

# Reconstrucción geométrica de una pieza mecánica: láser escáner e impresión 3D

## Geometric reconstruction of a mechanical piece: laser scanner and 3D printing

Laura Lopresti\*, Laura Lara Marianela Fuertes\*, Sergio Gavino\*, Luca Speroni\*, Gabriel Defranco\*

SE PRESENTA UN CASO DE RECONSTRUCCIÓN DE UNA PIEZA MECÁNICA RELEVADA CON UN LÁSER ESCÁNER DE BAJO COSTO Y SU IMPRESIÓN 3D. SE ANALIZAN DOS PROCEDIMIENTOS CON EL FIN DE DETERMINAR UNA IMPRESIÓN 3D FIDELIDAD PARA UTILIZARSE COMO MODELO DIDÁCTICO. LA PIEZA ES DE MORFOLOGÍA RELATIVAMENTE SIMPLE, PERO PRESENTA UNA INTERSECCIÓN ENTRE DOS VOLÚMENES DE DIFÍCIL COMPRENSIÓN PARA ESTUDIANTES EN UN PRIMER CURSO DE SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN EN LA CARRERA DE INGENIERÍA. EL RELATO DESCRIBE LA SECUENCIA REALIZADA DESDE EL RELEVAMIENTO CON EL LÁSER ESCÁNER, TAREAS DE COMPLETAMIENTO DEL RELEVAMIENTO DIGITAL REALIZADO, RECONSTRUCCIÓN GEOMÉTRICA DE LOS MODELOS Y PRUEBAS DE IMPRESIÓN.

**PALABRAS CLAVE:** ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA, SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN, INGENIERÍA INVERSA

### Introducción

El estudio metódico de conjuntos o piezas individuales es una constante en la formación de los ingenieros. La ingeniería inversa, como proceso analítico para obtener información a partir de un producto con el fin de determinar cuáles son sus componentes, de qué manera interactúan entre sí y cuál fue el proceso de fabricación empleado, implica una dirección o sentido de análisis que pasa de lo general a lo específico, del conjunto a la parte.

Desarmar, evaluar, representar, se constituyen entonces, como preliminares para la reconfiguración de esos elementos en nuevas instancias de proyecto. Entre los distintos y variados modos de modelizar procesos, sistemas, conjuntos, partes, etc., el croquis a mano alzada constituye un medio rápido y eficaz para el reconocimiento y comprensión del elemento en estudio y que en el marco de tareas ingenieriles, se realiza sin la ayuda de instrumentos, sólo a lápiz y consiste en una instancia gráfica preliminar a la ejecución del dibujo definitivo que se realizará con medios digitales (CAD). Para resolver un croquis se ponen en juego capacidades de lectura, interpretación y registro de lo observado, que si bien, son propias de muchas disciplinas, adquieren una dimensión en particular para el caso de los ingenieros, ya que se requiere por un lado, dominio de los aspectos morfológicos de las piezas en estudio y por el otro, conocimientos para la elaboración de gráficos de carácter técnico.

En ámbitos de educación universitaria, el desarrollo de esta capacidad hace necesario el disponer de un repertorio bastante amplio de modelos físicos utilizados como recursos didácticos. Estos modelos, que en el caso que se relata, son piezas y partes de conjuntos mecánicos, han sido clasificados en grados de complejidad creciente a partir de algunos aspectos particulares como la simetría en uno, dos o los tres ejes espaciales, la existencia de agujeros u oquedades alineadas o no, con respecto a esos ejes y los refuerzos y costillas. La observación, análisis y relevamiento gráfico de estos modelos reales permi-

THE ARTICLE IS ABOUT A CASE OF RECONSTRUCTION OF A MECHANICAL PIECE SURVEYED WITH A LOW COST LASER SCANNER AND THEN RENDERED BY A 3D PRINTER. TWO PROCEDURES ARE ANALYSED IN ORDER TO DETERMINE RELIABLE 3D PRINTING TO BE USED AS A DIDACTIC MODEL. THE MECHANICAL PIECE HAS A SIMPLE MORPHOLOGY, BUT IT SHOWS AN INTERSECTION BETWEEN TWO VOLUMES OF DIFFICULT COMPREHENSION FOR STUDENTS IN THE FIRST REPRESENTATION SYSTEMS COURSE OF THEIR ENGINEERING CAREER. THE TEXT DESCRIBES THE SEQUENCE PERFORMED BY THE LASER SCANNER, COMPLETING TASKS OF THE DIGITAL SURVEY, GEOMETRIC RECONSTRUCTION OF THE MODELS AND PRINTING TESTS.

**KEYWORDS:** TEACHING ENGINEERING, REPRESENTATION SYSTEMS, REVERSE ENGINEERING

### Introduction

The methodical study of the assemblies of single parts is a constant in the training of engineers. Reverse engineering, as an analytical process to obtain information from a product in order to identify their components, the relationship between them and the fabrication process applied, implies a direction or line of analysis that goes from general to specific, from the assembly to the part.

Disassemble, evaluate, draw, are then preliminary stages for the reconfiguration of those elements in new instances of the project. Between the different and varied ways of modeling processes, systems, assemblies, parts, etc., in engineering tasks, the free hand sketch is a fast and efficient way for recognizing and comprehending the element under study, carried out without the help of drawing instruments, only a pencil. It is a graphic preliminary instance previous to the execution of the definitive drawing to be executed through digital media (CAD). Reading skills, interpretation and registration are put into play in order to complete a sketch. In spite of being used in other disciplines, sketches by engineers have a particular dimension, requiring an understanding of the morphologic aspects of the parts under study and the knowhow for the elaboration of graphics of a technical character.

In areas of university education, the development of this skill necessitates having a wide enough set of physical models to be used as a didactic resource. These models, as in the case being presented, are parts of machines and mechanical assemblies and have been classified in increasing degrees of complexity from many particular features like the symmetry in one, two or three axes of space, the presence of holes or cavities aligned or not aligned with the axes, and supports and ribs. The observation, analysis and graphic survey of these real models allow the student to start in the progressive study of the constructive geometry based upon two significant elements: primitive shapes and the Boolean operations between them. (Giesecke 2006).

ten al estudiante iniciarse en el estudio progresivo de la geometría constructiva basada en dos elementos significativos: las primitivas y las operaciones de composición de primitivas (Giesecke 2006).

Ahora bien, en grupos numerosos de estudiantes, no siempre se cuenta con un mismo modelo para ser observado y manipulado por cada uno de los alumnos. Esta situación, se suma a que algunos casos de piezas de mayor complejidad morfológica, suelen provocar interpretaciones ambiguas por parte del observador que recién se inicia en la lectura y comprensión de la forma.

Los nuevos recursos tecnológicos, como el escáner láser de bajo costo para el estudio y la impresora 3D para obtener modelos reales, a través de software adecuado, han permitido ampliar el universo de los insumos aplicados a la enseñanza de Sistemas de Representación para los estudiantes pertenecientes al ciclo básico de Carreras de ingeniería.

#### **Metodología**

Planteada la problemática y para la verificar los alcances de esta ampliación de posibilidades en la construcción de nuevos materiales para el aula, se revisaron acciones precedentes. En (Lopresti et al. 2014) se relata que a partir de seleccionar dos modelos cuyo eje longitudinal es el eje de revolución, se realizó un procedimiento de registro mediante láser de bajo costo y luego un tratamiento de la malla hasta obtener un modelo paramétrico.

Estos mismos modelos fueron estudiados por técnicas fotogramétricas y, cuando se procesaron, se realizó un modelo paramétrico para obtener medidas comparativas tal como se expresa en (Defranco et al. 2015).

Después de eso, se realizó una nueva experiencia con láser escáner de bajo costo, empleando uno de los modelos ya descritos, y comparándolo con otra pieza, de morfología más compleja. Dando por resultado la validez del procedimiento para la práctica de lectura de pieza. Esto permitió pensar posibilidades de aplicación del método con fines didácticos (Lopresti et al. 2016).

Atendiendo a este marco experimental, se tomó un modelo físico, una pieza de fundición con características morfológicas particulares: un cuerpo principal de revolución con una segunda forma adicionada, de apreciación simple ya que es un cono truncado hueco, pero que se encuentra ubicado con un eje oblicuo a la base de la pieza, posición que suele dar representaciones un tanto ambiguas por parte del estudiante principiante (figg. 1-2).

A continuación, en la Tabla 1 se observa un esquema de los pasos seguidos en el relevamiento que es objeto de este trabajo.

#### **Desarrollo y resultados**

Para el relevamiento se empleó el equipo láser de bajo costo *David Laserscanner*®, compuesto por una cámara *web Logitech*® c615 de 2 MP, un láser de línea roja, el *software David Laserscanner Pro Edi-*



However, in large groups of students, identical models are not always available to be observed by each of the students. This situation and the cases of greater morphologic complexity lead the new and inexperienced students to ambiguous interpretations.

New technological resources, like low cost laser scanners for surveying and 3D printers for obtaining real models have created an easy way to provide additional supplies that are crucial for teaching Systems of Representation to engineering students.

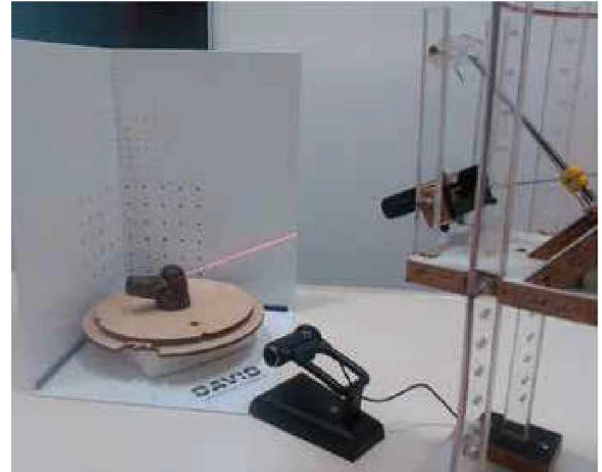
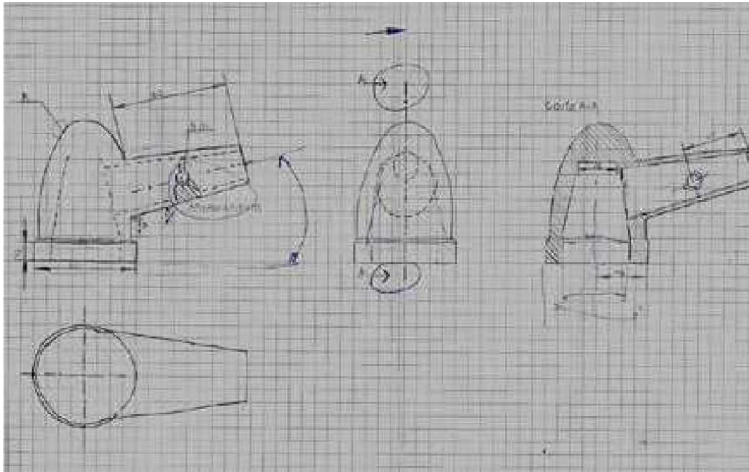
#### **Methodology**

Having formulated the problem and in order to verify the range of the increase of the possibilities of building new didactic materials to be used in the classroom, the precedent procedures were revised. First, two models were selected whose longitudinal axis is the axis of revolution, a low cost laser scanner survey was carried out. The mesh was then generate a parametric model (Lopresti et al. 2014).

The same models were surveyed by photogrammetric techniques and, when post processed, a parametric model was used to obtain comparative measurements (Defranco et al. 2015).

After that, a new laser survey was performed on one of the already depicted models and on another part of more complex morphology. Resulting in the validity of the procedure for the practice of the piece. This allowed the possibilities of application of the method for didactic purposes (Lopresti et al. 2016).

Having walked this road, a cast iron part was taken as a physical model with particular morphologic characteristics: a main revolution body with the addition of a second shape consisting of a hollow truncated cone with its axis oblique to its base, a particular position that frequently leads to ambiguous representations by inexperienced students (figg. 1-2).



tion 3®, paneles de calibración (con *target* de calibración en cuatro tamaños diferentes) y placa base para el montaje de los paneles de calibración. Para la toma de la muestra se utilizó un dispositivo que automatiza el relevamiento (fig. 3).

En el desarrollo de estos pasos se han utilizado varios software: *David Laserscanner*®, *Geomagic Studio*®, *Autodesk Inventor*® y *Repetier Host*®.

Para la impresión 3D se ha utilizado la *PowerWASP EVO 3D*, de tecnología *Fused Deposition Modeling (FDM)* o *Fused Filament Fabrication (FFF)*. Esta impresora es de procedencia italiana, cartesiana, con diámetro de boquilla de 0,5 mm, con un espacio de trabajo de 260 mm x 195 mm x 190 mm. Se empleó como insumo de impresión filamento de ácido poliláctico (PLA) de 3 mm.

Para la captura y procesamiento de datos se siguió el procedimiento descrito en (Lopresti et al. 2014). Con la información digital así relevada se obtienen datos de la morfología y de la textura. El resultado del procesamiento de datos se exporta en formato OBJ (*Wavefront 3D Object File*).

#### Posprocesamiento A. Adecuación del modelo de malla a través del uso de filtros (*relax, reduce*)

El modelo obtenido del relevamiento láser pasa por diferentes filtros para luego ser impreso en 3D. Este proceso no modifica la forma ni las dimensiones sino que vuelve homogénea la malla y se cierran posibles agujeros haciéndola más apta para el tratamiento con un software de impresión 3D. Este modelo ha pasado por los siguientes filtros:

- *Relax*: para minimizar los ángulos entre triángulos de la malla.
- *Reduce*: para reducir la cantidad de polígonos manteniendo la curvatura (fig. 4).

Then, in Table 1 a scheme of the steps followed in the survey of this work is shown.

#### Developmente and results

The survey was made with a low cost laser scanner, from *David Laserscanner*®, composed of a *2 MP Logitech webcam*®, a red line laser, *David Laserscanner Pro Edition 3*® software, calibration panels (with four different size calibration targets) and a base plate for mounting the calibration panels. A device was used to take the sample, which automates the survey (fig. 3)

Many softwares have been used to follow those steps: *David Laserscanner*®, *Geomagic Studio*®, *Autodesk Inventor*® and *Repetier Host*®.

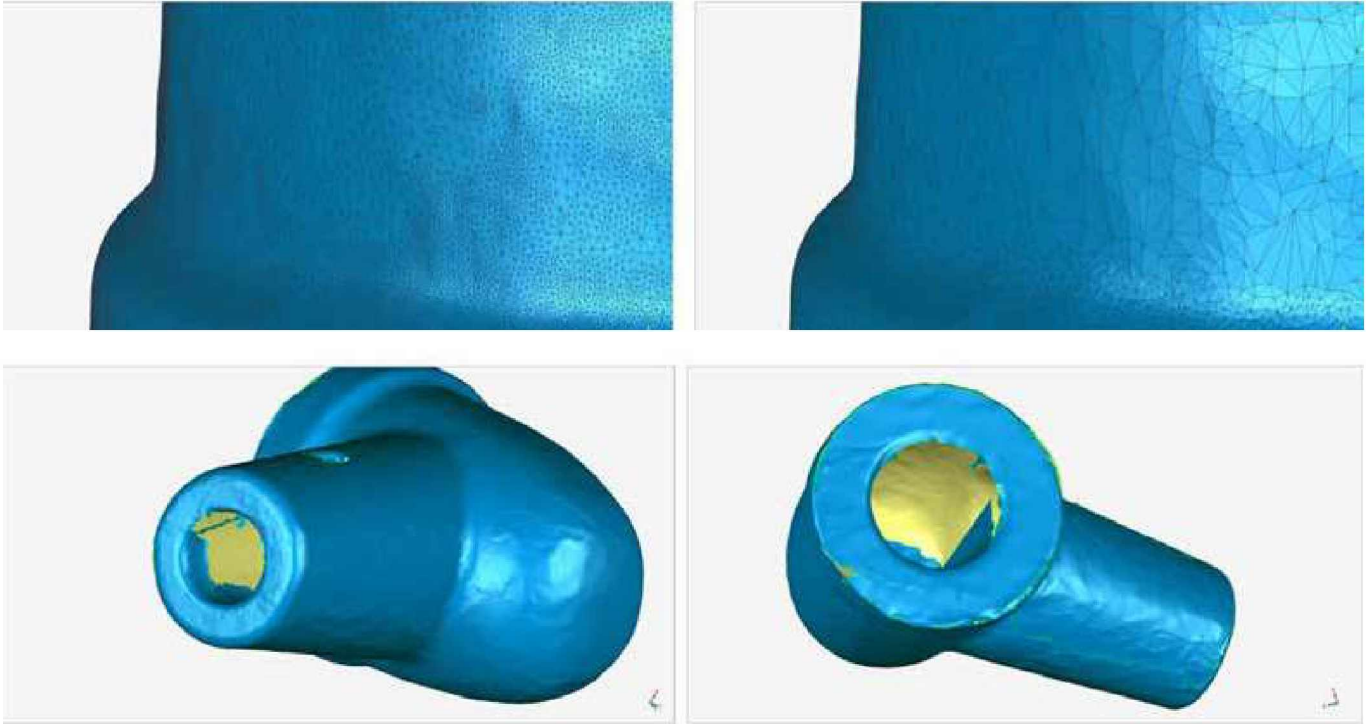
The equipment used for the survey also belongs to David Laserscanner®, but not the 3D printer, which is a *PowerWASP EVO 3D*, that uses *Fused Deposition Modeling (FDM)* or *fused filament fabrication (FFF)* technology. This printer is of Italian origin, Cartesian, with a 0,50 mm nozzle diameter. The bench is 260 mm x 195 mm x 190 mm. The material used for the printing was polilactic acid (PLA) with a 3 mm diameter.

For data capture and processing, the procedure described in (Lopresti et al. 2014) was followed. With the digital information thus relieved, morphology and texture data were obtained.

The result of the data processing was exported in OBJ format (*Wavefront 3D Object File*).

#### Post processing A. Adjusting the mesh model through the use of filters (*relax and reduce*)

The model obtained from the laser survey is passed through different filters before being printed in three dimensions. This process homog-



Como se trata de una pieza con oquedades, la luz láser se proyecta sobre estos agujeros pero la cámara web no puede detectarlos, dificultándose así su relevamiento. Como se observa en la figura 5 falta información en los agujeros. Estos agujeros se cierran sin realizar una minuciosa reconstrucción morfológica porque no es una zona de interés a analizar en este procedimiento. Este modelo denominado Modelo A, se exporta en formato *STL* (*Standard Triangle Language*).

#### Postprocesamiento B. Generación del modelo paramétrico a partir de la malla

El modelo paramétrico se obtiene según la propuesta presentada en (Lopresti et al. 2014) y detallados en Tabla 1. Para el reconocimiento de rasgos, se han utilizado los siguientes parámetros:

- sensibilidad de curvatura: 75%;
- sensibilidad de separador: 60%;
- área mínima: 500 mm<sup>2</sup>.

En una primera instancia, sin haber tratado la malla, se reconocen cuatro conos, un plano y una esfera; en cambio al borrar triángulos superpuestos, se reconocen un cono y un plano, siendo este resultado más adecuado para la reconstrucción digital de la pieza. La esfera fue descartada porque tiene muy poca zona de contacto con la pieza. Este procedimiento se ha realizado de manera manual y automática para obtener más información de la malla (fig. 6).

La tolerancia máxima existente entre primitiva y malla (fig. 7) determina la viabilidad del reconocimiento automático. El cono es el único elemento válido, siendo la desviación máxima +/-1,8 mm y desviación

enizas the mesh and closes discontinuities without modifying the shape or dimensions, making it more suitable for implementation with a 3D printing software. This model has passed the following filters:

- Relax: to minimize the angles between mesh triangles.
- Reduce: to reduce the number of polygons maintaining the curvature (fig. 4).

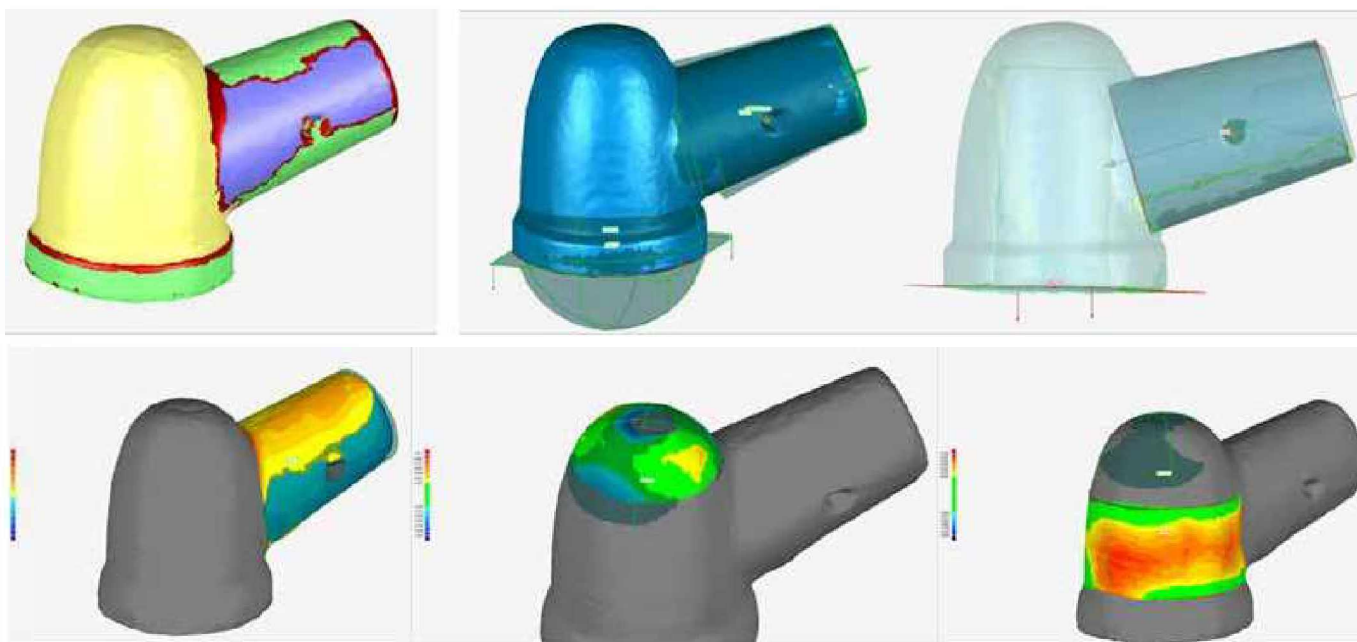
As the part has cavities, the laser light is projected on them, but the webcam can't detect them, making the survey difficult. As shown in figure 5 there is a lack of information about the holes. Those holes are closed without carrying out a meticulous morphological reconstruction because it is not an area of interest to be analyzed in this procedure. This model called *Model A* is exported in *STL* format (*Standard Triangle Language*).

#### Post processing B. Parametric generation of the model from the mesh

The parametric model is obtained according to the proposal presented in (Lopresti et al. 2014) and detailed in Table 1. For the recognition of the features, the following parameters have been used:

- Sensitivity of curvature: 75%
- Sensitivity of separator: 60%.
- Minimum area: 500 mm<sup>2</sup>.

In a first instance, with the mesh still not treated, four cones, one sphere and one plane are recognized; if the superposed triangles are deleted, only a cone and a plane are recognized. This result is more



estándar 0,38 mm. Es por eso que la esfera y el cono del cuerpo principal, reconocidos por el procedimiento manual, se descartan. Se continúa el proceso con un cono y un plano.

Del cuerpo principal no se ha podido extraer información por estos medios y se opta por extraer curvas paramétricas tal como desarrollaron (Garagnani, Manfredini 2013). Se extrae la curva generatriz, como se observa en la fig. 8, para poder realizar por la operación de revolución el volumen indicado. De este modo se aprovecha la misma curva para generar la forma superior de la pieza.

Las dimensiones de estas primitivas se ajustan de forma manual.

Con una curva paramétrica, un cono y un plano se realiza el intercambio paramétrico. Esto se efectúa a través de un puerto de comunicación virtual entre el *software Geomagic Studio* y la aplicación paramétrica *Autodesk Inventor 2012*. Una vez ejecutada esta acción se abre el *Inventor* con las primitivas.

El modelo es editado utilizando operaciones booleanas y separado en dos modelos denominados *modelo B1*, el cuerpo principal, y *modelo B2* el cono truncado inclinado (fig. 9). Ambos modelos se exportan en formato *STL*.

### Impresión 3D de modelos

Para la impresión 3D se consideró lo siguiente:

- caso 1: Impresión del *modelo A* completo;
- caso 2: Impresión del *modelo A* en su mitad (respecto a su eje de simetría);
- caso 3: Impresión del *modelo B1* y *modelo B2*.

suitable for the digital reconstruction of the piece. The sphere is discarded because of its very little area of contact with the part. This procedure has been handmade and automatically carried out, in order to obtain more information the mesh (fig. 6).

The maximum tolerance that exists between the primitive and the mesh (fig. 7) determines the viability of the automatic recognition. The cone is the only empty element, having a maximum deviation of +/- 1,8 mm and a standard deviation of 0,38 mm.

That's why the sphere and the cone of the main body are discarded. The process is continued with a cone and a plane.

Since it has not been possible to extract information from the main body by these means, the alternative option is to extract parametric curves as developed by (Garagnani, Manfredini 2013), as shown in figure 8, to be able to generate the indicated volume by the operation of revolution. This way, the same generatrix is taken advantage of to generate the upper shape of the part.

The dimensions of those primitives were adjusted by hand.

A parametric interchange was made with a parametric curve, a cone and a plane. It was carried out through a virtual communication port between *Geomagic Studio* software and the parametric application *Autodesk Inventor 2012*. Once the action was executed, *Inventor* opened showing the primitives.

The model was edited using a Boolean operation and separating it into two models: on the one hand the main body called *model B1* and on the other hand the leaning cone called *B2* (fig. 9). Both models are exported in *STL* format.



8/ Extracción de la curva generatriz  
8/ Extraction of the generatrix curve

Se decidió una fluencia de material del 85%, a una temperatura de 190 °C (A), 195 °C (B1) y 175 °C (B2). La velocidad de impresión fue entre 20 mm/s y 25 mm/s. Los rangos de velocidad y temperatura fueron configurados de acuerdo a las pruebas y puesta a punto de la impresora en el momento de realizar el trabajo.

Para el *Modelo A*, que por su morfología podía perder adherencia durante la impresión, se utilizó una capa extra denominada *brim*. Además, en este modelo, se utilizó el recurso de la retracción el cual fue de 6 mm a 50 mm/s.

En cuanto a los tiempos de impresión para el *Modelo A* se necesitaron 110 minutos mientras que para *modelo B1* 170 minutos, el *modelo B2* por ser de menor tamaño se precisó 50 minutos. Esto se debe a la diferencia en el parámetro de relleno y velocidad de impresión. En el caso particular del medio *modelo A* necesitó 50 minutos para obtenerlo.

### Conclusiones

La posibilidad de comparar dos procedimientos de reconstrucción de una pieza mecánica, relevada con un láser escáner de bajo costo con el objeto de determinar el recorrido más apropiado para una impresión 3D fidedigna para utilizarse como modelo didáctico, nos han permitido reconocer algunas fortalezas y limitaciones propias de:

- la técnica de relevamiento utilizada es útil tanto para el posprocesamiento A como para B. Se presentan dificultades cuando la pieza tiene oquedades pero se pueden reconstruir en ese proceso;
- procesamiento de datos: mientras que el posprocesamiento A permite imprimir una pieza completa o sus divisiones por planos rectos el posprocesamiento B hace más maleable la edición de la pieza y posibilita obtener los volúmenes básicos para poder integrar la morfología en el espacio, siendo esto óptimo para generar modelos didácticos;
- el *modelo A* posee un cono en voladizo que ocasiona una mala terminación de la parte inferior en la impresión 3D (fig. 9). Esto sucede tanto imprimiendo con y sin soportes. Esa superficie irregular puede dificultar la lectura que realiza el alumno de la pieza. En cambio, si se separan las formas (*modelos B1* y *B2*) el problema desaparece y permite obtener una mejor calidad de impresión. Las dimensiones de las piezas impresas están en el orden de +0,8 mm y -0,4 mm.

### 3D Printing of the models

For 3D printing the following was considered:

- case 1: Printing of the complete *model A*;
- case 2: Printing of Model A in its middle (with respect to its axis of symmetry);
- case 3: Printing of *models B1* and *B2*.

The printing of the models has been carried out with a material flow of 85 %, at 190 °C (A), 195 °C (B1) and 175 °C (B2). The print speeds were 25 mm/s and 20 mm/s. The ranges of speed and temperature were defined according to the tests and the set up of the printer at the time to make the work.

For *model A* an extra layer was used in order to guarantee the adhesion of the part to the bench (brim). Because of its morphology it could lose adherence during the printing. Beside, Retraction was only used in *model A*, being of 6 mm at 50 mm/s.

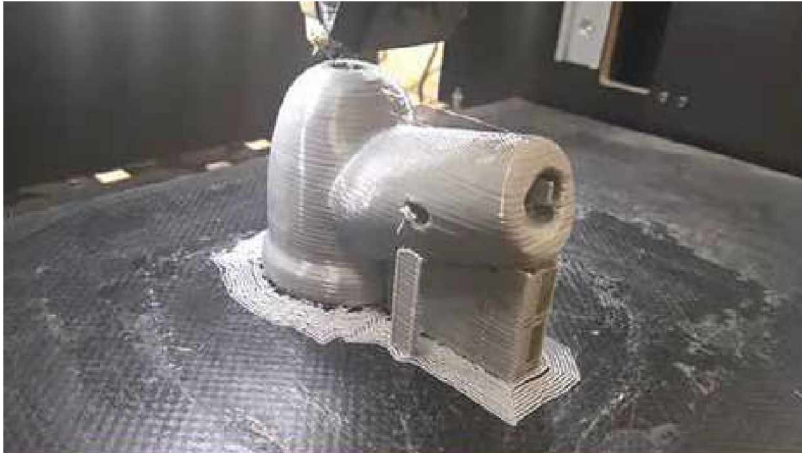
The printing of *model A* took one hour and fifty minutes while *model B1* took two hours and fifty minutes and *model B2* took fifty minutes. This is due to the difference in the filling parameter and the printing speed. In the particular case of the *model A* medium, it took 50 minutes to obtain it.

### Conclusions

The possibility of making a comparison between the two processes of reconstruction of a mechanical part, surveyed with a low cost laser scanner with the aim of defining the most suitable itinerary for a reliable 3D printing to be used for didactic models, has allowed us to recognize some strengths and limitations:

- the survey technique used was useful for post processing both A and B. Difficulties arise when the part has cavities but they can be rebuilt in the process;
- data processing: while post processing A allows the printing of the complete model or their single parts using straight planes, post processing B makes it more malleable for the edition of the model and gives basic solids to be integrated into the 3D morphology, which is optimal for the generation of didactic models;
- *model A* has a cantilevered cone that causes a bad finish of the print at the bottom. In order to solve the problem, the printing was made with and without supports. But this solution is bad and can introduce difficulties in the reading of the model. If single primitives are separated instead, the problem disappears and it is possible to obtain a better quality of printing. The dimensions of the parts are +0,8 mm and -0,4 mm.

9/ *Modelos A impresos (izq.); modelos B impresos (der.)*  
9/ Printed *models A* (left); Printed *models B* (right)



### Agradecimientos

Queremos agradecer al dr. Salvatore Barba del *Dipartimento di Ingegneria Civile (DiCIV) Università degli Studi di Salerno* por facilitar el láser escáner y la impresora 3D; al estudiante de Ingeniería Mecánica Franco Vendrell por el desarrollo del dispositivo de automatización del láser escáner y al ing. Christopher Young por la colaboración en la elaboración (en inglés) de este artículo.

Además agradecer a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata por los recursos humanos y técnicos puestos a disposición de este proyecto.

### Aknowledgments

We wish to thank dr. Salvatore Barba from the *Dipartimento di Ingegneria Civile (DiCIV) Università degli Studi di Salerno* for making their laser scanner and a 3D printer available; Franco Vendrell mechanical engineering student, for his development of an automatic device for the scanning process and ing. Christopher Young for the collaboration in the elaboration (in English) of this article.

We wish to thank the Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata for human and technical resources that were made available for this project.

### Notas

\* Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia, Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar, graficaing@ing.unlp.edu.ar

### Notes

\* Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia, Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar, graficaing@ing.unlp.edu.ar

### Bibliografía / Bibliography

- Apollonio Fabrizio Ivan, Gaiani Marco, Sun Zheng, 2013. 3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of architectural heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2, 2013, pp. 43–48.
- Brumana Raffaella, Oreni Daniela, Raimondi Anna, Georgopoulos Andreas, Bregianni Angeliki, 2013. From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2, 3, 2013, pp. 433–451.
- De Luca Livio, Vèron Philippe, Florenzano Michel, 2005. Semantic-based modelling and representation of patrimony buildings. SVE Workshop towards Semantic Virtual Environments, Mar 2005, Villars, Switzerland. 2005, pp.1-11.
- Fai Stephen, Rafeiro Jesse, 2014. Establishing an Appropriate Level of Detail (LoD) for a Building Information Model (BIM) – West Block, Parliament Hill, Ottawa, Canada. *ISPRS Annals for the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II, 5, 2014, pp. 123–130.
- Grussenmeyer Pierre, Landes Tania, Voegtle Thomas, Ringle Konrad, 2008. Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVII/ B5. 2008, pp.213–218.
- Murphy Maurice, McGovern Eugene, Pavia Sara, 2013. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 2013, pp. 89–102.
- Quattrini Ramona, Malinverni Eva Savina, Clini Paolo, Nespeca Romina, Orlietti Erika, 2015. From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-5/W4, 2015, pp. 367–374.
- Volk Rebekka, Stengel Julian, Schultmann Frank, 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 2014, pp. 109–127.