

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ESCÁNER DIGITAL 3D A PARTIR DE UN SISTEMA DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICO PARA EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE-L

Fausto Vinicio Acuña Coello

e-mail: fvacunia@espe.edu.ec

Eddie Egberto Galarza Zambrano

e-mail: eegalarza@espe.edu.ec

Miguel Ángel Molina Hidalgo

e-mail: chafas_37@hotmail.com

Ingeniería Mecatrónica. Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la
Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE
Latacunga - Ecuador

RESUMEN: *Dentro de la Ingeniería Inversa se utiliza los escáneres 3D, los mismos que aparecieron debido a la necesidad de crear una réplica de un objeto de forma digital, para modificarlo y poder crear otro con nuevas características, formas y tamaños.*

Teniendo en cuenta este problema se diseñó este escáner, que es de bajo costo ya que consta de una webcam, un motor a pasos acoplado a una base, la misma que gira un cierto número de grados, para capturar un número máximo de 40 imágenes del objeto, toda esta información se envía vía USB a la PC y con la ayuda del software Matlab se realizó el procesamiento de cada una y se obtuvo las coordenadas X, Y, Z del perfil del objeto, finalmente se creó un archivo .txt en donde se encuentra la información de la nube de puntos de todo el objeto.

Concluido el escaneado y con la ayuda de un software CAD, se modeló el archivo .txt para hacerlo sólido, con las medidas entre el objeto original y el escaneado se calculó el porcentaje de error del escáner creado dando un 25,89% en cuanto se refiere a medidas generales y 27,47% en cuanto se refiere a las medidas de los detalles del objeto, como conclusión se determinó que para reducir el error se debe escanear varias veces el objeto e introducir diferentes valores para realizar un mejor procesamiento de las imágenes y además transformar las pasos normales del motor en micro-pasos para obtener un menor ángulo de giro y capturar más imágenes.

PALABRAS CLAVE: Comunicación USB-PC, Escáner 3D, Ingeniería Mecatrónica.

1 INTRODUCCIÓN

A partir de los escáneres 2D utilizados para el escaneo de hojas gracias a la información de las coordenadas en X e Y, se desarrolló el estudio para realizar la medición de la coordenada Z y con esto la aparición de los escáneres 3D [1], existen muchos tipos y tamaños y se emplean en diferentes campos como la arquitectura, patrimonio histórico, ingeniería inversa, escaneo de personas, entre otras.

En la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura en España se realizó el proyecto denominado “shades-3d: una herramienta de bajo coste para la adquisición de datos 3d bajo el entorno Matlab” [2], el mismo consta de una cámara simple, la misma que captura fotos del objeto que se encuentra fijo entre un plano horizontal y un vertical, el objeto está alumbrado por una lámpara y con el método de triangulación se realiza la programación en Matlab para tener el objeto escaneado.

En Cuernavaca Morelos, México, en el IX Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico se expuso el tema “Sistema para digitalización y modelado 3D de objetos, mediante proyección laser utilizando hardware de arquitectura abierta” [3], aquí el sistema consta de una cámara web que captura varias imágenes del objeto, en el que se encuentra proyectado un láser lineal en forma vertical para que se visualice el contorno del objeto y con una conexión USB transmitir los datos obtenidos a la PC y con la ayuda de Matlab lograr el procesamiento y reconstrucción en 3D.

En la Universidad Central de Venezuela, en la Facultad de Ciencias se desarrolló un “Escáner 3D de Bajo Costo empleando 2 WebCams” [4], una plataforma en la cual girará el objeto a escanear y con la ayuda de Visual C++ 2008 se realizó el proceso de reconstrucción en base a las fotos capturadas y se obtiene el objeto en forma de malla.

En Ecuador en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito se “Diseño y construyó un escáner bifocal para la reconstrucción visual de objetos utilizando procesamiento de imágenes mediante filtrado en LabVIEW y Matlab” [5], en este proyecto se utilizó dos cámaras web y un láser lineal de forma vertical, aquí durante el proceso de reconstrucción se generó un objeto en nube de puntos con cada cámara para luego unir las dos nubes y obtener un único resultado.

En Ecuador en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe – Sangolquí se desarrolló el “Diseño e implementación de un sistema para digitalización de objetos en 3d mediante el uso de Matlab” [6], este

proyecto consta de una cámara web, un puntero láser, estos dos elementos van a estar desplazándose en forma vertical para que el puntero se vaya reflejando en la forma del objeto, el mismo que se encuentra en una base giratoria, con Matlab se procesa toda la información que se obtiene de las imágenes y finalmente reconstruirla.

Teniendo en cuenta estos proyectos se realizó el presente Escáner con una webcam, un foco que genera una luz estable, una base giratoria con un motor en donde va ubicado el objeto a escanear, la comunicación entre hardware y software se realizó vía USB y todo el entorno tanto de manipulación del sistema como la de la reconstrucción de las imágenes y generación del objeto en tres dimensiones se utilizó Matlab R2010a y para realizar el modelado se utilizó SolidWorks 2014.

2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE

Para realizar este proyecto se investigó los tipos de escáner [7] que existen en el mercado y se decidió realizar uno que no tenga contacto con el objeto, además se tuvo que analizar si se realizaba un escáner móvil [8] o fijo, tomando la decisión de que sea fijo pero que tenga una base giratoria [9].

2.1 DISEÑO DEL HARDWARE PARA UBICAR Y GENERAR LA ROTACIÓN DEL OBJETO

Para la rotación del objeto se utilizó un motor a pasos que se acopló a una base giratoria, para esto se tomó en cuenta las siguientes características:

- Tamaño no más de 8cm por lado
- Que sea de fácil posicionamiento en un cierto número de grados
- Que su giro sea total y no tenga algún tipo de truncamiento
- Que no funcione con corrientes ni voltajes altos
- De bajo costo
- Que posea un buen torque para poder mover objetos pequeños como por ejemplo botellas o adornos de cerámica

Con lo anterior se seleccionó el motor Sanyo Denki 103-547-52500 [12], las características se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del Motor Sanyo Denki

Basic Step Angle	Permanent Magnet
Bipolar Parallel Current	1,8° ± 0.09°
Unipolar Current	0.42
Resistance	0.6
Inductance	6.7
Bipolar Holding Torque	5.4
Unipolar Holding Torque	19
Rotor Inertia	14.5

Theoretical Acceleration	30
Back E.M.F.	18
Mass	0.2

2.2 DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE PARA CONTROLAR EL MOTOR A PASOS

2.2.1 SELECCIÓN DEL PIC

Para realizar el control del motor a pasos se utilizó un PIC, con este dispositivo se pudo entablar la comunicación entre la PC y el motor, en la selección del PIC adecuado fue necesario que tenga las siguientes características:

- Que posea entradas y salidas para envío y recepción de datos
- Que pueda conectarse vía USB
- Que no tenga un lenguaje muy complejo al momento de realizar la programación

De las familias que tiene el PIC se encontró la familia 18Fxx5x, los cuales tienen módulos USB y esto permite entablar una comunicación sin ningún problema con la laptop, los PIC de esa familia son los de numeración PIC18F2455/2550/4455/4550, para este proyecto se utilizó el 18F2550 [13], el cual consta de 28 pines.

2.2.2 DISEÑO DE LA PLACA DE CONTROL Y POTENCIA PARA EL PIC SELECCIONADO

En la parte de control se utilizó la configuración de un PIC cualquiera y en la parte de potencia se realizó un circuito con transistores y de esta manera controlar la corriente necesaria que necesitó el motor a pasos para girar y para separar la parte de control con potencia se utilizó un opto transistor.

La realización de estos dos circuitos fue en el programa PCB Wizard con las medidas de los elementos a tamaño real, el circuito se muestra en la Fig. 1.

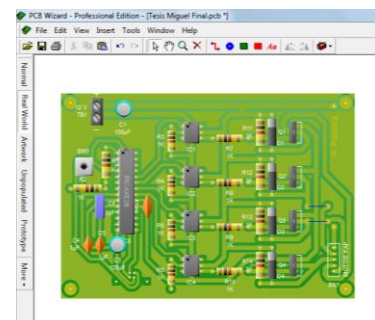


Figura 1. Diseño de la placa con los elementos a tamaño real

En la Fig. 2 se muestra la placa lista con todos los elementos en sus respectivas ubicaciones.



Figura 2. Placa de control y potencia

2.2.3 PROGRAMACIÓN PARA LA COMUNICACIÓN PC CON EL MOTOR A PASOS

En el proyecto se utilizó una comunicación USB, para lograr esto se necesitó descargar de la página de Microchip los archivos mpusbapi.dll y _mpusbapi, estos permiten entablar la comunicación entre el PIC y Matlab.

Para el PIC se utilizó la programación en el lenguaje C y a su vez en la compilación el programa PIC C Compiler de la empresa CCS el cual genera el archivo .hex necesario para poder grabar en el PIC.

Ahora para que el compilador funcione de acuerdo al PIC se descargó el programa "Automatización de datos Enumeración USB" que permitió configurar los descriptores y los archivos instaladores .inf necesarios para enumerar los PIC 18Fxx5x y hacer posible las transferencias a través del puerto serie universal USB.

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Para realizar la adquisición de imágenes se utilizó una webcam que tenga las siguientes características:

- Que posea conexión USB
- Resolución de imágenes mínimo VGA (640 x 480 píxeles)
- Que posea un excelente ángulo de visión de al menos 100°
- Capacidad para tomar y enviar fotos a través de un software

Con estas consideraciones e investigando las que existe en el mercado se seleccionó la Genius iSlim 300X [10] y las características se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características de la Webcam Genius iSlim 300X

Sensor de imagen	Sensor CMOS VGA
Tipo de lente	Enfoque manual
Interfaz	USB 1,1
Formato de archivos	JPEG/WMV
Imagen fija resolución	3200 x 2400 (8 megapíxeles con interpolación de software), 640 x 480,

	352 x 288, 320 x 240, 176 x 144, 160 x 120 píxeles
Resolución de vídeo	CIF: Hasta 30 cuadros por segundo VGA: Hasta 30 cuadros por segundo
Ángulo de visión	Hacia arriba/abajo: 100°

2.4 DISEÑO DEL SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y LA RECONSTRUCCIÓN 3D

Para la programación se utilizó el software Matlab R2010a [11] para 32 bits y su herramienta GUIDE, en donde se diseñaron las pantallas del sistema.

A continuación se elaboró ecuaciones para determinadas etapas del sistema, como son: la cantidad de capturas que puede realizar el escáner, creación de la coordenada Z en función del ángulo de giro.

Con el motor seleccionado que tiene un ángulo de giro de 1,8° por paso, se utilizó la Ec. (1) para determinar cuántos pasos tiene que dar para que dé una vuelta completa.

$$\# \text{ de pasos} = 360^\circ / 1,8^\circ \quad (1)$$

Luego se realizó el cálculo del ángulo que debe girar el motor para cada paso de los 200 que dio como resultado de la anterior ecuación, estos valores se generaron con la Ec. (2).

$$\text{ángulo entre capturas} = 1,8^\circ * \text{paso} \quad (2)$$

Finalmente para determinar cuántas capturas se deben realizar se aplicó la Ec. (3).

$$\text{capturas} = 360^\circ / \text{ángulo entre capturas} \quad (3)$$

Con las anteriores ecuaciones se generó una tabla con 200 valores y se optó por los valores exactos en cuanto al ángulo de posicionamiento en función del número de fotos y número de pasos exactos del motor, los valores se indican en la tabla 3.

Tabla 3. Valores con el número de imágenes necesarias para capturar

CAPTURAS	ÁNGULO ENTRE CAPTURAS	PASOS
1	360	200
2	180	100
4	90	50
5	72	40
8	45	25

10	36	20
20	18	10
40	9	5

De la tabla anterior los cinco primeros valores se descartaron ya que no hay como reconstruir un objeto con pocas imágenes, de ahí los últimos tres valores son válidos para el proceso.

De la imagen se encontró el perfil del objeto y se almacenó los datos de forma ordenada como se muestra en la matriz A, en la primera columna se guardó los datos de la coordenada Y, mientras que en la segunda los de la coordenada X.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} \end{bmatrix}$$

A partir de esta se creó una segunda del mismo tamaño como se muestra en la matriz B.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & k_{12} \\ b_{21} & k_{22} \\ \vdots & \vdots \\ b_{m1} & k_{m2} \end{bmatrix}$$

Donde k es el valor de la mitad de la imagen que es constante para los n valores del perfil.

Teniendo estas dos ecuaciones se procedió a calcular el desplazamiento de la coordenada X con la Ec. (4) y con la Ec. (5) se encontró la coordenada Z.

$$X = \cos \left[\left(\frac{\theta\pi}{180^\circ} \right) (B - A) \right] \quad (4)$$

$$Z = \sin \left[\left(\frac{\theta\pi}{180^\circ} \right) (B - A) \right] \quad (5)$$

Con la sintaxis correcta se creó una matriz llamada "puntos" en la cual se colocó las coordenadas X, Y, Z encontradas anteriormente.

Para continuar la programación, se realizó diagramas de flujo en los que se muestran la lógica de programación de las tres etapas en las que está dividido todo el sistema.

En la Fig. 3 se muestra el diagrama para la captura de imágenes.

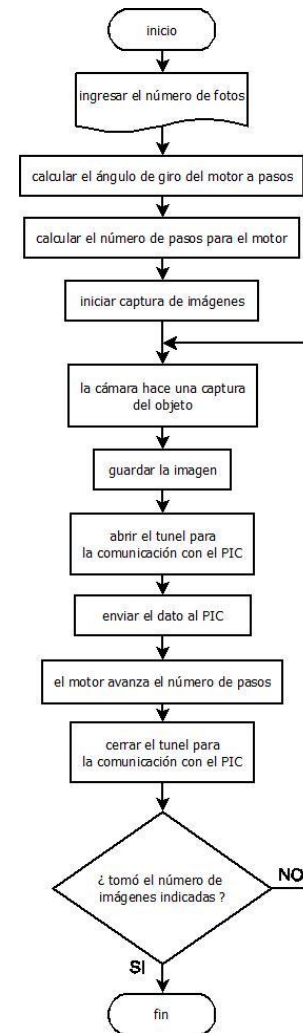


Figura 3. Captura de imágenes

En la Fig. 4 se muestra el diagrama para el proceso de filtrado de las imágenes antes ya capturadas.

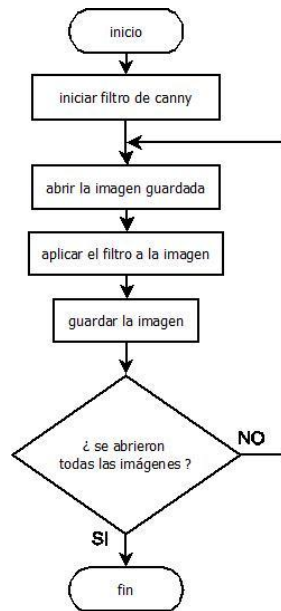


Figura 4. Filtrado de imágenes

El la Fig. 5 se muestra el diagrama para la generación de coordenadas de las imágenes antes ya filtradas.

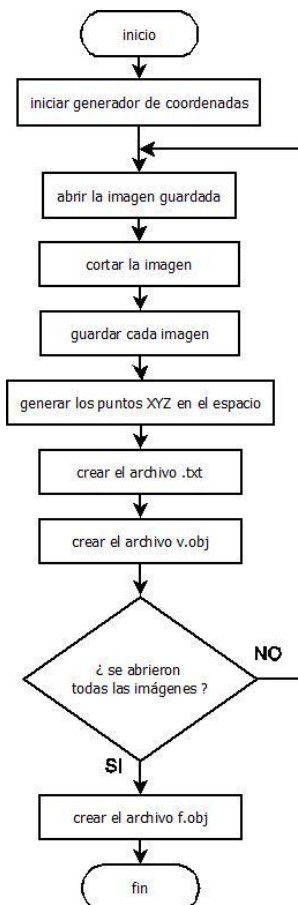


Figura 5. Generación de coordenadas

2.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA PARA EL MONTAJE DE LOS ELEMENTOS

Para realizar el diseño de la estructura se utilizó un software CAD en el cual se pudo realizar una visualización en tres dimensiones de todos los elementos involucrados en el proyecto, el utilizado fue SolidWorks versión 2014.

Aquí se realizó todos los elementos para luego ensamblarlos y poniéndole los colores con los que se pintó, la máquina final se muestra en la Fig. 6.

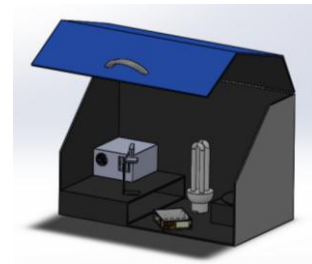


Figura 6. Ensamblaje final

3 IMPLEMENTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO

3.1 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

El sistema implementado quedó como se muestra en la Fig. 7.

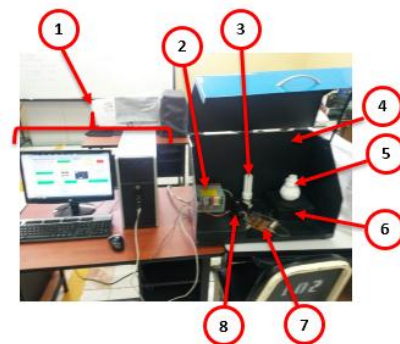


Figura 7. PC (1). Fuente de 12 VDC (2). Foco (3). Estructura para ubicar los elementos (4). Objeto a escanear (5). Base acoplado al motor (6). Placa de control y potencia (7). Webcam (8)

Dentro de la estructura tenemos que el soporte de la webcam se encuentra a la misma altura del motor acoplado a la base, permitiendo con esto que se pueda colocar objetos no mayores a 15 cm de altura, además el foco se encuentra diagonal a la posición de la webcam para que la luz estable permita observar un buen perfil del objeto, los cables que se conectan a la placa y las demás

conexiones hacia la PC se encuentran en la base de la estructura para evitar enredo de los mismos.

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO

Luego de realizar todo el procedimiento con las respectivas pantallas de funcionamiento se procedió al reconocimiento del cable USB en la PC, cuando el cable se reconoció de manera exitosa se verificó si está bien instalado, en la Fig. 8 se muestra el dispositivo correctamente instalado y reconocido por parte de la PC.

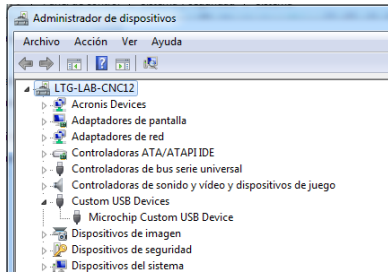


Figura 8. Dispositivo instalado correctamente

A continuación se eligió un objeto para realizar el escaneo que no sobrepase los 15cm tanto de alto como de ancho, luego se conectó la fuente de 12VDC, la webcam y el cable USB del controlador, posteriormente se abrió Matlab y se ejecutó los programas creados, al momento de ejecutar el primer programa se observó una presentación como se muestra en la Fig. 9.



Figura 9. Presentación del programa

Cuando apareció la anterior pantalla se procedió a dar clic en el botón continuar para que aparezca la pantalla principal que se muestra en la Fig. 10.

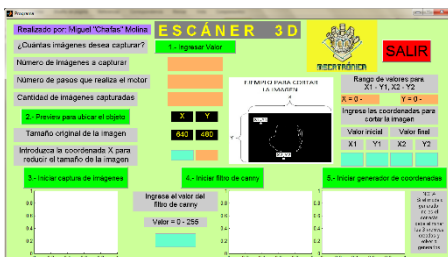


Figura 10. Pantalla principal del escáner

Para seleccionar el número de imágenes que se desea capturar, dando clic en el botón 1 el sistema desplegó una ventana auxiliar que se muestra en la Fig. 11.



Figura 11. Pantalla de selección del número de imágenes

Una vez que se seleccionó el número de imágenes, se ingresó los datos adicionales para todo el proceso tanto del filtrado de imágenes como de la generación de coordenadas de cada imagen.

Al finalizar la generación de coordenadas se abrió SolidWorks para leer el archivo de nube de puntos, el mismo que fue creado en Matlab, el archivo se observa en la Fig. 12.

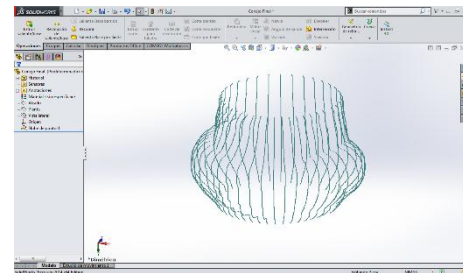


Figura 12. Nube de puntos del objeto en SolidWorks

Con las herramientas que posee SolidWorks se realizó el proceso de convertir la nube de puntos en sólido para poder modelarlo a conveniencia del operador.

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para verificar la funcionalidad del escáner creado se utilizó un frasco de cerámica con detalles de una cara de conejo ya que este objeto tiene muchos detalles y no es simétrico y se muestra en la Fig. 13.



Figura 13. Objeto a escanear

El dispositivo utilizado se muestra en la Fig. 14.



Figura 14. Escáner creado

Con el objeto seleccionado se procedió a realizar las pruebas del funcionamiento del escáner, obteniendo los datos que se muestran en la tabla 4 donde se muestra la cantidad de veces que se corrió el programa hasta que se estabilice y pueda escanear continuamente, en la Fig. 15 se indica el cuadro estadístico de la misma.

Tabla 4. Valores de funcionalidad del escáner

# de repeticiones del programa funcionando	% de Funcionalidad
1	10
2	40
3	75
4	80
5	85
6	90

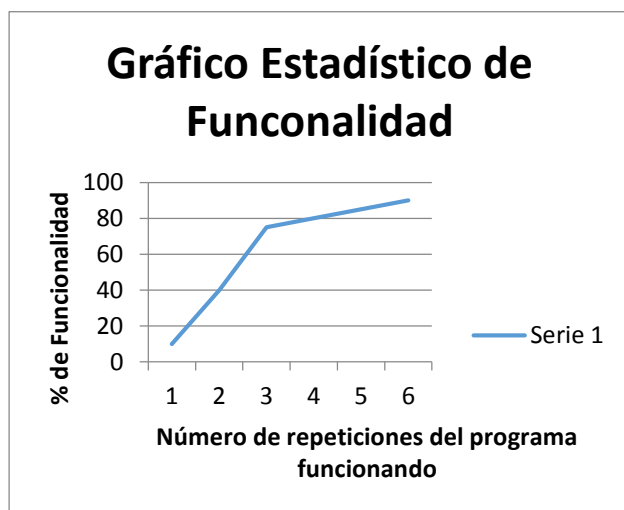


Figura 15. Resultados estadísticos de la funcionalidad del escáner

Con los resultados obtenidos se determinó que el sistema necesita de al menos tres ejecuciones para que se estabilice y pueda girar una vuelta completa y obtener un escaneado completo y continuo.

Una vez finalizado el escaneado con el dispositivo creado, se utilizó el Escáner 3D Noomeo con el que cuenta la Universidad y se muestra en la Fig. 16, para comparar entre los dos la calidad de escaneo que tiene cada uno.



Figura 16. Escáner 3D Noomeo

Del escáner creado y del 3D Noomeo se utilizó los archivos .txt y .xyz respectivamente, para modelarlos en SolidWorks y tenerlos de manera sólida, los resultados se muestran en la Fig. 17.

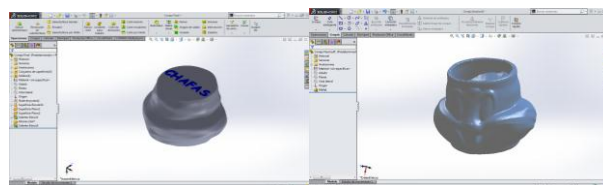


Figura 17. Resultados Escáner creado y Escáner 3D Noomeo

Para determinar que el archivo en SolidWorks es compatible para realizar otras operaciones se utilizó la máquina que posee la Universidad llamada CatalystEX, la misma que nos permite imprimir el objeto, el resultado comparado con el original se muestra en la Fig. 18.



Figura 18. Objeto real e impreso

En las medidas del modelo impreso se rebajó la escala a 0,4 con respecto al original para ahorrar material, luego se tomó medidas del objeto original, del impreso y de los dos escaneados, en cuanto a medidas generales y de detalles, los valores se ven en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Medidas del frasco de cerámica

	Alto (mm)	Ancho (mm)	Diámetro del hueco (mm)
Original	87	115	76
Escáner creado	110	140	100
Escáner 3D Noomeo	80	115	76
Impreso a escala 0.4	45	65	45

Tabla 6. Medidas de los detalles del frasco de cerámica

	Altura de los párpados (mm)	Altura de la nariz (mm)	Altura de los dientes (mm)
Original	6	15	13
Escáner creado	8	18	15
Escáner 3D Noomeo	6	15	13
Impreso a escala 0.4	3	7	6

	Saliente de las mejillas (mm)	Ancho de las mejillas (mm)
Original	15	42
Escáner creado	18	57
Escáner 3D Noomeo	15	35
Impreso a escala 0.4	7	23

Con los valores de las tablas anteriores se realizó el cuadro estadístico de cada una, dándonos los resultados que se muestran en la Fig. 19 y en la Fig. 20.

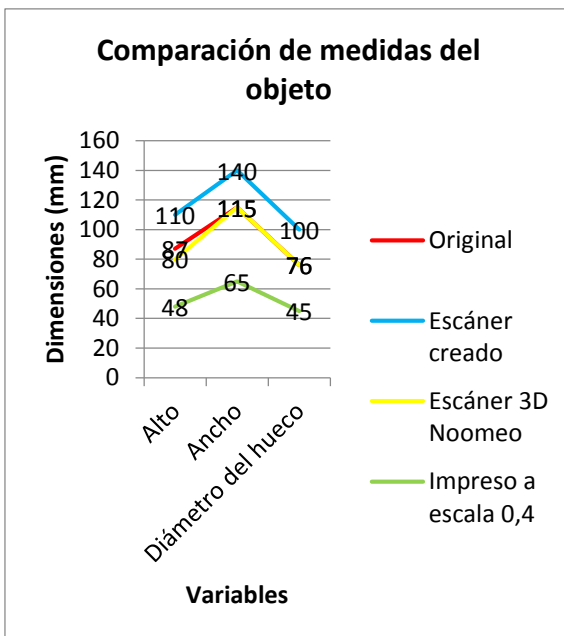


Figura 19. Gráfico de medidas del frasco

En el gráfico se observa que el Escáner creado sobrepasa las medidas en relación al original a diferencia del 3D Noomeo, el mismo que generó una réplica casi similar al original, ya que solo la medida del alto es diferente y las medidas del impreso son menores debido a la reducción de la escala al momento de imprimirlo.

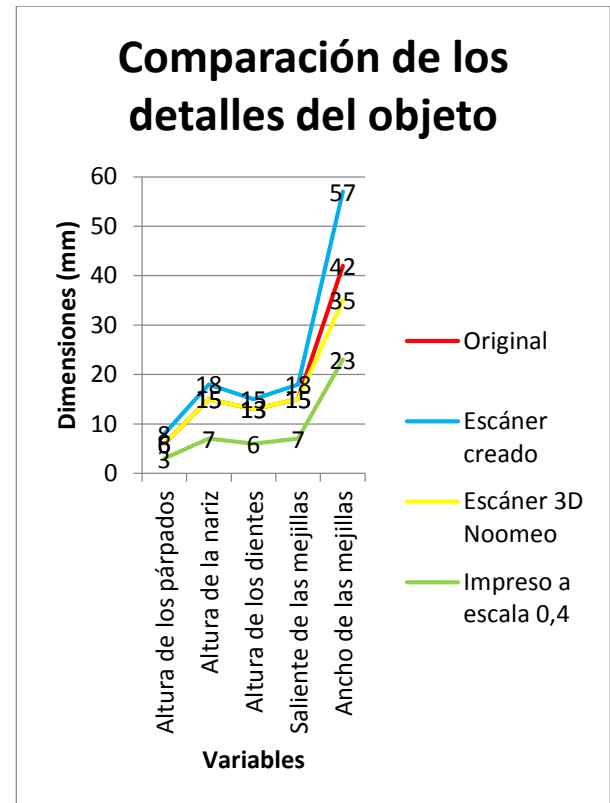


Figura 20. Gráfico de medidas de los detalles del frasco

En el gráfico se observa que sucede lo mismo que en el anterior, el escáner creado tiene medidas más altas a las originales, en cuanto al 3D Noomeo es casi similar ya que el ancho de las mejillas varía y de igual manera el impreso es más pequeño debido a la escala.

Con las medidas obtenidas en los gráficos anteriores entre la figura original y la escaneada, se realizó el cálculo para obtener el error que existe en el escáner creado, en la tabla 7 se muestra el valor del error en cuanto a medidas generales y en la tabla 8 se observa el error en cuanto a medidas de detalle.

Tabla 7. Medidas del frasco de cerámica

	Alto (mm)	Ancho (mm)	Diámetro del hueco (mm)	Promedio (mm)
Original	87	115	76	92,7
Escáner creado	110	140	100	116,7
ERROR (Ec - O)	23	25	24	24

Con los valores de la tabla anterior se calculó el valor promedio del error, dándonos como resultado que el escaneado es 24mm más grande que el objeto original.

Tabla 8. Medidas de los detalles del frasco de cerámica

	Altura de los párpados (mm)	Altura de la nariz (mm)	Altura de los dientes (mm)
Original	6	15	13
Escáner creado	8	18	15
ERROR (Ec - O)	2	3	2

	Saliente de las mejillas (mm)	Ancho de las mejillas (mm)	Promedio (mm)
Original	15	42	18,2
Escáner creado	18	57	23,2
ERROR (Ec - O)	3	15	5

De la misma manera se realizó el cálculo para determinar el valor promedio del error pero ahora en lo que se refiere a medidas de los detalles, dándonos como resultado que el escaneado es 5mm más grande que el objeto original.

Con los datos obtenidos de la tabla 7 y 8 se determina el error relativo de las medidas tomadas con la Ec. (6).

$$E_r = \Delta x / x \quad (6)$$

Para el error relativo porcentual, se multiplicará por 100 a la ecuación anterior, teniendo la Ec. (7) y Ec. (8).

$$E_{\%} = 100 * (\Delta x / x) \quad (7)$$

$$E_{\%} = 100 * \frac{|Valor\ medido - Valor\ verdadero|}{Valor\ verdadero} \quad (8)$$

Calculado el error porcentual de las mediciones se obtuvo los siguientes resultados: 25,89% en cuanto se refiere a medidas generales y 27,47% en cuanto se refiere a las medidas de los detalles que tiene el frasco de cerámica.

El operario puede reducir estos dos errores desde la pantalla de inicio, introduciendo un valor que permita la reducción del tamaño de la imagen original y generar el archivo que contiene la nube de puntos, luego de esto procesar el mismo y una vez que esté hecho sólido medirlo y determinar si el tamaño es apropiado o no, caso contrario tendría que ingresar otro valor de reducción y volver a repetir el proceso.

5 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un escáner digital 3D con la utilización de una cámara web, un motor a pasos, un

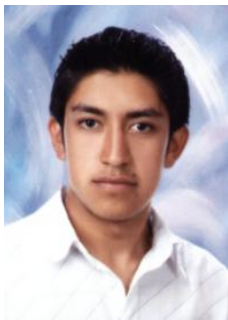
PIC con su respectivo circuito de control y potencia y el software Matlab versión de 32 bits, dicho sistema está diseñado para objetos que deben estar entre 5cm como mínimo y 13cm como máximo en lo que se refiere al alto y al ancho, el peso debe estar entre 100gr como mínimo y 500 gr como máximo del objeto, el objeto no debe tener muchos detalles ya que no se pueden generar como son en el original y simplemente salen los rasgos.

- Se creó un programa para encontrar las coordenadas de un punto en el espacio y guardar la información en un nuevo archivo con un cierto tipo de extensión, en este caso .obj y .txt.
- Con el archivo .txt creado se tuvo un mejor resultado gracias a que la nube de puntos se la pudo manipular de mejor manera en cuanto a creación de curvas, superficies y sólidos con el software SolidWorks a diferencia del archivo en forma de malla que resultado más complicado su manipulación.
- El tiempo que se demora en escanear un objeto está alrededor de 10 minutos, un valor alto debido a la velocidad de comunicación que existe entre el Matlab y el PIC, ya que se necesita de ciertos tiempos de espera tanto en el programa de Matlab como el programa del PIC para que pueda leer los datos de envío y recepción.
- Para tener un mejor resultado de escaneado los objetos deben ser de un color blanco o en caso de tener un objeto de colores pintarlo de color blanco sin brillo ya que al momento de realizar el proceso de filtrado se cambia a escala de grises y ahí se pierden algunos píxeles y el resultado se distorsiona.

6 REFERENCIAS

- [1] Sistemas Adaptativos y Bioinspirados en Inteligencia Artificial (S.A.B.I.A.). (5 de noviembre de 2014). Escáner 3D. [En línea]. Disponible en: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Hardware/scanner3D/Escaner3D.html>
- [2] Santiago Salamanca, David Gallego, Emiliano Pérez, Pilar Merchán. Escuela de Ingenierías Industriales. (8 de diciembre de 2014). ShADEs-3D: Una herramienta de bajo coste para la adquisición de datos 3d bajo el entorno Matlab®. [En línea]. Disponible en: <http://emilianoperezhernandez.awardspace.info/archivos/articulos/ja2003.pdf>
- [3] Research Gate. César Téllez Zamora, Daniel Cisneros Muñoz, Jesús Carlos Pedraza Ortega, Saúl Tovar Arriaga, Efrén Gorrostieta Hurtado, Sandra Luz Canchola Magdaleno. (12 de abril de 2012). Sistema para digitalización y modelado 3D de objetos, mediante proyección laser utilizando hardware de arquitectura abierta. [En línea]. Disponible en: www.researchgate.net/profile/Cesar_Tellez2/publication/220006751_Sistema_para_digitalizacin_y_modelado_3D_de_objetos_mediante_proyeccion_laser_utilizando_hardware_de_architectura_abierta/links/02faf4f374fa52ce31000000.pdf
- [4] Astrid Celeste Narváez González. Universidad Central de Venezuela. (11 de septiembre de 2011). [En línea]. Disponible en:

- <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/7297/1/Teisis%20Celeste%20Narv%C3%A1ez.pdf>
- [5] Jorge Luis Yáñez Cajas. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. (28 de abril de 2014). Diseño y construcción de un escáner bifocal para la reconstrucción visual de objetos utilizando procesamiento de imágenes mediante filtrado en LabVIEW y Matlab. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6861/1/UPS-ST001151.pdf>
- [6] Guamán Gualpa Klever Geovanny, Sosa Guzmán, Andrés David. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sangolquí. (5 de Febrero de 2014). [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7703/1/T-ESPE-047599.pdf>
- [7] Fundación Wikimedia, Inc. (5 de noviembre de 2014). Escáner 3D. [En línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_3D
- [8] Agfra. (5 de noviembre de 2014). Escáner 3D. [En línea]. Disponible en: <http://www.agfra.es/proyectos/hola-mundo/>
- [9] Imapas. (5 de noviembre de 2014). Digitizer, el escáner 3D de MakerBot se pone a la venta por 1.400 dólares. [En línea]. Disponible en: <http://imapas.net/2013/08/23/digitizer-el-escaner-3d-de-makerbot-se-pone-la-venta-por-1-400-dolares/>
- [10] Genius iSlim 300X Computación WEI. (8 de Abril del 2012). GENIUS - CAMARA WEBCAM GENIUS / ISLIM 300X / CAPTURA DE VIDEO DE HASTA 640 X 480 / USB / BOX. [En línea]. Disponible en: <http://www.wei.cl/index.htm?op=producto&pcode=CMGENI0314>
- [11] **AMOS, Gilat.** (2006). Matlab una introducción con ejemplos prácticos. (2ª Edición). Barcelona: Reverté, S.A.
- [12] Sanyo Denki Step-Syn. (24 de junio de 2013). Stepping Motors Catalogue. [En línea]. Disponible en: <http://www.tme.eu/es/Document/48ac9f8512124ec9a791d3759c517a64/sanyo-motor.pdf>
- [13] Microchip. (24 de junio de 2013). PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. [En línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>



Miguel Ángel Molina Hidalgo.
Nació el 27 de Mayo de 1989 en la ciudad de Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Graduado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Áreas de Interés: Automatización y control de procesos, Redes industriales, Visión Artificial, Diseño Mecánico.

E-mail: chafas_37@hotmail.com