

ANÁLISIS DIMENSIONAL DE MODELOS OBTENIDOS POR FOTOGRAMETRÍA DE PIEZAS MECANICAS

*Gabriel Defranco¹
Laura Fuertes²
Laura Lopresti³
Sergio Gavino⁴
Marianela Lara⁵*

Resumo: Este trabajo relata un primer avance de carácter comparativo, en el análisis dimensional del relevamiento digital de piezas mecánicas empleando técnicas fotogramétricas, con el objetivo de recuperar de aquellas, las que permitan la obtención de datos dimensionales de mayor precisión. La elección de piezas mecánicas obedece a la necesidad de incursionar en un campo de aplicación aún no explorado en profundidad en el relevamiento digital y para su selección, se han seguido criterios relacionados con su complejidad morfológica. Respecto a las técnicas de relevamiento, en los últimos tiempos las metodologías y herramientas utilizadas tanto por fotogrametría como por láser escáner han experimentado un notable progreso. En algunas de estas nuevas posibilidades, en particular en el caso de las técnicas fotogramétricas, el avance tecnológico ha sido acompañado con una notable reducción de costos. La metodología desarrollada en este trabajo incluyó el registro fotográfico y procesamiento de las imágenes con diferentes técnicas de fotogrametría, haciendo énfasis en aquellas de acceso libre y/o bajo costo. El relato describe los resultados obtenidos a partir de relevar dos piezas con morfologías específicas, obteniéndose una precisión aceptable para el estudio morfológico y dimensional de este tipo de piezas en el marco de ser empleadas como recursos didácticos para la lectura y comprensión de objetos en la enseñanza de los sistemas de representación en ingeniería.

Palavras-chave: Relevamiento digital, piezas mecánicas, fotogrametría, bajo costo.

Abstract: This paper reports a first comparative advance, in the dimensional analysis of the digital survey of mechanical parts using photogrammetric techniques with the aim of recovering those that allow the obtaining of dimensional data of greater precision. The choice of mechanical parts obeys the need to penetrate a field of application not yet explored in depth in the digital survey and for their selection, criteria have

¹ Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina, ghdefran@ing.unlp.edu.ar

² Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina, lfuertes@ing.unlp.edu.ar

³ Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina, laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar

⁴ Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina, sergio.gavino@ing.unlp.edu.ar

⁵ Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina, marianela.lara@ing.unlp.edu.ar

been followed in relation to their morphological complexity. Regarding survey techniques, recently the methodologies and tools used by both photogrammetry and laser scanner have experienced remarkable progress. In some of these new possibilities, particularly about photogrammetry, technological progress has been accompanied by a remarkable reduction of costs. The methodology developed in this work includes photographic registration and image processing with different photogrammetry techniques, emphasizing those that belong to free software or low-cost range. The paper describes the results obtained from the survey of two pieces with specific morphologies, obtaining an acceptable precision for morphological and dimensional study of this type of pieces in the context of being used as didactic resources for the reading and comprehension of objects in teaching of systems of representation in engineering.

Keywords: Digital surveying, mechanical parts, photogrammetry, low cost.

1 Introdução

La fotogrametría permite, a partir de una secuencia de imágenes de un objeto obtener modelos geométricos tridimensionales y realizar mediciones de tipo indirecto ya que las mismas no se efectúan sobre el objeto relevado sino sobre la malla obtenida. Esta disciplina tecnológica puede caracterizarse como “[...] *la ciencia que permite obtener una medida precisa de las características geométricas de un objeto... a través del empleo conjunto de fotografías capturadas desde distintas posiciones.*” (GUIDI et al., 2010).

En los últimos años, gracias a los avances tecnológicos, la reducción de costos de las cámaras fotográficas digitales y el incremento en la capacidad de procesamiento de las computadoras, las diversas técnicas fotogramétricas se han tornado una herramienta de relevamiento más precisa y de menor costo (ALBY et al., 2009). También el desarrollo de software para el procesado de las imágenes ha contribuido a ampliar el espectro de posibilidades de aplicación de la fotogrametría en diversos campos: desde los sistemas de información geográfica y teledetección, hasta las disciplinas que abordan el análisis del territorio, relevamiento arquitectónico, tanto sea en la conservación del patrimonio cultural como en el proceso de proyecto, hasta aplicaciones en agronomía, arqueología e ingeniería.

En este último campo, más específicamente en lo referente al relevamiento de piezas mecánicas, este trabajo propone incursionar en un área de aplicación aún no explorada en profundidad en el relevamiento digital con el objeto de recuperar aquellas técnicas fotogramétricas que permitan la obtención de datos dimensionales de

precisión ya que “[...] *conocer las características métricas de la digitalización es imprescindible para acotar su ámbito de viabilidad*”. (MENNA et al., 2015).

“*El hecho de que las imágenes digitales contengan en sí mismas y de forma explícita los datos métricos para su explotación [...]*” (AZA, 2014), constituye el fundamento para que, luego del registro fotográfico de cada una de las piezas mecánicas seleccionadas, se realice el procesamiento de las mismas para la obtención del modelo geométrico y el posprocesamiento para la corrección de dicho modelo. Entendiendo por posprocesamiento “[...] *aquellas modificaciones que se realizan sobre el modelo geométrico después de la creación de la nube de puntos, la malla y la textura, es decir, después de la obtención final del modelo en el software de fotogrametría*”. (APARICIO RESCO, 2014).

De acuerdo con Menna et al. (2015) “[...] *actualmente nuevos algoritmos para análisis de imágenes digitales permiten mediciones rápidas y precisas semiautomáticas o automáticas*”. Así, entre las diversas técnicas fotogramétricas, la multi-imagen se ha hecho más accesible y de bajo costo debido a los avances tecnológicos y su vinculación con métodos propios de la visión artificial (MICHELETTI et al., 2015), con un procedimiento de captura no tan riguroso: con varias fotografías del objeto a relevar, se obtienen modelos geométricos tridimensionales de precisión aceptable para el relevamiento dimensional, en este caso para fines didácticos para la lectura y comprensión de objetos en el área de sistemas de representación en ingeniería.

Dentro del campo experimental y como antecedente valioso para este trabajo, en relación a la fotogrametría multi-imagen de tipo ‘estereoscópico’, se han realizado diversas experiencias con *Menci*[®] tanto con objetos de gran porte, como otros de pequeña escala a los efectos de conocer esta tecnología, la cual incluye como equipamiento particular un software propietario y un hardware específico: cámara digital réflex *Nikon*[®] D100, objetivo de 28 mm calibrado y trípode profesional con regla calibrada. La captura de imágenes de eje paralelo, propia de esta técnica, es asegurada por la regla calibrada sobre la cual se monta la cámara fotográfica. Esta regla mide 900 mm de largo y las diferentes tomas se realizan por conjuntos de tres fotografías denominadas tripletas, que se obtienen al deslizar la cámara fotográfica por la regla, permitiendo así, tomas fotográficas suficientes para obtener la información necesaria para posteriores procesamientos. Esta redundancia de la información obtenida por las tripletas hace que sea posible eliminar muchos de los problemas de oclusión y reducir los errores de *mismatching* o falso procesamiento de puntos, dando

la oportunidad de cotejar la correspondencia que se obtuvo en un par de imágenes y su verificación con la tercera fotografía (MENCI et al., 2007).

En este contexto y observando que, en el campo de la enseñanza del lenguaje gráfico de aplicación técnica, propio de la formación de grado de futuros Ingenieros, las técnicas fotogramétricas permiten el relevamiento de objetos pequeños que pueden emplearse como insumos didácticos, es que se decidió seleccionar un conjunto de piezas mecánicas para ser relevadas por la técnica descrita, tal como se ilustra en la Figura 1.

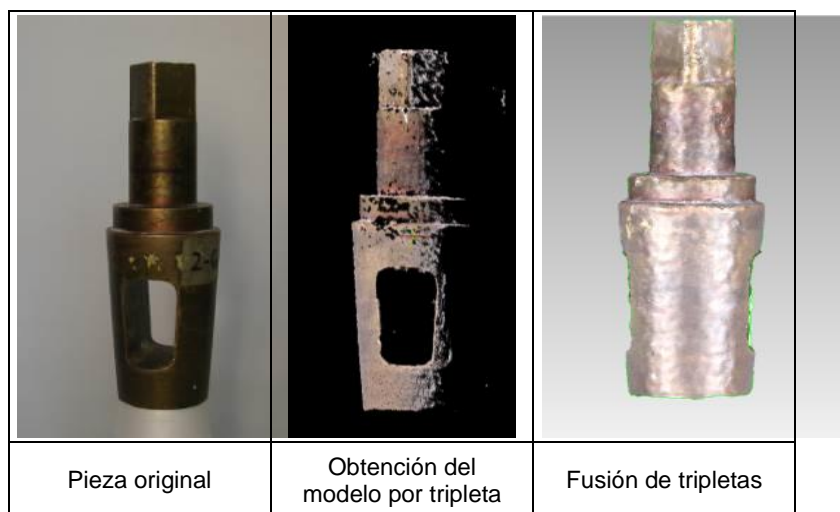


Figura 1 – Secuencia seguida empleando *Menci*[®] software
(Fuente: producción propia de los autores)

A partir de los datos obtenidos en el relevamiento realizado con el equipamiento *Menci*[®] y su software específico, se decidió incursionar en otras técnicas fotogramétricas, con especial énfasis en aquellas de acceso libre y/o bajo costo, con el propósito de realizar un análisis dimensional de carácter comparativo, el cual es el objeto de este trabajo.

2 Metodología

2.1. Selección de piezas mecánicas

El relevamiento o registro de piezas mecánicas es una práctica habitual, que generalmente se realiza mediante representaciones gráficas denominados croquis resueltos en sistema de Monge o perspectivas, donde prevalece el dibujo proporcionado y a mano alzada. Este tipo de representación gráfica, pese a su carácter de boceto, debe dar cuenta lo más acabadamente del objeto, ya que, con los

datos de esa imagen y sus dimensiones, se podrá realizar el consiguiente plano técnico de precisión con algún programa específico de CAD.

Dentro de las prácticas de aprendizaje de los alumnos de Ingeniería, el croquizado de piezas mecánicas a partir de modelos reales es una actividad fundamental. La Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia – Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada (UIDET-GIGA) ha compilado y clasificado las piezas que forman parte de su acervo, atendiendo a su complejidad morfológica y según un criterio de dificultad creciente (FUERTES et al., 2008 y 2009).

Esta clasificación ha resultado un punto de partida para la selección de piezas para su tratamiento fotogramétrico. Las piezas seleccionadas (2-64-1 y 4-14-1) se presentan en la Figura 2 con una breve caracterización morfológica.

Selección de piezas mecánicas			
1-21-1	2-64-1	4-14-1	4-19-1
			
Pieza de revolución de baja complejidad y agujero pasante.	Pieza simétrica de mediana complejidad, y gran agujero transversal	Pieza de revolución con base y agujeros cilíndricos pasantes.	Pieza simétrica con sectores de revolución con ejes oblicuos.

Figura 2 - Imágenes fotográficas de las piezas mecánicas seleccionadas
(Fuente: producción propia de los autores)

2.2. Registro fotográfico y procesamiento

A continuación, se presenta una breve caracterización de diferentes aplicaciones propietarias y de acceso libre, como también de bajo costo, que se utilizaron para realizar el análisis dimensional a partir de las mismas piezas mecánicas relevadas con *Menc*[®]. En cada una de ellas se especifica el tipo de técnica fotogramétrica en la que se enmarca, cómo se resuelve la toma de fotografías del objeto a relevar, las condiciones del relevamiento y aspectos del procesamiento de las imágenes. Es importante destacar que se utilizó luz ambiente en todas las instancias de captura de imágenes.

2.2.1 - 123D[®] Catch

El software *123D[®] Catch* es una aplicación fotogramétrica de descarga gratuita. La cámara fotográfica utilizada para esta experiencia fue una *Sony[®] DSC-H2*. La toma de imágenes es de eje convergente y se logra rodeando la pieza para realizar las diferentes capturas.

El procesamiento de las imágenes se realiza en la nube, eximiendo al usuario de contar con una computadora con gran capacidad de procesamiento. El resultado obtenido es un único modelo de malla con textura que se exporta en formato *OBJ* (LARA et al., 2015), Figura 3.



Figura 3 – Secuencia seguida empleando *123D[®] Catch*
(Fuente: producción propia de los autores)

Actualmente, *Autodesk[®]* ha discontinuado su desarrollo, ofreciendo *ReMake[®]* como alternativa para la generación de mallas 3D de precisión a partir de fotografías.

2.2.2 - 3Dsom[®]

La aplicación *3Dsom[®]* es un software propietario que genera modelos geométricos tridimensionales a partir de imágenes múltiples. Para esta experiencia se utilizaron las cámaras *Sony[®] DSC-H2* y *Sony[®] DSC-W110*. La toma de imágenes es también de eje convergente y se logra girando la pieza luego de cada captura.

La pieza elegida se coloca sobre un soporte en el centro de una matriz radial de puntos provista por el mismo software. Se deben tomar entre 16 y 30 fotografías girando la pieza, en dos series con distinto ángulo, para que el software pueda procesar las imágenes en función de los puntos de la matriz de referencia que acompaña el giro del objeto.

Es importante aclarar que se empleó una versión de demostración y que como en el caso anterior, los modelos tridimensionales generados se exportaron en formato *OBJ* (GAVINO et al., 2008), Figura 4.

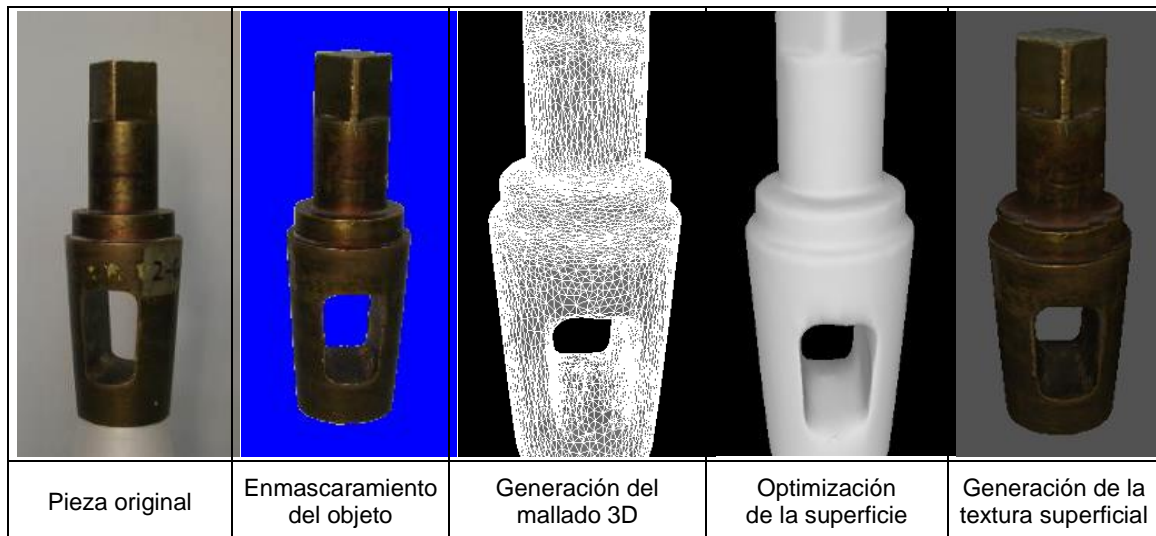


Figura 4 – Secuencia seguida empleando *3Dsom*[®]
(Fuente: producción propia de los autores)

2.2.3 - Agisoft Photoscan[®]

Este software es también propietario y el procesamiento que realiza de reconstrucción 3D a partir de fotografías está basado en la tecnología multi-imagen. Opera con fotografías arbitrarias y en condiciones controladas y no controladas de relevamiento como iluminación, secuencia y cantidad de imágenes, posición del objeto a relevar.

Las fotografías se pueden tomar de cualquier ángulo y se debe considerar que el aspecto a documentar sea visible en al menos dos imágenes. Tanto la alineación de la imagen como la reconstrucción del modelo geométrico están totalmente automatizadas. Las fotografías son las mismas que se han utilizado con *123D[®] Catch*. Los resultados obtenidos son exportados en formato *OBJ*, Figura 5.



Figura 5 – Secuencia seguida empleando *Agisoft Photoscan*[®]
(Fuente: producción propia de los autores)

2.2.4 - Blender y Geomagic[®]

Blender[®] es un software libre de modelado, iluminación, renderizado y animación tridimensional. Se lo utiliza principalmente para la creación de entornos de video juegos. Particularmente para el trabajo con mallas permite hacer retopología, conjunto de operaciones que permiten obtener una malla de baja densidad poligonal y generar una nueva malla sobre la base de la malla anterior. En esta experiencia se ha aplicado esta técnica a través de esta aplicación para la toma de medidas sobre la malla obtenida por fotogrametría.

Geomagic Studio[®] es un software propietario para el procesamiento de nubes de puntos y el tratamiento de mallas obtenidas por cualquiera de las técnicas de documentación. Para esta experiencia se han utilizado las herramientas de generación de sólidos primitivos paramétricos para la obtención de medidas de la malla original.

2.3. Toma de dimensiones

En primer lugar, se procedió a la toma de dimensiones de las piezas seleccionadas con un calibre tipo *pie de rey* universal, sobre los tres ejes cartesianos para permitir aproximar un resultado de precisión respecto de cada uno de los mismos. Las medidas relevadas, expresadas en milímetros, se presentan en la Figura 6.

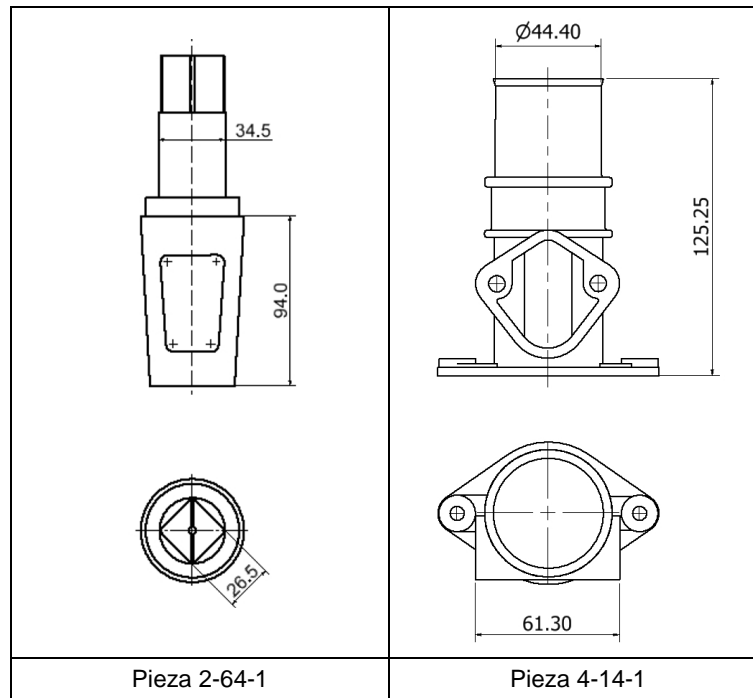


Figura 6 – Resultado de la toma de dimensiones reales
(Fuente: producción propia de los autores)

Dadas las dificultades respecto de la toma de medidas de los modelos geométricos tridimensionales debido a lo arbitrario que resulta seleccionar puntos de la malla y para asegurar un resultado más confiable a ser evaluado, se realizaron dos mediciones con estrategias diferentes:

- *Método A:* medición sobre la malla utilizando la herramienta *Iteractive ruler* de *Blender*[®]: luego de importar el modelo, se ajusta la escala, se referencia al sistema de coordenadas y se eligen dos puntos sobre la malla para determinar la medida Figura 7.
- *Método B:* medición sobre el modelo paramétrico obtenido por el reconocimiento de figuras y/o volúmenes: luego de importar el modelo a *Geomagic Studio*[®], se ajusta la escala, se referencia al sistema de coordenadas y se selecciona qué parte de la malla corresponde a un cuerpo geométrico primitivo, por ejemplo, cilindro. Luego, el software calcula el cilindro óptimo para esa selección e informa el diámetro y altura del mismo (LOPRESTI et al., 2014), Figura 8.

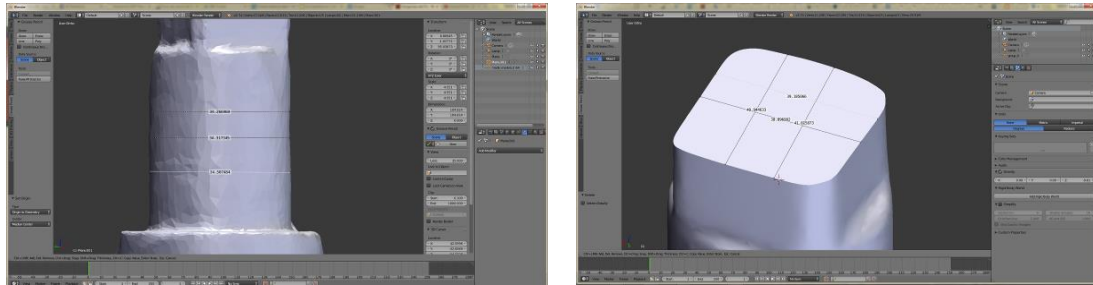


Figura 7 – Verificación de medidas con *Blender*[®]
(Fuente: producción propia de los autores)

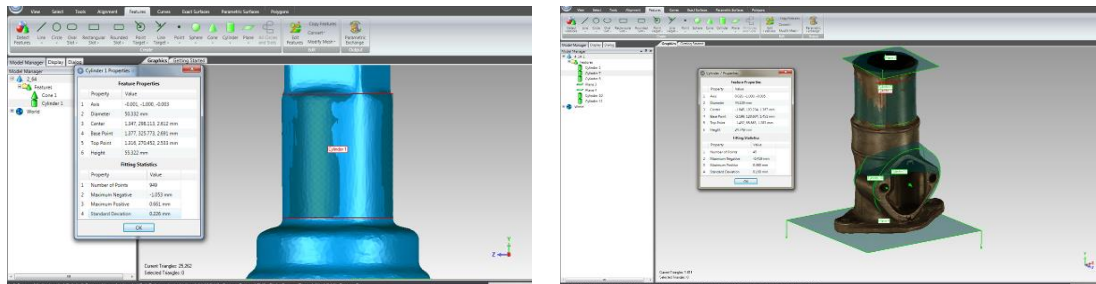


Figura 8 – Verificación de medidas con *Geomagic Studio*[®]
(Fuente: producción propia de los autores)

3 Análisis dimensional y comparación

En las Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos con ambos métodos (A y B) para la medición del modelo digital de las piezas 2-64-1 y 4-14-1.

Tabla 1 - Detalle de mediciones realizadas en el modelo digital (pieza 2-64-1)

	Medidas reales [mm]	3Dsom A	3Dsom B	PhotoSc A	PhotoSc B	123D A	123D B	Menci A	Menci B
1	26.50	26.60 26.61 27.10	26.60 26.60 26.60	26.85 26.65		26.15 26.17	26.00 25.90 25.42	25.59 25.69 25.36	
2	34.50	35.38 35.60 35.74	35.23 34.31	34.19 34.25 34.28	34.14 33.76 34.66	34.26 34.31 34.50	35.35 34.53 35.06	33.81 33.86 34.12	34.20 34.06 34.09
3	94.00	91.28 91.49	92.67 90.27	92.69 92.95 92.79	94.50 94.51	95.03 94.77	94.70	94.28 94.37 94.48	94.27 94.50 94.10
	Precisión +/-	+1.24 -2.72	+3.73 -0.19	+1.31 -0.54	+0.51 -0.74	+ 1.03 - 0.45	+0.85 -1.19	+0.48 -1.14	+0.50 -0.44

Tabla 2 - Detalle de mediciones realizadas en el modelo digital (pieza 4-14-1)

	Medidas reales [mm]	3Dsom A	3Dsom B	PhotoSc A	PhotoSc B	Menci A	Menci B
1	61.30	60.65 60.11 60.68	59.20 60.20 60.08		60.15	61.69 61.36 61.14	61.90 60.27
2	44.40	44.57 44.41 44.27	44.40 44.12 44.06	42.38 42.20	42.39 42.40	43.20 43.60	43.50 43.53 43.91
3	125.25	125.78 125.53 125.84	124.33 123.96	126.98	122.31 123.40	126.61 126.49	124.26
	Precisión +/-	+0.59 -1.19	-2.10	+1.73 -2.20	-2.94	+1.36 - 1.20	+0.60 -1.03

4 Conclusiones

Analizando las Tablas 1 y 2, se observa que la diferencia entre los valores obtenidos con *Menci*[®] y los obtenidos con las otras técnicas fotogramétricas indican que el procedimiento de toma de fotografías controlado y con hardware propietario, aunque no está considerado dentro de concepto de bajo costo, da resultados más precisos y sin diferencias importantes con el resto de los valores mostrados.

Los resultados obtenidos con *3Dsom*[®], según se aprecia en la Tabla 1, ítem 3, se alejan en alguna de las medidas en más de 3 mm de la dimensión real. Esto podría atribuirse a las condiciones de iluminación en la toma de fotografías, el número de imágenes capturadas y la resolución de la cámara fotográfica. Por su parte los valores presentados en la Tabla 2, con igual procedimiento y software, son más acordes a las dimensiones del objeto relevado. Se debe destacar aquí que la exactitud geométrica de la malla obtenida con *3Dsom*[®], respecto de los modelos obtenidos con las demás aplicaciones, es mucho menor ya que esta aplicación utiliza la textura para generar la morfología que no puede crear por sí misma.

Con *123D*[®] *Catch* se ha arribado a valores de precisión similares a los obtenidos con *Menci*[®] y con el método A de medición (Tabla 2). Estos resultados no se aprecian en el método B. Esto podría indicar que el modelo digital procesado con este software tiene una mayor precisión dimensional cuando se extrae una distancia lineal entre dos puntos de la malla que si se reconstruye el modelo geométrico con la información dimensional de toda la malla.

En la Tabla 2 se observa que la precisión obtenida, en el modelo procesado con *Agisoft Photoscan*[®] con el método A y B, es significativamente menor que la precisión obtenida en la Tabla 2. Esa diferencia puede atribuirse a las condiciones de luz y la coloración de pieza: una coloración bronce responde mejor que una coloración gris en condiciones de luz ambiente.

En las técnicas utilizadas la calidad de los datos dimensionales de la geometría está claramente ligada a la calidad de imagen capturada y a la superposición de información y redundancia en cada toma. Geometrías como agujeros o concavidades suelen proporcionar datos incorrectos dado que la luz no llega y por ende la cámara fotográfica no los registra. En cada secuencia fotográfica es necesario respetar los procedimientos descritos para garantizar un resultado adecuado en el menor tiempo posible.

Dada la cantidad de variables que se conjugan en los resultados del presente análisis dimensional, se requiere estudiar el impacto de cada una de estas variables,

para verificar su comportamiento por separado: el color de la pieza a relevar, las condiciones de iluminación, las características morfológicas, el procesamiento con diferentes softwares y los métodos de medición para determinar las dimensiones desde el modelo digital.

Finalmente, y en relación a la morfología de las piezas seleccionadas, se han comparado aquellas de características similares, es decir, piezas con predominancia del eje vertical en su configuración. Los resultados obtenidos con las diferentes técnicas muestran alcances aceptables de precisión para su empleo como insumos didácticos, lo cual alienta a completar a futuro los relevamientos de los otros dos casos: pieza 1-21-1 (de revolución, baja complejidad y agujero pasante) y pieza 4-19-1 (morfología simétrica con sectores de revolución y ejes oblicuos).

Agradecimientos

La experiencia inicial con *Menci*[®] fue posible a partir de la articulación entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina) con la *Università degli Studi* di Salerno (Italia) que ha cedido el equipamiento y el software de procesamiento. Nuestro agradecimiento al *Dipartimento di Ingegneria Civile* de dicha Universidad, en particular al Dr. Salvatore Barba.

Referencias

ALBY, E.; SMIGIELA, E.; ASSALIA, P.; GRUSSENMEYERA, P.; KAUFFMANN-SMIGIEL, I. **Low cost solutions for dense point clouds of small objects: Photomodeler scanner vs. David Laser scanner.** En: 22nd CIPA Symposium, Actas ISBN: 978162993364, Kyoto, 2009.

APARICIO RESCO, P. **Postprocesos de modelos fotogramétricos de escultura marmórea: refinado de la superficie, retopología y policromía.** En: LDL-C Workshop Internacional: Levantamiento Digital Low-Cost, Actas ISBN: 978848448818, Valladolid, 2014.

AZA, M. **Nuevas Técnicas Digitales en la Documentación Gráfica del Patrimonio.** En: Ventajas del método fotogramétrico en Cromia 2.0. Disponible en <http://pruebas.groma20.com/Nuevas%20Tecnicas%20Digitales%20Para%20la%20Documentaci%C3%B3n%20y%20Virtualizaci%C3%B3n%20del%20Patrimonio.pdf>. Acceso en: 30 ago. 2017.

FUERTES, L.; GAVINO, S.; LOPRESTI, L.; Defranco, G. **Aspectos de la forma en dibujos de aplicación técnica.** En: SEMA 2009 - VII Congreso Nacional y IV Congreso Internacional, Actas ISBN 978-987-25375-0-0, Tucumán, 2009.

FUERTES, L.; LOPRESTI, L.; GAVINO, S.; RISTEVICH, A. DEFRANCO, G. **De los sistemas CAD al modelado paramétrico: una experiencia de innovación en la enseñanza de dibujo tecnológico en ingeniería.** En: EGRAFIA 2008 – VI Congreso Docentes de Expresión Gráfica en Arquitectura y Áreas Afines, Actas ISBN 978-950-605-579-0, San Juan, 2008.

GAVINO, S., FUERTES, L., LOPRESTI, L., LARA, M., DEFRANCO, G. **Objetos de Aprendizaje para los Sistemas de Representación: Modelos 3D a partir del Registro Fotográfico de Piezas Mecánicas.** En: Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico e International Conference on Graphics for Arts and Design “*Expressão Gráfica - Tecnologia e Arte para Inovação*”, Actas ISBN 978-85-60522-83-5, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GUIDI, G.; RUSSO, M.; BERARDIN, J. **Acquisizione 3D e modellazione poligonale.** Milán: McGraw-Hill, 2010.

LARA, M.; LOPRESTI, L.; DEFRANCO, G. **Relevamiento fotogramétrico de bajo costo para piezas mecánicas.** En: Jornadas de Jóvenes Investigadores (AUGM), 23, 2015, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2015.

LOPRESTI, L.; DEFRANCO, G.; LARA, M.; FUERTES, L.; GAVINO, S.; BARBA, S.; Fiorillo, F. **Procedimiento para la generación de modelos 3D paramétricos a partir de mallas obtenidas por relevamiento con láser scanner.** En: EGRAFIA 2014 - V Congreso Internacional de Expresión Gráfica y XI Congreso Nacional de Profesores de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y Áreas Afines, Actas ISBN 978-88-97821-80-9, Rosario, 2014.

MENCI, L.; NEX, F.; RINAUDO, F. **Zscan Menci Software: un nuovo strumento per le elaborazioni fotogrammetriche multimmagine.** En: Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto, Turín, 2007.

MENNA F., S. TROISI A. **Low cost reverse engineering techniques for 3D modelling of propellers.** En: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle, 2010.

MICHELETTI, N.; CHANDLER, J.; LANE, S. **Structure from Motion (SFM) Photogrammetry.** En: Geomorphological Techniques, Chap. 2, Sec. 2.2, ISSN 2047-0371, British Society for Geomorphology, London, 2015.