

3D MODELING OF OBJECTS USING MATLAB BY ULTRASONIC SENSOR**MODELADO 3D DE OBJETOS USANDO MATLAB MEDIANTE SENSOR
ULTRASÓNICO**

Est. Julián Andrés Orozco Quiceno*, **Ing. Álvaro Romero Acero***
Est. Alejandro Marín Cano*, **PhD. Jovani Alberto Jiménez Builes****

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.

*Departamento de Energía Eléctrica y Automática, **Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión, Grupo de investigación Inteligencia Artificial en Educación. Carrera 80 Nro. 65-223, oficina M8A-309, Medellín (Colombia), Tel.: (+574)-425 5222.

E-mail: {juaorozcoqu, alromeroac, amarincan, jajimen1}@unal.edu.co.

Resumen: En este trabajo se presenta un sistema para la reconstrucción y modelado tridimensional (modelado 3D) de objetos, mediante la integración del sistema electromecánico, sensorío y computacional. El sistema electromecánico cuenta con un movimiento rotacional para la base del objeto y un movimiento vertical acoplado al sensor ultrasónico. La adquisición de datos se realiza mediante la medición de distancias del sensor ultrasónico al objeto, finalmente en MATLAB® se procesan los datos y se reconstruye el modelo tridimensional.

Palabras clave: Sistema electromecánico, sensor ultrasónico, reconstrucción de imagen, modelado tridimensional, procesamiento de datos.

Abstract: This paper presents a system for the reconstruction and modeling three-dimensional (3D modeling) of objects, through the integration of electromechanical system, sensors and computational. The electromechanical system account with a rotational movement to the object's base and a vertical movement attached to the ultrasonic sensor. Data acquisition is performed by measuring distances of the ultrasonic sensor to the object, finally in MATLAB® data is processed and it reconstructs the three-dimensional model.

Keywords: Electromechanical systems, ultrasonic sensors, image reconstruction, three-dimensional modeling, data processing.

1. INTRODUCCIÓN

Un referente a los problemas en la falta de existencia o poca accesibilidad en piezas y repuestos de autopartes, mecanismos y equipos tales como: piñones, anillos, bujes, bujías, entre otros, dificultan la puesta a punto o reparación y mantenimiento de mecanismos. De esta manera se busca suplir la necesidad en la reconstrucción de modelos tridimensionales de objetos, para una posterior elaboración física de este. Por lo tanto, la

necesidad de encontrar un método sistemático, para el modelado tridimensional que cumpla con la capacidad de inspeccionar objetos y piezas mediante la reconstrucción de imágenes tridimensionales (3D), implica la integración del sistema electromecánico, sensorío y computacional (Tejado, 2005).

En la actualidad existen muchas técnicas para el modelado 3D como: manejo de técnicas de iluminación, fotografías, ultrasonido entre otros; se

optó por la técnica de medición de distancias usando el sensor ultrasonido ya que es una de las más económicas, fáciles de implementar y de obtener con medición la medición de distancias del sensor al objeto, de esta manera se busca obtener la forma y el tamaño real del objeto.

Por lo tanto este trabajo proporciona un sistema integrado para la reconstrucción del modelo tridimensional tomado como caso de estudio, mediante técnicas computacionales usando el entorno de programación en MATLAB® y el sensor ultrasónico en la toma de datos, además este sistema debe estar sincronizado con la parte electromecánica.

El propósito de este trabajo consiste en obtener los mejores resultados en reconstrucción de objetos, además este sistema cumple el objetivo de promover una alternativa viable a bajo costo de inspección y reconstrucción de piezas para la industria automotriz o a fines (Torres *et al*, 2009).

El desarrollo de este proyecto da muestra de crear un horizonte de innovación, donde se adquiera la confianza de invertir, crear, inventar y construir tecnologías en el país, como un modelo de desarrollo tecno-científico, de esta manera exponer de forma tangible los conocimientos adquiridos y en el diseño de un sistema alterno hacia el modelado tridimensional de objetos (Janos y Phillip, 2006).

En los trabajos articulados que permiten adoptar otras aplicaciones, para el sistema de reconstrucción y modelado tridimensional (modelado 3D) de objetos, se destacan:

- El desarrollo de un sistema de clasificación de las piezas en un lote de producción, mediante el procesamiento digital de imágenes que permite reconocer las piezas cuando se encuentran o no características definidas previamente (Pardo *et al*, 2013).
- La herramienta didáctica para la enseñanza en control automático basado en el péndulo invertido sobre carro deslizante, el cual se desarrolla sobre un prototipo virtual, simulando el modelo no lineal en MATLAB® y presentado en un entorno java conocida como EJS (*Easy Java Simulations*), en 3D (Rodríguez *et al*, 2012).
- Una aplicación para establecer modelos espaciales del comportamiento de variables

fenológicas (plantas enfermas y sanas) de las regiones cultivables de los municipios de: Paipa, Duitama, Nobsa, Tibasosa y Sogamoso del departamento de Boyacá, mediante el uso del procesamiento digital de imágenes adquiridas por sensores remotos satelitales y de laboratorio (Jiménez *et al*, 2013).

Por lo tanto, esto permite en el trabajo “modelado tridimensional de objetos usando MATLAB® mediante sensor ultrasónico”, relacionar un estudio posterior del modelado 3D, con el propósito de encontrar particularidades de los objetos, que permitan establecer mejores resultados en la identificación de piezas.

Este artículo está distribuido de la siguiente manera: en la segunda parte se presentan los materiales métodos que determinan cada subsistema para el modelado 3D. En la tercera sección se exponen los resultados contrastando el objeto real con el modelo reconstruido, para finalmente exteriorizar las conclusiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema para el modelado 3D se divide en tres subsistemas: el electromecánico, sensorico y computacional (ver Fig. 1).

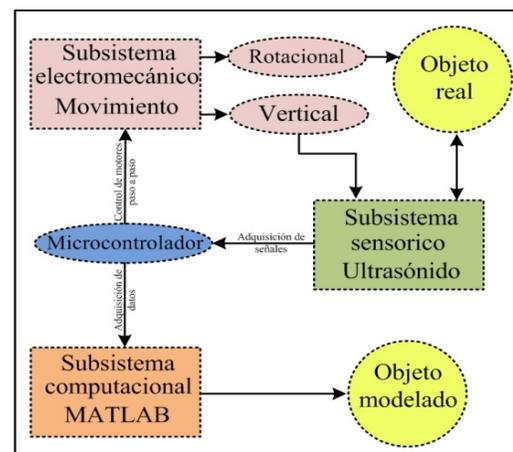


Fig. 1. Estructura del sistema de modelado

El sistema electromecánico es el encargado de controlar los movimientos del objeto que sincroniza el desplazamiento vertical del sensor con el movimiento rotacional del objeto, mediante el sistema sensorico se miden las distancias al enviar una señal ultrasónica al objeto, las mediciones se adecuan en un microcontrolador y luego son enviadas a la herramienta computacional de MATLAB® y obtener el modelo de estudio.

2.1 Subsistema electromecánico

Este subsistema es el encargado de rotar la base del objeto y desplazar el sensor ultrasónico en dirección vertical, con el propósito de tomar mediciones del objeto en toda su superficie, cada movimiento está controlado por un motor paso a paso el cual rota el objeto con cada 4 grados, es decir una resolución de 90 paso por vuelta, lo cual implica en cada paso la medición de distancia del sensor al punto focal del objeto, y posteriormente el mecanismo sube un nivel de aproximadamente 1cm con otro motor paso a paso. En la Fig. 2, se puede observar el sistema electromecánico y sensorico, así como el microcontrolador.

Tabla 1: Componentes del prototipo

No.	Componente
1	Motor paso a paso base
2	Motor paso a paso sensor
3	Plataforma de la base
4	Sensor ultrasónico
5	Microcontrolador

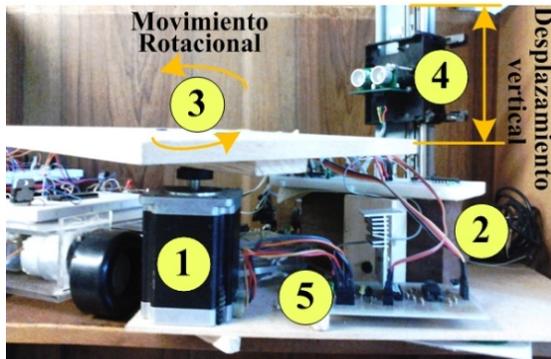


Fig. 2. Prototipo del subsistema electromecánico y sensor ultrasónico

2.2 Subsistema sensorico

Es la parte más importante de la instrumentación electrónica implementada en este sistema de modelado 3D, debido a que es la parte sensible al objeto de estudio, por lo tanto su adecuada implementación garantiza una toma de datos adecuada dentro de los parámetros de tolerancia permitidos para que puede ser procesada de manera correcta por el subsistema computacional (Gonzales, 2009).

El funcionamiento del sensor ultrasónico consiste en emitir cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga en el aire a la velocidad del sonido, hasta

encontrar un objeto, el cual refleja al impulso acústico y retorna como eco al sensor ultrasónico (Valencia, 2009).

De esta manera se toma el principio físico en el que la velocidad del sonido propagado en el aire es de 340m/s, por lo tanto a velocidad constante el impulso es medido por el tiempo de ida y regreso al objeto reflejado y de esta manera se calcula el espacio recorrido, se toma como punto medio de referencia, el eje central de la base a una distancia de 30cm de distancia al sensor.

En la Ecuación (1) se realiza el cálculo matemático que relaciona la constante de velocidad del sonido (V) del impulso acústico enviado por el sensor, el tiempo transcurrido (t) debe ser dividido por dos, para determinar un solo trayecto que es equivalente a la distancia (d) del sensor al objeto de estudio, en este ejemplo la distancia es igual al eje central de la base rotacional.

$$d = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{340 \text{ m/seg} \cdot 0.00176 \text{ seg}}{2} = 0.2992 \text{ m} \quad (1)$$

De esta manera la Ecuación (1) representa la distancia $d=0.2992 \text{ m}$ aproximadamente 30 cm, como punto de referencia de eje de la base, de esta manera se sincroniza el subsistema sensorico, y es necesario para obtener una resolución aceptable dentro de los parámetros del modelado 3D, por lo tanto se debe esperar un tiempo de respuesta del impulso acústico $d=0.00176 \text{ s} \pm 0.00001 \text{ s}$ para garantizar la correcta puesta a punto.

Para obtener un buen funcionamiento del subsistema sensorico, se debe tener en cuenta las recomendaciones y adecuaciones pertinentes del sensor ultrasónico y una medición apropiada del objeto de estudio, tales como: los rangos de distancias mínimos y máximos de medición que puede garantizar una correcta medición, la ubicación frente al objeto y acople a la estructura de desplazamiento vertical, calibrar la medición centrada al punto medio de referencia de la base a una distancia conocida, la cual es verificada por el sistema con una vara delgada de prueba con un diámetro de 1cm, de esta manera se puede garantizar la puesta a punto del sensor ultrasónico y verificación en la adquisición de datos (Bernardi y Holly, 2002).

Para determinar un esquema de puesta a punto del sensor en la Fig. 3 se ilustra el esquema de medición sensorica, además caracterizar los detalles del subsistema sensorico.

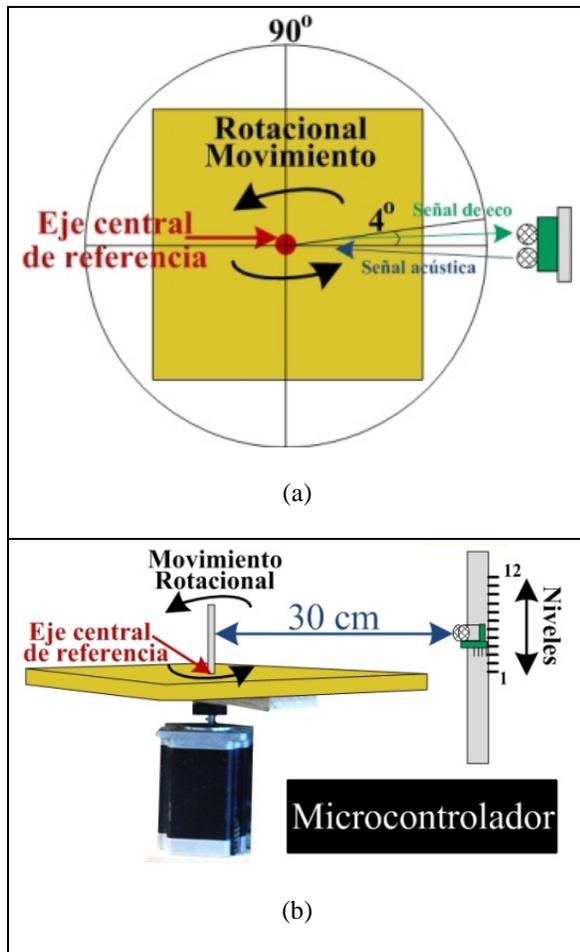


Fig. 3. Puesta a punto del subsistema electromecánico y sensor ultrasónico. (a) Vista superior, (b) Vista lateral

2.2.1 Microcontrolador

Este subsistema se divide en dos partes una de instrumentación (Figura 1a) y la otra de potencia (Figura 1b).

La primera es la encargada de enviar el pulso (*trigger*) al ultrasónico de aproximadamente 12 us (microsegundos) de captar el eco emitido por dicho sensor, una vez realizada esta medición se envía el dato por el puerto serial, en esta parte también se hace el control de los motores paso a paso es decir cuándo y cuánto deben girar.

La segunda parte que corresponde a la de potencia consiste en una tarjeta con 4 opto acopladores y un puente H que se encargara de energizar las bobinas del motor paso a paso. Tanto el manejo del sensor como el de los motores se implementaron un PIC16F886.

2.3 Subsistema computacional

Es la parte destinada al procesamiento de datos y por la cual se puede evidenciar los resultados del sistema para el modelado 3D. Este subsistema computacional se implementa en MATLAB® el cual es encargado de recibir los datos enviados por el microcontrolador por el puerto de comunicación serial y reconstruir el objeto modelado en tiempo real.

Para el desarrollo estructurado del procesamiento de datos, se crea una rutina encargada de almacenar los datos en forma matricial de tamaño $m \times n$, m : filas de la matriz y n : columnas de la matriz, en la cual cada fila corresponde a un nivel del objeto, y cada columna a un ángulo de 4 grados en la rotación del objeto real (Nascak y Koleda, 2011).

Ahora para el calcular las componentes (X, Y y Z) de cada punto espacial, se cuenta con el número de pasos conocido en la rotación del objeto (90 pasos), es decir, el radio asociado a cada columna de la matriz, por lo tanto se obtienen las componentes polares de radio y ángulo, luego se llevan a coordenadas cartesianas X, Y y Z, se relaciona al número de niveles que se toman del objeto; y como resultados se obtienen las coordenadas en tres dimensiones (X, Y y Z).

Posteriormente se hace un pre-procesamiento de datos, con el fin de suavizar los datos y de eliminar datos atípicos, debido a que se presenta mucha variación en la medición, por la vibración del sistema electromecánico rotacional, dicho suavizado se realiza con un filtro de promedio móvil (Eleázar *et al.*, 2007).

La reconstrucción del objeto se realiza por medio de triangulación entre los puntos cartesianos antes calculados (X, Y y Z), para este caso se utiliza la triangulación de Delaunay de MATLAB® (ver Fig. 4), ya que es la triangulación más ampliamente utilizada en la computación científica.

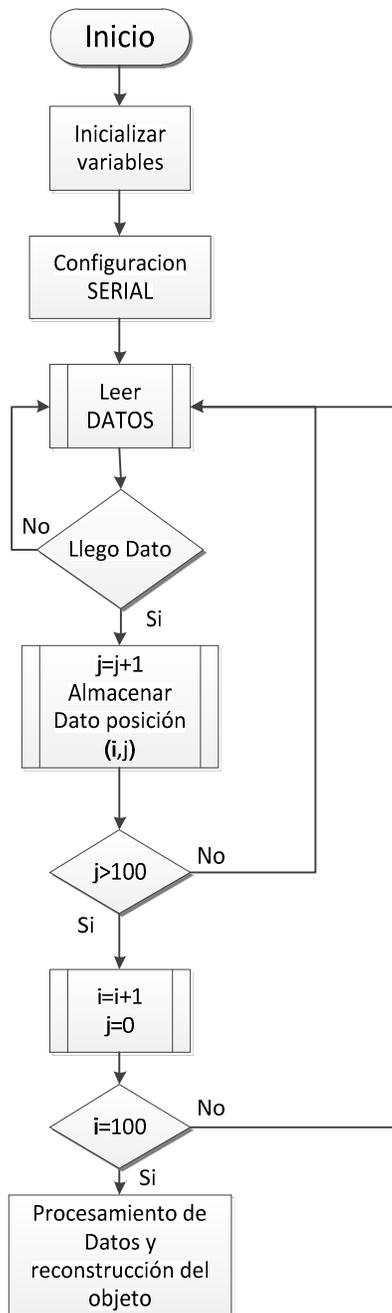


Fig. 4. Estructura del procesamiento de datos

3. RESULTADOS

El caso de estudio se determina mediante el objeto real a modelar (ver Fig. 5), el cual se caracteriza por ser una figura simétrica y superficialmente curva.



Fig. 5. Representación del objeto real

En la Fig. 6 se puede observar el sistema completo con el objeto real, de esta manera se determina la pre-configuración de puesta a punto detallada en la metodología.



Fig. 6. Ubicación del objeto real en el sistema de modelado 3D.

En las Fig. 7 y 8 se muestran los datos graficados en MATLAB®. En la Fig. 7 se aprecian los datos sin aplicarle ningún filtro y en la Fig. 8 se aprecian los datos con un filtro de promedio móvil, por lo tanto se tiene más suavidad en los datos procesados.

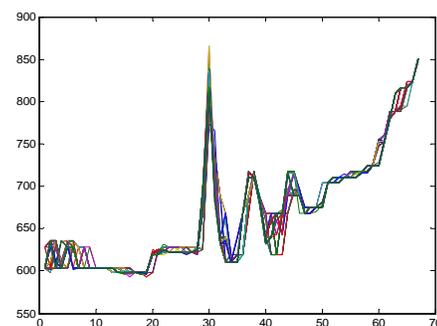


Fig. 7. Adquisición de datos sin filtro

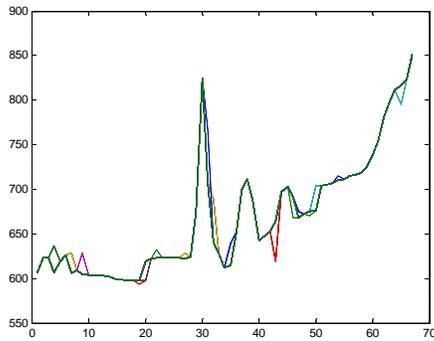


Fig. 8. Adquisición de datos con filtro promedio móvil

En la Figura 9 y 10 se presenta de forma análoga el modelo 3D del objeto, sin datos filtrados (ver Fig. 7) y con datos filtrados mediante promedio móvil (ver Fig. 8). De esta manera se puede contrastar la suavidad del modelo más acercado al modelo del objeto real, en el cual se puede observar que la Fig. 9 con datos no filtrados muestra una superficie menos definida que en la Fig. 10, por lo tanto con el filtro de promedio móvil se tiene mejor reconstrucción del objeto real en esta fase de procesamiento.

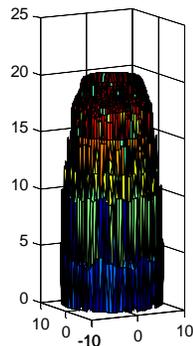


Fig. 9. Representación gráfica en espacio 3D en MATLAB sin datos filtrados

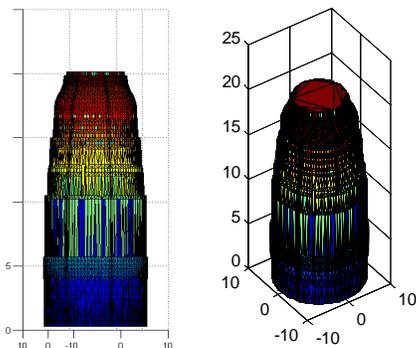


Fig. 10. Representación gráfica en espacio 3D en MATLAB® con datos filtrados

4. CONCLUSIONES

El sistema para el modelado 3D presento falencias con objetos cuadrados o caras planas, además presenta un punto crítico a considerar en el subsistema electromecánico, debido a su vibración en el movimiento rotacional, lo cual puede desplazar el objeto real del punto de referencia.

A pesar de que se usó un sensor ultrasónico sencillo se obtuvieron resultados aceptables, según requerimientos del sistema, lo cual propone una alternativa viable para la adecuación de un sensor con mejores características y resolución.

Se presenta de esta manera un prototipo de modelado 3D de bajo costo, incentivando sistemas de revisión, inspección y seguimiento en la capa superficial del objeto para estudios posteriores.

En trabajos futuros se propone integrar el sistema de forma inalámbrica mediante los protocolos ZigBee y WiFi que integren nuevas tecnologías de comunicación en el seguimiento y adquisición de datos del modelado tridimensional.

RECONOCIMIENTO

Este trabajo fue financiado por el Departamento Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS. "Proyecto Sistema Sensórico para la Inspección de Autopartes en la Línea de Ensamble" aprobado en la convocatoria "569-2012 Banco de Proyectos elegibles de CTeI".

REFERENCIAS

- Bernardi, F. y Holly R. (2002). *The 3D Model Acquisition Pipeline*, en Computer Graphics Forum, Vol. 21, No. 2.
- Clymer, J. R. (1992). "Discrete Event Fuzzy Airport Control". IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 22, No. 2.
- Eleázar, A.; Flavio, P. y Pierre, B. (2007). *Inspección de piezas 3D: Revisión de la literatura*, Universidad Nacional de Colombia en Revista Ingeniería e Investigación, Vol. 27, No. 3.
- González, R.; Woods, R. y Eddins, S. (2004). *Digital image processing using Matlab*, Editorial Gatesmark Publishing.

- Janos, T. and Phillip, M. (2006). *An inversion of Freedman's "image pulse" model in air*, Journal of the Acoustical Society of America.
- Jiménez, A. F.; Jiménez, F. R.; Sosa L. F. and Pérez, E. F. (2013). *Procesamiento digital de imágenes de sensores remotos para aplicaciones de agricultura de precisión*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2013, Vol. 1, No. 21, Colombia.
- Nascak, L. and Koleda, P. (2011). *Creating of 3D picture in Matlab*, Annals of DAAAM & Proceedings.
- Pardo, C. E; Gutierrez, E. A.; Jiménez, F. R.; Sosa L. F. y Martínez L. A. (2013). *Diseño e implementación de un prototipo de sistema de identificación y clasificación de piezas por tratamiento digital de imágenes con acceso a Ethernet y comunicación inalámbrica*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2013, Vol. 2, No. 22, Colombia.
- Rodríguez, O. O.; Pineda, R. F. y Cárdenas P. F. (2011). *Herramientas EJS 3D/MATLAB para el control del sistema no lineal aplicado al péndulo invertido sobre carro deslizante*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2012, Vol. 1, No. 19, Colombia.
- Tejado, J. (2005). *Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: Las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico*, Revista de la antigüedad, 2005, No. 8, España.
- Torres, J. C.; Cano, P.; Melero, J.; España, M. y Moreno, J. (2009). *Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio*. I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación, junio, Sevilla, España.
- Valencia, J. (2009). *Caracterización mediante técnicas de ultrasonido de un laminado de fibra de vidrio*, Universidad Carlos III de Madrid, España.