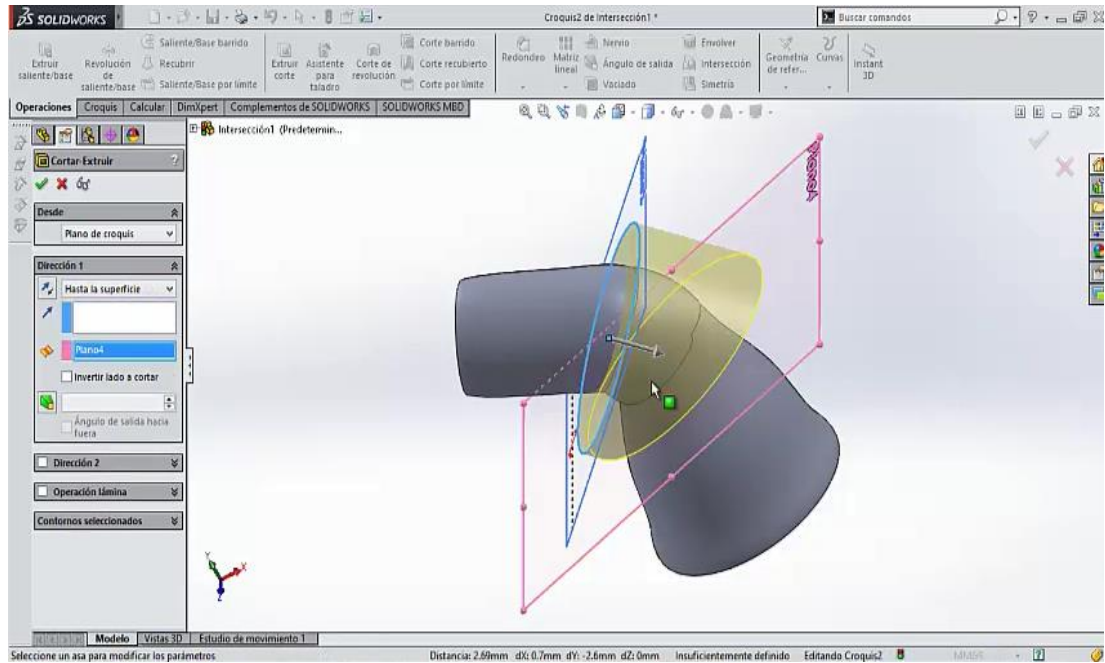
Seleccionar una distancia de 55mm para el caso



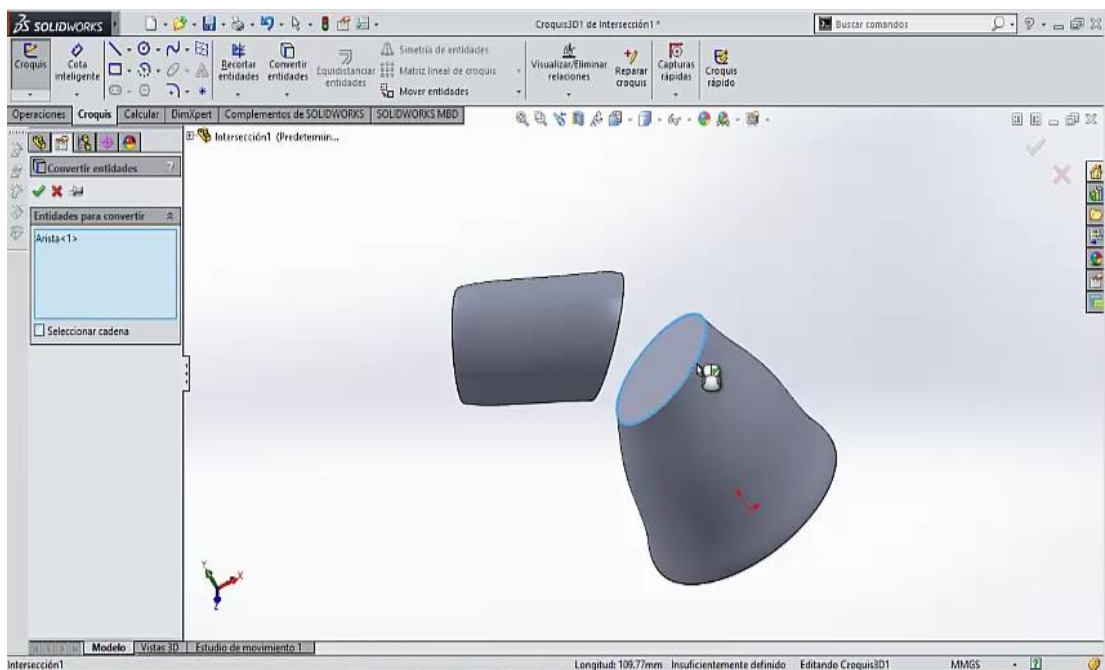
De la misma forma otro par de planos el uno a 15 grados y otro con un espacio de 49mm



Croquis en el plano 2 para recortar la entidad brusca (Producto de la extracción de superficies)

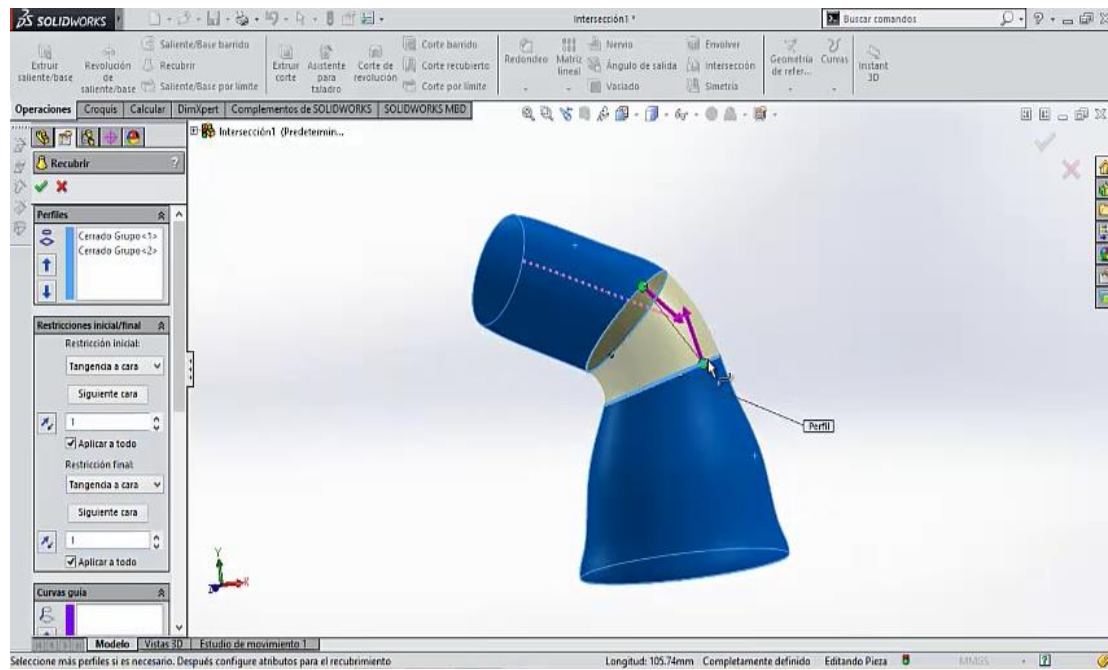


Utilizar la herramienta convertir entidades en las aristas





Seleccionar la herramienta “RECUBRIR” seleccionando las aristas como referencias  
 Restricción Inicial: Tangencia a cara, Restricción final: Tangencia a cara



### 5.2.3.3 Resultado



## **CAPITULO 6**

### **PRUEBAS DEL PROCESO POR MEDIO DE MANUFACTURA ADITIVA**

#### **6.1 INTRODUCCIÓN**

En los últimos años la Manufactura Aditiva (MA) ha sentido un gran empuje gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y nuevos materiales. Este proceso de manufactura ofrece muchas ventajas comparadas con procesos tradicionales de manufactura, por lo cual permite fabricar todo tipo de prototipos y de productos de una manera fácil y rápida. Esto ayuda a muchos diseñadores, ingenieros y fabricantes realizar pruebas de funcionamiento de un prototipo para su verificación (T. Campbell, C. Williamss, 2011).

La capacidad de imprimir modelos 3D en unas pocas horas permite tomar decisiones de trascendental importancia en base a prototipos y datos precisos, en lugar de tener que depender de la imaginación (I. Vazquez).

La mayoría de tecnologías de manufactura aditiva utilizan algún tipo de polímeros para la fabricación de los prototipos. Sin embargo hay nuevas impresoras que pueden imprimir piezas en materiales metálicos, lo cual es un gran desarrollo para la industria y la tecnología. Ya que estás presentas una gran ventaja con respecto a las piezas impresas en polímeros. Pero el costo de esta tecnología es muy elevado (E. Atzeni, A. Salmi, 2012).

#### **6.2 MANUFACTURA ADITIVA**

La ASTM define el término “Manufactura aditiva” como el proceso de unir materiales para fabricar objetos a partir de un modelo CAD 3D. Normalmente este proceso se lleva a cabo por la adición controlada de material en coordenadas a través de una extrusora capa por capa. Por lo tanto la norma ASTM F2792-12<sup>a</sup> utiliza las siglas AMA para definiciones, términos, descripciones, nomenclatura y acrónimos asociados con las tecnologías de fabricación aditiva (ASTM F2792-12, 2012).

### **6.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA.**

Los procesos de fabricación convencionales de remoción y retención de material tales como el maquinado, fundición, conformado, tienen varias limitaciones de acuerdo al grado de complejidad de la pieza a fabricarse, siendo en algunos casos necesario la utilización de uno de estos procesos para llegar a obtener un prototipo deseado. Esto es una gran ventaja para la manufactura aditiva ya que esta solo requiere de un proceso principal, aunque para darle un mejor acabado superficial a las piezas puede requerir de otros procesos si lo requiere (S. Chicaiza, V Sinchiguano, 2016).

La manufactura aditiva dispone de dos características principales, las cuales le confiere varias ventajas con respecto a las técnicas convencionales.

#### **a) Alto grado de complejidad de la pieza a fabricar**

Facilita la elaboración de formas geométricas relativamente complejas que pueden estar presentes en una determinada pieza a fabricar, tales como formas externas elaboradas, vaciados interiores, canales ocultos, espesores variables, formas irregulares que pueden incluso imitar diseños de estructuras naturales. Este tipo de formas no suelen ser realizadas por métodos convencionales de manufactura por la complejidad de su diseño (F. Cotec, 2012).

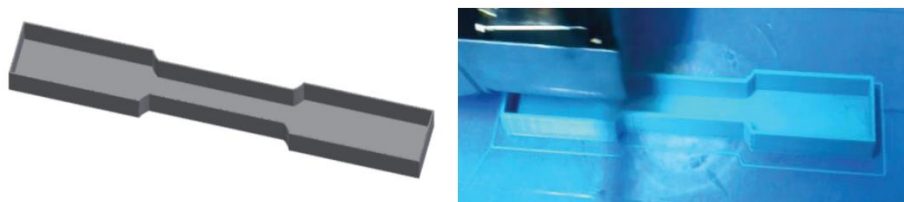
### b) Personalización del proceso de diseño y desarrollo del producto

Durante el proceso de diseño, paquetes computacionales de Diseño asistido por computado (CAD), como lo son Solid Works, NX, Rhineros, Sculptris, etc, son usados generar las piezas, cuerpos o formas requeridas. En estos programas el modelo puede ser cambiado conforme las necesidades del diseñador, así se pueden hacer diferentes cambios en la fabricación de la pieza antes de una producción en serie por ejemplo, y a su vez se puede tener estos prototipos en menor tiempo. Ya que las empresas de fabricación o producción requieren nuevos productos en menos tiempo y de forma más personalizada (F. Cotec, 2012).

## 6.2.2 VENTAJAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA

### a) Fabricación de productos ligeros.

La posibilidad de la fabricación de productos huecos o parcialmente huecos. Por ejemplo la Figura 42 muestra el diseño de una probeta de acuerdo a normas establecidas en la norma ASTM [5,8]. Este elemento ha sido impreso según las necesidades del diseñador ya que solo necesita la estructura externa y la cavidad hueca en el interior.



**Figura 42:** Diseño virtual y pieza hueca fabricada con tecnología aditiva.

**Fuente:** (S. Chicaiza, V Sinchiguano, 2016)

**b) Productos compuestos de más de un material.**

Mediante la utilización de tecnologías multi-material, se puede conseguir dos materiales en diferentes partes de una misma pieza Figura 43. Esta técnica elimina la necesidad de ensamblar varias partes de mismo elemento en un solo proceso. Esto se consigue con dos o más extrusores capaces de inyectar diferentes tipos de materiales (S. Chicaiza, V Sinchiguano, 2016).

Piezas con materiales híbridos o compuestos pueden alcanzar propiedades físicas y mecánicas superiores al de sus materiales constituyentes. Describe el desarrollo de tecnologías de estereolitografía múltiple, capaz de producir piezas de varios metales, durante la fabricación los materiales pueden ser utilizados mediante el intercambio de cubas enteras o sustituyendo el material actual dentro de una cuba con un material diferente durante los procesos de fabricación, la Figura 43 ilustra una pieza de ajedrez fabricada con diferentes materiales (S. Chicaiza, V Sinchiguano, 2016).



**Figura 43:** Torre de ajedrez fabricada de varios materiales con la tecnología de estereografía.

**Fuente:** (R.B. Wicker, E.W. MacDonald, 2012)

### c) Mecanismos integrados en un solo producto

Las tecnologías de manufactura aditiva, posibilita la fabricación de productos compuestos por varias piezas y componentes Figura 44, los cuales no requieren procesos de ensamble posteriores.



**Figura 44:** Prótesis de mano, compuesto de varias piezas impresas en 3D.

**Fuente:** (FraxDesign, 2014)

**d) Ventajas relacionadas de la impresión 3D con la industria.**

**Tabla 2**  
Ventajas de la manufactura aditiva.

Área de negocios	Ahorro de costes	Aumento de la funcionalidad
Diseño	Costes de mecanizado eliminados como una consideración de diseño	Menos restricciones en fase de diseño más amplia variedad de posibles formas de productos
Prototipado Manufactura	Reduce la probabilidad de productos defectuosos	
Marketing	Reducción de residuos de materiales, tiempo establecido, máquinas necesarias, trabajo en progreso	Reducción del Time to market, diversidad de las ofertas de productos incrementado
Consumidor	Precios bajos	Más productos personalizados para satisfacer las necesidades individuales
Logística	Cadena de suministro simplificado	

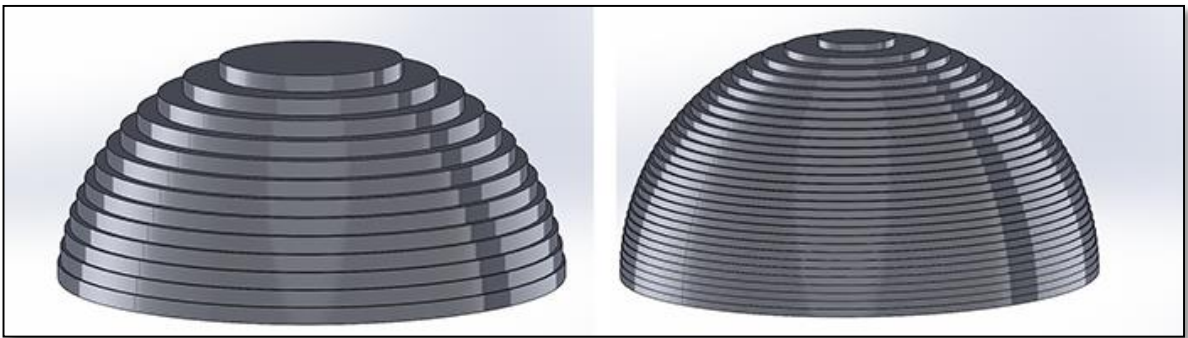
**Fuente:** (T. Teelahti, 2014)

### 6.2.3 DESVENTAJAS DE LA MANUFACTURA ADITIVA

La Manufactura Aditiva presenta algunas desventajas, dependiendo de la tecnología que se utilice, el conocimiento de esta ayudara a desarrollar un producto requerido.

**a) Rugosidad**

Debido al proceso de manufactura aditiva, este va generando el sólido por capas se genera un efecto llamado escalera, el cual se lo puede observar en la Figura 45, el cual es visible. Este efecto se puede reducir disminuyendo el espesor de cada capa, pero esto aumentaría el tiempo de fabricación.



**Figura 45:** Efecto escalera.

**Fuente:** (Ikasab, 2015)

**b) Acceso a materiales**

El costo y el acceso a materiales para la manufactura aditiva para impresión 3D siguen siendo de un costo elevado y limitación de investigación.

**c) Velocidades de fabricación**



Esta tecnología ayuda a fabricar prototipos de forma rápida, pero en producciones mayores, o en una línea de producción, la manufactura aditiva puede resultar lenta en comparación a las tecnologías convencionales. Y al querer reducir el tiempo de impresión puede afectar la calidad la pieza.

#### **d) Tolerancias**

En comparación con otras tecnologías como el maquinado de precisión las tolerancias por técnicas aditivas pueden ser mayores, esto puede variar de acuerdo al tipo de tecnología que se utilice (F. Cotec, 2012).

### **6.2.4 TECNOLOGÍAS CONFORMATIVAS Y SUSTRACTIVAS PARA FABRICAR GEOMETRÍAS COMPLEJAS**

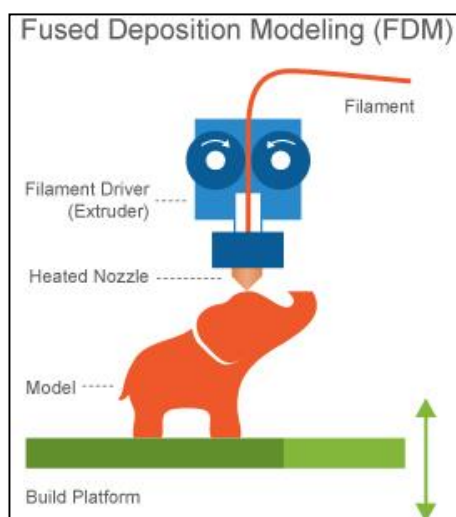
- Con las tecnologías de conformado o mecanizado se tiene un alto coste de herramientas y maquinaria.
- Largas y complejas cadenas logísticas para abaratar fabricación de componentes.
- Se requiere de un elevado tiempo para nuevos diseños.
- Pérdida de flexibilidad en la toma de decisiones debido al costo de los instrumentos y la duración del desarrollo de nuevos productos de geometrías complejas.
- Desperdicio de material debido al uso de piezas macizas a ser maquinadas.

### 6.2.5 MODELADO POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICO (FMD)

El proceso de modelado por extrusión termoplástica (FDM, fuel deposición modeling), consiste en calentar y extruir un filamento de material termoplástico o cera el cual pasa por el orificio del extrusor de la boquilla calentada. La primera capa se deposita sobre una base, en la cual se asienta el material depositado, según el tipo de material esta debe ser calentado a cierta temperatura para que pueda adherirse a la base. Después de la primera capa la base baja o el extrusor sube, esto depende de la impresora 3D, que se esté utilizando, así se sobrepone la siguiente capa ver Figura 46 (S. Kalpakjian, S. Schmid, 2002).

En la construcción es necesario crear estructuras de soporte, estas estructuras se las puede realizar en un material diferente al de construcción lo cual permite que puedan ser retiradas fácilmente con la mano o incluso disolverse en una solución acuosa (3devo, 2016).

La tolerancia típica de esta tecnología es de 0.13 mm. Los polímeros termoplásticos más utilizados en este proceso son: el acrilonitrilo-butareno-estireno (ABS), policarbonato (PC), ácido poli actico (PLA), y polifenilsulfona (PPSU) (3devo, 2016).



**Figura 46:** Esquema del proceso de modelado por extrusión termoplástica FMD.

**Fuente:** (3devo, 2016)

## 6.2.6 ETAPAS DEL PROCESO DE MANUFACTURA ADITIVA

En general el proceso de manufactura aditiva es similar para todas las tecnologías.

### 6.2.6.1 Exportación A Formato STL

A partir de un modelo creado en un programa de diseño o a su vez descargado de alguna fuente especial en un programa CAD, se debe realizar la exportación del mismo formato STL (Stereo Lithography). Este tipo de archivo describe los modelos mediante una red de triángulos definidos por sus tres vértices y un vector orientado de forma normal a la superficie ver Figura 47 (R. García, S. González, S. Laguna, 2010), (M. Burns, 1993).



**Figura 47:** Malla triangular del modelo STL.

Se trata por tanto de una aproximación al modelo real cuya resolución dependerá del tamaño de los triángulos y supone una pérdida de información del modelo original creado que debe tenerse en cuenta (R. García, S. González, S. Laguna, 2010).

Además hay otro tipo de formatos capaces de almacenar la información de color de las piezas, como por ejemplo el formato VRML (Virtual Reality Modelling Language), su formato es mucho más simple y ya ha sido ampliamente adaptado para la representación gráfica de objetos 3D, este formato ya ha sido utilizado por el sistema de impresión en 3D de la corporación Z (L. Ming, I. Gibson, 2009).

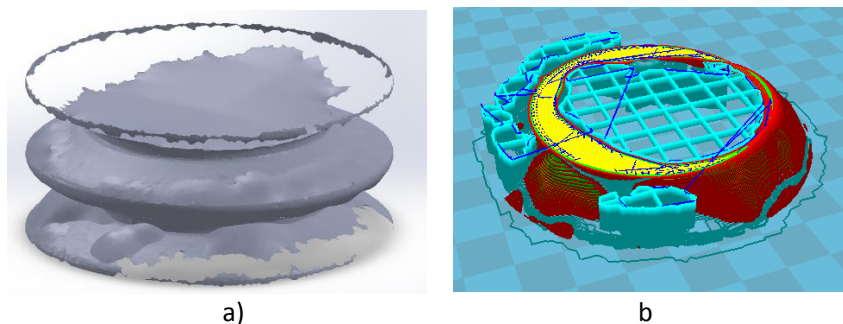
#### **6.2.6.2 Orientación Y Adición De Soportes**

Con el archivo en STL, este debe ser procesado en un paquete computacional que permita ubicar la pieza para que pueda ser impresa de manera correcta y en la mejor orientación, para mejorar tiempo y calidad. Si con la orientación del modelo no es posible soportar todas las superficies del objeto a fabricar, se puede adicionar soportes artificiales los cuales serán removidos en el último paso (Figura 48 b).

En la Figura 48 a), se puede identificar que existen zonas geométricas de la pieza que no se encuentran soportadas por material generado en capas previstas. Por lo tanto, es necesario añadir “soportes” para asegurar la correcta fabricación de la misma.

Estos soportes son finas columnas que sustentan zonas de la pieza demasiado esbeltas, voladizas o superficies con ángulos de fabricación muy bajos. Estos soportes son generados automáticamente por el software de planificación de cada tecnología, durante el proceso de fabricación y pueden ser editados a conveniencia. Los soportes se fabrican al mismo tiempo que la pieza y normalmente con el mismo material. Sin embargo, existen equipos capaces de fabricar los soportes en un material distinto al de

la pieza el mismo que es soluble en ácidos u otros productos (H. González, J. Vicente, 2012).



**Figura 48:** a) Modelo, b) modelo con soporte

### 6.2.6.3 Selección Del Modelo

La pieza 3D en formato STL, en la orientación adecuada y de ser necesarios soportes para la impresión adecuada, esta se divide en capas mediante un software de procesamiento por ejemplo el software “CURA”, es un software libre y de fácil manejo. El espesor de cada capa puede ser establecido de acuerdo a la resolución que se requiera y depende de la tecnología utilizada, el espesor puede estar comprendido entre 10 y 300  $\mu\text{m}$ , de esta manera se pueden tener diferentes tipos de resoluciones, baja resolución, media resolución y alta resolución.

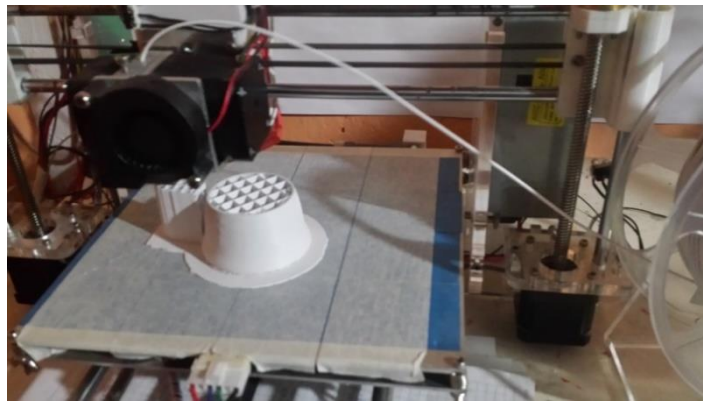


**Figura 49:** a) Baja resolución, b) alta resolución

Fuente: (S. Chicaiza, V Sinchiguano, 2016)

#### 6.2.6.4 Manufactura Aditiva Del Modelo

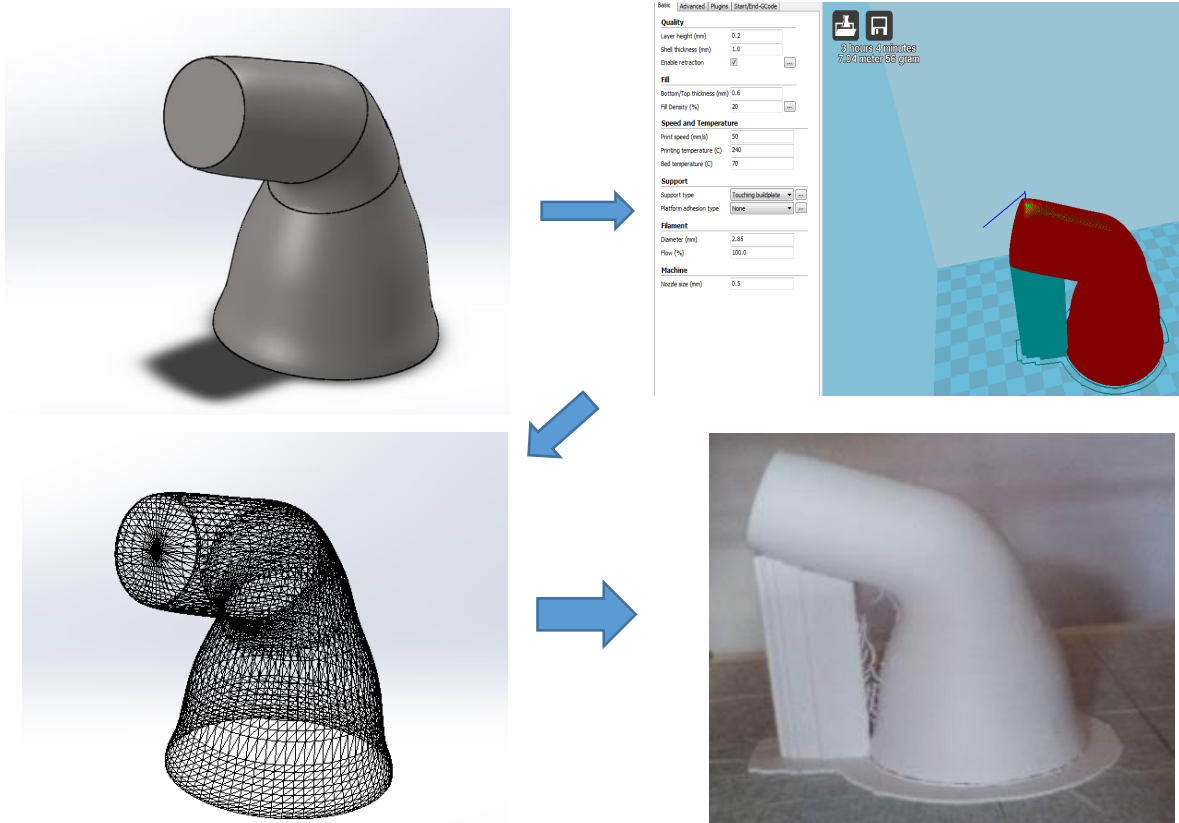
El programa generado con la información del modelo en capas, soporte, orientación, velocidades, porcentaje de relleno, tipo de mallado en instrucciones en lenguaje de programación G (G-CODE), en este caso para la extrusión termoplástica ver Figura 50, es enviado al equipo de manufactura aditiva.



**Figura 50:** Deposición del material de forma continua (Extrusión termoplástica).

Una vez terminado el proceso de impresión, se retira la pieza fabricada para ser limpiada y eliminar restos o residuos de material. Posteriormente se remueven los soportes con ayuda de herramientas ya sea pinzas alicates o estiletes, sí que estas dañen o cambien la forma de la pieza original.

En la Figura 51, podemos ver un esquema de las etapas para la impresión 3D, utilizando la tecnología de extrusión termoplástica.



**Figura 51:** Etapas de la manufactura aditiva (Extrusión termoplástica).

### 6.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA ADITIVA POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA

La tecnología FDM adiciona material punto por punto hasta completar una capa, el material se adiciona en estado semi-sólido o semi-fundido, ya que solidifica inmediatamente después de salir de la boquilla de extrusión (A. Albuquerque, 2014).

### 6.3.1 MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

Los materiales termoplásticos (TP) son polímeros sólidos a temperatura ambiente, pero cuando se exponen a temperaturas en las cuales cambian de fase los enlaces de “Van der Waals” que unen sus macromoléculas se debilitan y permiten el deslizamiento de las mismas. Estos materiales se los puede conformar de forma fácil, ya que estos materiales permiten realizar procesos reversibles de calentamiento-enfriamiento sin degradarse (A. Albuquerque, 2014).

Estos materiales son relativamente blandos y dúctiles, ya que generalmente son polímeros lineales o polímeros con estructuras ramificadas con cadenas flexibles y que se constituyen por enlaces covalentes (M. Groover, 2014).

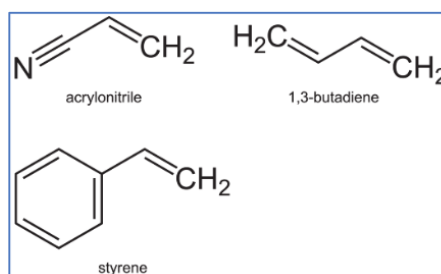
Los termoplásticos son comercialmente los más importantes de los polímeros sintéticos producidos, constituyen alrededor del 70% del tonelaje total. Los polímeros (TP) incluyen al polietileno, el cloruro de polivinilo, el polipropileno, el poliestireno, PLA, ABS y el nylon (M. Groover, 2014).

Los materiales termoplásticos han encontrado su espacio en el área de la manufactura aditiva por extrusión termoplástica. Es así que los materiales más utilizados son el Poliácridonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y Ácido Pololáctico (PLA). Además, desde hace algún tiempo, se emplean otros materiales como el comercialmente denominado Filaflex, el cual es un material flexible (A. Albuquerque, 2014).



### 6.3.1.1 Poliacrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

El ABS es un termoplástico amorfo muy resistente al impacto, está formado por bloques de Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno Figura 52 (W. Callister, 2002).



**Figura 52:** Componentes del ABS.

**Fuente:** (W. Callister, 2002)

El ABS reúne una excelente combinación de propiedades mecánicas, Tabla 3. El ABS es un termo polímero de dos fases, una fase es el copolímero duro estireno-acrilonitrilo, mientras que la otra fase es el copolímero estireno-butadieno, de consistencia anulada (W. Callister, 2002).

Sus aplicaciones típicas incluyen componentes para automóviles, artefactos, electrodomésticos, máquinas de negocios, accesorios para tubos y piezas de lego (M. Groover, 2014).

**Tabla 3**

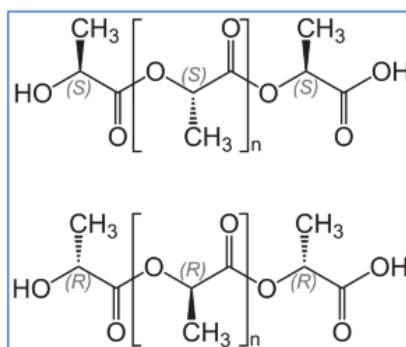
Propiedades Físico- Mecánicas del ABS.

<b>ABS-POLIACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO</b>	
<b>Propiedades Físico -Mecánicas</b>	
<b>Polímero</b>	Termopolímero de acrilonitrilo (C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N), butadieno (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> ), y estireno (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> )
<b>Símbolo</b>	ABS
<b>Método de polimerización</b>	Adición
<b>Grado de cristalización</b>	Amorfo
<b>Alargamiento a la rotura (%)</b>	45
<b>Coefficiente de fricción</b>	0,5
<b>Módulo de tracción (Gpa)</b>	2,1-2,4
<b>Resistencia a la tracción(Mpa)</b>	41-45
<b>Absorción de Agua- 24 horas%</b>	0,3-0,7
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,05
<b>Resistencia a la radiación</b>	Aceptable
<b>Resistencia a los ultravioletas</b>	Mala

Fuente: (W. Callister, 2002)

### 6.3.1.2 Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico (PLA), es un polímero sintético biodegradable constituido por moléculas de ácido láctico. El PLA es un poliéster alifático que se forma por unidades ácido láctico unidas por enlaces éster (entre el grupo carboxilo de una molécula con el grupo hidroxilo de la molécula vecina), como se muestra en la Figura 53 (A. Albuquerque, 2014).



**Figura 53:** Unidad estructural del PLA.

**Fuente:** (A. Albuquerque, 2014)

El PLA se obtiene a partir de recursos renovables derivados de componentes naturales de plantas y animales. Debido a esta razón, cuando el material combustiona, sus emisiones al medio ambiente son nulas (A. Albuquerque, 2014).

**Tabla 4**

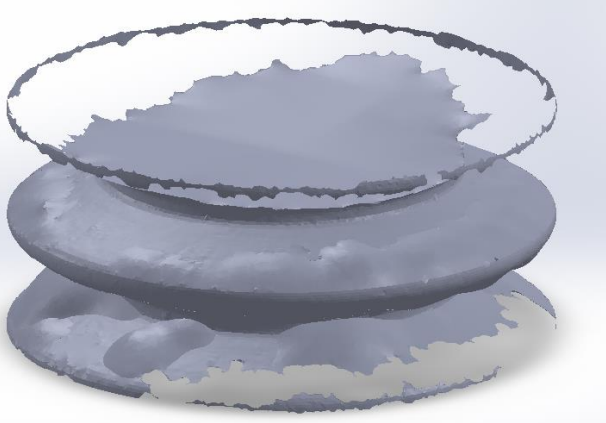
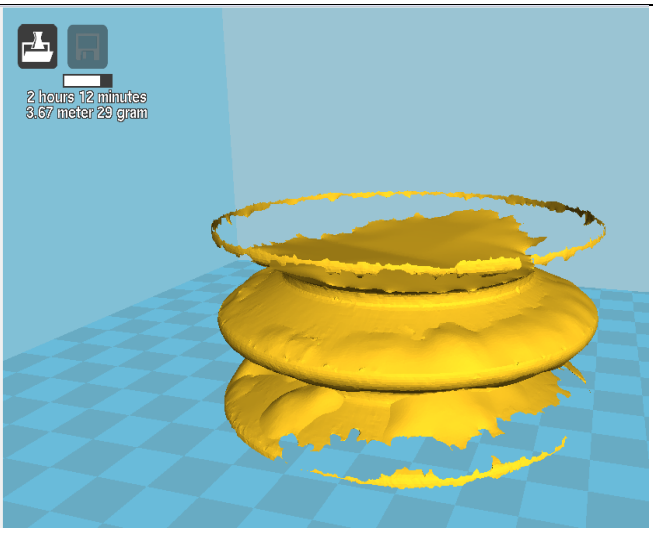
Propiedades Física- Mecánicas del PLA.

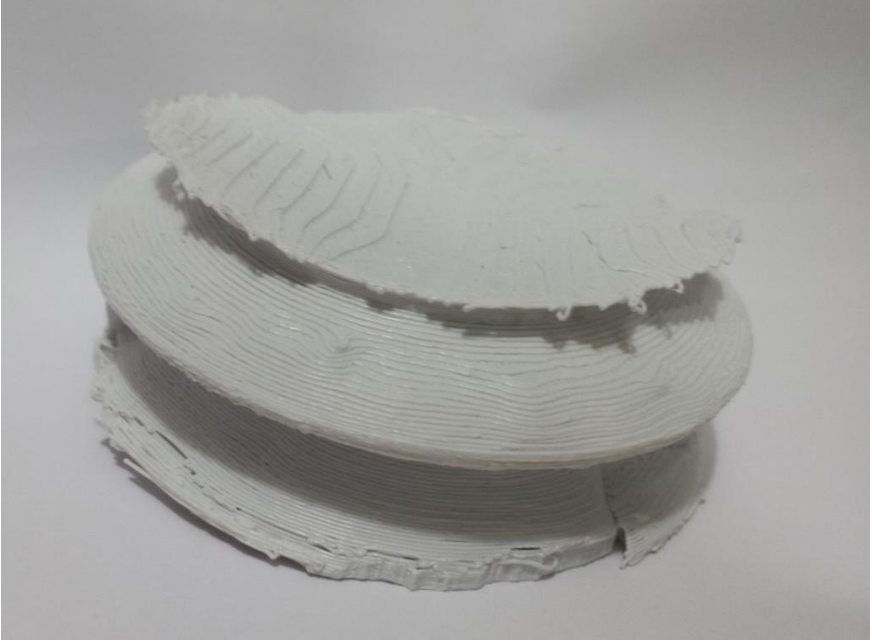
<b>Ácido Poliláctico (PLA)</b>	
<b>Propiedades Físico- Mecánicas</b>	
<b>Polímero</b>	Biodegradable
<b>Símbolo</b>	PLA
<b>Método de polimerización</b>	Por apertura de anillo del dímero cíclico del ácido poliláctico
<b>Grado de cristalización</b>	Puede Variar
<b>Temperatura máxima usada (°C)</b>	50-60
<b>Módulo de Tracción (Gpa)</b>	3-4.
<b>Resistencia a la tracción (Mpa)</b>	40-60

**Fuente:** (A. Albuquerque, 2014)

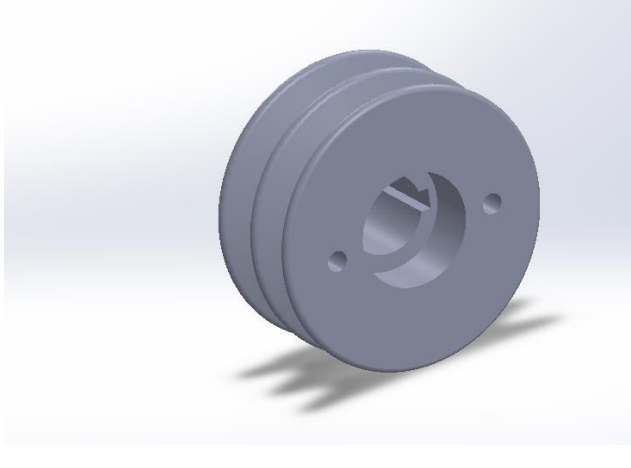
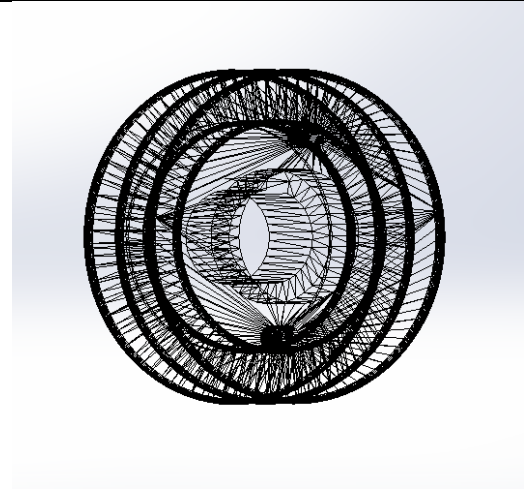
## 6.4 PIEZAS IMPRESAS EN 3D

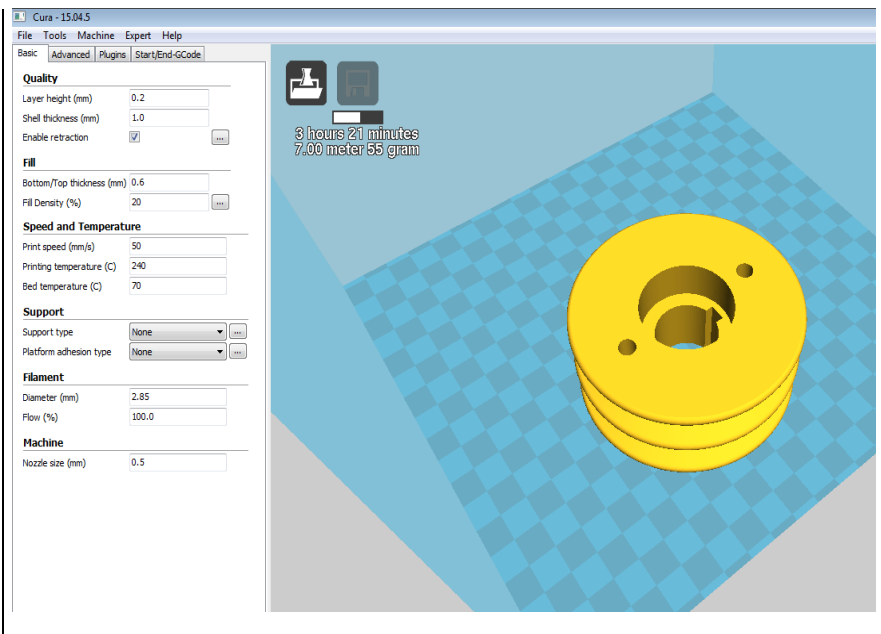
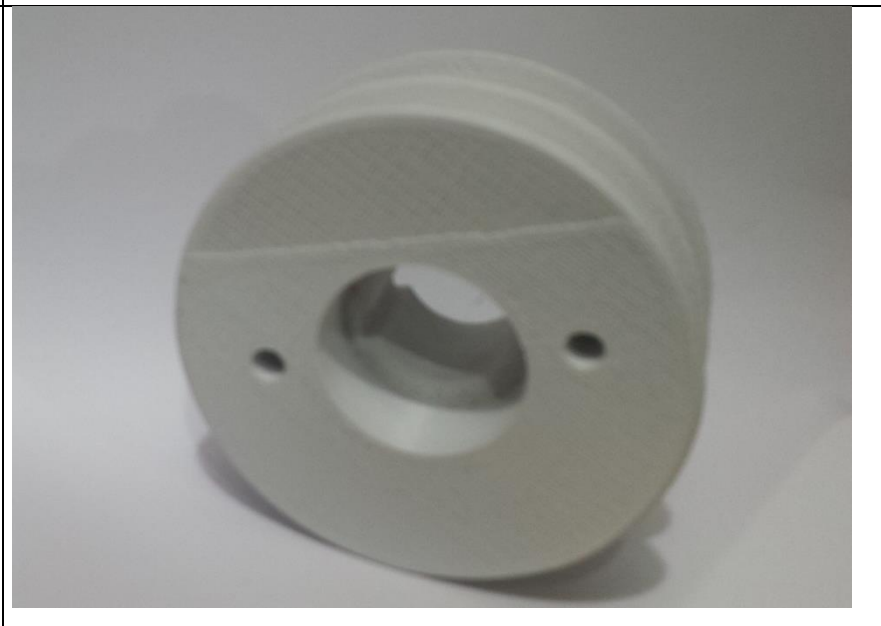
### 6.4.1 POLEA DEL ALTERNADOR MERCEDES BENZ 1620 SIN PROCESAR.

Datos impresión 3D Polea	
<p><b>Modelo 3D</b></p>	
<p><b>Orientación</b></p>	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>Basic   Advanced   Plugins   Start/End-GCode</p> <p><b>Quality</b></p> <p>Layer height (mm) 0.2</p> <p>Shell thickness (mm) 1.0</p> <p>Enable retraction <input checked="" type="checkbox"/></p> <p><b>Fill</b></p> <p>Bottom/Top thickness (mm) 0.6</p> <p>Fill Density (%) 20</p> <p><b>Speed and Temperature</b></p> <p>Print speed (mm/s) 50</p> <p>Printing temperature (C) 240</p> <p>Bed temperature (C) 70</p> <p><b>Support</b></p> <p>Support type Touching buldplate</p> <p>Platform adhesion type None</p> <p><b>Filament</b></p> <p>Diameter (mm) 2.85</p> <p>Flow (%) 100.0</p> <p><b>Machine</b></p> <p>Nozzle size (mm) 0.5</p> </div> <div style="flex: 1;">  <p>2 hours 12 minutes 3.67 meter 29 gram</p> </div> </div>

<b>Pieza impresa</b>	
<b>Relleno%</b>	20
<b>Soporte</b>	Si
<b>Tiempo de impresión (Horas)</b>	4
<b>Altura de capa (mm)</b>	0.2
<b>Velocidad de impresión (mm/s)</b>	60
<b>Base</b>	Si
<b>Material</b>	ABS

**6.4.2 POLEA DEL ALTERNADOR MERCEDES BENZ 1620 PROCESADA.**

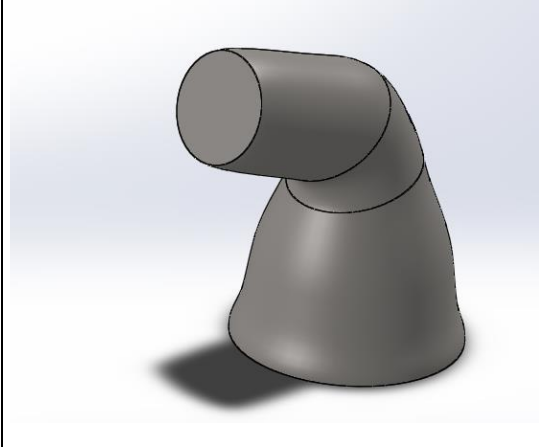
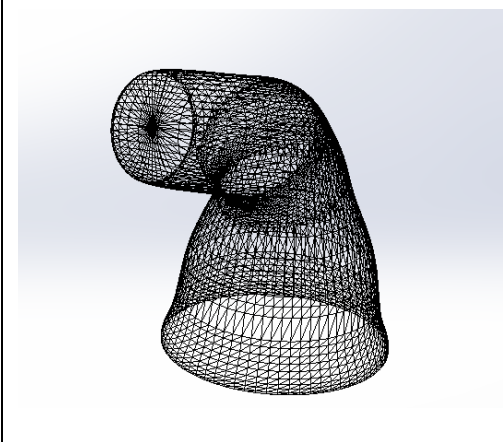
<b>Datos impresión 3D Polea</b>	
<b>Modelo 3D</b>	 A solid 3D model of a pulley, rendered in a light blue-grey color. The pulley has a central bore with a keyway and two small circular holes on the outer rim. It is shown from a perspective view against a light blue background.
<b>Procesado STL</b>	 A wireframe STL mesh representation of the pulley. The mesh is composed of black lines forming the geometry of the pulley, including the central bore, keyway, and outer rim. It is shown from the same perspective view as the solid model.

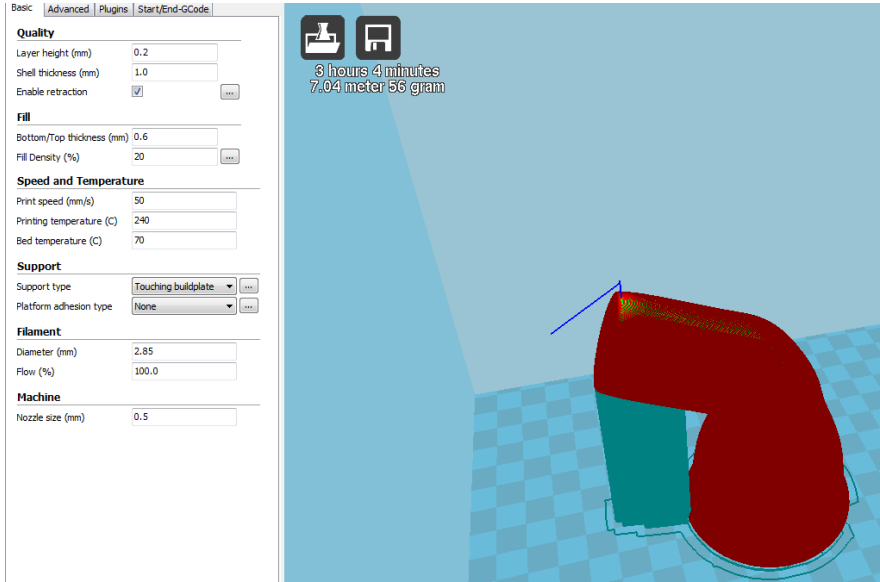

<p><b>Orientación</b></p>	
<p><b>Pieza impresa</b></p>	
<p><b>Relleno%</b></p>	<p>50</p>
<p><b>Soporte</b></p>	<p>No</p>
<p><b>Tiempo de impresión (Horas)</b></p>	<p>7</p>
<p><b>Altura de capa (mm)</b></p>	<p>0.2</p>

<b>Velocidad de impresión (mm/s)</b>	60
<b>Base</b>	Si
<b>Material</b>	ABS



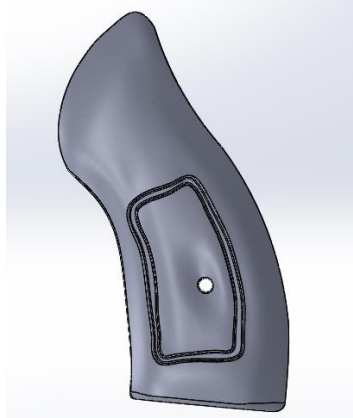

### 6.4.3 FORMA INTERNA PROCESADA DE LA TAPA DEL TERMOSTATO M.BENZ 352

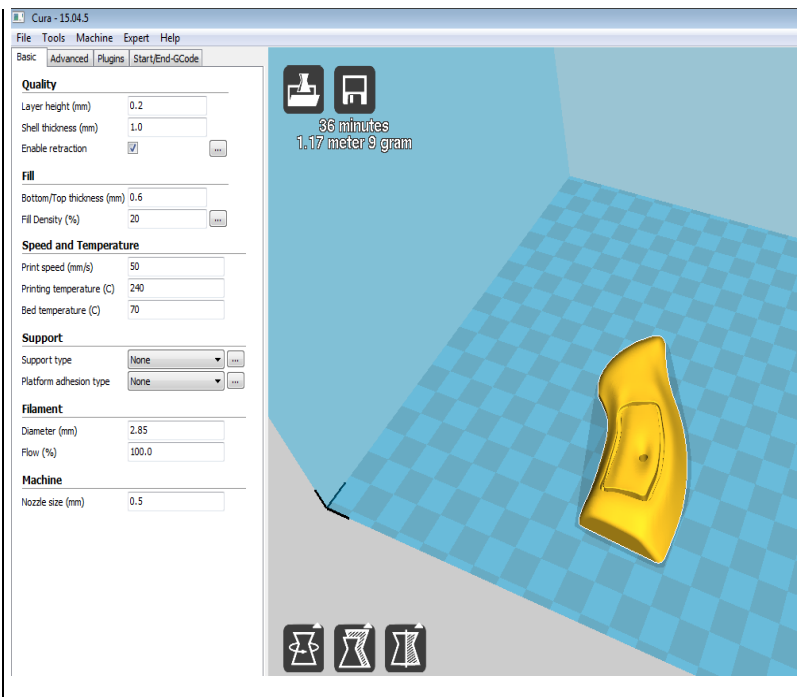

Datos impresión 3D Polea	
Modelo 3D	 A 3D rendered model of a pulley part, showing a cylindrical top section with a flange, a curved transition, and a wider, flared base. The model is shaded to show its three-dimensional form.
Procesado STL	 A 3D wireframe model of the same pulley part, showing the underlying mesh structure of the object. The model is rendered in black lines on a white background.

<p><b>Orientación</b></p>	
<p><b>Pieza impresa</b></p>	
<p><b>Relleno%</b></p>	<p>20</p>
<p><b>Soporte</b></p>	<p>Si</p>
<p><b>Tiempo de impresión (Horas)</b></p>	<p>6</p>
<p><b>Altura de capa (mm)</b></p>	<p>0.2</p>

<b>Velocidad de impresión (mm/s)</b>	60
<b>Base</b>	Si
<b>Material</b>	ABS

#### 6.4.4 MANGO DE ARMA DE FUEGO PROCESADA

<b>Datos impresión 3D Polea</b>	
<b>Modelo 3D</b>	 A smooth, dark grey 3D rendered model of a gun handle. The handle has a curved, ergonomic shape with a rectangular recessed area on the front face containing a small circular hole. The surface is uniform and lacks texture.
<b>Procesado STL</b>	 A black and white wireframe mesh representation of the same gun handle. The mesh is composed of numerous small triangles and quadrilaterals, showing the underlying geometry of the smooth model. The rectangular recessed area and circular hole are clearly defined by the mesh structure.

<b>Orientación</b>	
<b>Pieza impresa</b>	
<b>Relleno%</b>	100
<b>Soporte</b>	No
<b>Tiempo de impresión (Horas)</b>	3
<b>Altura de capa (mm)</b>	0.2

<b>Velocidad de impresión (mm/s)</b>	50
<b>Base</b>	Si
<b>Material</b>	ABS

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- Se procesó la nube de puntos generada por el scanner mediante software libre Meshlab satisfaciéndose un 60% de las expectativas, por la que se dio paso al uso del software CAD para tener un modelamiento perfecto del objeto.
- El desarrollo del algoritmo básico en Matlab permite conocer la matemática simple que utiliza la reconstrucción superficial mediante triangulaciones de datos.
- El proceso que utilizo este proyecto es innovador ya que por medio de la combinación de software llegamos a cubrir en un 97% el objetivo de la ingeniería inversa.
- Dentro del proyecto se pudo identificar aplicaciones en variedad de campos, sin embargo los objetos industriales con una área relativamente pequeña fueron los idóneos, debido a las dimensiones del escáner, además se pudo constatar que a más de las aplicaciones convencionales, se puede experimentar como se planteó en el desarrollo de este proyecto el análisis de fluidos en cañerías de corto alcance con el apoyo de un software adicional.
- Se pudo verificar mediante la manufactura aditiva la calidad al 100% de procesado que tuvo la información generada.
- Este proyecto se puede considerar como una herramienta que puede servir para los usuarios que quieran experimentar e iniciarse en el uso del escáner 3D y en el post procesado de la información que este genera.

- Se determinó que cada vez es más común el uso de estas herramientas para realizar ingeniería inversa, esto debido a la importancia que se le está dando al tema, empresas importantes de primer nivel están trabajando en el desarrollo de estas tecnologías, es decir que en un futuro no muy lejano serán de uso convencional.



## 7.2 RECOMENDACIONES

- El escáner PICZA LPX-60 es una herramienta sofisticada tecnológicamente, sin embargo tiene ciertos limitantes a objetos, ya sea por el tamaño o por la geometría, se debe tener en cuenta el recorrido del haz de luz láser y así buscar la mejor posición del objeto para el escaneo.
- Se recomienda realizar por lo menos dos escaneos, cada uno en un ángulo diferente, dependiendo del objeto, para poder captar todos los detalles que se requieran o las áreas que no cubra el primer escaneo.
- Para realizar el análisis de fluidos en cañerías de corto alcance se debe capturar la forma interna de estas, es recomendable utilizar la espuma de polietileno o la combinación de elementos como el piliol e isocianato ya que debido a sus componentes una vez colocado tienen un crecimiento considerable que permite tomar formas requeridas y posteriormente manipular los excesos.

## REFERENCIAS

Felipe Buill Pozuelo y Amparo Núñez Andrés. (2013). *METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN Y EXPLOTACIÓN DE DATOS*. UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA.

Lee-Tsai. (1999). Properties of segmented polyurethanes derived from different diisocyanates.

3devo. (2016). *The FMD technology-One Step closer to the future*. Obtenido de <http://3devo.eu/guide-fdm-printable-plastics-3d-printing-filament/>

A. Albuquerque. (2014). *Optimizacion y caracterizacion de piezas de PLA fabricadas mediante tecnicas aditivas*.

ASTM F2792-12. (2012). Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies,. En A. International. West Conshohocken.

B.V. Tamani. (2016). *Adquisicion de datos usando MATLAB*. LIMA-PERU.

C. Teutsch. (2007). *Model-Based Analysis and Evaluation of point sets from optical 3D Laser Scanners*. Shaker-Verlag.

Cignoni, P. (2009). *Meshing-point-clouds*. Obtenido de <http://meshlabstuff.blogspot.com/2009/09/meshing-point-clouds.html>

D.G.R. Pozo. (2015). *Fabricacion aditiva*. Obtenido de <http://www.eic.cat/gfe/docs/10585.pdf>: <http://www.eic.cat/gfe/docs/10585.pdf>

dccia.ua.es. (2012). *RECONSTRUCTION POISSON*.

E. Atzeni, A. Salmi. (2012). *Economics of additive manufacturing for enduable metal parts* (17 ed.).

F. Cotec. (2012). *La fabricacion aditiva, tecnologia avanzada para el diseño y desarrollo de productos*.

FraxDesign. (2014). *Uso domestico de las impresoras*. Obtenido de <http://frax3d.com/uso-domestico-impresoras-3d>

H. Gonzáles, J. Vicente. (2012). *Desarrollo de un procedimiento de diseño optimo para fabricacion de componentes mediante tecnologias aditivas*.

Hernández, I. (Mayo de 2015). *Reconstrucción de superficies a partir de nubes de puntos obtenidas de estructuras arqueológicas con fotogrametría*. Obtenido de <http://www.mecate.esteticas.unam.mx/sites/all/documentos/ReconstruccionDeSuperficies.pdf>

HORUS. (27 de Febrero de 2015). *Guía post-procesado nube de puntos*. Obtenido de [https://static-bqreaders.s3.amazonaws.com/file/ciclop/Guia\\_post-procesado\\_nube\\_puntos\\_ES.pdf](https://static-bqreaders.s3.amazonaws.com/file/ciclop/Guia_post-procesado_nube_puntos_ES.pdf)

- I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. (2015). Additive Manufacturing Technologies. En D. R. I. Gibson, *Additive Manufacturing Technologies*. Springer.
- I. Vazquez. (s.f.). Subcontratar o desarrollar internamente. *Revista de moldes y matrices*, 22-25.
- Ikasab. (2015). *Diseño 3D*. Obtenido de [http://wiki.ikaslab.org/index.php/Dise%C3%B1o\\_3D](http://wiki.ikaslab.org/index.php/Dise%C3%B1o_3D)
- J. Planas, Ll. Papió. (Junio de 2012). *Reconstrucción de objetos a partir de una malla de puntos*. Obtenido de <http://deim.urv.cat/~pfc/docs/pfc871/d1275989651.pdf>
- J.L. Lerma, J. M. Biosca. (Septiembre de 2008). *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre*. Obtenido de 3D Risk Mapping: [http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo\\_Tutorial\\_Final\\_vers5\\_SPANISH.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf)
- L. Ming, I. Gibson. (2009). *Specification of VRML in color rapid prototyping*.
- L. Piegl, W. Tiller. (1997). *The Nurbs Book*. USA- SOUTH FLORIDA.
- M. Burns. (1993). *Automated fabrication*. PRENTICE-HALL.
- M. Groover. (2014). *Fundamentos de manufactura moderna*. Pearson.
- Mathworks, I. (14 de Agosto de 2013). *MATLAB Documentation*. Obtenido de <http://es.mathworks.com/products/matlab/>:
- Meshlab. (s.f.). Obtenido de <http://meshlab.sourceforge.net/>
- Pozuelo-Nuñez. (2013). *Metodología para la Gestion y Explotacion de Datos Espaciales obtenidos con Sistemas de Captura Masiva de Puntos*. Catalunya.
- Q. Rojas Lazo, J. Salas . (Febrero de 1999). *PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA SISTEMAS CAD/CAE/CAM*. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02\\_n1/produccion.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm):
- R. García, S. Gonzáles, S. Laguna. (2010). *Introduccion del diseño de geometrias fractales mediante tecnicas de fabricacion rapida*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Ramon\\_Rubio2/publication/228799909\\_Introduccion\\_al\\_diseno\\_de\\_geometrias\\_fractales\\_mediante\\_tecnicas\\_de\\_fabricacion\\_rapida/links/00b7d52be0af373691000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ramon_Rubio2/publication/228799909_Introduccion_al_diseno_de_geometrias_fractales_mediante_tecnicas_de_fabricacion_rapida/links/00b7d52be0af373691000000.pdf)
- R.B. Wicker, E.W. MacDonald. (2012). *Virtual and Physical Prototyping*.
- Roland INC. (2007). *Product Development INC*. Obtenido de [www.roland.com.ar/escaner\\_lpx\\_f.html](http://www.roland.com.ar/escaner_lpx_f.html)
- S. Chicaiza, V Sinchiguano. (2016). *Desarrollo y analisis de un metodo para fabricar modelos al natural y perdidos con tecnicas de manufactura aditiva en el laboratorio de fundicion*. Quito .
- S. Kalpakjian, S. Schmid. (2002). *Manufactura Ingenieria Y Tecnología*. PEARSON.

S. Larsson, J.A.P. Kjellander. (2006). *El control de movimiento y captura de datos de escaneo láser con un robot industrial*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889006000236>

S. Rusinkiewicz, M. Levoy. (2000). *Multiresolution point rendering system for large meshes*. Obtenido de <http://dii.acm.org/10.1145/344779.344940>

Solidworks. (s.f.). *Official Page Solidworks*. Obtenido de <https://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/scanto3d.htm>

Studylib. (2002). *algoritmos para tratamiento de mallas*. doc 795249.

T. Campbell, C. Williamss. (2011). Could 3D printing change the word. En C. W. T. Campbell, *Could 3D printing change the word*. Washington.

T. Teelahti. (2014). *Implementing additive manufacturing in microfactories*. Obtenido de <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/22203>

Teutsch, C. (2007). *Model-based Analysis and Evaluation of Point Sets from Optical 3D Laser Scanners*.

Tiller, L. P. (1995–1997 (2nd ed.)). *The NURBS Book*.

Valenzuela, E. (14 de Abril de 2012). *Reconstruction Poisson*. Obtenido de [http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/RG/pdf/poisson\\_reconstruction.pdf](http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/RG/pdf/poisson_reconstruction.pdf)

VCGLib. (s.f.). *Algoritmos para tratamiento de Malla*. Obtenido de <http://studylib.es/doc/795249/algoritmos-para-tratamiento-de-mallas>

W. Callister. (2002). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Reverte.

wordpress. (2013). *Introducción al CAD/CAM*. Obtenido de <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion-al-cad-cam.pdf>