

METODOLOGÍA PARA LA CORRECCIÓN DE DISTORSIÓN GEOMÉTRICA Y RECONSTRUCCIÓN 3D DE UN OBJETO MEDIANTE PERFILOMETRÍA WAVELET 1D

Claudia Victoria López Torres

Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario
azul.cielo.2007@gmail.com

Gonzalo Elías Blanco Silva

Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario
gblanco25@alumnos.uaq.mx

Jesús Carlos Pedraza Ortega

Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario
caryoko@yahoo.com

Juan Manuel Ramos Arrequín

Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario
jramos@mecamex.net

José Emilio Vargas Soto

Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario
emilio@mecatronica.net

Mayra Azucena Cíntora García

Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario
Mayra.12.1@hotmail.com

Resumen

Los métodos de reconstrucción 3D con base al análisis de patrones de franjas, son ampliamente usados para la obtención de profundidad de objetos basándose en una o más imágenes, debido a que son técnicas no invasivas con alta velocidad de procesamiento. Sin embargo, son susceptibles a errores ocasionados

por distorsiones provocadas por ángulos focales tanto del proyector, la cámara, como del ángulo de separación entre estos. Problemática que es abordada en el presente trabajo mediante una propuesta metodología de corrección de distorsión geométrica la cual se encarga de corregir distorsiones ocasionadas por agentes externos al método. La metodología presentada es aplicada a un objeto real, el cual cuenta con distorsión geométrica, para la obtención de resultados previos a la corrección de distorsión y resultados posteriores a la corrección, empleando MatLab, Perfilometría Wavelet 1D y variación del número de franjas proyectadas.

Palabras Claves: Distorsión geométrica, perfilometría Wavelet, reconstrucción 3D.

Abstract

Due to the non-invasive and high processing speed characteristics of 3D reconstruction methods based on fringe pattern projection, they are widely use to obtain object's depth based on one or more images.

However, these techniques are susceptible to errors caused by distortions coming from the view angle respect to the camera and projector. This problem is addressed on the present work, which proposes a methodology to correct geometric distortion due to external issues to the method. The presented methodology is applied to a real object, in different situations, the first is with the distortion and the second is with the corrected distortion. For this purpose, a MatLab algorithm is developed; also the 1D Wavelet transform profilometry is implemented with the variation of the projected fringe number.

Keywords: *Distortion correction, Wavelet profilometry, 3D Reconstruction.*

1. Introducción

Hoy en día, el continuo desarrollo de la ciencia y la tecnología, se considera en algunos países una variable prioritaria para la generación de desarrollo y productividad de casi todos los sectores que conforman dicho territorio. Desarrollo que trae consigo un incremento en la demanda de desarrollo de herramientas que permitan la mejora continua en la calidad de los procesos. Problemática que vista

desde un punto de vista de procesamiento digital de imágenes, recae en la necesidad de disponer de métodos digitales sofisticados que remarquen la necesidad de precisión. Involucrando sin lugar a dudas la calidad y consistencia perceptual de las imágenes involucradas para dicho procesamiento, las cuales pueden afectar los resultados obtenidos acorde a las circunstancias bajo las cuales estas fueron concebidas [Stockham, 1972].

Donde la calidad y consistencia perceptual se puede ver afectada de múltiples formas, ya sea por agentes externos como el entorno de iluminación [Gross, 2003] [Zhang, 2009] o sombras [Salvador, 2004], o bien por agentes internos al sistema de captura como son funciones de transferencia [Sobol, 1993] [Devlin, 2006], rangos de iluminación limitados [Devlin, 2006], distorsión radial debido al tamaño del lente [Melo, 2012], factor de escala y enfoque [Lenz, 1987] [Beardsley, 1992], entre otros. O bien debido a la localización del objeto respecto del sistema de captura [Beardsley, 1992], [Waki, 2004].

Este último factor, es decir la localización del objeto respecto al sistema de captura, aunado a la distorsión causada debido al tamaño del lente, juega un papel crucial en las áreas de procesamiento de imágenes donde se requiere capturar una escena, con la menor distorsión posible. Tal es el caso de trabajos centrados en proyección de patrones espaciales sinusoidales y la extracción de distribuciones de fase de dichos patrones deformados, para la reconstrucción 3D de un objeto con base a una o más imágenes bidimensionales, comúnmente llamados métodos de Perfilometría [Berryman, 2003]. Proceso que requiere, considerar un ángulo de separación entre una fuente de iluminación (proyector) y el sistema de captura [Pedraza, 2007]. Lo cual en la mayoría de los casos ocasionará distorsiones en la imagen capturada, ajenas a las deformaciones ocasionadas por los patrones proyectados, y por tanto la calidad perceptual de la imagen se encontrará comprometida, afectando directamente la precisión del proceso.

Problemática que puede ser abordada mediante la adaptación de algoritmos que permitan una localización de la escena a capturar y corrijan distorsiones ajenas a las ocasionadas por las deformaciones de los patrones proyectados, tal es el caso

de [Beardsley, 1992], el cual emplea correcciones mediante secuencias de imágenes proyectadas previamente, las cuales establecerán un punto de referencia para la profundidad focal y relaciones de aspecto, la cual debe ser modificada y adaptada para corregir al mismo tiempo la distorsión geométrica, ocasionada por el ángulo de separación. O bien, con base en [Waki, 2004], proyectar secuencias de patrones y mediante distintos proyectores, posicionados alrededor de la escena corregir la distorsión geométrica.

Basándose en estos antecedentes y teniendo como finalidad corregir la distorsión radial, ocasionada por el ángulo de separación del proyector y la cámara, en procesos de Perfilometría, el presente trabajo propone una metodología y método de corrección de distorsión geométrica, empleando la proyección de un patrón de líneas previo a la proyección del patrón sinusoidal, sobre el objeto a fin de corregir la distorsión geométrica, sin la adición de algún otro componente. Dicha metodología será probada sobre el método de Perfilometría Wavelet en 1D [Zhong, 2004], a fin de obtener una reconstrucción 3D de dos objetos reales.

El presente trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta la metodología propuesta para el proceso de corrección geométrica y la metodología empleada en el proceso de reconstrucción 3D de un objeto mediante Perfilometría Wavelet. Posteriormente los resultados son mostrados en la sección 3 y por último se presentan las discusiones y conclusiones del presente trabajo en las secciones 4 y 5 respectivamente.

2. Métodos

Partiendo de la premisa de realizar una corrección geométrica se procede a proponer dos casos uno en el cual se requiera únicamente de cuatro puntos y el uso de un algoritmo de transformación geométrica en el cual los puntos convergen hacia un punto de fuga, ocasionado por un ángulo de inclinación entre la ubicación de los mismos y la ubicación deseada. Y un segundo caso en el cual cuatro puntos no es suficiente para realizar una correcta modificación, para lo cual se siembra una serie de puntos dentro de los primeros cuatro a fin de realizar transformaciones geométricas entre series de cuatro puntos. Con base en esto se

propone el patrón mostrado en la figura 1. El cual presenta un área en blanco la cual permite mediante el uso de sus esquinas localizar cuatro puntos para efectuar una corrección de cuatro puntos y los puntos intermedios marcados en rojo permiten realizar una corrección por zonas intermedias a ellos.

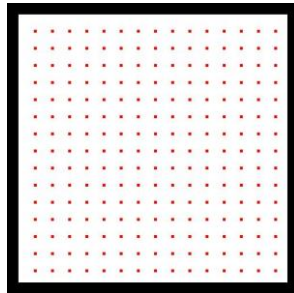


Figura 1 Patrón propuesto para corregir la deformación geométrica.

Con base en el patrón previamente mostrado se propone para el primer caso la metodología mostrada en la figura 2. La cual parte de la adquisición mediante la cámara del patrón proyectado, para posteriormente binarizar dicha imagen y a continuación eliminar ruido en los bordes de la imagen y localizar el área más grande es decir la presentada en color blanco, considerando que se desean los cuatro puntos correspondientes a sus esquinas, en base a estos puntos y los puntos de localización deseados se obtiene una matriz de transformación geométrica, la cual si es aplicada a el área segmentada corregirá la distorsión geométrica. Para lo cual dicha metodología proporcionara las coordenadas correspondientes al área y la transformación geométrica a aplicar, cabe mencionar que esta área corresponde al lugar donde se localizara el patrón sinusoidal proyectado.

Para el segundo caso en el cual se requiere una mayor precisión, se propone la metodología presentada en la figura 3, la cual continua una vez corregida la distorsión en el área mayor, y en la cual se prosigue a localizar los puntos marcados en rojo e identificar sus centros, teniendo un total de 225 puntos los cuales agrupados en grupos de cuatro puntos cercanos al igual que para el área mayor se obtendrá matrices de transformación geométrica y un ajuste de escala, para posteriormente apilarlos en una nueva imagen la cual poseerá, corrección por

zonas de cuatro puntos, para este caso el patrón sinusoidal proyectado deberá localizarse dentro del área que contiene puntos rojos.

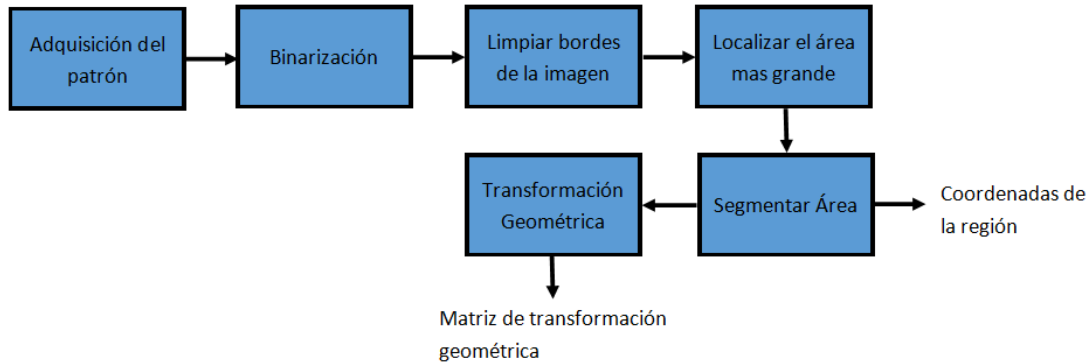


Figura 2 Metodología propuesta para corregir la deformación geométrica.

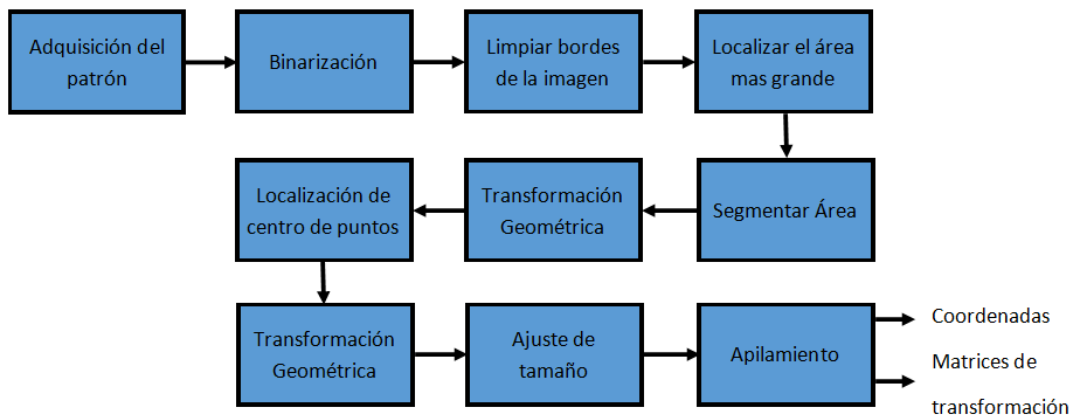


Figura 3 Metodología propuesta para corregir la deformación geométrica del patrón proyectado en base a regiones.

Cabe denotar que el uso de puntos rojos es debido a su fácil localización mediante el uso de canales RGB, ya que el patrón además de estos solo contiene valores en cero o que saturan los tres canales.

La metodología propuesta para el proceso de reconstrucción 3D, se muestra en la figura 4. Aplicando la Perfilometría Wavelet (WP) para llevar a cabo la reconstrucción 3D del objeto. La metodología, la cual consta de 9 pasos para la parte donde se implementa la corrección del patrón. Como primer paso se adquiere el patrón de líneas, el cual es capturado por una cámara como se explicó anteriormente, el segundo paso es la adquisición de la imagen, en este caso la

imagen usada es una imagen de un objeto real, para el tercer paso se lleva a cabo al corrección del patrón incluyendo la imagen, en este caso la imagen es redimensionada a una de 512 x 512 pixeles, para tener una consistencia durante todo el proceso. En el cuarto paso la frecuencia f_0 es calculada de acuerdo al número de franjas proyectadas sobre el objeto. La importancia de la f_0 , es brindar la información correspondiente a la altura el objeto en cada pixel, la cual permite obtener su reconstrucción 3D. El quinto paso es aplicar al objeto la Perfilometría Wavelet. Después de que el filtro f_0 es aplicado en el sexto paso, el paso siguiente, el séptimo la transformada inversa es aplicada. La fase envuelta es obtenida en el octavo paso, esta fase envuelta representa el mapa de fase, el cual es el que contiene la información de la altura del objeto. La fase desenvuelta es obtenida en el noveno paso. Para la comparación del método, se muestra el mismo proceso, pero sin los pasos 1 a 3 sobre el mismos objeto real, obteniendo con ello su reconstrucción para la validación del método.

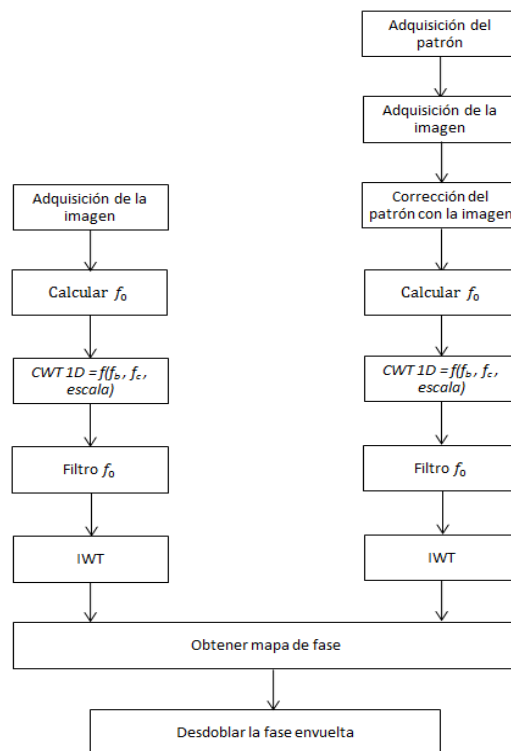


Figura 4 Metodología propuesta para la reconstrucción 3D con WTP.

La figura 4 describe el método propuesto para enmarcar los resultados del presente trabajo.

En la metodología (paso 5), es necesario determinar el tipo de Transformada Wavelet, la Transformada Continua Wavelet CWT es la suma que cubre el intervalo de tiempo completo de la señal, [Arellano, 2003] donde la señal original se obtiene al multiplicar cada uno de los coeficientes por la wavelet escalada y trasladada. El cambio de escala está determinado por ecuación 1.

$$\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{x}{a}\right) \quad (1)$$

Donde $a > 0$

Por otro lado, la translación se define en la ecuación 2.

$$\psi(x - b) \quad (2)$$

Así bien, la translación y el cambio de escala en una dimensión está dada por la ecuación 3.

$$\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{x - b}{a}\right) \quad (3)$$

Donde, $a > 0, b \in \mathbb{R}$

Basado en estas variaciones de coeficientes surge la familia de wavelets, entre las cuales se encuentra la transformada Morlet Compleja, la cual es implementada en el presente trabajo, dado que presenta un mejor desempeño con respecto a otras transformadas Wavelets Complejas, [López, 2012]. La transformada wavelet Morlet está definida por la ecuación 4.

$$\Psi(x) = \pi^{-1/4} \exp(i2\pi w_0 x) \exp(-x^2/2) \quad (4)$$

Donde de la ecuación 5.

$$\text{morl}(x) = e^{-x^2/2} \cdot \cos(5x) \quad (5)$$

Donde, $i = \sqrt{-1}$ $w_0 = \text{Frecuencia de la Wavelet Morlet}$

La transformada wavelet compleja permite hacer la descomposición de la señal (la imagen) en su parte real e imaginaria, obteniendo así un conocimiento mayor de la imagen. La Wavelet Morlet será la función madre que alimentará a la Transformada Wavelet, y llevará a cabo el proceso llamado Perfilometría Wavelet.

La fase envuelta, se obtiene a través de la aplicación de la transformada wavelet compleja, en este punto la parte imaginaria brinda el mapa de fase del objeto, (fase envuelta). El algoritmo de Itoh, [Itoh, 1982] el cual trabaja a través de un proceso de integración, es utilizado para obtener la fase desenvuelta (reconstrucción 3D). La figura 5 inciso a muestra el mapa de fase del objeto utilizado en este trabajo, del cual se toma un renglón (el renglón correspondiente a la línea 300 dentro del mapa de fase), el perfil de este renglón es mostrado en la figura 5 inciso b.

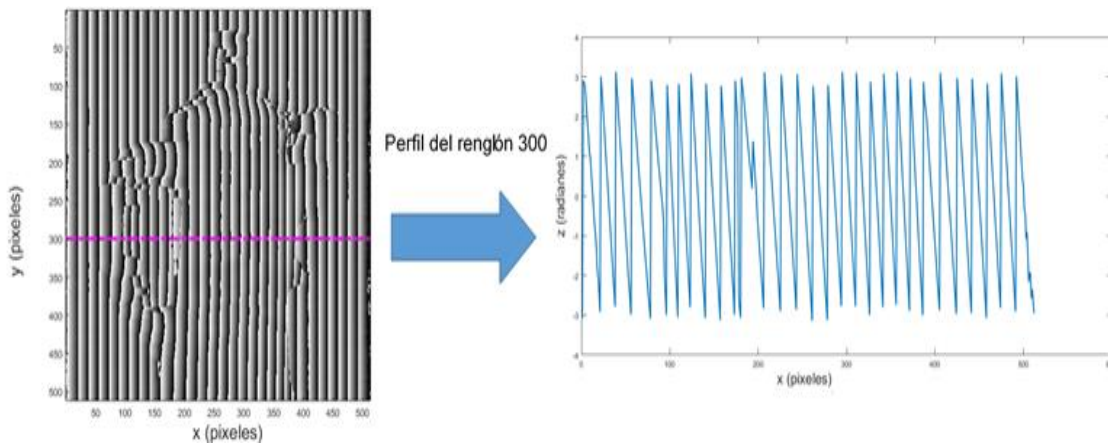


Figura 5 Representación del perfil de un renglón del mapa de fase (fase envuelta).

El objeto mide 185 por 195 mm. La imagen es de 512 por 512 píxeles. Por lo tanto, la resolución espacial del objeto utilizado en este trabajo es de 2.108 mm/píxel en el eje x, así como 2.238 mm/píxel en el eje y. Por otro lado, para el eje z las unidades están normalizadas (entre 0 y 1), donde el valor mínimo de z es 0 lo cual corresponde a 0 mm, así como el valor máximo de z es de 1 que corresponde a 32 mm.

3. Resultados

En esta sección se muestran las pruebas realizadas sobre un objeto real previamente capturado con un patrón de franjas en condiciones normales, tal como se aprecia en la figura 6. Previo a esto un patrón de franjas es proyectado sobre la superficie, la forma ideal del patrón es mostrada en la parte superior izquierda, sin embargo, es susceptible a distorsiones geométricas ocasionadas por

la cámara, el proyector y la distancia entre ambos, mostrado en la parte inferior izquierda de la figura 6. Por consiguiente es empleada la metodología propuesta para la corrección de la distorsión obteniendo las matrices de transformación y las coordenadas donde estas son aplicadas, corrigiendo de esta manera los patrones sinusoidales, proyectados sobre el objeto (parte superior derecha), obteniendo así patrones de franjas corregidos.

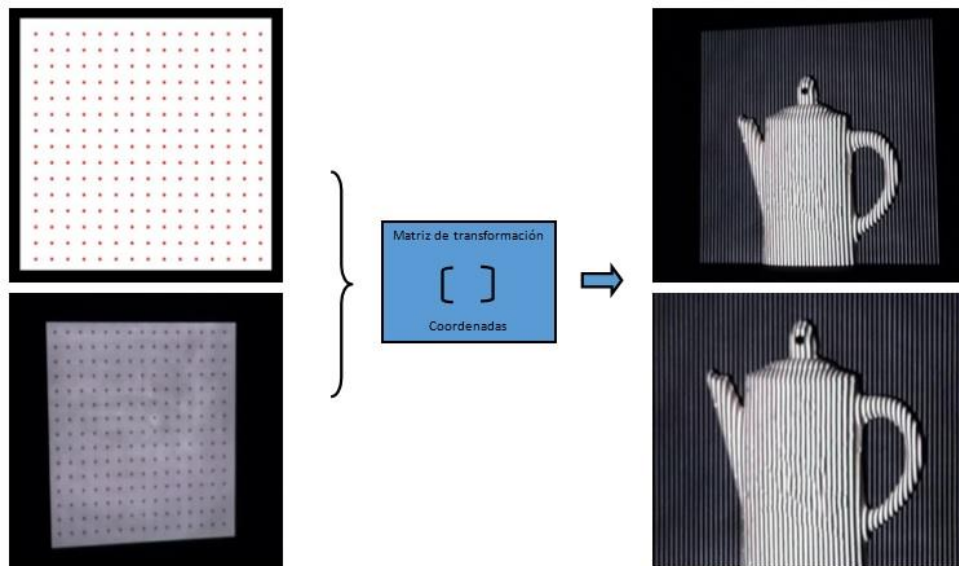


Figura 6 Proceso de transformación para corrección de distorsión geométrica de la imagen de entrada.

Con base en lo anterior son obtenidos resultados tanto de patrones con distorsión y sin distorsión, variando el número de franjas. A continuación, la figura 7 inciso a muestra la captura del objeto con un patrón de 16 franjas. Se observa que el objeto está distorsionado y las franjas no son verticales. En la figura 7 inciso b se puede ver el mapa de fase obtenido después de aplicar la metodología propuesta. El número de franjas calculado es de 16. En esa misma imagen se puede observar que existen zonas en el mapa de fase que tienen variaciones significativas en los valores de la fase, esto es, hay muchos valores de alta frecuencia que provocan ruido y que se ocasionan por aquellas regiones en donde no existe una franja proyectada. En la figura 7 incisos c y d, se observa la reconstrucción 3D del objeto en una vista superior y otra inclinada. Se puede

observar que la forma del objeto no está bien definida y por lo tanto tampoco está definida la altura de este.

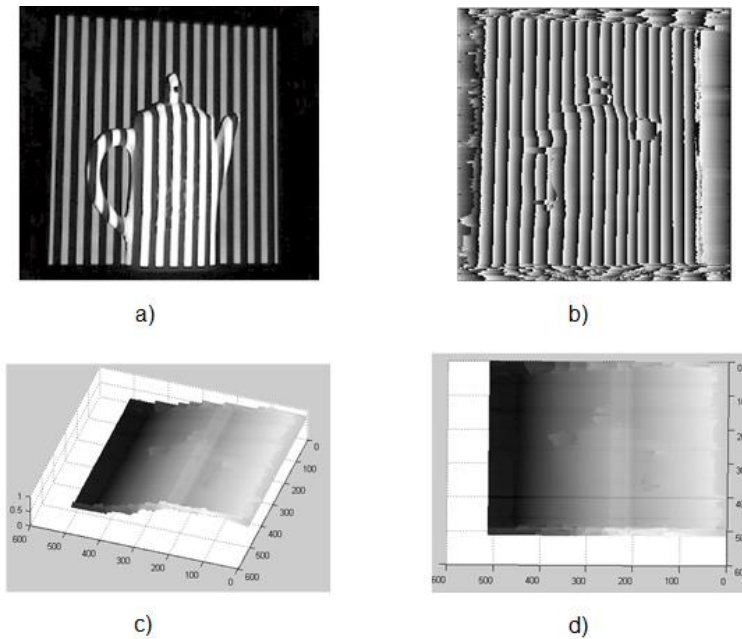


Figura 7 Reconstrucción 3D de un objeto sin aplicar la etapa de corrección de distorsión geométrica.

De manera similar a la figura previamente presentada, la figura 8 inciso a muestra el patrón de franjas sinusoidal del objeto empleando 16 franjas, La figura 8 inciso b presenta el mapa de fase, mientras la reconstrucción 3D del mismo se muestra en la figura 8 incisos c y d. El conjunto de figuras es obtenido empleando la corrección propuesta en la figura 6, en donde se aprecia que la reconstrucción 3D sobre el mismo objeto, muestra una mejora una vez empleada la corrección geométrica de la distorsión. Esta mejora se aprecia a simple vista con respecto a la reconstrucción anterior, dado que tiene una mejor definición en su reconstrucción, debido a que las franjas ya no se encuentren inclinadas como en la figura original en la que no se aplicó dicha corrección.

En la figura 9 incisos a y c, se muestra el mismo objeto, con 32 y 64 franjas proyectadas, y con la corrección aplicada. Estos valores de franjas tal como se pueden apreciar en la figura 9 incisos b y d, presentan una reconstrucción 3D respetivamente para cada uno. Aportan una mejor reconstrucción a mayor número

de franjas donde es visible una reducción tanto en ruido como de mejora en la definición del objeto.

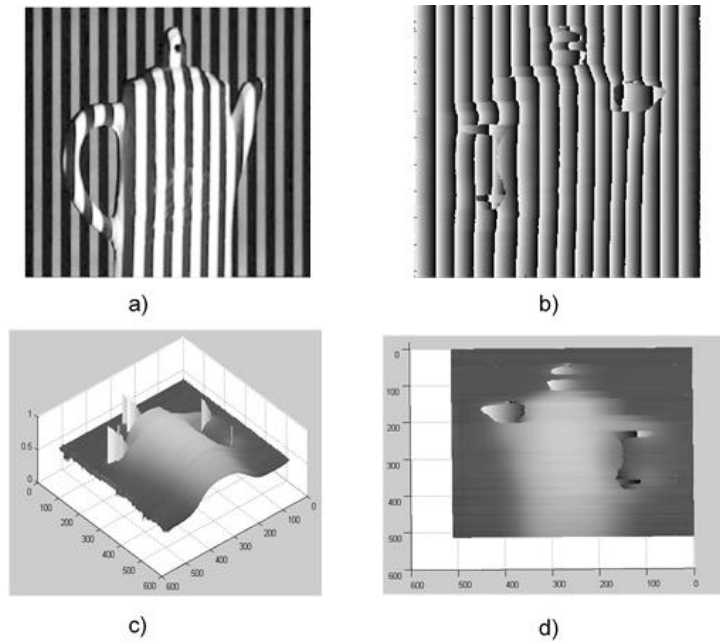


Figura 8 Reconstrucción 3D de un objeto aplicando corrección de distorsión geométrica con el mismo número de franjas que el objeto de la figura 7.

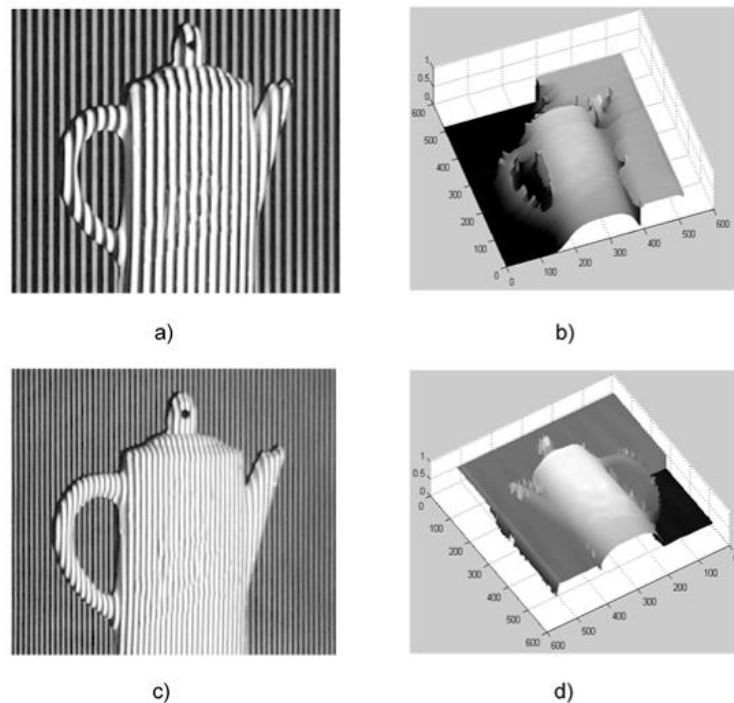


Figura 9 Reconstrucción 3D del mismo objeto, variando el número de franjas proyectado sobre el objeto.

4. Discusión

Se puede apreciar que es necesario llevar a cabo una corrección de distorsión geométrica por el método de Perfilometría Wavelet 1D, para mejorar las imágenes utilizadas al inicio de este método. Lo anterior se debe a que si la imagen contiene información diferente de las franjas distorsionadas y del objeto, esto producirá variaciones en el mapa de fase, lo cual tendrá como consecuencia que no se pueda obtener una buena forma de los objetos, debido a que la fase contiene la información de altura de los objetos, como está establecido en el método de Perfilometría Wavelet. También es necesario notar que a medida que se incrementan la cantidad de franjas proyectadas, el proceso de reconstrucción mejora.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se propuso la implementación de un método de reconstrucción 3D de objetos mediante el uso de la Perfilometría Wavelet 1D. Este método consiste en la proyección de un patrón de franjas verticales sobre un objeto. Este patrón de franjas tiene una frecuencia espacial definida. La imagen es capturada, y después se aplica la transformada wavelet 1D. Posteriormente se le aplica un filtro en la frecuencia espacial, la cual es igual al número de franjas proyectadas, con lo que se obtiene un mapa de fase. Este mapa de fase tiene los valores de la altura del objeto envueltos y es necesario aplicar un algoritmo de desdoblamiento de fase. Se utiliza un algoritmo de desdoblamiento de fase sencillo y se obtiene la altura del objeto. Como variante se cambiaron el número de franjas y se obtuvo la forma del objeto. Una contribución importante es la propuesta de una etapa de corrección de la distorsión geométrica de los objetos ocasionado por el sistema de captura. Esta corrección geométrica permite obtener una mejor reconstrucción tridimensional de los objetos, combinándolo con un mayor número de franjas proyectado.

Como trabajo futuro se pretenden utilizar algoritmos más robustos de desdoblamiento de fase, así como otro tipo de wavelets en la perfilometría wavelet.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Arellano, P., Missing information in remote sensing: wavelet approach to detect and remove clouds and their shadows. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede. The Netherlands, 2003.
- [2] Beardsley, P., Murray, D., & Zisserman, A., Camera Calibration Using Multiple Images. European Conference on Computer Vision, pp. 312-320, 1992.
- [3] Berryman, F., Pynsent, P., & Cubillo, J., A theoretical Comparison of three fringe analysis methods for determining the three-dimensional shape of an object in the presence of noise. Optics and Lasers in Engineering, pp. 39:35-50, 2003.
- [4] Devlin, K., & Chalmers A., Visual Calibration and Correction for Ambient Illumination. ACM Transactions on Applied Perception, 3(4): pp. 429-452, 2006.
- [5] Gross, R., & Brajovic, V., An Image Processing Algorithm for Illumination Invariant Face Recognition. In International Conference on Audio and Video-Based Biometric Person Authentication, pp. 10-18, 2003.
- [6] Itoh, K., Analysis of the phase unwrapping algorithm, Applied Optics, 21(14), pp. 2470-2486, 1982.
- [7] Lenz, R., & Tsai, R., Techniques for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3D machine vision metrology. International Conference on Robotics and Automation Proceedings, 1987.
- [8] López, T., Estudio comparativo entre tipos de transformada wavelet para su uso en reconstrucción tridimensional. (Doctoral dissertation), 2012.
- [9] Melo, R., Barreto, J., & Falcao, G., A New Solution for Camera Calibration and Real-Time Image Distortion Correction in Medical Endoscopy-Initial Technical Evaluation. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 59(3), pp. 634-644, 2012.
- [10] Pedraza, J., Rodriguez, W., Barriaga, L., Gorrostieta, E., Salgado, T., Ramos, J., & Rivas, A. Image Processing for 3D Re-construction using a

- Modified Fourier Transform Profilometry Method. MICAI 2007: Advances in Artificial Intelligence, pp. 705-712, 2007.
- [11] Salvador, E., Cavallaro, A., & Ebrahimi, T., Cast shadow segmentation using invariant color features. *Computer Vision and Image Understanding*, 95, pp. 238-259, 2004.
- [12] Sobol, R., Automated Image Calibration. Patent US5185673, 1993.
- [13] Stockham, G., Image Processing in the Context of a Visual Model. *Proc. IEEE*, 60(7), pp. 828-842, 1972.
- [14] Waki, M., Nishio, T., Kubota, A., & Higurashi, M., Image calibration device and image calibration method. Patent US6771307, 2004.
- [15] Zhang, T., Tang, Y., Fang, B., Shang, Z., & Liu, X., Face Recognition Under Varying Illumination Using Gradientfaces *IEEE Transactions on Image Processing*. 18(11), pp. 2599-2606, 2009.
- [16] Zhong, J., & Weng, J., Spatial carrier-fringe pattern analysis by means of wavelet transform: wavelet transform profilometry. *Applied optics*, 43(26), pp. 4993-4998, 2004.