



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **“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”**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTOR: HUGO CAJAS NARANJO**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO**



# 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.



# Objetivos Específicos

- 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.



# Alcance

- Mantener presente el objetivo de ingeniería inversa que es el concepto en que se basa este proyecto.
- Desarrollar un algoritmo básico en MATLAB con la finalidad de reconocer gráficamente los puntos generados por el scanner, además de entender la matemática básica que utiliza para realizar triangulaciones de los datos proporcionados.
- Realizar el análisis del software libre MESHLAB, consiguiendo manejarlo de la manera más eficiente para la reconstrucción de la nube de puntos, además en caso de ser necesario utilizar un software CAD de uso común entre los estudiantes del DECEM para mejorar la información proporcionada por MESHLAB.
- 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.



# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SCANNER 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)..



# SCANNER 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. (J. Planas, Ll. Papió, 2012).



# SCANNER 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 (J. Planas, Ll. Papió, 2012).





# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- La medición por triangulación se basa generalmente en la trigonometría.
- Los triángulos se han utilizado en un sin número de métodos de medición. Actualmente se pueden encontrar en dispositivos como cámaras en 3D, escáner 3D, incluso en algunos dispositivos Smartphone (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 (J. Planas, Ll. Papió, 2012).
- Esta técnica se denomina triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor láser forman un triángulo. (J. Planas, Ll. Papió, 2012).



# POST-PROCESO

- 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)



# RECONSTRUCCIÓN SUPERFICIAL

- Los datos (Nubes de Puntos) generalmente se procesan convirtiéndolos en mallas poligonales, malla de triángulos, o modelos CAD a través de un proceso que comúnmente se lo conoce como reconstrucción superficial.
- 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).



# 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 precisa.
- 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. (L. Piegl, W. Tiller, 1997).



# CAM (*MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADOR*)

- Este moderno sistema permite usar sistemas informáticos para el proceso de fabricación industrial con la posibilidad de automatizar los procesos



# ANÁLISIS DE ERRORES

- 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 variedad de defectos (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008)



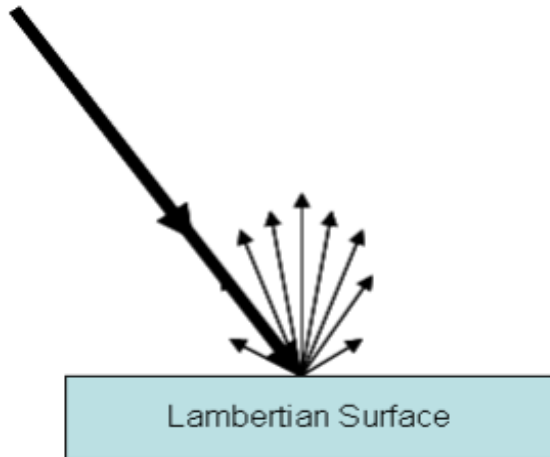
# ERRORES RELACIONADOS CON EL OBJETO

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



# Haz de luz del objeto creando un efecto espejo

Se puede describir mediante la ley del coseno de Lambert:



$$I_{reflected}(\lambda) = I_i(\lambda) \cdot k_d(\lambda) \cdot \cos(\theta)$$

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





# APLICACIONES

- Los escáner láser se utilizan 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).
- Otros campos han sido explorados 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 de datos (J.L. Lerma, J. M. Biosca, 2008).



# CAPÍTULO 3

## ALGORITMO BÁSICO PARA DIGITALIZAR LA NUBE DE PUNTOS



# SCANNER PICZA LPX-60

- Permite a los principiantes 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 se pulsa iniciar y este automáticamente escanea el objeto creando un modelo 3D ligeramente idéntico en un computador.



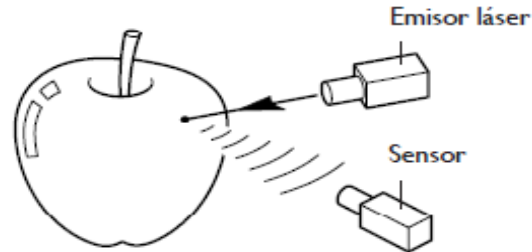
# Especificaciones Técnicas Básicas

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>DIMENSIONES DE LA MESA</b>         | <b>DIÁMETRO 203mm</b>   |
| <b>SUPERFICIE MAXIMA DE ESCANEADO</b> | DIÁMETRO: 203mm<br>ALTURA: 300mm  |
| <b>PASO DE EXPLORACIÓN</b>            | 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>METODO DE DIGITALIZACIÓN</b>       | 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  |



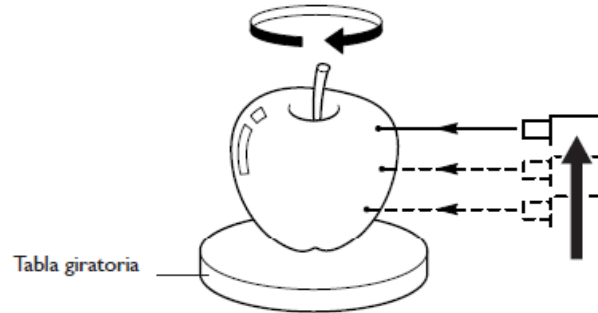
# SISTEMA DE EXPLORACIÓN

- 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 (C. Teutsch, 2007).



# SISTEMA DE EXPLORACIÓN

- 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 (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.



# 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, estos datos se utilizan comúnmente para realizar ingeniería inversa (S. Rusinkiewicz, M. Levoy, 2000).



# ALGORITMO PARA DIGITALIZAR LA NUBE DE PUNTOS

% 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

CONTINUA



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



```
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



# MATEMÁTICA DE LA TRIANGULACIÓN DE DATOS

- La sentencia que se utiliza en el código para triangular los datos se la describe como Delaunay
- 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



# MATEMÁTICA DE LA TRIANGULACIÓN DE DATOS

- Existen diferentes maneras de calcular 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:

$$\begin{vmatrix} A_x & A_y & A_x^2 + A_y^2 & 1 \\ B_x & B_y & B_x^2 + B_y^2 & 1 \\ C_x & C_y & C_x^2 + C_y^2 & 1 \\ D_x & D_y & D_x^2 + D_y^2 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} A_x - D_x & A_y - D_y & (A_x - D_x)^2 - (A_y - D_y)^2 \\ B_x - D_x & B_y - D_y & (B_x - D_x)^2 - (B_y - D_y)^2 \\ C_x - D_x & C_y - D_y & (C_x - D_x)^2 - (C_y - D_y)^2 \end{vmatrix} \leq 0$$



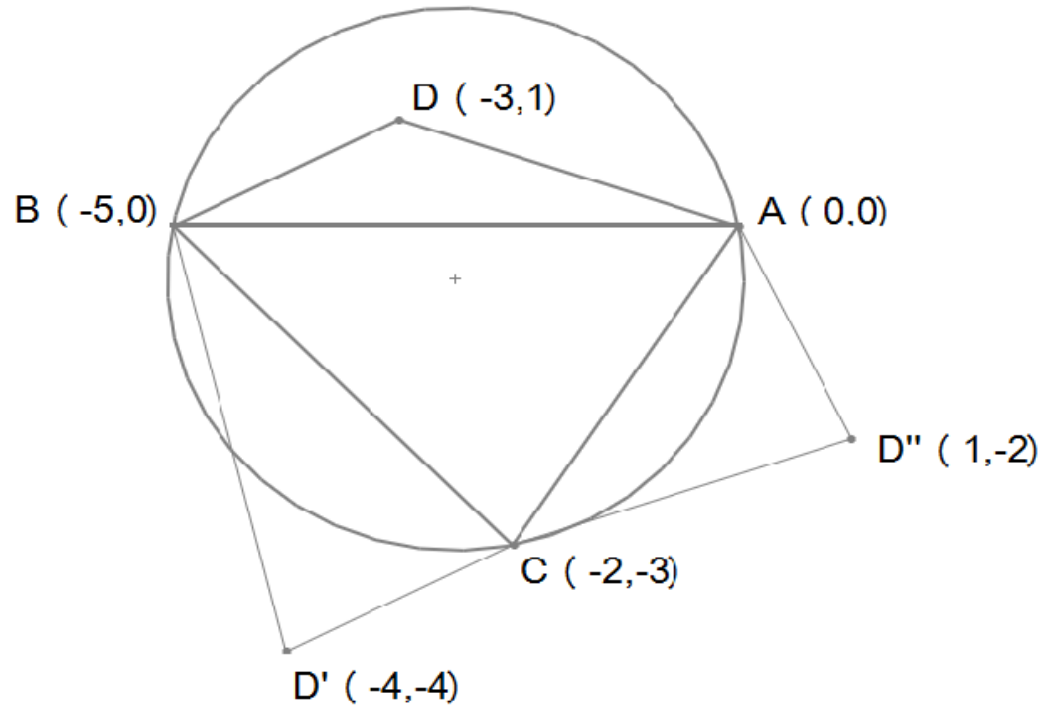
# MATEMÁTICA DE LA TRIANGULACIÓN DE DATOS

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



# EJEMPLIFICANDO

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.



# EJEMPLIFICANDO

- 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.



# PROCEDIMIENTO

The screenshot displays the Microsoft Excel interface with a 'Nube de puntos: Bloc de notas' (Scatter Plot: Note Block) dialog box open. The dialog box contains a table of data points. The background shows the Excel ribbon with tabs for Archivo, Inicio, Insertar, Diseño de página, Fórmulas, Datos, Revisar, and Vista. The status bar at the bottom indicates 'LISTO' and '100%' zoom.

| Archivo   | Edición   | Formato   | Ver | Ayuda |
|-----------|-----------|-----------|-----|-------|
| -2.000000 | -1.945000 | 10.000000 |     |       |
| -1.000000 | -3.080000 | 10.000000 |     |       |
| 0.000000  | -2.940000 | 10.000000 |     |       |
| 1.000000  | -2.795000 | 10.000000 |     |       |
| 2.000000  | -2.645000 | 10.000000 |     |       |
| 3.000000  | -2.240000 | 10.000000 |     |       |
| -2.000000 | -2.045000 | 11.000000 |     |       |
| -1.000000 | -3.115000 | 11.000000 |     |       |
| 0.000000  | -3.010000 | 11.000000 |     |       |
| 1.000000  | -2.850000 | 11.000000 |     |       |
| 2.000000  | -2.635000 | 11.000000 |     |       |
| 3.000000  | -2.055000 | 11.000000 |     |       |
| -2.000000 | -2.135000 | 12.000000 |     |       |
| -1.000000 | -3.155000 | 12.000000 |     |       |
| 0.000000  | -3.035000 | 12.000000 |     |       |
| 1.000000  | -2.875000 | 12.000000 |     |       |
| 2.000000  | -2.660000 | 12.000000 |     |       |
| -2.000000 | -2.290000 | 13.000000 |     |       |
| -1.000000 | -3.180000 | 13.000000 |     |       |
| 0.000000  | -3.095000 | 13.000000 |     |       |
| 1.000000  | -2.915000 | 13.000000 |     |       |





# ANÁLISIS

- 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 SCANNER



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MESHLAB

- MeshLab es un software de código abierto para el procesamiento de mallas 3D.
- 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 estructurados que se presentan en la digitalización 3D. Proporciona un conjunto de herramientas para la edición, limpieza, reparación e inspección (Cignoni, 2009).



# IMPORTACIÓN 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.)



# LIMPIEZA DE DATOS

- Meshlab cuenta con la herramienta “Select Vertices” 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
- Entereza
- Uniformidad
- Densidad



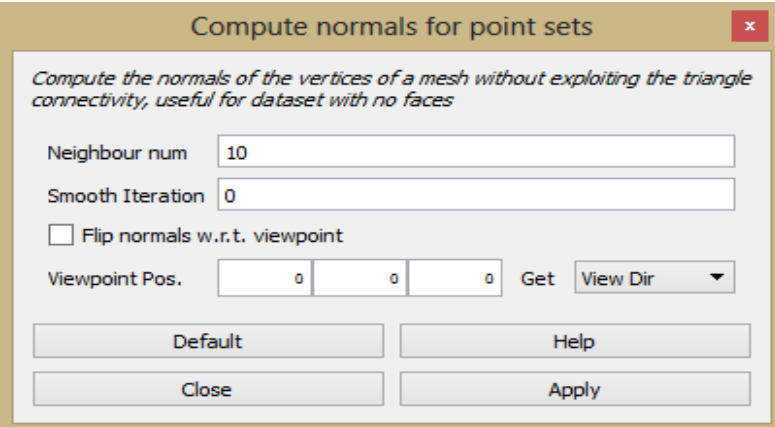
# CÁLCULO DE NORMALES

- 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



# PARÁMETROS

- En esta ventana se modifica el valor del número de vecinos (Neighbour number) que representa el número de puntos cercanos que debe tener uno de ellos para calcular la normal.
- Se recomienda utilizar 10, 50 o 100 como valor inicial.
- Se recomienda mantener el resto de valores por defecto.



Compute normals for point sets

*Compute the normals of the vertices of a mesh without exploiting the triangle connectivity, useful for dataset with no faces*

Neighbour num

Smooth Iteration

Flip normals w.r.t. viewpoint

Viewpoint Pos.    Get



# 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 archivos escaneados en diferente posición para que se compensen las características faltantes de un archivo en otro (HORUS, 2015).





# 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).



# RECONSTRUCCIÓN POR POISSON

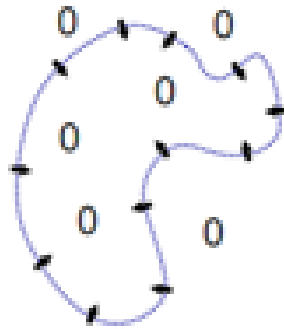
- La idea principal es que existe una relación entre los puntos de la nube orientados y la función implícita del modelo. Concretamente, el gradiente de la función es un campo vectorial  $\vec{V}$ , que es 0 en casi todas partes excepto en los puntos cercanos a la superficie.
- De esta manera los puntos orientados pueden ser tratados como puntos del gradiente de la función implícita del modelo (Pozuelo-Nuñez, 2013).
- El algoritmo determina esta función y evalúa como 1 (uno) los puntos que se encuentren dentro de la superficie y como 0 (cero) los de fuera, eliminando estos.



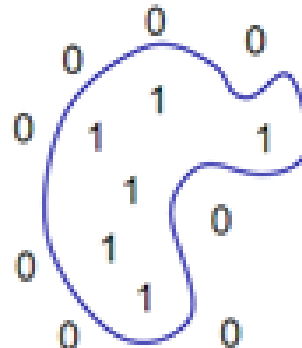
# GRÁFICA DEL PROCESO



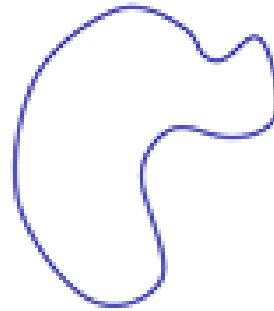
Oriented points



Indicator gradient



Indicator function

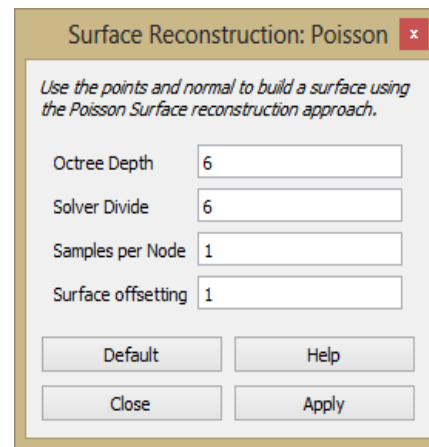


Surface



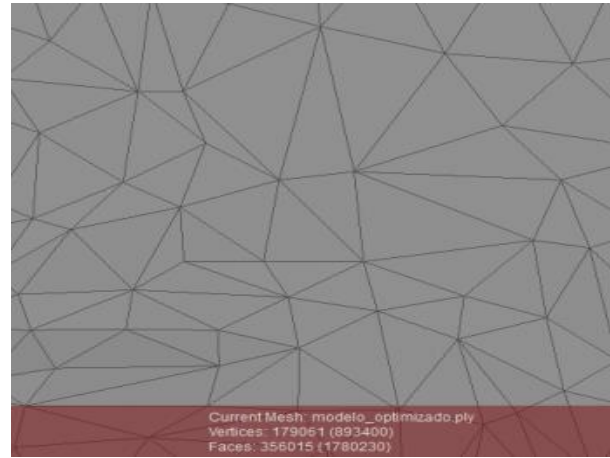
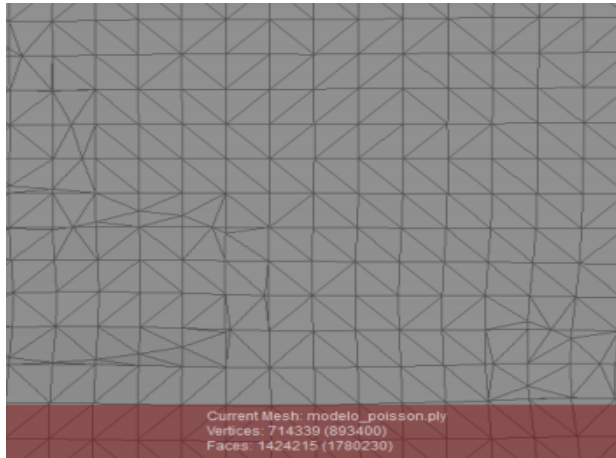
# PARÁMETROS

- En esta ventana se puede modificar los valores de Octantes (Octree Depth) y División de la solución (Solver Divide).
- Las configuraciones recomendadas para estos parámetros son valores entre 6 y 12 (si el ordenador no es muy potente es recomendable fijar el máximo en 11).
- Es recomendable conservar el resto de valores por defecto. A medida que aumenta el valor de estas variables, aumenta la precisión del modelo final, pero también el tiempo de procesamiento
- No es recomendable utilizar ordenadores con especificaciones bajas para el procesamiento de nubes de puntos.



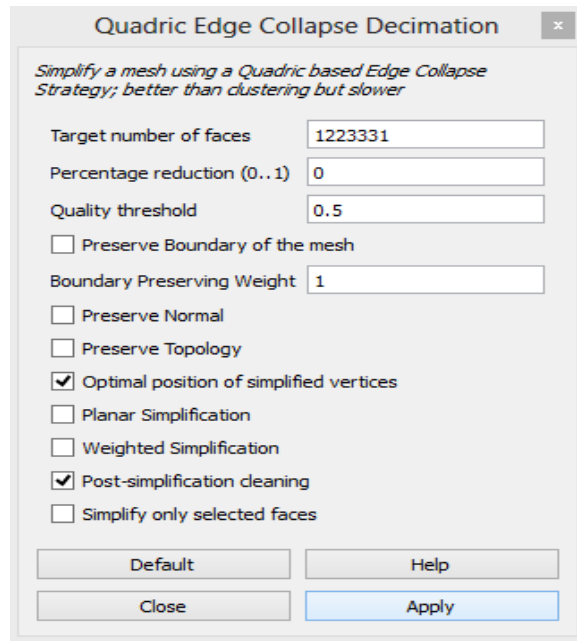
# OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

- 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.



# PARÁMETROS

- En esta ventana se modifica el valor de “Quality Threshold” este recepta porcentualmente la cantidad de reducción que el usuario crea conveniente.
- Se recomienda hasta un 50% para no tener cambios en la geometría de la superficie por falta de información



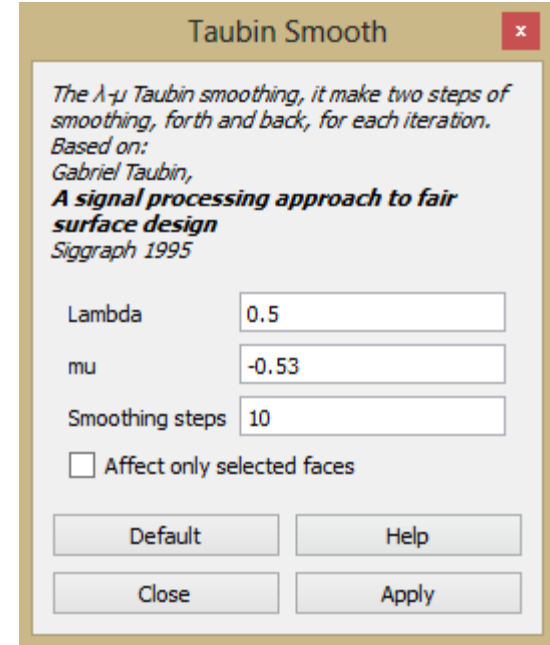
# REDUCCIÓN DEL RUIDO

- Cuando se reconstruyen objetos partiendo de una nube de puntos es probable que el resultado no sea preciso y que exista un déficit en ciertas áreas del objeto, se debe tener en cuenta que en la reconstrucción el algoritmo está diseñado para 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).



# PARÁMETROS

- En la ventana de Filtro de suavizado Taubin se pueden modificar varios parámetros.
- Se recomienda mantener el valor de Lamda por defecto. E incrementar los Pasos de suavizado dependiendo del error de las caras cometido en la reconstrucción, los parámetros serán diferentes de acuerdo al objeto por lo que se recomienda probar con distintos valores.

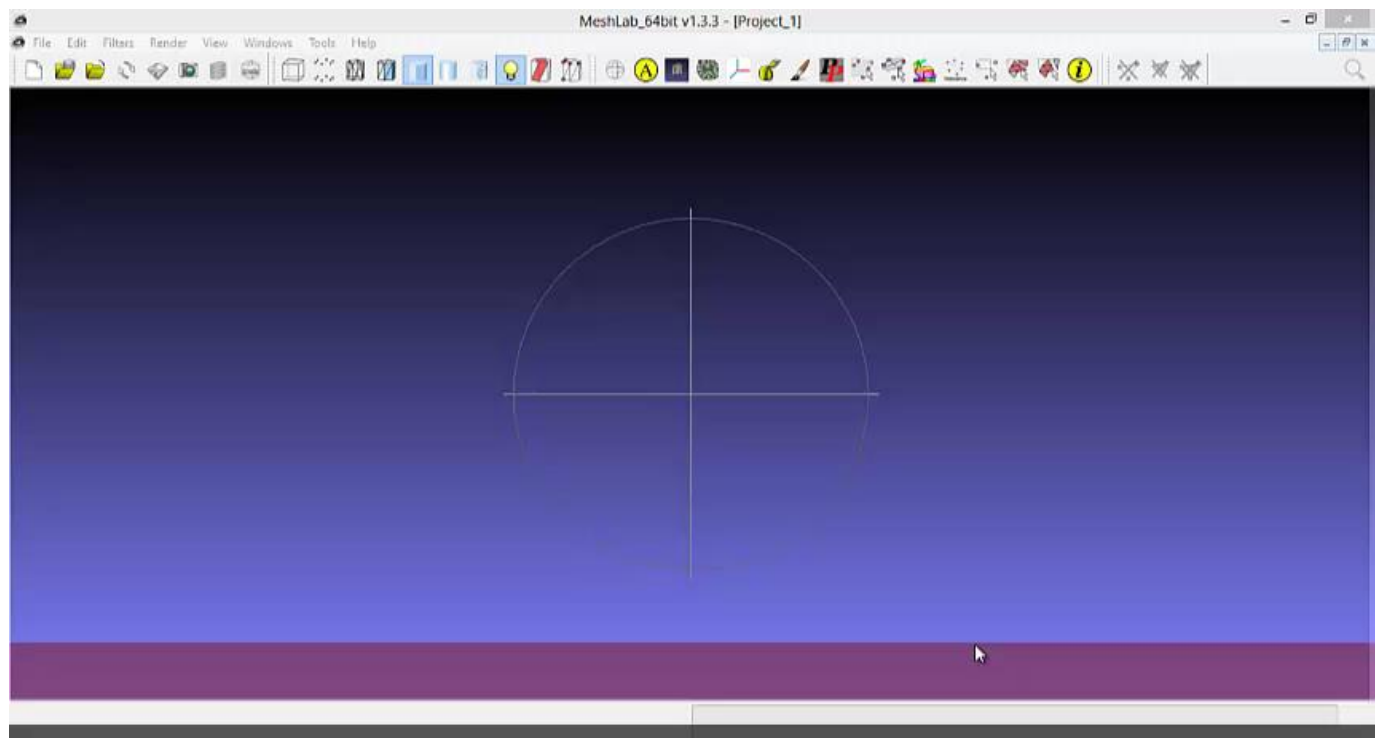




# EXPORTACIÓN DE DATOS

- 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.).





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# LIMITACIONES

- La reconstrucción omite detalles, más que todo en objetos industriales, 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.



# SOFTWARE CAD

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



# SCAN TO 3D

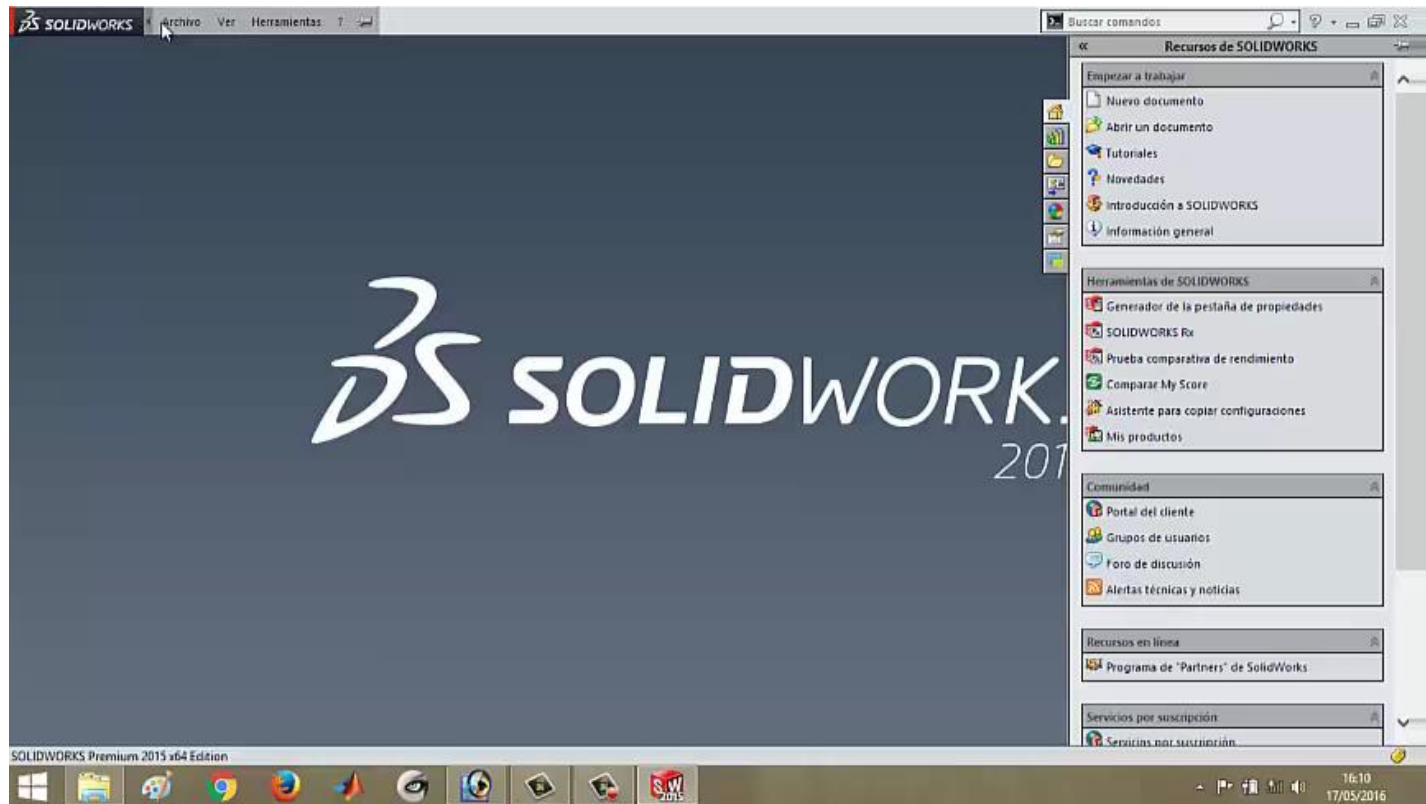
- ScanTo3D es un complemento de Solidworks el cual se centra en la ingeniería inversa, busca acelerar el proceso de diseño de geometrías complejas en 3D de aplicaciones reales, ahorrando tiempo y costo en el desarrollo, mediante datos escaneados de objetos físicos.

## 3D CAD

SOLIDWORKS 3D CAD solutions enable you and your team to quickly transform new ideas into great products.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# CAPÍTULO 6

## PRUEBAS DEL PROCESO POR MEDIO DE MANUFACTURA ADITIVA



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# 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.





# CARACTERÍSTICAS DE LA M.A.

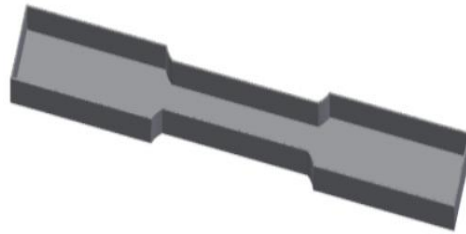
- Los procesos de fabricación convencionales de remoción y retención de material tales como el maquinado, fundición, conformado, tienen varias limitaciones de acuerdo al grado de complejidad de la pieza a fabricarse, siendo en algunos casos necesario la utilización de este proceso para llegar a obtener un prototipo deseado.



# VENTAJAS DE LA M.A

## a) Fabricación de productos ligeros.

La posibilidad de la fabricación de productos huecos o parcialmente huecos.



# VENTAJAS DE LA M.A

## 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).



# VENTAJAS DE LA M.A

## c) Mecanismos integrados en un solo producto

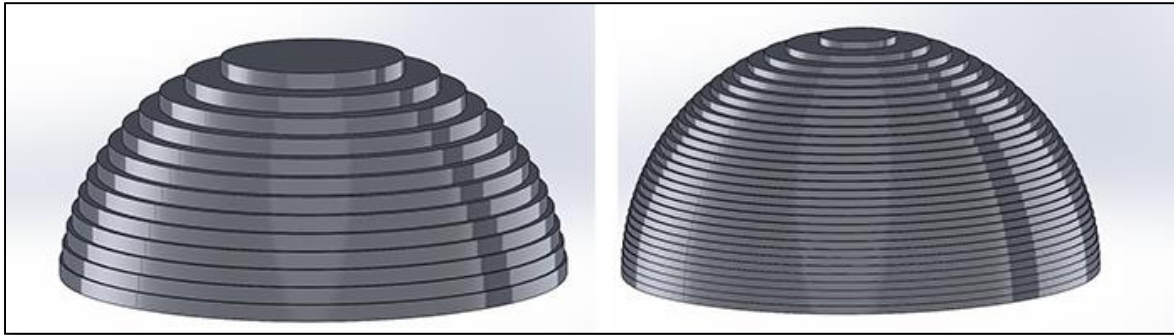
Las tecnologías de manufactura aditiva, posibilita la fabricación de productos compuestos por varias piezas y componentes.



# DESVENTAJAS DE LA M.A.

## a) Rugosidad

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



# DESVENTAJAS DE LA M.A.

## b) Acceso a materiales

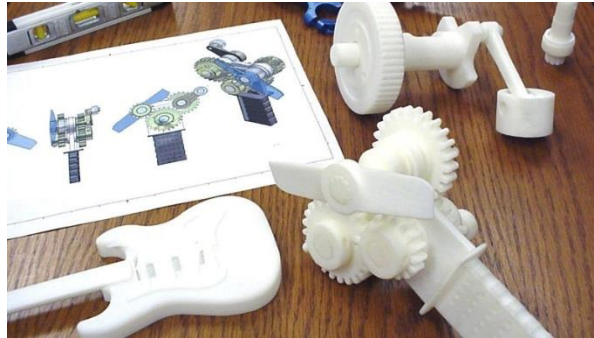
- El costo y el acceso a materiales para la manufactura aditiva para impresión 3D siguen siendo de un costo elevado y limitación de investigación.



# DESVENTAJAS DE LA M.A.

## 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.



# DESVENTAJAS DE LA M.A.

## 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).





# 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 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.

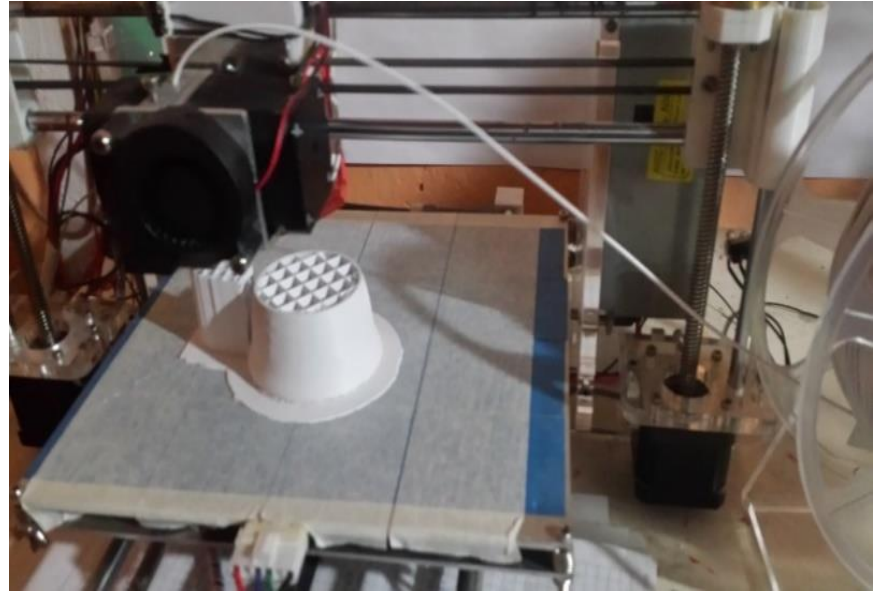
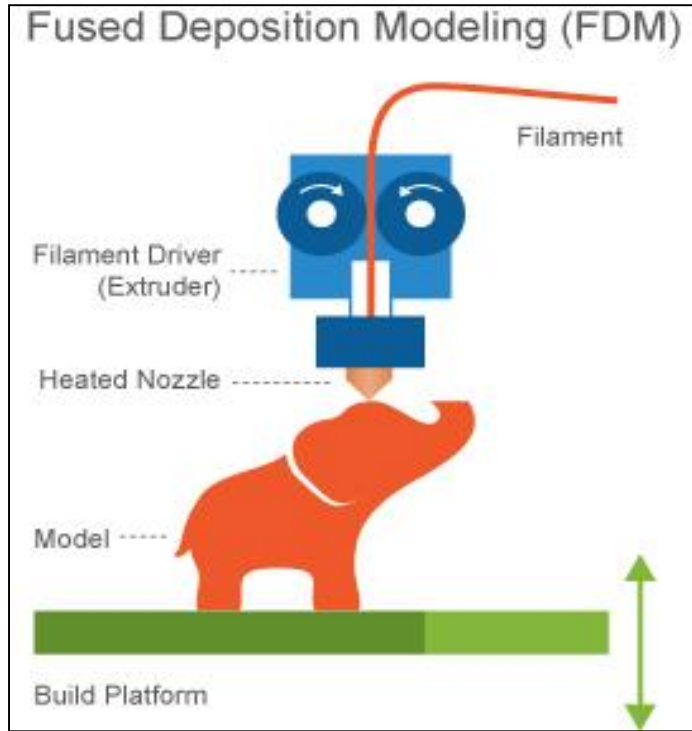


# MODELADO POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICO (FMD)

- 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).



# MODELADO POR EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICO (FMD)



# Etapas de la manufactura aditiva (Extrusión termoplástica).

## 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).

## 2. Orientación Y Adición De Soportes

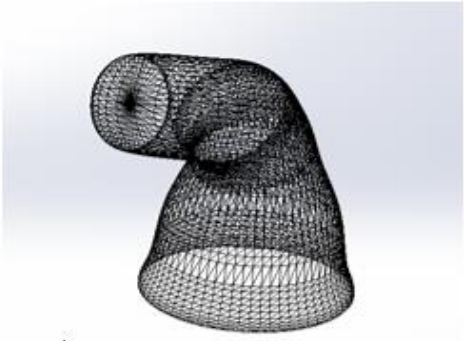
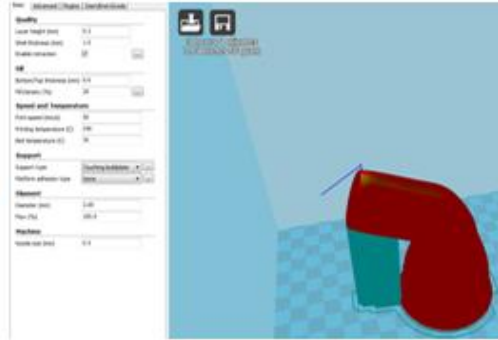
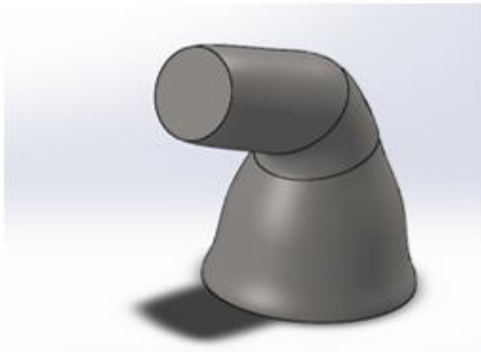
- Con el archivo en STL, este debe ser procesado en un paquete computacional que permita ubicar la pieza para que pueda ser impresa de manera correcta y en la mejor orientación, para mejora tiempo y calidad.

## 3. Manufactura Aditiva Del Modelo

- El programa generado con la información del modelo en capas, soporte, orientación, velocidades, porcentaje de relleno, tipo de mallado e instrucciones en lenguaje de programación G (G-CODE), es enviado al equipo de manufactura aditiva.



# Etapas de la manufactura aditiva (Extrusión termoplástica).



# 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 se solidifica inmediatamente después de salir de la boquilla de extrusión (A. Albuquerque, 2014).
- Para este proyecto los materiales utilizados son el ABS (acrilonitrilo-butareno-estireno ) y el PLA (ácido poliláctico)



# Poliacrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

- El ABS es un termoplástico amorfo muy resistente al impacto, está formado por bloques de Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno (W. Callister, 2002).
- El ABS reúne una excelente combinación de propiedades mecánicas
- Sus aplicaciones típicas incluyen componentes para automóviles, artefactos, electrodomésticos, accesorios para tubos y piezas de lego (M. Groover, 2014).



# Ácido poliláctico (PLA)


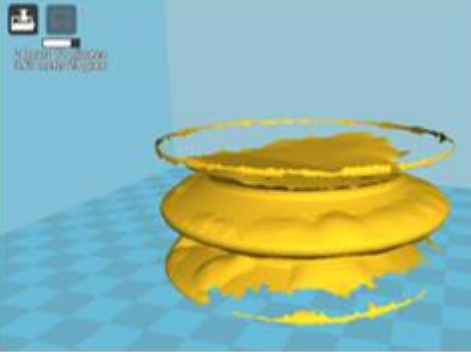
- El ácido poliláctico (PLA), es un polímero sintético biodegradable constituido por moléculas de ácido láctico.
- El PLA se obtiene a partir de recursos renovables derivados de componentes naturales de plantas y animales. Debido a esta razón, cuando el material combustiona, sus emisiones al medio ambiente son nulas (A. Alburquerque, 2014).





# POLEA ALTERNADOR SIN PROCESAR MERCEDES BENZ 1620

**Datos impresión 3D Polea**

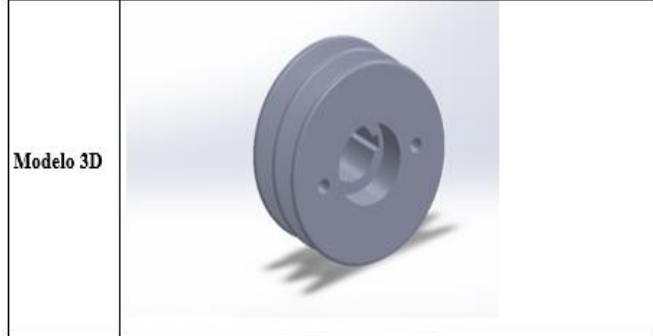
|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Modelo 3D</b>   |    |
| <b>Orientación</b> | <div data-bbox="260 606 434 971"> <p>Qualify</p> <p>Layer Height (mm) 0.2</p> <p>Shell Thickness (mm) 1.5</p> <p>Enable Retraction <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>in</p> <p>Minimum Top Surface Area 10</p> <p>Microdots (µm) 50</p> <p>Speed and Temperature</p> <p>Print speed (mm/s) 60</p> <p>Printing temperature (°C) 240</p> <p>Bed temperature (°C) 60</p> <p>Support</p> <p>Support type: <b>Touching Adjacent</b></p> <p>Maximum adhesion rate: 0.05</p> <p>Placement</p> <p>Orientation (deg) 0.00</p> <p>Flow (µm) 200.0</p> <p>Resolution</p> <p>Resolution (mm) 0.1</p> </div> <div data-bbox="444 606 937 971">  </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   |

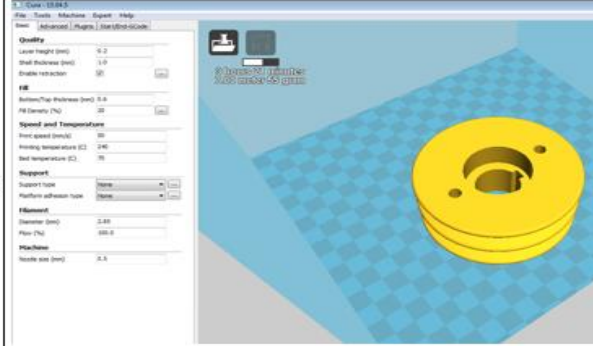


# POLEA ALTERNADOR PROCESADA MERCEDES BENZ 1620

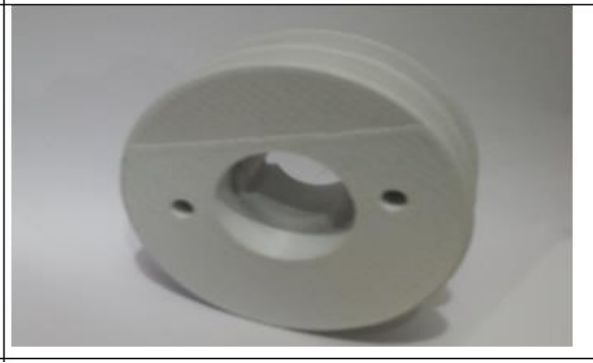
## Datos impresión 3D Polea



## Orientación



## Pieza impresa

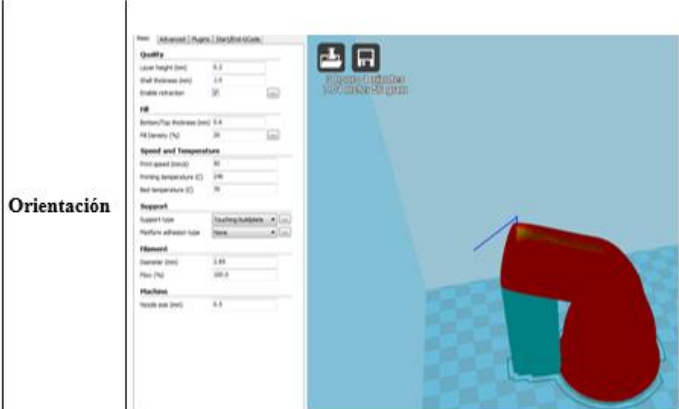
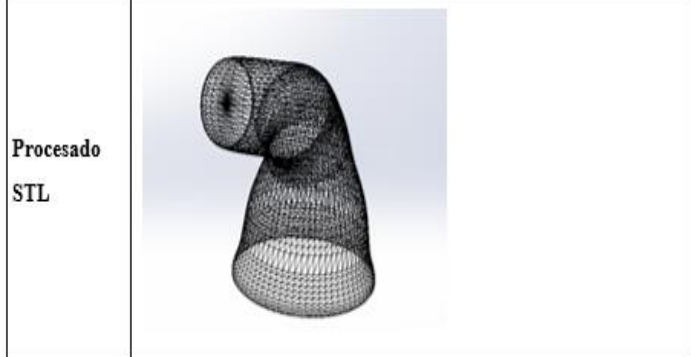
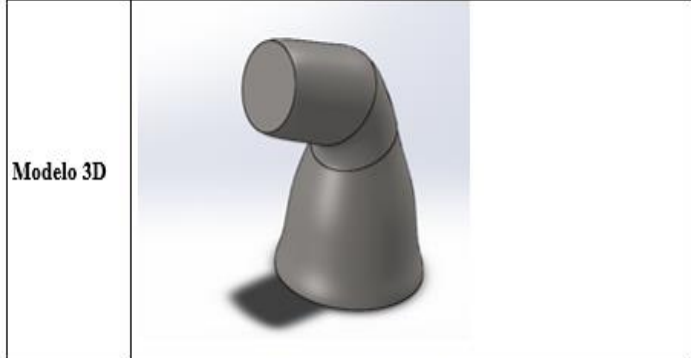


|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Relleno%                      | 50  |
| Soporte                       | No  |
| Tiempo de impresión (Horas)   | 7   |
| Altura de capa (mm)           | 0.2 |
| Velocidad de impresión (mm/s) | 60  |
| Base                          | Si  |
| Material                      | ABS |



# FORMA INTERNA TAPA DEL TERMOSTATO M. BENZ 352

## Datos impresión 3D Polea



|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Relleno%                      | 20  |
| Soporte                       | Si  |
| Tiempo de impresión (Horas)   | 6   |
| Altura de capa (mm)           | 0.2 |
| Velocidad de impresión (mm/s) | 60  |
| Base                          | Si  |
| Material                      | ABS |



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MANGO ARMA DE FUEGO PROCESADO

## Datos impresión 3D Polea

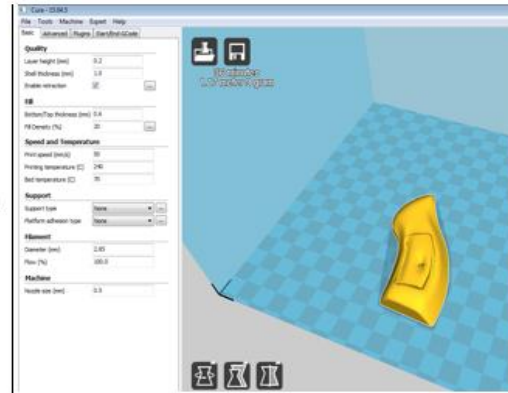
### Modelo 3D



### Procesado STL



### Orientación



### Pieza impresa



|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Relleno%                      | 100 |
| Soporte                       | No  |
| Tiempo de impresión (Horas)   | 3   |
| Altura de capa (mm)           | 0.2 |
| Velocidad de impresión (mm/s) | 50  |
| Base                          | Si  |
| Material                      | ABS |



# 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.



# CONCLUSIONES

- 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.



# CONCLUSIONES

- 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.



# CONCLUSIONES

- 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.





# 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.



# RECOMENDACIONES

- 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.

