



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA

**AUTORES: GUAMÁN GUALPA, KLEVER GEOVANNY
SOSA GUZMÁN, ANDRÉS DAVID**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA
DIGITALIZACIÓN DE OBJETOS EN 3D MEDIANTE EL USO DE MATLAB**

**DIECTOR: MSC. IBARRA, ALEXANDER
CODIRECTOR: ING. PROAÑO, VICTOR**

SANGOLQUÍ, DICIEMBRE 2013

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

CERTIFICADO

Msc. Alexander Ibarra

Ing. Víctor Proaño

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DIGITALIZACIÓN DE OBJETOS EN 3D MEDIANTE EL USO DE MATLAB”, realizado por el Sr. Klever Geovanny Guamán Gualpa con C.I. 0502775562 y el Sr. Andrés David Sosa Guzmán con C.I. 1719388827, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Klever Geovanny Guamán y Andrés David Sosa Guzmán que lo entreguen al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de Carrera.

Sangolquí, 19 de Diciembre del 2013

Msc. Alexander Ibarra
DIRECTOR

Ing. Víctor Proaño
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

KLEVER GEOVANNY GUAMÁN GUALPA

ANDRÉS DAVID SOSA GUZMÁN

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DIGITALIZACIÓN DE OBJETOS EN 3D MEDIANTE EL USO DE MATLAB”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Por consiguiente este trabajo es de nuestra autoría.

Sangolquí, 19 de Diciembre del 2013

Klever Geovanny Guamán Gualpa

Andrés David Sosa Guzmán

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Klever Geovanny Guamán Gualpa y Andrés David Sosa Guzmán

Autorizamos a la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el proyecto de grado titulado “Diseño e implementación de un sistema para digitalización de objetos en 3D mediante el uso de MATLAB” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 19 de Diciembre del 2013

Klever Geovanny Guamán Gualpa

Andrés David Sosa Guzmán

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Jaime y Lidia, como muestra de mi infinito agradecimiento, no solo por su ayuda y comprensión a lo largo de mi vida, si no más que nada por su inmenso amor. A Santhy y Diana, mis queridos hermanos, porque me llenan de alegría cada día de mi vida y son mi apoyo en los momentos difíciles. A mi abuelita que desde el cielo me da sus bendiciones.

Geovanny Guamán

A mi padre Víctor por su apoyo incondicional, confianza y ayuda, por darme todo lo necesario y más. A mi madrecita bella Carmita por su sacrificio diario, amor y comprensión, me enseñó que con esfuerzo y honradez se puede lograr todas las metas. A mis hermanos Juan, Delia y Gabriela los cuales se han convertido en mis grandes amigos que sin importar la distancia siempre están incondicionalmente para mí.

Andrés Sosa

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido llegar a este punto y haberme dado la salud, a mi gran familia por el incondicional apoyo que me han brindado para poder culminar esta etapa de mi vida, a mis directores de tesis por sus valiosos consejos brindados durante el desarrollo de este proyecto, a mi colega de investigación Andrés por que ha sido la persona con la cual hemos trabajado arduamente para poder culminar este proyecto, por ultimo a Darwin y Patricio mis grandes amigos.

Geovanny Guamán

Mi principal agradecimiento es a Dios por todas sus bendiciones. A mi amada familia por estar siempre a mi lado expresando su apoyo incondicional, gracias a ellos he podido superar todas las metas propuestas en este transcurso de mi vida. A mis directores de tesis por sus grandes enseñanzas y consejos, con su ayuda se ha logrado la culminación del presente proyecto, a mi colega de investigación Geovanny por su dedicación en la elaboración del proyecto. A mis grandes amigos: Leonardo, Damián, Fernando y Andrea por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos.

Andrés Sosa

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.4 ALCANCE	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 GENERAL	5
1.5.2 ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 DIGITALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL	6
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DIGITALIZACIÓN 3D.....	7
2.3 MÉTODOS DE DIGITALIZACIÓN 3D	8
2.3.1 SISTEMAS POR CONTACTO	8
2.3.2 SISTEMAS SIN CONTACTO	9
2.4 APLICACIONES DE LA DIGITALIZACIÓN 3D	13
2.5 SOFTWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN 3D	19
2.6 HARDWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN 3D	21
CAPÍTULO III	30
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D	30
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D.....	30
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	31
3.2 HARDWARE UTILIZADO	32
3.2.1 MOTORES A PASOS	34
3.2.2 SISTEMAS DE POLEAS CON CORREA	34
3.2.3 CÁMARA WEB APEX ST-V04.....	35
3.2.4 LÁSER.....	36
3.2.5 FUENTE DE PODER DE CORRIENTE CONTINUA.....	37
3.2.6 CIRCUITO DE CONTROL	37
3.2.7 DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO	39
3.2.8 MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD.....	40
3.2.9 DESARROLLO DE SOFTWARE.....	47

3.2.9.1 ALGORITMO VOLÚMENES NORMALES.....	48
3.2.9.2 ALGORITMO VOLÚMENES DE REVOLUCIÓN	51
3.2.10 DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE USUARIO	53
3.2.11 MODELADO DEL OBJETO EN SOLIDWORKS.....	57
CAPÍTULO IV	59
4. PRUEBAS Y GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D.....	59
4.1 PRUEBAS	59
4.2 MÉTODOS	59
4.2.1 VOLÚMENES NORMALES.....	59
4.2.2 VOLÚMENES DE REVOLUCIÓN	62
4.3 GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D	67
4.3.1 INTRODUCCIÓN	67
4.3.2 ¿CÓMO ACCEDER?.....	67
4.3.3 INTERFAZ DE DIGITALIZACIÓN	68
4.3.3.1 BARRA DE HERRAMIENTAS.....	69
4.3.3.2 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN.....	73
4.3.3.3 INICIAR LA DIGITALIZACIÓN DE UN OBJETO	76
4.3.3.4 Operaciones de visualización	77
CAPÍTULO V	79
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1 CONCLUSIONES.....	79
5.2 RECOMENDACIONES	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Digitalización de un objeto.....	7
Figura 2.	Esquema de los principales métodos de digitalización tridimensional.....	8
Figura 3.	Sistema de triangulación activa.....	12
Figura 4.	Adquisición de una cara humana por medio de la proyección de luz estructurada.....	12
Figura 5.	Sistemas CAD/CAM.....	14
Figura 6.	Proceso de escaneo de una pieza arqueológica.....	15
Figura 7.	Digitalización tridimensional de una prótesis dental.....	16
Figura 8.	Digitalización tridimensional de un rostro humano.....	17
Figura 9.	Digitalización de una estructura arquitectónica.....	17
Figura 10.	Creación de personajes digitalizados.....	19
Figura 11.	Mecanismo de transmisión.....	22
Figura 12.	Mecanismos de transmisión de poleas y correas.....	24
Figura 13.	Sistema de tornillo sinfín y rueda dentada.....	25
Figura 14.	Diagrama de bobinas del motor a pasos unipolar.....	27
Figura 15.	Cámara web.....	28
Figura 16.	Componentes del sistema de digitalización.....	30
Figura 17.	Sistema de digitalización 3D.....	33
Figura 18.	Dimensiones del Sistema de digitalización 3D.....	33
Figura 19.	Motores del sistema de digitalización.....	34
Figura 20.	Sistema de transmisión reductor de poleas con correa.....	35
Figura 21.	Diagrama electrónico del circuito de control.....	38
Figura 22.	Placa de control del Sistema de Digitalización.....	39
Figura 23.	Estructura del sistema de digitalización 3D.....	40
Figura 24.	Diagrama del posicionamiento de la cámara web.....	41
Figura 25.	Algoritmo para la medición de distancia por medio de una cámara web.....	42
Figura 26.	Representación cartesiana de los píxeles del punto rojo sobre un objeto.....	43
Figura 27.	Curva de la distancia con respecto a los píxeles en una fotografía.....	44
Figura 28.	Linealización por tramos.....	45
Figura 29.	Estructura del software de digitalización.....	47
Figura 30.	Diagrama de flujo volumen normal.....	50
Figura 31.	Diagrama de flujo volumen de revolución.....	52
Figura 32.	Interfaz del sistema de digitalización 3D.....	54
Figura 33.	Barra de herramientas.....	54
Figura 34.	Parámetros de configuración.....	55
Figura 35.	Panel de Configuración.....	56
Figura 36.	Panel de visualización.....	56
Figura 37.	Exportación del modelo 3D a SolidWorks.....	57
Figura 38.	Taza de café.....	60
Figura 39.	Taza de café digitalizada en MATLAB.....	60

Figura 40.	Base para vela.....	61
Figura 41.	Base para vela digitalizada en MATLAB.....	61
Figura 42.	Copa para champán.....	62
Figura 43.	Copa de champán digitalizada en MATLAB.....	62
Figura 44.	Copa para brandy.....	63
Figura 45.	Copa para brandy digitalizada en MATLAB.....	63
Figura 46.	Copa para coctel.....	64
Figura 47.	Copa para coctel digitalizada en MATLAB.....	64
Figura 48.	Azucarera.....	65
Figura 49.	Azucarera digitalizada en MATLAB.....	65
Figura 50.	Tapa de azucarera.....	66
Figura 51.	Tapa de azucarera digitalizada.....	66
Figura 52.	Pantalla de presentación del sistema de digitalización 3D.....	68
Figura 53.	Botones de la Pantalla de inicio.....	68
Figura 54.	Interfaz de Digitalización.....	69
Figura 55.	Barra de Herramientas.....	69
Figura 56.	Pestaña Archivo.....	70
Figura 57.	Pantalla de Importación.....	70
Figura 58.	Importación de un Proyecto.....	71
Figura 59.	Exportación de la nube de puntos.....	72
Figura 60.	Opciones de pestaña Herramientas.....	72
Figura 61.	Pestaña de Ayuda.....	73
Figura 62.	Parámetros de configuración.....	73
Figura 63.	Identificación del puerto de comunicación.....	74
Figura 64.	Administrador de Dispositivos.....	74
Figura 65.	Cámara Web detectada por el Administrador de dispositivos.....	75
Figura 66.	Proceso de digitalización.....	76
Figura 67.	Operaciones de visualización.....	77
Figura 68.	Opciones de edición.....	77
Figura 69.	Edición del color de un objeto.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ventajas y desventajas del sistema de transmisión de poleas y correas.....	24
Tabla 2.	Secuencias para paso simple.....	26
Tabla 3.	Distancia en relación a los píxeles.....	44

RESUMEN

El presente proyecto “Diseño e implementación de un sistema para digitalización de objetos en 3D mediante el uso de Matlab” brinda a la industria una solución sencilla y económica para obtener modelos tridimensionales de objetos, los cuales puedan ser exportados a programas CAD/CAM que tengan la capacidad de modificar las características físicas de los mismos y a través de estos realizar una producción en serie.

Este documento no solo contiene el marco teórico y justificativo del proyecto, sino una documentación extensa tanto del desarrollo de Hardware y Software, así como un conjunto de pruebas realizadas de la digitalización de distintos objetos.

Para obtener un óptimo funcionamiento del sistema tridimensional se ha estudiado cuidadosamente los métodos de digitalización, analizando sus ventajas y desventajas para determinar cuál de ellos es la más eficiente al digitalizar un objeto, tomando en cuenta sus características físicas.

Palabras clave:

- Digitalización 3D
- Nube de puntos
- MATLAB
- Profundidad
- Volúmenes

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Un sistema de digitalización 3D se encarga de escanear un objeto para crear un modelo 3D y ser visualizado en un software. El uso de un escáner 3D permitirá obtener la textura del objeto con todos sus detalles.

Al tener el modelo 3D de un objeto, puede ser utilizado por industrias manufactureras, para generar nuevas formas de producción permitiendo tener un ahorro de tiempo, producción en serie, control de calidad, reducción de desperdicios, flexibilidad en la producción y disminución de gastos, esto se debe a las simulaciones y modificaciones del modelo 3D en un software.

El modelo 3D puede ser utilizado en una maquinaria CNC (Control numérico por computadora) o una fresadora para la producción de un objeto con mayor precisión y calidad, debido a que los elementos automatizados de manufactura no presentan errores como el ser humano.

Al usar maquinaria CNC se crean objetos que pueden tener aplicaciones en la arqueología, medicina, cine, industria de la moda, etc. debido a la calidad que existe en la creación de los modelos 3D.

En este proyecto se realizará un sistema de digitalización de objetos en tres dimensiones para ser visualizados en un software, tomando en cuenta

un conjunto de especificaciones eléctricas como mecánicas para su implementación.

1.2 ANTECEDENTES

En los últimos años se ha producido un creciente avance tecnológico en la digitalización de objetos en 3D que han dado como resultado nuevos métodos para la obtención del modelo 3D.

Recientemente los procesos de digitalización están produciendo grandes cambios en la industria por la facilidad de escanear objetos en 3D de las más variadas formas. Básicamente la función del escaneado es la de convertir un producto ya existente en un archivo digital, de modo que pueda ser editado y reproducido a través de una computadora manteniendo sus características físicas. A este proceso de escaneado en 2D o en 3D se lo denomina “digitalización” (Tecnologías de escaneo en 3D, 2013).

La generación de un objeto en tercera dimensión es un proceso en el cual se debe implementar una gran exactitud. En la actualidad existen distintos sistemas que utilizan la digitalización 3D para la interacción con el objeto a escanear, estos sistemas pueden ser divididos en dos grandes grupos: sistemas con o sin contacto.

Para digitalizar un objeto se utilizará un sistema de digitalización sin contacto debido a las ventajas que presenta, una de ellas es la velocidad de adquisición de datos que es superior a las de los digitalizadores por contacto (Federico Cristina, 2013).

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En la actualidad, la mayoría de industrias que realizan diversos procesos de manufactura no poseen las herramientas tecnológicas necesarias para la creación de objetos en 3D. La implementación de un sistema de digitalización beneficiará a la industria manufacturera con la creación de modelos únicos que sirven como patrón para la fabricación de productos en serie.

Existen varias técnicas para la digitalización de objetos, pero la mayoría requieren de recursos económicos elevados, por lo cual se ha desarrollado un sistema mecánico (hardware) y visual (software), los cuales permiten tener las mismas características de un moderno sistema de digitalización pero a bajos costos de implementación.

Para el desarrollo de un sistema de digitalización se ha realizado un estudio de parámetros técnicos como: características de sensores, tasas de muestro de información, velocidad de motores, entre otros; dichos parámetros determinan la creación de objetos en 3D. Al realizar un estudio en dichos parámetros se logra mejorar características esenciales del producto final.

En algunas industrias el proceso utilizado para la creación de objetos en 3D mediante el uso de tecnología no se encuentra implementado, debido a una falta de recursos en el área tecnológica.

Mediante el desarrollo del sistema de digitalización se mejora la calidad en los procesos de manufactura, alcanzando un alto grado de productividad, eficiencia y beneficios.

1.4 ALCANCE

Se ha realizado el análisis y desarrollo de un sistema de digitalización de objetos en 3D mediante el uso de herramientas mecánicas y electrónicas.

El control del sistema se realiza con un microcontrolador, el cual se encarga de mover los motores que se encuentran empotrados en la base de la estructura mecánica, uno de ellos permite desplazar la cámara web para obtener información de los relieves del objeto y así proceder a su digitalización con la ayuda de un algoritmo realizado en MATLAB. Mediante comunicación serial se realiza el control de los motores.

Mediante la creación de una HMI (Interfaz Humano Maquina) se permite al usuario observar cómo se realiza la digitalización del objeto y controlar la velocidad de giro de los motores que se encuentran empotrados en la base de la estructura mecánica, el primer motor permite realizar un movimiento circular del objeto a digitalizar y el segundo motor se encarga del desplazamiento vertical de la cámara web, dichas velocidades son necesarias en la adquisición de datos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 GENERAL

- Realizar el diseño e implementación de un sistema para la digitalización de objetos en 3D mediante el uso de MATLAB

1.5.2 ESPECÍFICOS

- Identificar los diferentes elementos y componentes a controlarse para un sistema de digitalización de objetos en 3D.
- Aplicar una técnica de digitalización con el propósito de extraer datos provenientes del objeto.
- Acoplar la estructura mecánica y los distintos dispositivos electrónicos para desarrollar el sistema de digitalización de objetos en 3D.
- Verificar los resultados obtenidos de la digitalización por medio de una HMI en MATLAB.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DIGITALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL

La digitalización 3D consiste en la creación de un modelo gráfico computacional del objeto, presentando características como textura y color. El modelo creado puede ser manipulado mediante un software 3D, con el fin de poder alterar sus características.

La digitalización puede ser llevado a cabo por distintos dispositivos como: escáner, sensores laser, cámaras web, palpadores, entre otros. El resultado de la digitalización con estos dispositivos genera una “nube de puntos” para ser recreados en un software CAD (Diseño asistido por computador) y con un software CAM (Manufactura asistida por computador) generar códigos que puedan ser reconocidos por máquinas CNC (Forero, 2011).

El escaneo 3D es utilizado por las industrias: modistas, maquetistas, transformadoras de plásticos y manufactureras, las cuales buscan la generación de modelos confiables. A partir de esto se detalla los principales aspectos que presenta un sistema 3D:

- Posibilidad de crear simulaciones las cuales puedan ser modificadas.
- Capacidad de realizar una reproducción de un objeto aproximadamente igual al original.

- Creación de un documento detallado el cual indique las características de un objeto en un instante determinado y poder almacenarlo

En la figura 1 se muestra el escaneo 3D de un objeto con un sensor láser. Este sensor presenta un haz lineal que permite un escaneo de dos planos X, Y para generar la nube de puntos.

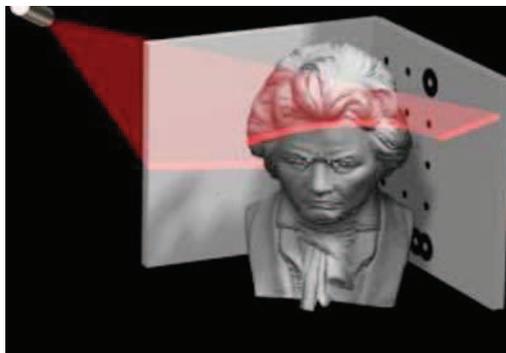


Figura 1. Digitalización de un objeto (Escaner 3D de bajo coste, 2013).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DIGITALIZACIÓN 3D

Dentro de la digitalización 3D se puede mencionar características como: precisión, velocidad, resolución, seguridad y capacidad de captura del objeto. Todas estas características se pueden emplear en varios tipos de objetos de distintas texturas y dimensiones geométricas al momento de generar los distintos puntos del objeto.

Dependiendo del método para digitalizar un objeto, la precisión y la velocidad pueden incrementarse notablemente al realizar la adquisición de

puntos. En consecuencia ningún método de digitalización debe dañar ni alterar el objeto digitalizado (CINPI, 2013).

2.3 MÉTODOS DE DIGITALIZACIÓN 3D

En la actualidad existen distintos sistemas para la digitalización 3D, que se dividen principalmente en sistemas por contacto y sistemas sin contacto. La figura 2 muestra un esquema de los principales métodos de digitalización tridimensional.



Figura 2. Esquema de los principales métodos de digitalización tridimensional.

2.3.1 SISTEMAS POR CONTACTO

Los sistemas por contacto son los más antiguos, consisten en explorar la superficie de los objetos a digitalizar por medio del contacto físico, estos

sistemas adquieren las coordenadas de los puntos del objeto al desplazar una punta sobre su superficie.

Los sistemas por contacto pueden dividirse a su vez en dos grupos: Sistemas de Posicionamiento Tridimensional y Punta Montada Sobre un Brazo Robot. Estos sistemas mecánicos determinan las coordenadas 3D de la superficie a digitalizar al tocarlos con la punta, por lo cual es necesario que las piezas a digitalizar posean la rigidez necesaria para que no sufran daños o modificaciones al entrar en contacto con la punta (Arqueología, 2013).

2.3.2 SISTEMAS SIN CONTACTO

Los sistemas sin contacto utilizan equipos que emiten un cierto tipo de energía como luz o sonido para poder escáner el objeto. Una de las principales ventajas de este método de digitalización 3D es su velocidad de adquisición de datos, la cual es mayor en comparación a los digitalizadores por contacto. Las técnicas de digitalización sin contacto se pueden dividir en técnicas de visión activa y pasiva (Federico Cristina, 2013).

TÉCNICAS DE VISIÓN ACTIVA

Este método consiste en proyectar una fuente de luz específica para determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos. Las técnicas de visión activa pueden dividirse en métodos basados en la reflexión (*aquellos que recogen la energía reflejada por el mismo*) y en la transmisión (*aquellos*

que recogen la energía transmitida por el mismo). Los métodos basados en la reflexión pueden dividirse en sistemas ópticos y no ópticos (Villa, 2009).

- **SISTEMAS ÓPTICOS**

Los sistemas ópticos constan siempre de un emisor de luz y un receptor. Conociendo la dirección del rayo emitido y la del recibido se obtienen las dimensiones del triángulo formado así como la profundidad del punto inspeccionado (Sistemas ópticos, 2013). Existen tres tipos de sistemas ópticos:

- a) Triangulación activa
- b) Proyección de luz estructurada
- c) Telemetría o tiempo de vuelo 3D

a) TRIANGULACIÓN ACTIVA

La triangulación activa está basada en la aplicación de un haz de luz por medio de un emisor láser sobre la superficie de la escena que se desea examinar; posteriormente la luz reflejada del láser es captada por un sistema óptico (*cámara digital*), el cual a través de un sensor CCD (Dispositivo de acoplamiento por carga), que se encuentra dentro de la cámara, ubica las medidas de profundidad de la superficie inspeccionada como deformaciones de la luz láser. Estas medidas son representadas en una señal de imagen digital que contiene información referente a las coordenadas X, Y, Z del conjunto de curvas de la superficie escaneada. El

punto del láser sobre la superficie del objeto, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo.

Los escáneres de triangulación utilizan una línea de luz láser, horizontal o vertical, que barre el objeto con una orientación perpendicular a esta línea en lugar de emitir un solo punto cada vez. De esta manera el proceso de adquisición de los datos es más veloz. Es importante mencionar que debido a las formas irregulares de los objetos existen zonas ocultas, haciéndolas invisibles para el recorrido del láser las cuales se denominan zonas oscuras (Villa, 2009).

También se recupera información acerca del color de cada punto basado en matrices con referencia RGB (*Rojo, Verde, Azul*) y se genera la correspondiente relación entre la superficie y los atributos de color, que darán como resultado la visualización de la textura del modelo. Las tomas individuales de los diferentes segmentos del objeto a escanear posteriormente deben unirse en los puntos concordantes para crear superficies de puntos que conformarán el modelo completo en 3D. La ventaja de este método es su grado de precisión que puede llegar a ser del orden de los micrómetros.

En la figura 3 muestra la técnica de triangulación activa basada en la aplicación de un haz de luz por medio de un emisor láser sobre la superficie del objeto a digitalizar.

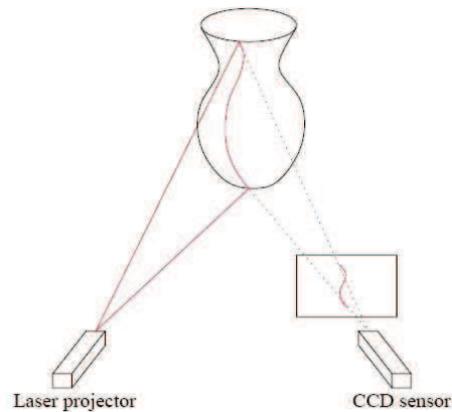


Figura 3. Sistema de triangulación activa (Arqueología, 2013).

b) PROYECCIÓN DE LUZ ESTRUCTURADA

En este método el emisor es un proyector de luz blanca y el receptor es una cámara CCD. Cuando se inicia una digitalización el proyector lanza sobre el objeto una serie de franjas de luz verticales de claros y sombras alternadas, que son registradas por la cámara (León, 2013). La figura 4 muestra la adquisición de la información obtenida de una cara humana visualizada en un software por medio de la proyección de luz estructurada.

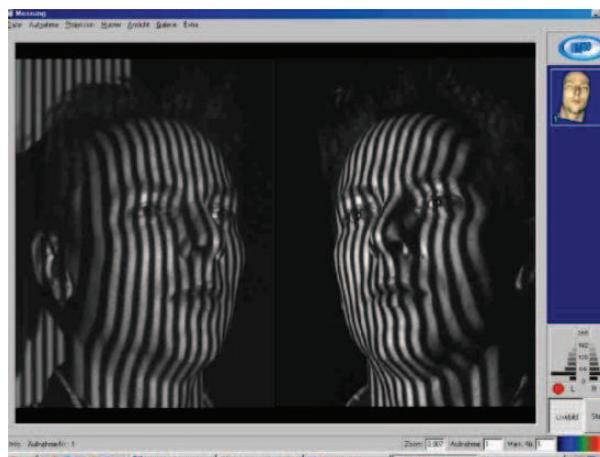


Figura 4. Adquisición de una cara humana por medio de la proyección de luz estructurada (Escaner 3D de luz estructurada, 2013).

c) TELEMETRÍA O TIEMPO DE VUELO 3D

La telemetría consiste en medir el tiempo de recorrido de láser hasta la superficie de medida. Se puede medir de dos formas: con la medida del tiempo de vuelo o por el cálculo de la diferencia de fase. En el primer caso los datos se obtienen midiendo el tiempo entre la emisión del impulso luminoso y la observación del retorno. En el segundo se regula el impulso luminoso siguiendo una frecuencia determinada y se mide el desfase entre el rayo emitido y la luz retornada. Estas técnicas son muy útiles para realizar escaneos de grandes estructuras como pueden ser edificios o topografías geográficas (Escaner 3D de luz estructurada, 2013).

- **SISTEMAS NO ÓPTICOS**

Los métodos no ópticos se basan fundamentalmente en la medida del tiempo de vuelo al proyectarse sobre una superficie (Vargas, 2009). Existen dos tipos de sistemas no ópticos:

- Sistemas basados en ultrasonidos.
- Sistemas basados en microondas.

2.4 APLICACIONES DE LA DIGITALIZACIÓN 3D

El mundo de la digitalización 3D ha evolucionado cada vez más en la actualidad, por lo que se ha convertido en una técnica con la cual se han desarrollado aplicaciones en la industria, arqueología, medicina, arquitectura, industria de la moda, cine, etc.

INDUSTRIA

Gracias al uso de la digitalización tridimensional los sistemas de manufactura han alcanzado un gran desarrollo, en la actualidad se han logrado diseñar piezas las cuales son idénticas a su original gracias al uso de modelos de alta precisión que se logra por medio de sistemas CAD/CAM. El uso de nuevas herramientas para la manufactura ha proporcionado la creación de diversos productos con alto grado de calidad y productividad (RSV, 2013). En la figura 5 se indica un sistema CAM en el cual un taladro moldea una pieza teniendo como referencia la nube de puntos obtenida desde un sistema CAD.

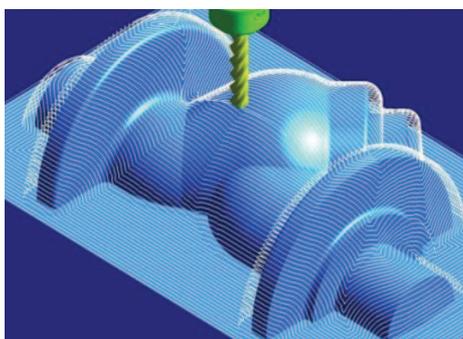


Figura 5. Sistemas CAD/CAM (Sistemas CAD/CAM, 2013).

ARQUEOLOGÍA

El uso de sistemas de digitalización 3D en la arqueología ha sido de gran importancia, por medio del análisis computacional de restos arqueológicos y arquitectónicos se ha podido descubrir información sobre la manera de vivir de las diferentes culturas en el pasado.

Otro gran avance consiste en la maquetación por medio de la cual se han realizado copias en tamaño real o a escala de una figura para proceder a un estudio detallado del mismo. Con el uso de la digitalización se ha creado la capacidad de reconstruir aquellas piezas arqueológicas las cuales han sido deterioradas por el tiempo (León, 2013).

Para realizar el proceso de digitalización se usa la estereofotogrametría que replica la capacidad del cerebro humano para recrear un modelo tridimensional basándose en la visión estereoscópica. En la figura 6 se indica la rotación de una pieza arqueológica para realizar el escaneo 3D de la misma.



Figura 6. Proceso de escaneo de una pieza arqueológica (Arqueología, 2013).

MEDICINA

La medicina es una de las áreas en la cual la digitalización 3D ha tenido un gran desarrollo, debido a que es utilizada para la creación de prototipos para reemplazar a miembros del cuerpo humano. Este proceso es de gran utilidad ya que permite al paciente tener una vida normal, puesto que muchos de los prototipos son electrónicos y realizan acciones similares a las partes humanas originales.

Otra característica principal es la capacidad de flexibilidad es decir debido a que cada persona es única en su apariencia física, los médicos pueden usar esta información para crear y/o personalizar los productos médicos para sus pacientes (CINPI, Digitalización 3D aplicada a la medicina, 2013).

Dentro de la medicina otra área la cual ha tenido un gran desarrollo es la odontología, esto se debe a que los odontólogos utilizan la digitalización para la reconstrucción de prótesis dentales y aparatos ortopédicos. En la figura 7 se indica la digitalización de un modelo dental para la creación o modificación de una prótesis.

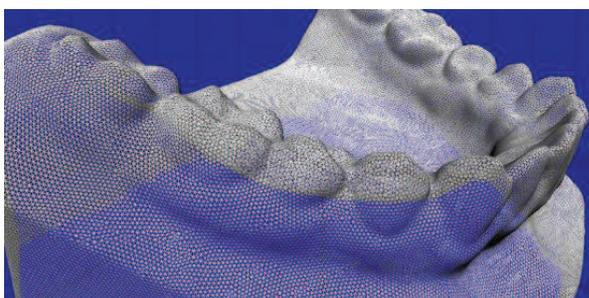


Figura 7. Digitalización tridimensional de una prótesis dental. (Prótesis dental 3D, 2013)

El uso de sistemas sin contacto se determinó para pacientes que tengan quemaduras en la piel con el fin de no intervenir las áreas afectadas (CINPI, Digitalización 3D aplicada a la medicina, 2013).

En la figura 8 se muestra el modelo 3D de un rostro humano del cual se crearán mascarillas para víctimas de quemaduras.

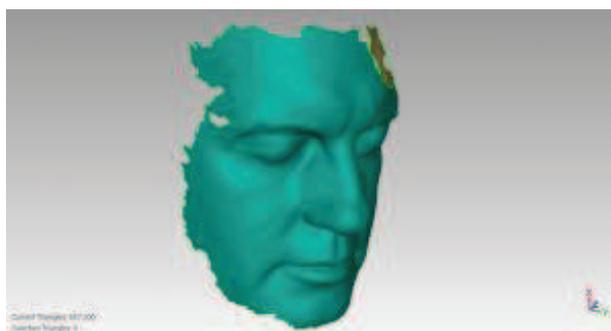


Figura 8. Digitalización tridimensional de un rostro humano.

ARQUITECTURA

En la actualidad se realizan animaciones virtuales de distintas construcciones, por lo tanto la digitalización debe indicar detalladamente los aspectos importantes de las estructuras (Digitalización 3D en la arqueología, 2013).

Con la digitalización se ha realizado la reconstrucción de edificaciones antiguas, ya que se puede determinar los elementos utilizados al igual que el tiempo que llevan dichas construcciones, esto se lo realiza con el fin de determinar los materiales para su reparación. En la figura 9 se muestra la digitalización completa de una estructura arquitectónica.

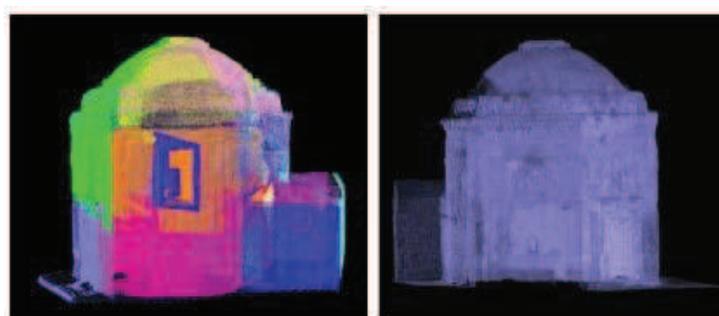


Figura 9. Digitalización de una estructura arquitectónica (Arqueología, 2013).

INDUSTRIA DE LA MODA

Gracias a la digitalización tridimensional la industria de la moda tiene la capacidad de crear una gran cantidad de diseños personalizados con distintas formas y tamaños de acuerdo a la necesidad de las personas.

En la actualidad la industria de calzado utiliza dichos métodos para la creación de grandes lotes de producción, esto se debe a que realizan moldes los cuales posteriormente se reproducirán a grandes escalas con mayor rapidez por medio de distintos procesos de producción (Digitalización 3D para modelos de personas, 2013).

CINE

En el cine la aplicación de la digitalización 3D ha sido muy extensa debido a que las películas de ciencia ficción en cada momento aumentan la demanda de personajes poco comunes, dichos personajes parten de un proceso de digitalizado de una persona normal puesto que posteriormente se creara un molde o disfraz para la persona, una vez realizado el proceso de digitalización se modifica sus aspectos en un software para obtener características propias del personaje como orejas alargadas, colmillos, etc (La digitalización del cine, 2013).

En la figura 10 se observa la digitalización tridimensional de un personaje para la industria cinematográfica.

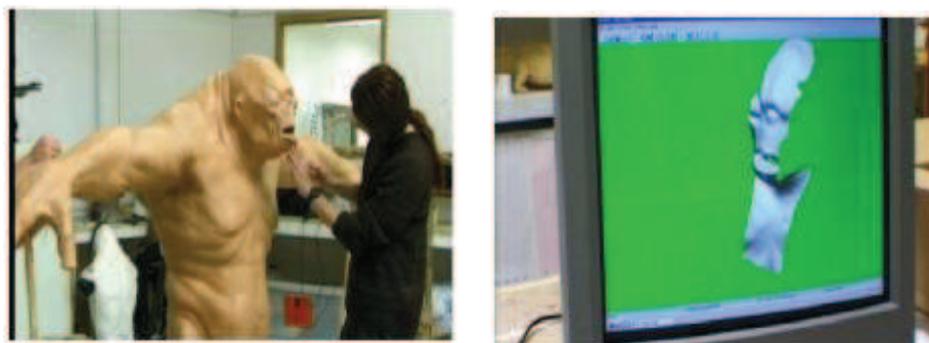


Figura 10. Creación de personajes digitalizados (Scopigno, 2013).

2.5 SOFTWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN 3D

Una vez extraída la nube de puntos del objeto un software especializado como MATLAB se encarga de convertir los datos numéricos en un archivo CAD para tener una representación sólida.

INTRODUCCIÓN A MATLAB

Las herramientas computacionales han sido una gran ayuda para los ingenieros, ya que pueden tener un mejor entendimiento de conceptos aprendidos. Así mismo, se pueden realizar operaciones complejas en muy poco tiempo y tener más eficiencia al momento de hacer un trabajo.

MATLAB es una herramienta que fue creada por la compañía Mathworks, Inc. Ésta es considerada como un entorno de cálculo técnico, el cual brinda grandes prestaciones para cálculo numérico y visualización de análisis numéricos, cálculo matricial, procesamiento de señales y gráficos (Capítulo 3 MATLAB, 2013).

GRÁFICOS DISPONIBLES EN MATLAB

MATLAB dispone de gráficos especializados para actividades científicas y técnicas. Desde representaciones lineales en 2D de datos básicos hasta diagramas de contorno etiquetados y GUIs interactivos, estas herramientas brindan funciones de creación de modelos visuales que le ayudarán a comprender sistemas complejos (Capítulo 2 MATLAB, 2013).

GUI Y GUIDE

Es el método para que el usuario pueda interactuar o conectarse con la computadora y tiene como finalidad comunicarse o intercambiar información.

El interface GUI (*Interfaz Gráfica de Usuario*) sirve para formar o introducir objetos gráficos, se usará como herramienta principal para darle un nuevo diseño al programa, como las ventanas, íconos, botones, menús y texto. La forma más usual de utilizar este método es con el mouse. El principal objetivo de utilizar una interface gráfica, es para realizar herramientas que sean más eficaces, con la finalidad de hacer didácticos los programas (Capítulo 2 MATLAB, 2013).

La GUI normalmente contiene controles, como menús, barras de herramientas, botones y controles deslizantes. Entre otras de sus características presenta el análisis de señales por medio de cajas de herramientas para el ajuste de curvas y herramientas de sistema de control, además incluye aplicaciones con interfaces de usuario personalizadas

(Matlab GUI, 2013). Existen diferentes lenguajes de programación que permiten crear una GUI tales como: C, Visual Basic, TK, etc. solo por mencionar algunos. Todos ellos permiten usar diferentes controles y maneras de programarlos. MatLab nos permite realizar GUIs de una manera muy sencilla usando GUIDE.

GUIDE (GUI Development Environment) es un conjunto de herramientas que se presenta en MatLab. GUIs, es un paquete interactivo diseñado para realizar los GUIs más fácil para el usuario. Este paquete de herramientas cuenta con un panel de control, que sirve para crear, colocar y ajustar la medida de algún objeto.

CREACIÓN DE UNA GUI EN MATLAB

Una de las tantas herramientas con la que cuenta MatLab, es la creación de GUIs. La forma de implementar las GUI con MatLab es crear los objetos y definir las acciones que cada uno va a realizar. Al usar GUIDE obtendremos dos archivos:

- Un archivo .FIG Contiene la descripción de los componentes que contiene la interfase.
- Un archivo .M Contiene las funciones y los controles del GUI así como el callback (Usando GUIDE, 2103).

2.6 HARDWARE PARA LA DIGITALIZACIÓN 3D

Dentro del proyecto a realizar se determinará un conjunto de elementos los cuales serán necesarios para el desarrollo del mismo como:

Parte Mecánica:

- Mecanismo de transmisión de potencia
- Motores eléctricos

Parte Electrónica:

- Cámara Web
- PIC
- Reguladores de Voltaje
- Resistencias
- Capacitores

MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Se llama mecanismo a un conjunto de elementos rígidos, móviles unos respecto de otros, unidos entre sí mediante diferentes tipos de uniones cuyo propósito es la transmisión de movimientos y fuerzas (Mecanismo y maquinas, 2013). La figura 11 indica el diagrama de bloques de un mecanismo de transmisión de potencia.

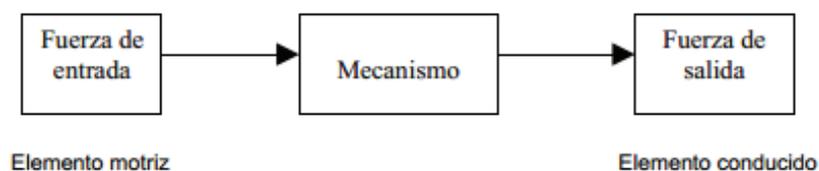


Figura 11. Mecanismo de transmisión(Mecanismos, 2013).

Entre los mecanismos de transmisión más importantes empleados en la transmisión de potencia mecánica a través de cadenas cinemáticas,

podemos destacar: sistemas de poleas y correas, sistemas de ruedas de fricción, sistemas de engranajes, sistemas de ruedas dentadas y cadenas, sistemas de tornillo sinfín y rueda helicoidal, sistemas de rueda dentada y cremallera, etc (Mecanismos de transmisión, 2013).

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POLEAS Y CORREAS

Los sistemas de transmisión de poleas y correas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por una fuente de energía entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia. La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento de éstas sobre las poleas, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento rotatorio y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. Para determinar la relación de transmisión de poleas se utiliza la ecuación 1.

$$i = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{Ecuación 1 Relación de transmisión de poleas}$$

donde:

- i es la relación de transmisión.
- d_1 es el diámetro de la polea conductora.
- d_2 es el diámetro de la polea conducida

La figura 12 muestra un mecanismo de transmisión de movimiento conformado por dos poleas y una correa, en el cual el movimiento puede ser generado por cualquier polea (Sistema de poleas y correas, 2013).

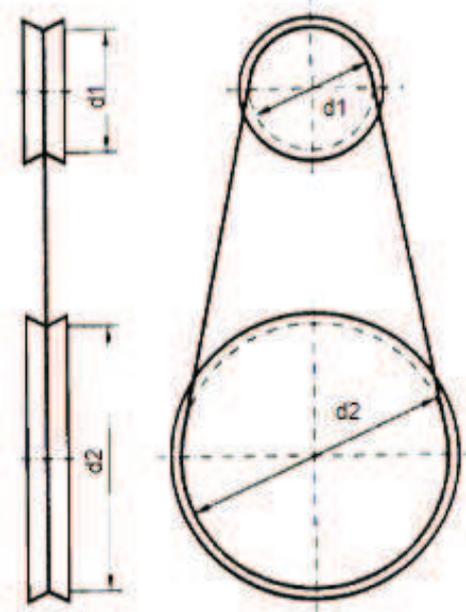


Figura 12. Mecanismos de transmisión de poleas y correas.

La tabla 1 muestra las ventajas y desventajas de un sistema de transmisión de poleas y correas.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del sistema de transmisión de poleas y correas.

Ventajas	Desventajas
Posibilidad de unir el árbol de conductor al conducido a distancias grandes	Grandes dimensiones exteriores
Funcionamiento suave, sin choques y silencioso	Inconstancia de la relación de transmisión cinemática debido a deslizamiento elástico
Facilidad de ser empleada como fusible mecánico	Variación del coeficiente de rozamiento
Diseño sencillo, sin cárter ni lubricación	Vida útil relativamente baja
Costo relativamente bajo	
Transmisión de potencia a altas velocidades	

(Flores, 2013)

SISTEMA DE TORNILLO SIN FÍN Y RUEDA DENTADA

Con este mecanismo, además de poder transmitir fuerza y movimiento entre dos ejes perpendiculares entre sí, se pueden conseguir relaciones de transmisión altas. Se trata de un sistema irreversible, en el cual únicamente es posible transmitir potencia del eje del sinfín (1) al eje de la rueda (2), pero no en sentido contrario. (Sistema de tornillo sin fin y rueda dentada, 2013). Para determinar la relación de transmisión en el tornillo sin fin se utiliza la ecuación 2.

$$i = \frac{e1}{z2} \quad \text{Ecuación 2 Relación de transmisión del tornillo sin fin.}$$

donde:

- i es la relación de transmisión.
- $e1$ es el número de entradas del tornillo sin fin.
- $z2$ es número de dientes de la rueda (Flores, 2013).

La figura 13 muestra el diagrama de un tornillo sinfín y una rueda dentada.

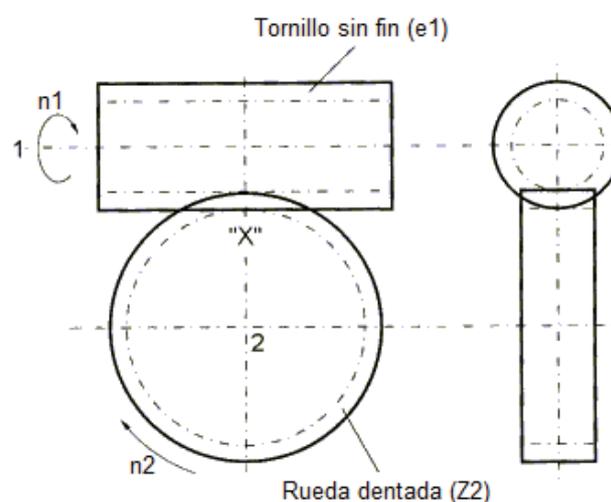


Figura 13. Sistema de tornillo sinfín y rueda dentada. (Engranajes, 2013)

a) MOTORES A PASOS UNIPOLAR

Estos motores suelen tener 6 ó 5 cables de salida dependiendo de su conexionado interno, que suelen ser comúnmente 4 cables por los cuales se reciben los pulsos que indican al motor la secuencia y duración de los pasos, los restantes sirven como alimentación al motor. Existen tres secuencias para el control de estos motores lo cuales son:

- Paso simple.
- Paso doble.
- Medio paso.

Paso Simple: Esta secuencia de pasos es la más simple de todas y consiste en activar cada bobina una a una y por separado, con esta secuencia de encendido de bobinas no se obtiene mucha fuerza ya que solo es una bobina cada vez la que arrastra y sujeta el rotor del eje del motor. La tabla 2 muestra las secuencias de control paso simple de un motor paso a paso unipolar.

Tabla 2. Secuencias para paso simple

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

(Fuente: Elaboración propia)

Paso doble: Con el paso doble activamos las bobinas de dos en dos con lo que hacemos un campo magnético más potente que atraerá con más fuerza y retendrá el rotor del motor en el sitio.

Medio paso: Combinando los dos tipos de secuencias anteriores podemos hacer moverse al motor en pasos más pequeños y precisos y así pues tenemos el doble de pasos de movimiento para el recorrido total de 360° del motor (Secuencia para manejar motores paso a paso, 2013). La figura 14 indica las bobinas existentes en el motor a pasos unipolar.

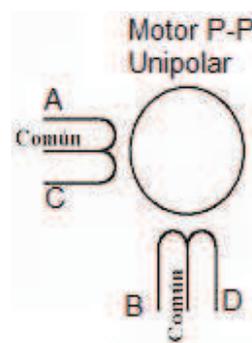


Figura 14. Diagrama de bobinas del motor a pasos unipolar. (Tutorial sobre motores a pasos, 2013)

CÁMARA WEB

Una webcam o cámara web nos permite captar imágenes que hacen posible la visualización remota. Cuando la luz de la imagen pasa por la lente, esta se refleja en un filtro RGB (*Red-Green-Blue*), el cuál descompone la luz en tres colores básicos: rojo, verde y azul. (Que es una cámara web, 2013). Esta división de rayos se concentra en un chip sensible a la luz denominado CCD, el cuál asigna valores binarios a cada píxel y envía los datos digitales para su codificación en video y posterior almacenamiento. (La cámara web, 2013)

La figura 15 muestra la cámara web utilizada para la elaboración de este proyecto.



Figura 15. Cámara web (Cámara de alta definición, 2013).

PIC

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (interfaz de controlador de periférico). Estos microprocesadores poseen grandes características ya que posee un conjunto de interrupciones las cuales pueden ser utilizadas en distintas aplicaciones. EL PIC posee gran cantidad de puertos mediante los cuales se puede controlar varios actuadores (Microcontrolador, 2013).

- **ENTORNO DE PROGRAMACIÓN**

El PIC posee un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador con una: constante, posición de memoria, instrucciones de condicionamiento, de salto/retorno, implementación de interrupciones y una

para pasar a modo de bajo consumo llamada sleep. Un moderno y completo compilador para lenguaje C es mikroC, que es un ambiente de desarrollo con editor de texto, bibliotecas con múltiples funciones para todos los módulos y herramientas para el proceso de programación (Microcontrolador PIC, 2013).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D

El sistema de digitalización se encuentra estructurado de varios elementos como: hardware y software. En la figura 16 se indica los componentes del sistema de digitalización.

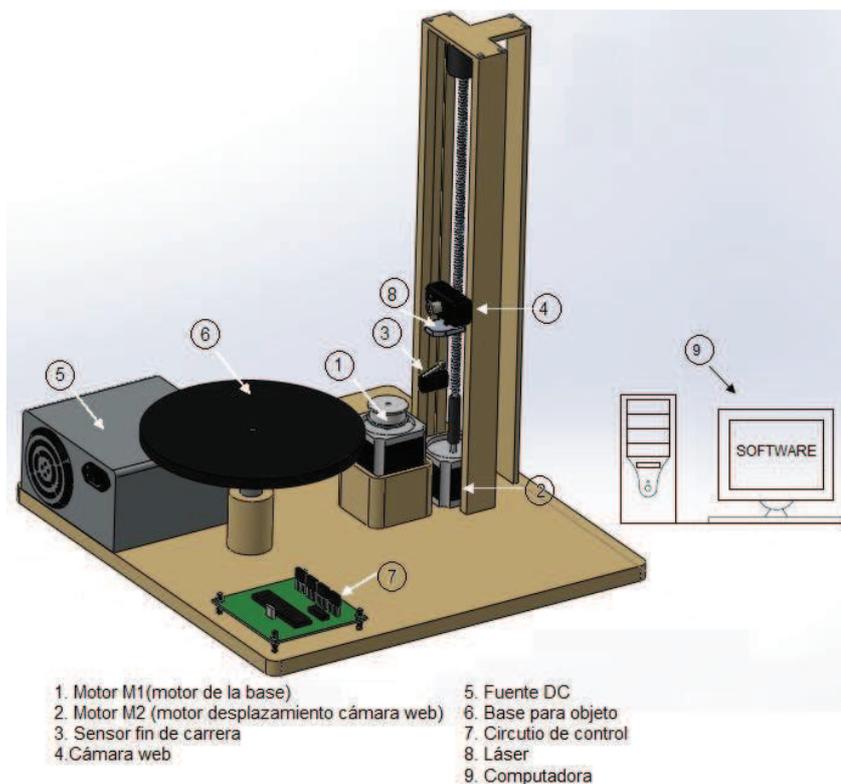


Figura 16. Componentes del sistema de digitalización

El funcionamiento del sistema de digitalización tridimensional depende del objeto a escanear, esto se debe a la geometría del mismo por lo cual se

ha desarrollado dos métodos de digitalización, uno para volúmenes normales y otro para volúmenes de revolución.

Para realizar la digitalización de un objeto se usa una cámara web en conjunto con un puntero laser, con la ayuda de un algoritmo se halla el punto rojo generado por el láser en la fotografía instantánea capturada por la webcam, la cual será procesada para hallar su valor de distancia.

Para la digitalización de un volumen normal se debe realizar un escaneo en los tres planos, para lo cual el motor de la base rota el objeto 360°. Cuando se completa una vuelta el motor del tornillo sin fin realiza un desplazamiento vertical de 3 mm de la cámara web y el puntero láser hasta cubrir toda la altura del objeto, de esta manera el ciclo se repetirá y se realizará un escaneo completo en los ejes X, Y, Z.

Al realizar la digitalización de un volumen de revolución únicamente es necesario el escaneo en dos planos X, Z para lo cual el motor del tornillo sin fin realiza un desplazamiento vertical de la cámara web y el puntero laser y con la ayuda de programación se halla el resto de puntos correspondientes al objeto.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

EL sistema ha sido diseñado con las siguientes especificaciones:

- Las mediciones del objeto a digitalizar deben tener como máximo 65 mm de radio en la base y una altura de 180 mm.

- El objeto digitalizado deberá ser totalmente sólido y no de materiales translúcidos.
- El objeto deberá ser de color mate a excepción del color blanco.
- El peso del objeto debe ser máximo de 453.59 gr.
- Resolución máxima de medición de cada objeto es de 0,3 mm. Esta se encuentra especificada por las dimensiones del punto rojo del láser.
- EL objeto deberá estar en el centro de la base asignada para la digitalización.
- La habitación en donde se realice la digitalización deber tener de 50 a 60 luxes.
- El proceso de digitalización será con fines principalmente pedagógicos; sin embargo con pocas adaptaciones puede ser implementado a nivel industrial.
- El actual proyecto solo puede digitalizar objetos que no tengan muchos detalles.

3.2 HARDWARE UTILIZADO

La estructura mecánica del sistema de digitalización 3D está compuesta de varios elementos como: motores a pasos, sistema de poleas con correa, sistema de desplazamiento lineal con tornillo sin fin, cámara web, fuente de poder de corriente continua y un circuito de control.

La figura 17 muestra la estructura mecánica utilizada para el sistema de digitalización en 3D.



Figura 17. Sistema de digitalización 3D

La figura 18 muestra las dimensiones del largo, ancho y alto de la estructura metálica en SolidWoks.

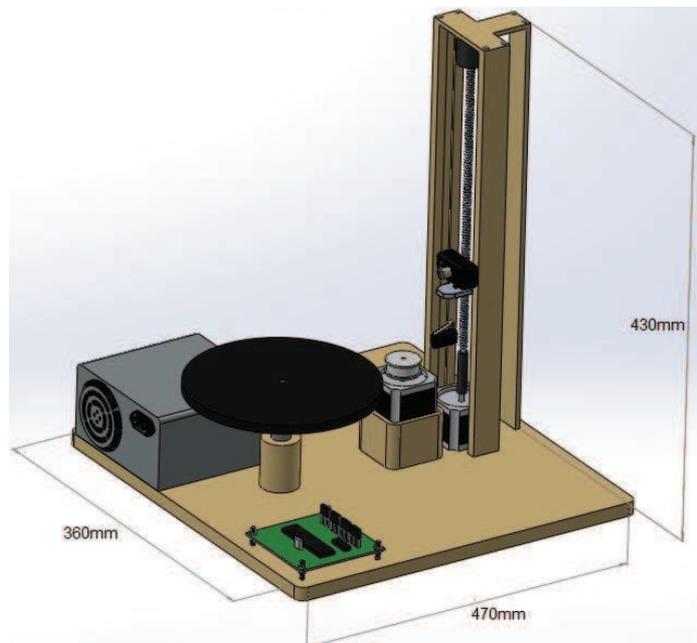


Figura 18. Dimensiones del Sistema de digitalización 3D.

3.2.1 MOTORES A PASOS

Los dos motores a pasos utilizados están empotrados en la base de la estructura mecánica. La función del motor m1 (*motor de la base*) es de mover el sistema de poleas con el fin de dar movimiento a la base que va a alojar al objeto que se pretende digitalizar. El motor m2 (*motor de desplazamiento de la cámara web y puntero laser*) tiene accionamiento directo con el tornillo sin fin el cual va a realizar el desplazamiento vertical del sensor para que este pueda escanear al objeto. La figura 19 muestra la ubicación de los motores utilizados para el sistema de digitalización en SolidWorks.

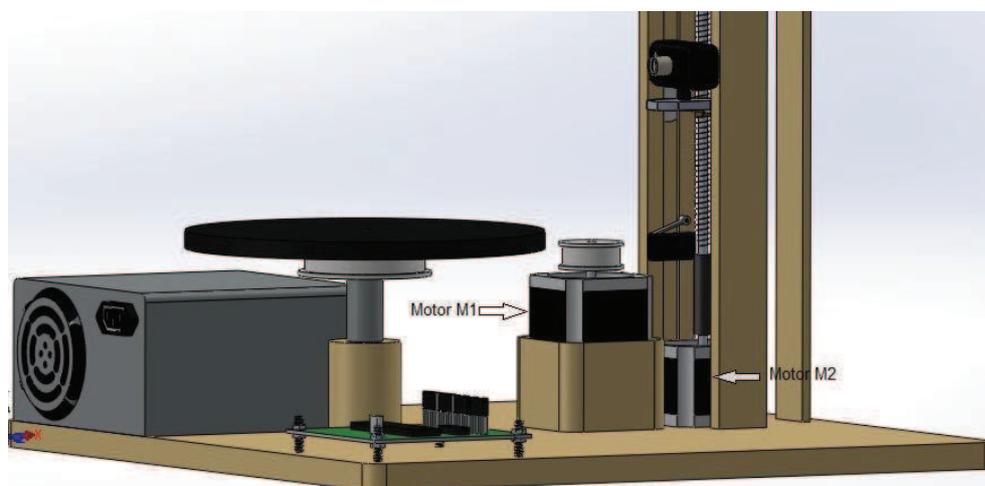


Figura 19. Motores del sistema de digitalización

3.2.2 SISTEMAS DE POLEAS CON CORREA

Para realizar la transmisión de movimiento circular desde el motor uno hacia la base del objeto se empleará un sistema de poleas con correa, el cual va a generar un mecanismo de movimiento reductor desde la polea

conductora (*empotrada en el motor m1*) hacia la polea conducida (*empotrada en la base del objeto*), con la ayuda de una correa de transmisión. La figura 20 muestra un sistema de transmisión de poleas por correas.

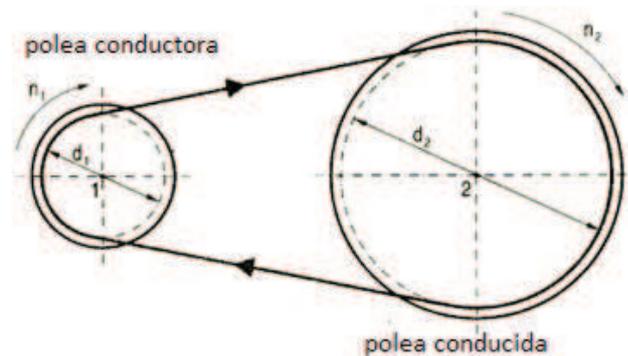


Figura 20. Sistema de transmisión reductor de poleas con correa.

Para determinar el diámetro de la polea conducida, asumiremos que el diámetro de la polea conductora es 23 mm y que la relación de transmisión deseada de la polea conducida con respecto a la polea conductora debe ser de 23:58, esto quiere decir que por cada 58 vueltas que de la polea conductora la polea conducida dará solamente 23 vueltas. Con estos datos aplicamos en la ecuación 2.1 para determinar el diámetro de la polea conducida. Al reemplazar la relación de transmisión y el diámetro de la polea conductora en la ecuación obtenemos que el diámetro de la polea conducida es de 55 mm.

3.2.3 CÁMARA WEB APEX ST-V04

Se requirió para el proyecto una cámara web que sea capaz de interactuar con MATLAB y que a la vez sea económica, con la velocidad

necesaria para captar las imágenes. El equipo más indicado para este propósito es la APEX ST-V04. Esta cámara web se desplazará en forma vertical con la ayuda de un tornillo sin fin el cual es accionado por el motor m2. Su desplazamiento está en relación a las vueltas que el objeto a digitalizar da, el cual será de 3 mm por cada vuelta.

Características básicas de la cámara:

- Monitoreo para casa u oficina compatible con Microsoft NetMeeting.
- Posible operación de cámaras simultáneas conectadas en serie y presentadas en la misma computadora.
- Bajo consumo de poder (ideal para laptops)
- Resolución de 640x480
- 60 frames per second
- Clip para fácil instalación y sistema portátil.

Con el software que trae incorporado es capaz de:

- Adquirir imágenes en formato de grabación continua
- Tomar fotos
- Fijar los parámetros de adquisición de la imagen

3.2.4 LÁSER

En el sistema de digitalización, el láser proyecta un haz de luz puntual roja de aproximadamente 3mm de diámetro sobre la superficie del objeto para que la cámara web pueda detectar el haz y así poder determinar la

distancia de los puntos necesarios para realizar la digitalización. Las características básicas del puntero láser son:

- Voltaje de entrada 5VCC
- Diámetro del haz 3mm
- Color del haz rojo

3.2.5 FUENTE DE PODER DE CORRIENTE CONTINUA

La fuente de poder de corriente continua alimentará con 5VCC (*Voltaje en Corriente Continua*) a todos los elementos electrónicos que están en la estructura mecánica como: los motores a pasos (*m1* y *m2*), laser puntual y al circuito de control, suministrando la corriente suficiente que los distintos elementos requieren.

3.2.6 CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control es la parte fundamental del sistema de digitalización 3D, el cual es el encargado de controlar los motores a pasos permitiendo realizar la comunicación serial con el software de digitalización.

Está constituido principalmente de los siguientes elementos:

- 1 PIC 16F877A
- 1 Cristal de 4mHz
- 5 Capacitores 10uF
- 2 Capacitores de 22pF
- 1 Max 232
- 2 Resistencias de 1k Ω

- 1 Potenciómetros 1 k Ω
- 1 ULN2003
- TIP122
- 14 borneras

La figura 21 muestra el diagrama electrónico realizado en PROTEUS 7.5 del circuito de control, el cual fue implementado para el sistema de digitalización 3D.

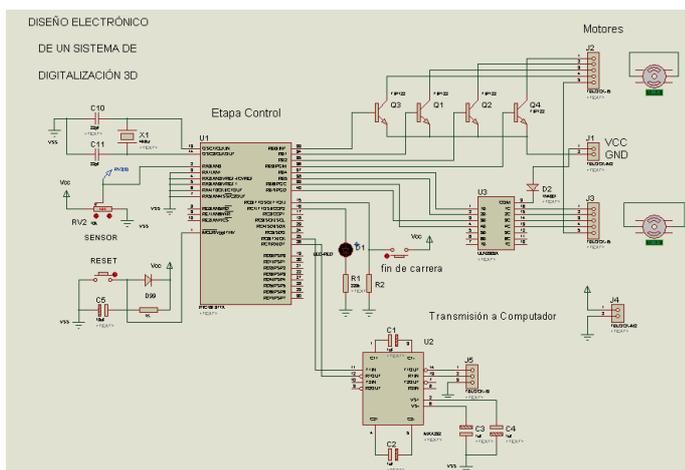


Figura 21. Diagrama electrónico del circuito de control.

Como se puede observar en la figura 21 se usa 4 TIP122 para el control del motor de la base ya que permiten manejar una mayor cantidad de corriente que el integrado ULN2003

El control de la planta de escaneo se realizará con un microcontrolador el cual se encargará de mover los motores a pasos de acuerdo a los datos enviados desde el software de digitalización. La comunicación del circuito de control con el computador se realizará mediante comunicación serial con

la ayuda de un max232. La figura 22 muestra el diseño de la placa de control realizada en ARES de PROTEUS 7.5 para el sistema de digitalización. En dicha placa los bloques de color verde corresponden a borneras de conexión.

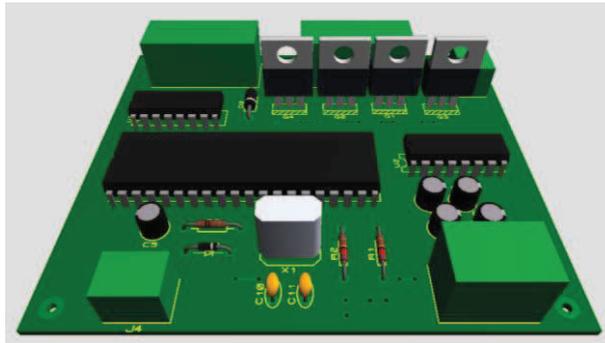


Figura 22. Placa de control del Sistema de Digitalización.

3.2.7 DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO

El dispositivo de procesamiento corresponde al computador el cual se encargará de realizar todas las operaciones como:

- Operaciones matemáticas
- Operaciones de visualización
- Control de actuadores
- Adquisición de datos por cámara web
- Visualización de objetos digitalizados.

Es muy importante que el software esté en capacidad de realizar dichas tareas de una manera segura y rápida para su correcto funcionamiento.

Para esto se usó una computadora con las siguientes características:

- Procesador Intel Core i3 de 2,40 GHz.

- 4 Gb RAM
- Disco Duro de 500 Gb
- Windows 7 Ultimate
- Puerto USB 2.0

3.2.8 MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

Para realizar la medición de profundidad se debe tomar en cuenta los elementos que participan dentro de la digitalización para lo cual la figura 23 indica la estructura utilizada dentro del sistema de digitalización.



Figura 23. Estructura del sistema de digitalización 3D

OBJETO A DIGITALIZAR

Una de las principales características a tomar en cuenta, cuando se realiza la digitalización de un objeto es que el modelo creado debe ser preciso para lo cual se necesitará evaluar los siguientes aspectos:

- Propiedades físicas del objeto
- Aspectos de visualización

El peso del objeto a digitalizar constituye uno de los factores a considerar debido a que el sistema de digitalización funcionará de manera óptima hasta un peso límite, al exceder dicho límite podría ocasionar un mal funcionamiento en los actuadores que componen el sistema.

El aspecto de visualización de un objeto tiene una relación con la isometría del mismo, ya que esta plantea una proyección del objeto que se indicará en los ejes coordenados. Otra propiedad física fundamental corresponde a su forma, esto se debe que al ser más complejo o tener una mayor cantidad de detalles será necesario incrementar la cantidad de puntos de muestreo para obtener un objeto similar al original.

ADQUISICIÓN DE DATOS

Para poder extraer información proveniente del objeto se usó una cámara web y un puntero láser, por medio de estos dispositivos se usará un algoritmo el cual detectará el color rojo en la fotografía y se realizará una medición de distancia a partir de las coordenadas cartesianas del punto rojo. En la figura 24 se muestra el esquema utilizado por la cámara web en conjunto con el puntero láser.

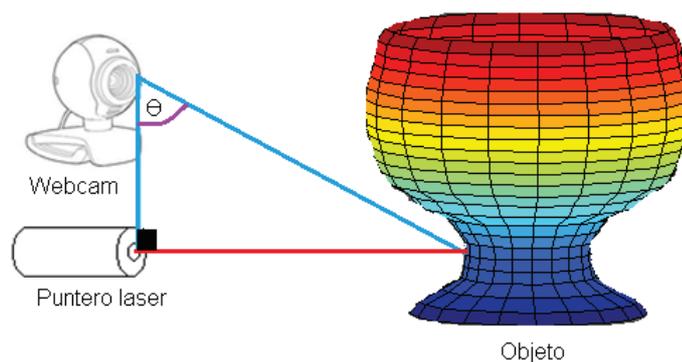


Figura 24. Diagrama del posicionamiento de la cámara web.

Como se puede observar, en la figura la cámara web se encuentra a una determinada altura del láser, esto permite que la cámara capture todo

el plano X, Y, Z correspondiente al objeto a digitalizar. La cámara web tomará la fotografía y la convertirá en una imagen en dos planos X, Y esto se debe a que en una fotografía no se puede apreciar la profundidad.

Es importante que la cámara web tenga un ángulo de inclinación para que pueda captar el plano X, Y, Z de lo contrario si se encuentra paralela al laser estará capturando el plano Z. Este ángulo Θ es igual a 45° . El algoritmo para la medición de distancia por medio de una cámara web con un puntero laser se observa en la figura 25.

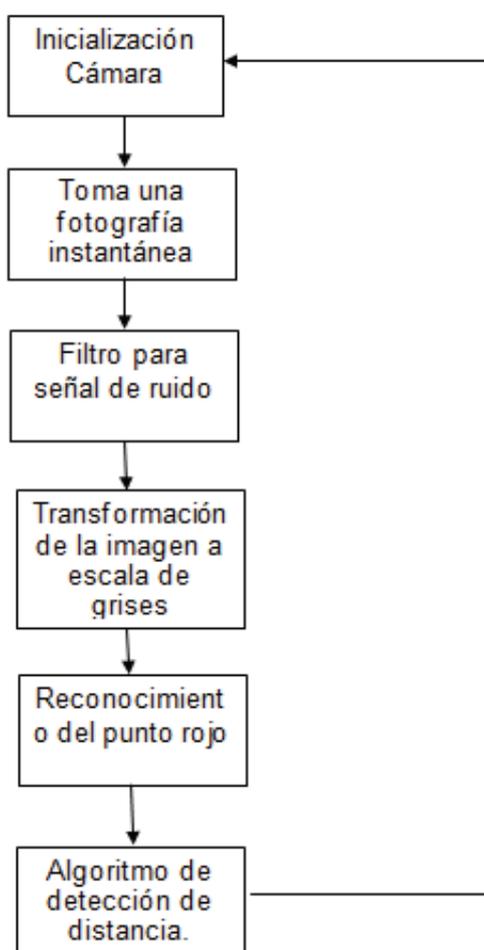


Figura 25. Algoritmo para la medición de distancia por medio de una cámara web

El funcionamiento del algoritmo de detección de distancia es el siguiente: la cámara web toma una fotografía instantánea con el comando `getsnapshot(vid)` de MATLAB, la cual es filtrada y procesada por el algoritmo para poder detectar el color rojo con el comando `imsubtract(data(:,:,1), rgb2gray(data))` de MATLAB. A continuación se halla las coordenadas cartesianas del punto de color rojo correspondiente al puntero láser por medio de comando `regionprops(bw, 'BoundingBox', 'Centroid')`, la unidad de estas coordenadas son los pixeles. La figura 26 muestra las coordenadas cartesianas del punto rojo sobre un objeto que se pretende digitalizar.



Figura 26. Representación cartesiana de los pixeles del punto rojo sobre un objeto.

Las coordenadas cartesianas del color rojo dependerán de la forma del objeto. A medida que el objeto sea grande o pequeño su resultado presentará una variación en el eje Y, de esta manera se determinó una tabla de valores la cual corresponde a la variación del puntero laser desde

0 hasta 480 pixeles conforme el objeto varía desde 0 hasta 6.5 cm de radio.

La tabla 3 muestra la distancia con respecto a los pixeles.

Tabla 3. Distancia en relación a los pixeles

Distancia [cm]	Pixeles
6.5	427
6	372
5.5	328
5	295
4.5	260
4	228
3.5	201
3	176
2.5	154
2	133
1.5	115
1	99
0.5	81
0	66

(Fuente: Elaboración propia)

La figura 27 muestra la gráfica de valores de la tabla 3, correspondiente a la variación de la distancia con sus respectivos pixeles.

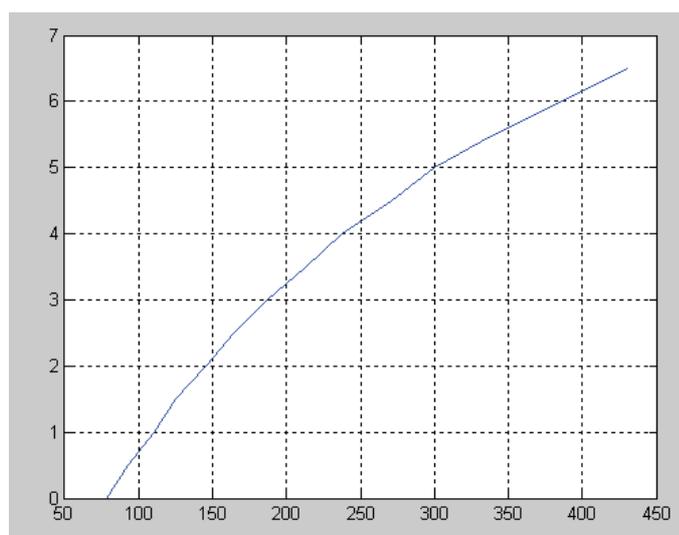


Figura 27. Curva de la distancia con respecto a los pixeles en una fotografía.

Cuando se realiza el proceso de adquisición el algoritmo se encarga de obtener las coordenadas en pixeles del punto rojo en la fotografía, y por medio de una función se halla el valor de distancia gracias a la tabla obtenida.

En dicha función se realizará una linealización por tramos para determinar las ecuaciones que describen el sistema. La figura 3.13 muestra la linealización por tramos de la curva, teniendo como referencia la distancia con respecto a los pixeles.

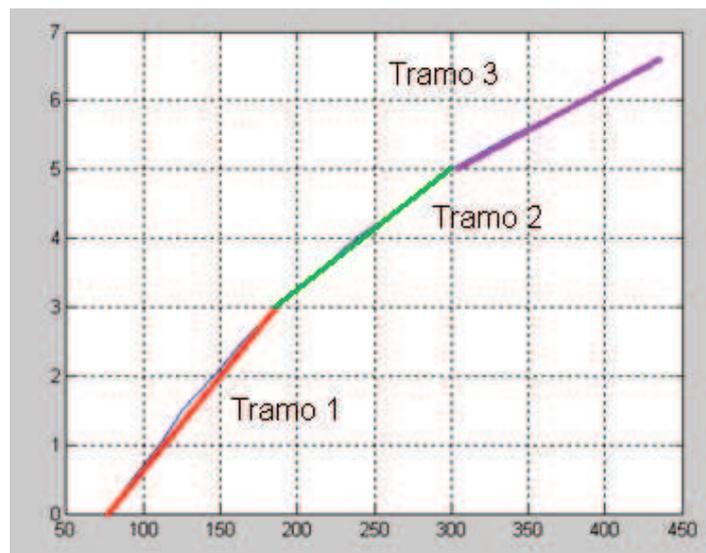


Figura 28. Linealización por tramos.

Como se puede observar en la figura 3.13 se tiene tres tramos para los cuales se hallará sus respectivas ecuaciones.

- Para el tramo 1 se realiza el cálculo de la pendiente por medio de los puntos que corresponden a los límites dentro de este tramo.

$$X1 = 427 \quad X2 = 328$$

$$Y1 = 6.5 \quad Y2 = 5.5$$

$$m = \frac{Y2-Y1}{X2-X1} = 0.010 \text{ Ecuación 3 Pendiente del tramo de color rojo.}$$

La ecuación de la recta esta descrita por:

$$y = mx + b \text{ Ecuación 4 Ecuación de la recta.}$$

De la ecuación 4 despejamos el valor de b, con cualquier valor de $X_{1,2}$, $Y_{1,2}$ en este tramo obtenemos como resultado $b = 2.23$.

- Para el tramo 2 tenemos que:

$$\begin{array}{ll} X1 = 295 & X2 = 201 \\ Y1 = 5 & Y2 = 3.5 \end{array}$$

$$m = \frac{Y2-Y1}{X2-X1} = 0.015 \text{ Ecuación 5 Pendiente del tramo de color verde.}$$

Despejando b de la ecuación de la recta con cualquier valor de $X_{1,2}$, $Y_{1,2}$ en este tramo obtenemos como resultado $b = 0.57$.

- Para el tramo 3 tenemos que:

$$\begin{array}{ll} X1 = 176 & X2 = 66 \\ Y1 = 3 & Y2 = 0 \end{array}$$

$$m = \frac{Y2-Y1}{X2-X1} = 0.027 \text{ Ecuación 6 Pendiente del tramo de color lila.}$$

Despejando b de la ecuación de la recta con cualquier valor de $X_{1,2}$, $Y_{1,2}$ en este tramo obtenemos como resultado $b = -1.752$.

Una vez determinada las ecuaciones se determinará la distancia del punto rojo sobre el objeto a digitalizar. La distancia del punto rojo representa el contorno del objeto.

3.2.9 DESARROLLO DE SOFTWARE

El uso de diagramas de flujo es de gran importancia ya que permite analizar cómo se desarrollará el proceso. Dentro de estos se debe especificar todos los posibles casos que puedan desarrollarse. Los algoritmos a utilizarse deben ser lo más eficientes para aprovechar al máximo los recursos del sistema. Por lo tanto es necesario crear funciones las cuales evitarán la redundancia en la programación y ayudarán a optimizar el software.

El software del sistema de digitalización tridimensional se encuentra estructurado por un programa principal y un conjunto de funciones. Entre dichas funciones tenemos: la interfaz gráfica de usuario, la inicialización de puertos de comunicación, inicialización de variables, digitalización de volúmenes normales y volúmenes de revolución. La figura 3.14 indica la estructura del software de digitalización con sus respectivas funciones.

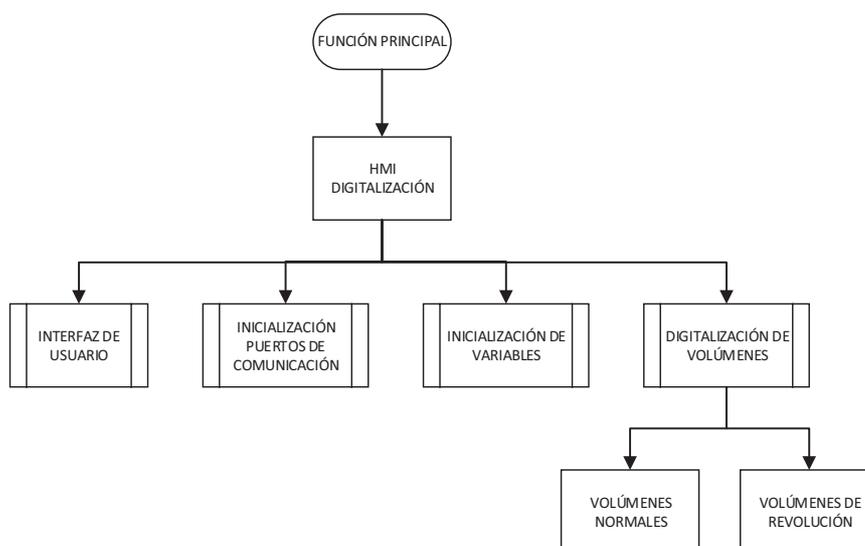


Figura 29. Estructura del software de digitalización.

Como se puede observar en la figura se detalla la estructura del sistema de digitalización dentro del cual todas sus funciones podrán compartir información entre ellas con el uso de variables globales y tendrán atributos propios por medio de variables locales. En la interfaz gráfica de usuario se podrá visualizar, manipular, exportar e importar la información del objeto digitalizado. También se ingresará parámetros de configuración los cuales serán necesarios para obtener una buena digitalización.

Dentro de la digitalización de volúmenes se ha desarrollado dos algoritmos principales para la digitalización de objetos las cuales son: volúmenes normales y volúmenes de revolución. Cada algoritmo cuenta con características propias como sus variables. La lógica de programación se encuentra realizada de acuerdo al tipo de volumen del cual se obtendrá la información.

3.2.9.1 ALGORITMO VOLÚMENES NORMALES

En el algoritmo volúmenes normales su principal característica es que se realiza un escaneo del objeto en los ejes: X, Y, Z presentando de esta manera una alta cantidad de datos por lo tanto es necesario el uso de dos motores a pasos. Su funcionamiento se basa en hacer rotar un objeto 360 grados con un motor a pasos y con la ayuda de un segundo motor a pasos se realiza el desplazamiento de un sensor en el eje Z para la altura. Las señales que controlaran a los motores estarán determinadas por programación para evitar la desincronización del sistema de control con el sistema de adquisición de datos.

Dentro de este algoritmo existe una etapa de transformación a coordenadas cartesianas, esto se debe a que los datos obtenidos se encuentran en coordenadas cilíndricas debido al diseño de la estructura mecánica. Los datos deben ser tratados en coordenadas cartesianas por la facilidad que presenta el Matlab para realizar las gráficas de las mismas y las distintas operaciones matriciales que puedan ser desarrolladas durante el proceso. Para poder generar el sólido se usa el comando patch con el cual se colorea una superficie en el plano X, Y. Al colorear las distintas superficies alrededor del eje Z se generará el sólido escaneado. En dicho algoritmo el bloque correspondiente al proceso de adquisición se encuentra detallado por la figura 25.

En la figura 30 se indica el diagrama de flujo correspondiente al algoritmo: volumen normal.

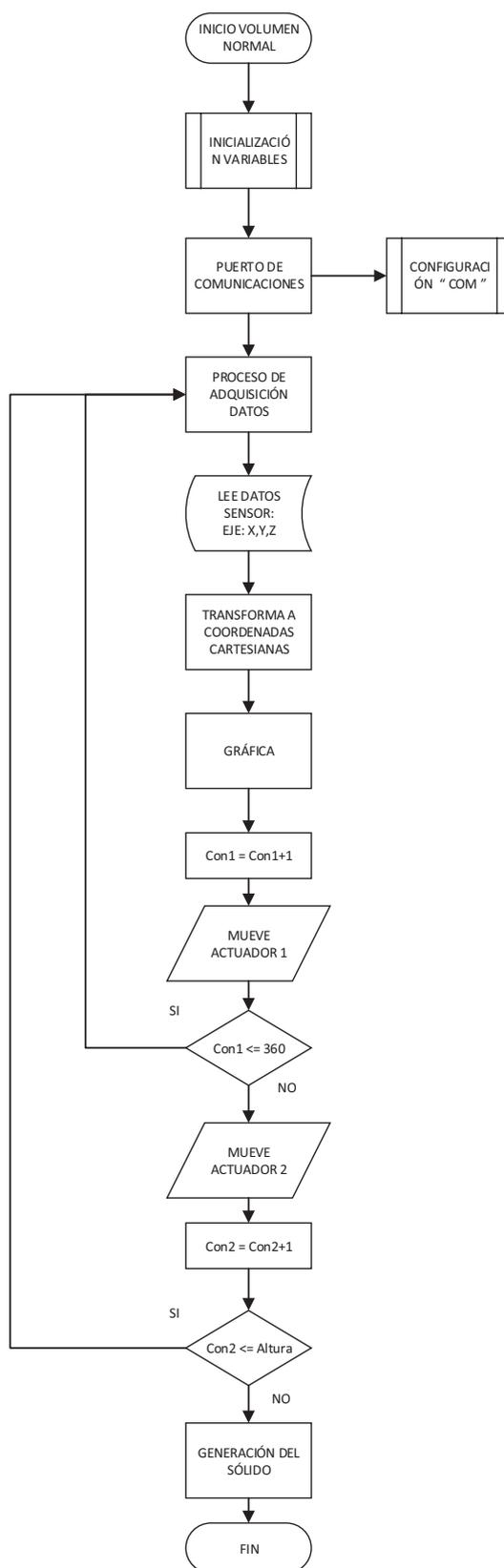


Figura 30. Diagrama de flujo volumen normal

3.2.9.2 ALGORITMO VOLÚMENES DE REVOLUCIÓN

En el algoritmo volúmenes de revolución se realiza un escaneo del objeto en los ejes: Y, Z presentando de esta manera una pequeña cantidad de datos. Al realizar un escaneo en dos planos el manejo de información es rápido por lo tanto el tiempo de digitalización será menor que cuando se realice un escaneo en tres planos. Dentro de este algoritmo se crea una función denominada cilindro la cual ayudará a formar el objeto.

La función cilindro tiene una característica la cual es generar un cilindro a partir de un vector de entrada y el cual tendrá como altura máxima la unidad. Con los datos obtenidos del eje Y los cuales corresponden a valores de distancia se ingresaran en la función cilindro de este modo se moldeará el cilindro previamente creado, dando como resultado el objeto. A continuación se realiza una multiplicación vectorial de los datos del eje Z con una constante la cual corresponde a la altura para obtener el volumen escaneado con sus dimensiones reales. Una vez realizada la multiplicación se usa el comando surf para colorear el exterior del objeto.

En el escaneo de un sólido de revolución no es necesario el uso de un comando para la transformación de coordenadas cilíndricas a cartesianas, esto se debe a que el sensor únicamente escanea dos planos y la función cilindro genera el sólido en tres planos. En dicho algoritmo el bloque correspondiente al proceso de adquisición se encuentra detallado por la figura 25. En la figura 31 se indica el diagrama de flujo correspondiente a

volúmenes de revolución tomando en cuenta señal de entrada como datos del sensor y la señal de salida hacia el actuador.

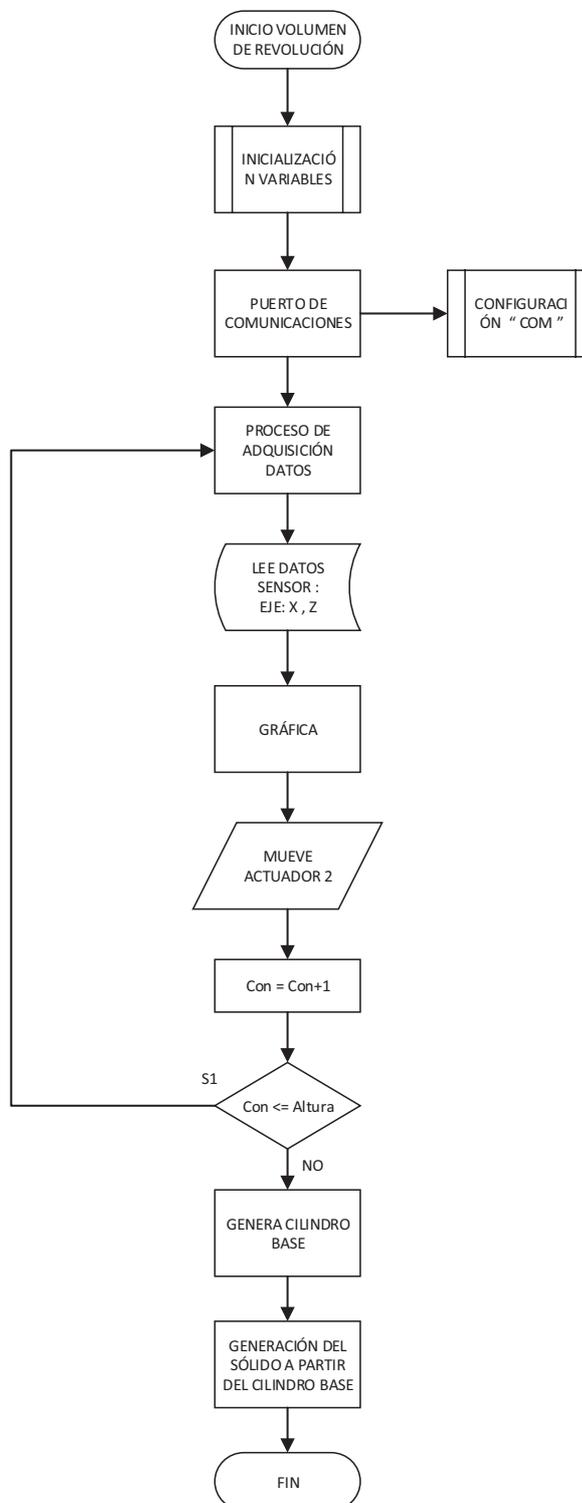


Figura 31. Diagrama de flujo volumen de revolución.

3.2.10 DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE USUARIO

Para la creación de la interfaz se toma en cuenta un conjunto de indicadores correspondientes a la guía GEDIS la cual es muy utilizada para sistemas de adquisición de datos y control supervisor. Dentro de los indicadores a utilizar se tomará en cuenta:

- Arquitectura
- Distribución de las pantallas
- Navegación
- Uso del color
- Uso de fuentes e información textual
- Gráficos de tendencias
- Comandos de entradas de datos

La guía GEDIS (guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión) es muy utilizada para sistemas SCADA (Supervisión Control y Adquisición de datos) por lo tanto existen indicadores que no son de utilidad para el sistema de digitalización como:

- Estatus de los equipos y eventos del proceso
- Información y valores de proceso
- Alarmas

En la figura 32 se muestra la interfaz del sistema de digitalización tridimensional tomando en cuenta los indicadores mencionados.

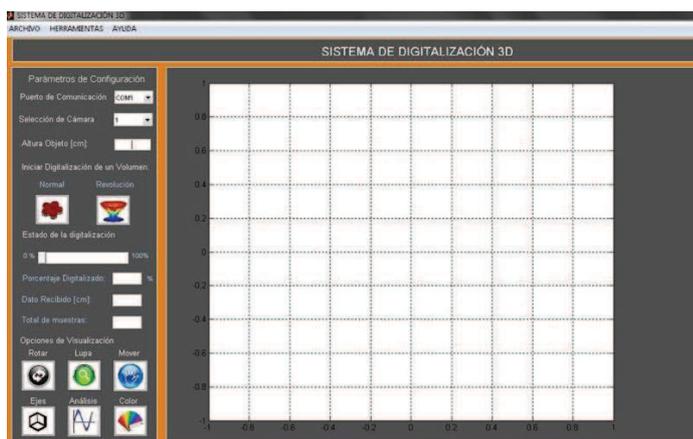


Figura 32. Interfaz del sistema de digitalización 3D

Dentro de la interfaz gráfica se toma en cuenta lo siguiente:

- Color de fondo: Naranja
- Color de paneles: Plomo
- Color de títulos: Blanco
- Color de letras : Celeste
- Letra tipo: Arial
- Tamaño de letra : 10

Dentro de la interfaz del sistema de digitalización tenemos un conjunto de elementos como: barra de herramientas, un panel de configuración y un panel de visualización. En la figura 33 se indica los componentes de la barra de herramientas



Figura 33. Barra de herramientas

Dentro de la barra de herramientas se ha configurado un conjunto de botones los cuales son:

- Nuevo: crear un nuevo proyecto
- Importar: cargar un proyecto que ha sido almacenado
- Guardar: grabar la nube de puntos de un objeto escaneado.
- Salir: permite cerrar el sistema de digitalización

Cuando se almacena la información de un objeto digitalizado este archivo es guardado con una extensión .mat y .xyz en la cual se encuentran variables que determinan la nube de puntos extraídos de un objeto y la información correspondiente al tipo de objeto digitalizado y la información proveniente de la cámara web.

Dentro del panel, parámetros de configuración se debe realizar la selección del puerto de comunicación, también se ingresará la altura del objeto a digitalizar en cm. En la figura 34 se indica los parámetros de configuración para realizar en cada proyecto.

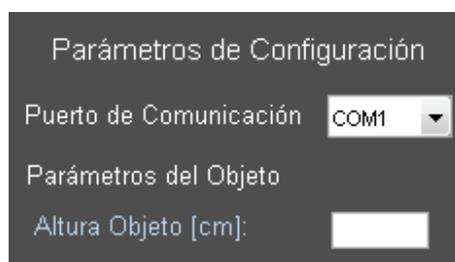


Figura 34. Parámetros de configuración

En los elementos de visualización tenemos un slider que indica el porcentaje de la digitalización del objeto y un text box en el cual se muestra

los datos enviados por el sensor. También existen varios botones los cuales permitirán la manipulación del objeto tridimensional. En la figura 35 se indica el panel de configuración con sus respectivos elementos.



Figura 35. Panel de Configuración

El panel de visualización es aquel el cual ocupa el mayor área de la pantalla esto se realiza con el propósito de tener una correcta visualización del objeto digitalizado para poder apreciar las características físicas del mismo.

Dentro de este panel cuando se realiza la digitalización se puede apreciar la obtención de la información a partir de la webcam. En la figura 36 se indica el panel de visualización.

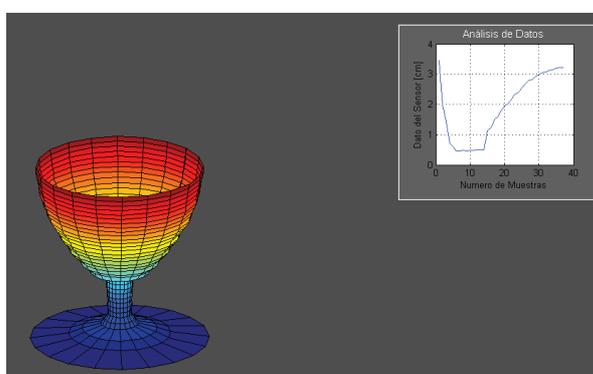


Figura 36. Panel de visualización

Como se puede observar en la figura el panel de visualización contiene el objeto digitalizado, también indica una gráfica correspondiente a los datos enviados por el sensor en relación al número de muestras.

3.2.11 MODELADO DEL OBJETO EN SOLIDWORKS

El modelado de la pieza arranca con la matriz numérica dimensional en extensión .xyz. El programa SolidWorks es una herramienta computacional que recibe matrices numéricas y entrega archivos en extensiones normalizadas para procesadores geométricos.

Cuando la información se encuentra en lenguaje comprensible para un modelador gráfico, es retomado por el programa Solidworks y el modelo tridimensional es reconstruido. La figura 37 muestra la exportación del modelo 3D de la figura 36 a SolidWorks.

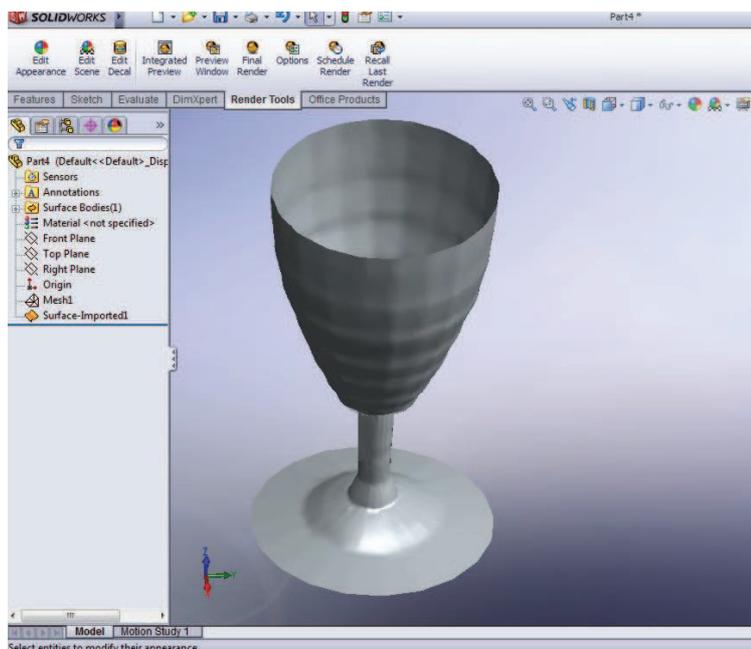


Figura 37. Exportación del modelo 3D a SolidWorks

Para este caso además de reconstruir el modelo, Solidworks permite validar el método de digitalización a través de sus herramientas de cálculo de parámetros geométricos y dimensionales. En Solidworks o en cualquier programa CAD se puede realizar cambios al modelo 3D del objeto digitalizado.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D

4.1 PRUEBAS

En el presente capítulo se registran las pruebas realizadas al sistema de digitalización 3D con el fin de garantizar que cumpla los requisitos indicados inicialmente.

Para este sistema se ha desarrollado un algoritmo que dado un objeto real y con una cámara web se obtenga el modelo 3D del mismo. Para comprobar la robustez de dicho algoritmo se digitalizaron varios objetos por el método de volúmenes normales y volúmenes de revolución.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 VOLÚMENES NORMALES

Como ya se explicó en el capítulo 2, la digitalización de un objeto por el método de volúmenes normales consiste en escanear los 3 ejes.

TAZA DE CAFÉ

A continuación se muestra la reconstrucción de una taza de café de 5 cm de alto. La figura 38 muestra la taza de café que se va a digitalizar.



Figura 38. Taza de café

Para la reconstrucción de la taza de café se usó el método de volúmenes normales debido a que el objeto no es simétrico. La figura 39 muestra el resultado del modelo 3D obtenido de la taza de café y el análisis de datos.

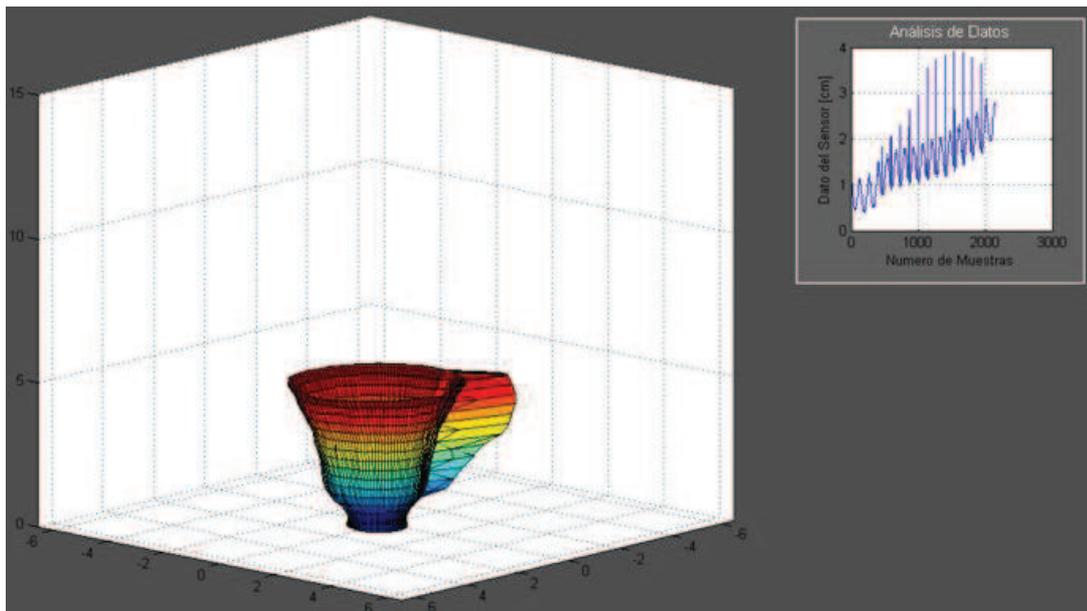


Figura 39. Taza de café digitalizada en MATLAB

BASE PARA VELA

A continuación se muestra la reconstrucción de una base para vela de 2.5 cm de alto, la cual fue digitalizada por el método de volúmenes normales debido a que el objeto no es simétrico. La figura 40 muestra la base para vela que se va a digitalizar.



Figura 40. Base para vela

La figura 41 muestra el resultado del modelo 3D obtenido de la base para vela y el análisis de datos.

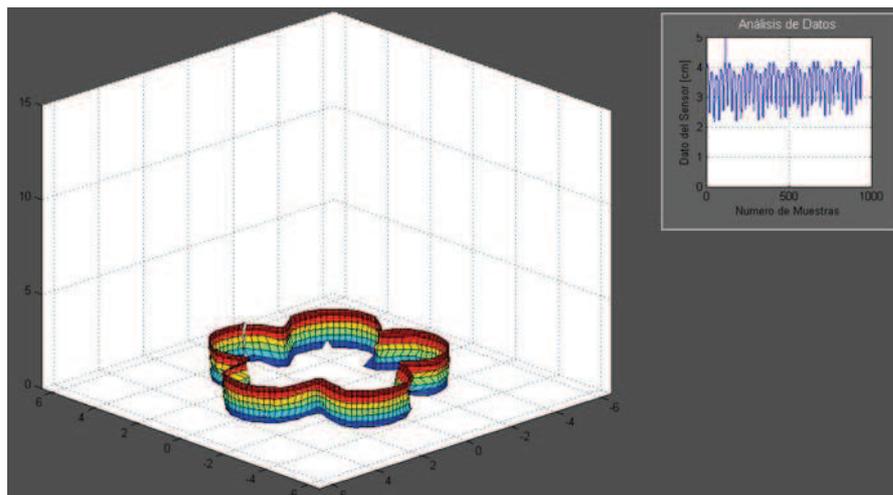


Figura 41. Base para vela digitalizada en MATLAB

4.2.2 VOLÚMENES DE REVOLUCIÓN

Como ya se mencionó los volúmenes de revolución consiste en escanear solamente dos ejes.

COPA PARA CHAMPÁN

A continuación se muestra la reconstrucción de una copa para champán de 12 cm de alto, la cual fue digitalizada por el método de volúmenes de revolución debido a que el objeto es simétrico. La figura 42 muestra la copa para champán que se va a digitalizar.



Figura 42. Copa para champán

La figura 43 muestra el modelo 3D de copa para champán y el análisis de datos.

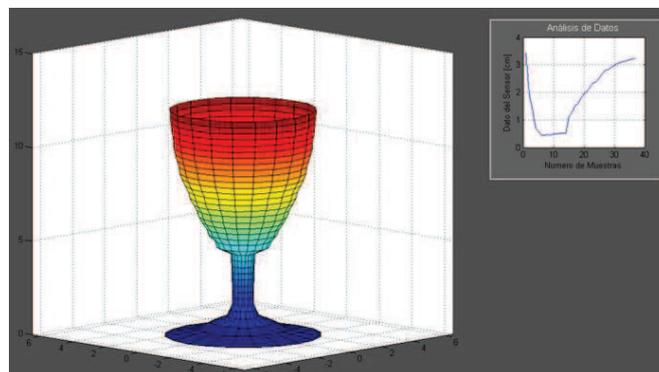


Figura 43. Copa de champán digitalizada en MATLAB

COPA PARA BRANDY

A continuación se muestra la reconstrucción de una copa para brandy de 8 cm de alto, la cual fue digitalizada por el método de volúmenes de revolución debido a que el objeto es simétrico. La figura 44 muestra la copa para brandy que se va a digitalizar.



Figura 44. Copa para brandy

La figura 45 muestra el modelo 3D de la copa para brandy y el análisis de datos.

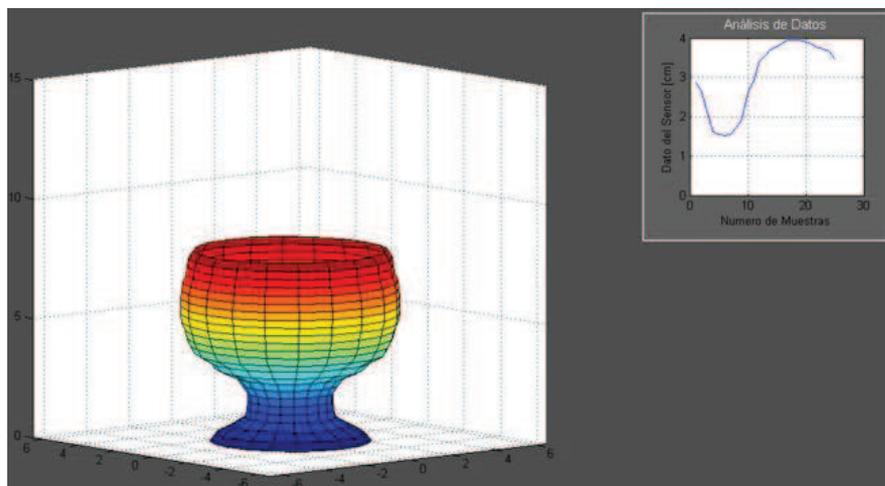


Figura 45. Copa para brandy digitalizada en MATLAB

COPA PARA COCTEL

A continuación se muestra la reconstrucción de una copa para coctel de 8 cm de alto, la cual fue digitalizada por el método de volúmenes de revolución debido a que el objeto es simétrico. La figura 46 muestra la copa para coctel que se va a digitalizar.



Figura 46. Copa para coctel

La figura 47 muestra el modelo 3D de copa para coctel y el análisis de datos.

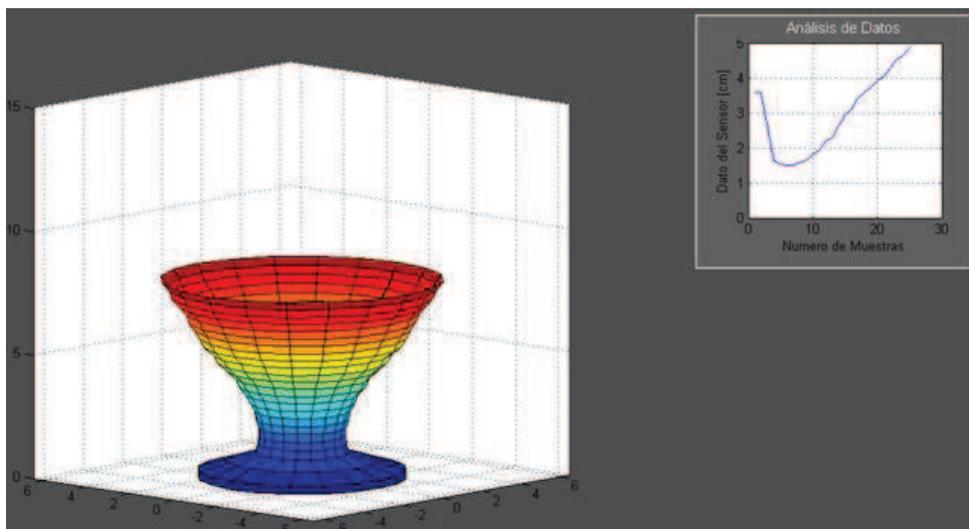


Figura 47. Copa para coctel digitalizada en MATLAB

AZUCARERA

A continuación se muestra la reconstrucción de una azucarera de 9cm de lato, la cual fue digitalizada por el método de volúmenes de revolución debido a que el objeto es simétrico. La figura 48 muestra la azucarera que se va a digitalizar.



Figura 48. Azucarera

La figura 49 muestra el modelo 3D de la azucarera y el análisis de datos.

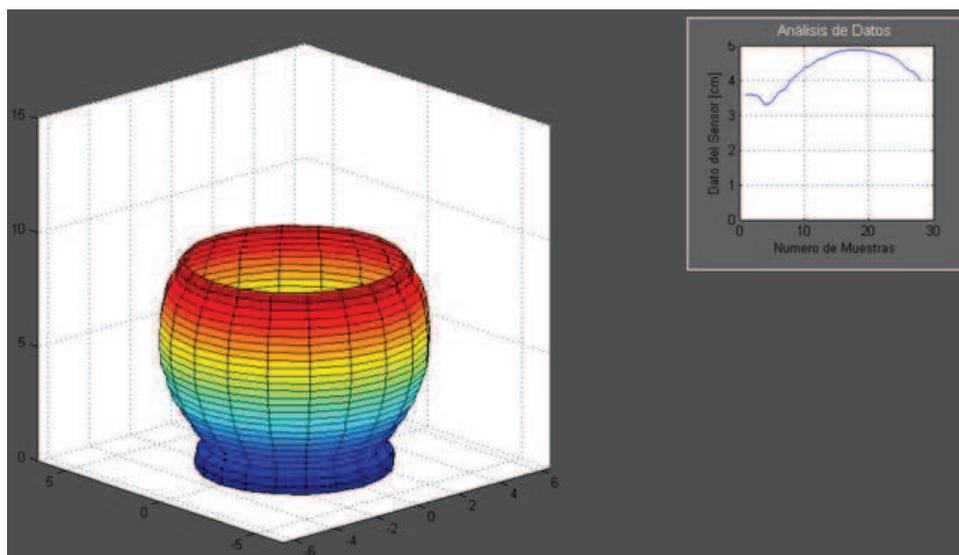


Figura 49. Azucarera digitalizada en MATLAB

TAPA DE AZUCARERA

A continuación se muestra la reconstrucción de una tapa de azucarera de 3 cm de alto, la cual fue digitalizada por el método de volúmenes de revolución debido a que el objeto es simétrico. La figura 50 muestra la tapa de una azucarera que se va a digitalizar.



Figura 50. Tapa de azucarera

La figura 51 muestra el modelo 3D de la tapa de azucarera y el análisis de datos.

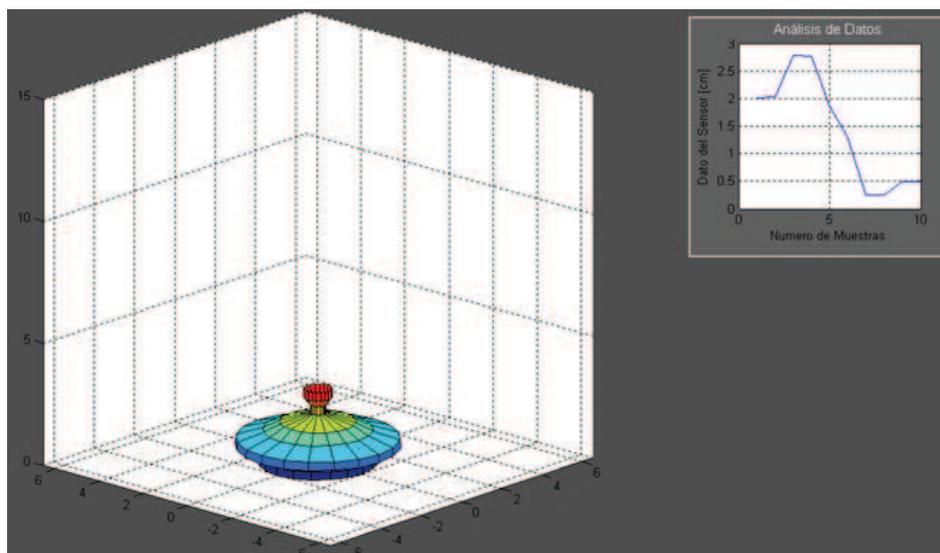


Figura 51. Tapa de azucarera digitalizada

Como se puede observar los resultados obtenidos con los distintos objetos son satisfactorios, puesto que se consigue representar en un modelo 3D sus detalles.

4.3 GUÍA DE USUARIO DEL SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN 3D

4.3.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de digitalización tridimensional es el encargado de realizar la digitalización 3D, para lo cual escanea un objeto y a partir de este se obtiene un conjunto de puntos los cuales describen las características físicas del mismo. Al escanear dicho objeto el sistema obtiene una nube de puntos la cual será procesada para presentar su digitalización, de igual manera dicha nube de puntos podrá ser exportada a un software CAD como SolidWorks. Este manual le permitirá aprender a utilizar todas las funcionalidades del Sistema de Digitalización 3D.

4.3.2 ¿CÓMO ACCEDER?

Para poder acceder al Sistema de Digitalización 3D, es necesario buscar su icono dentro del menú inicio o en el escritorio. Una vez hallado el icono se da click izquierdo en este para ejecutarlo, de inmediato se abre el programa presentando su pantalla de inicio como se observa en la figura 52.



Figura 52. Pantalla de presentación del sistema de digitalización 3D

Dentro de la pantalla de inicio existen tres botones: el botón de “Digitalizador”, permite acceder a la interfaz del Sistema de Digitalización en 3D, el botón de “Ayuda” permite acceder al presente manual de usuario y el botón de “Salir” cierra el programa. La figura 53 muestra los botones de la pantalla de inicio.



Figura 53. Botones de la Pantalla de inicio

4.3.3 INTERFAZ DE DIGITALIZACIÓN

Dentro de la interfaz de digitalización se indicará los elementos que la comprenden y su respectivo funcionamiento. La figura 54 muestra la interfaz de digitalización.

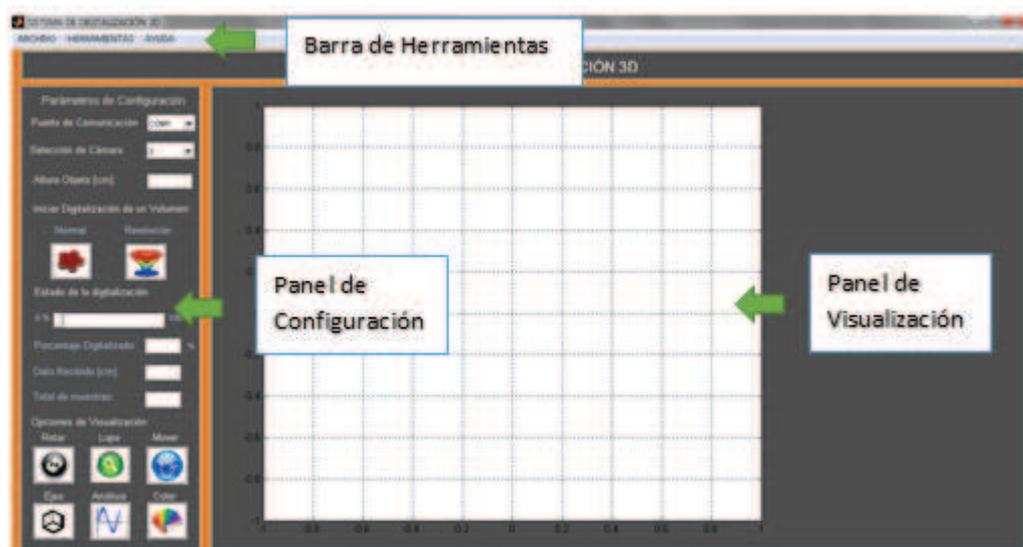


Figura 54. Interfaz de Digitalización

4.3.3.1 BARRA DE HERRAMIENTAS

Por medio de la barra de herramientas es posible navegar dentro de las distintas opciones que presenta el sistema y aprovechar de sus recursos. La figura 55 muestra la barra de herramientas del sistema de Digitalización en 3D.



Figura 55. Barra de Herramientas

En la barra de herramientas existen tres opciones: archivo, herramientas y ayuda.

ARCHIVO

Permite realizar operaciones referentes a un proyecto como: Crear un nuevo proyecto, regresar a la pantalla de presentación, importar archivos guardados, exportar archivos y la opción de salir.

La figura 56 muestra las opciones disponibles que existen en la pestaña de “archivo”.

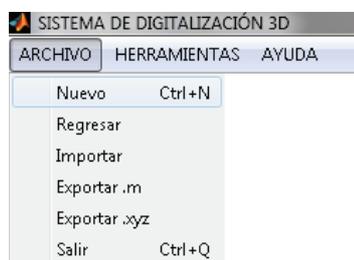


Figura 56. Pestaña Archivo

La opción “Nuevo” de la pestaña “Archivo” permite encerrar los datos en del sistema y prepara al mismo para una nueva digitalización. La opción “Regresar” permitirá volver a la pantalla de inicio. La opción “Importar” permite realizar la importación de un objeto ya digitalizado, es necesario que antes de importar se haya ejecutado la opción “Nuevo” para evitar que las variables tomen valores diferentes. El sistema de digitalización 3D solo puede importar archivos con **extensión .m**.

La figura 57 muestra la pantalla para importar archivos digitalizados.

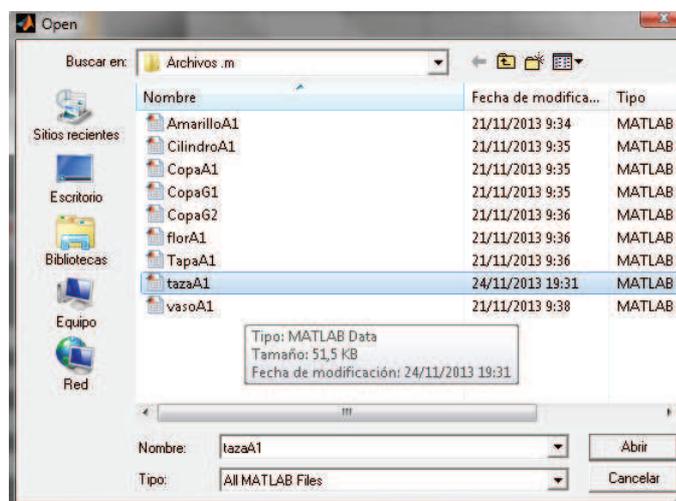


Figura 57. Pantalla de Importación

Para la importación de archivos es necesario que sean los creados por el digitalizador ya que tienen un formato específico, al ingresar la información en otro tipo de formato provocará que el objeto no pueda ser visualizado. Al terminar la importación se presentará una ventana la cual indica la importación exitosa del sistema. La figura 58 muestra la importación de un proyecto con extensión .m.

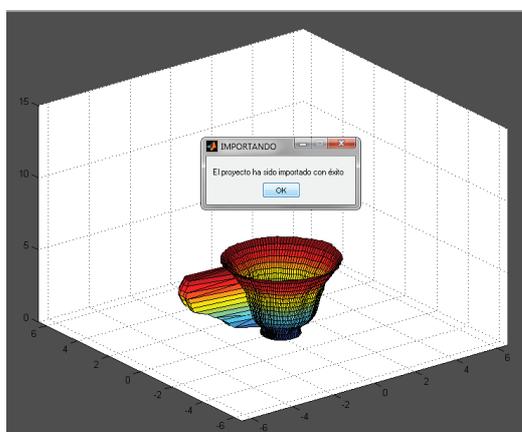


Figura 58. Importación de un Proyecto

La exportación de un proyecto consiste en guardar la nube de puntos obtenida del objeto, para ello es necesario que la digitalización haya terminado. Una vez terminada la digitalización se presiona la opción de “Exportar” para almacenar la información. Para realizar la exportación existe 2 formatos en los cuales se puede almacenar la nube de puntos, estos son: .m y .xyz. El archivo .m es reconocido por MATLAB y el archivo .xyz puede ser procesado por SolidWorks.

La figura 59 muestra la exportación de un proyecto.

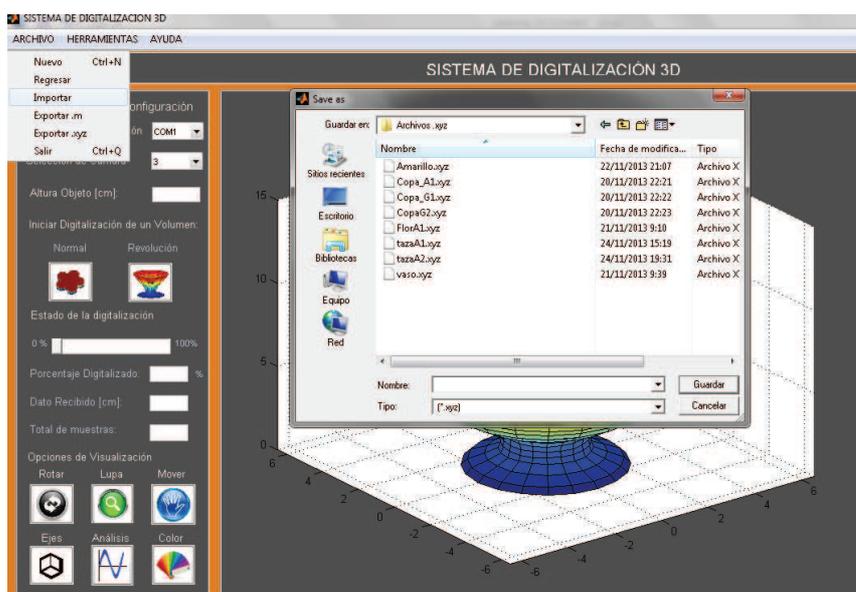


Figura 59. Exportación de la nube de puntos

HERRAMIENTAS

Dentro de las “Herramientas” existe la opción “Home”, la cual permite regresar a la cámara web en conjunto con el puntero laser a su posición inicial, para poder realizar una nueva digitalización. La figura 60 muestra opciones de la pestaña de “Herramientas”.



Figura 60. Opciones de pestaña Herramientas

AYUDA

En la pestaña de “Ayuda” se muestra el enlace para acceder al manual de usuario del Sistema de Digitalización 3D. La figura 61 muestra las opciones de la pestaña de “Ayuda”.



Figura 61. Pestaña de Ayuda

4.3.3.2 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN

Cuando se desea realizar la digitalización de un objeto es necesario realizar la configuración de tres parámetros. El primero hace referencia al puerto de comunicación, el segundo hace referencia a la selección de la cámara y el último a la altura del objeto a digitalizar. La figura 62 muestra los parámetros de digitalización existentes en el Sistema de Digitalización.

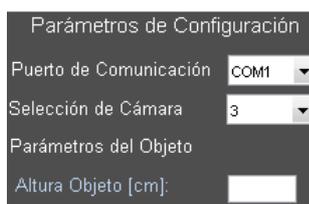


Figura 62. Parámetros de configuración

PUERTO DE COMUNICACIÓN

Para poder conocer el puerto de comunicación al cual está conectado nuestro cable USB – Serial se lo puede realizar de dos maneras.

Primera manera. Mediante el uso del programa SetCom, el cual indicará el estado de los puertos de comunicación. La figura 63 muestra la identificación del puerto de comunicaciones de nuestra computadora mediante el programa SetCom.

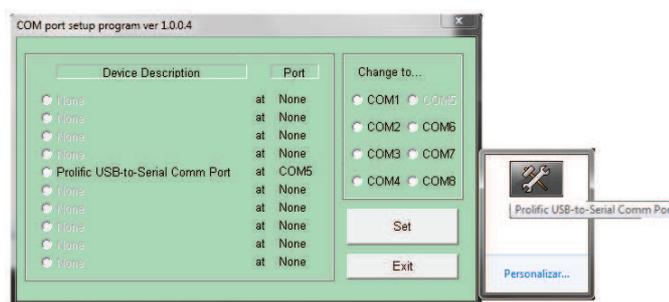


Figura 63. Identificación del puerto de comunicación

Segunda manera. Para poder conocer el puerto de comunicación en caso de no poseer el programa SetCom se realiza los siguientes pasos:

- Menú inicio
- Click derecho en Equipo y seleccionamos propiedades
- En la ventana del Sistema seleccionamos “Administrador de dispositivo”.
- Se da click en la opción de puertos, y esta despliega la información del puerto de comunicación al cual está conectado el cable USB serial.

La figura 64 muestra la ventana “Administración de dispositivos” para conocer el puerto de comunicaciones.

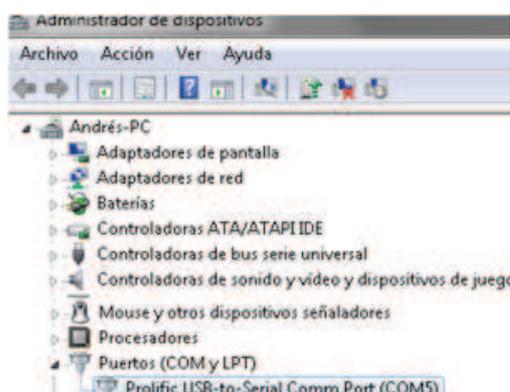


Figura 64. Administrador de Dispositivos

Una vez determinado el puerto de comunicación se elige el mismo en la opción “Puerto de Comunicación”.

SELECCIÓN DE LA CÁMARA

Para escoger la cámara se debe tomar en cuenta que si es una computadora portátil que ya tiene una cámara web se seleccionara la opción 2 o 3 por default, si es una computadora de escritorio y solo tiene instalada esta cámara se seleccionara la opción 1. De igual forma la cámara instalada se visualizara dentro del “Administrador de dispositivos” como se observa en la figura 65.

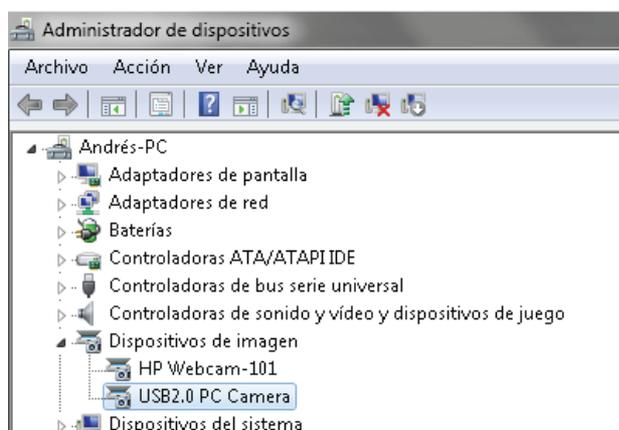


Figura 65. Cámara Web detectada por el Administrador de dispositivos

ALTURA DEL OBJETO

Una vez seleccionado el puerto de comunicaciones y escogida la cámara, se ingresa altura del objeto a digitalizar en centímetros, esta no debe ser mayor a 13cm.

4.3.3.3 INICIAR LA DIGITALIZACIÓN DE UN OBJETO

Para realizar la digitalización de un objeto se debe seguir los siguientes pasos:

- Dar click en “Archivo” y seleccionar “Nuevo” o su forma rápida Ctrl + N.
- Dar click en “Home”
- Seleccionar el puerto de comunicación.
- Seleccionar la cámara.
- Ingresar la altura del objeto.
- Seleccionar el modo de digitalización “Volumen Normal” o “Volumen de Revolución”.

Una vez realizados todos estos pasos la cámara web empieza a funcionar e inicia el proceso de digitalización como se muestra en la figura 66.



Figura 66. Proceso de digitalización

4.3.3.4 Operaciones de visualización

Las operaciones de visualización son importantes para poder manipular al objeto dentro de estas se puede rotar, se puede maximizar – minimizar y mover al objeto dentro del área de trabajo. De igual manera se puede quitar los ejes coordenados para una mejor apariencia al igual que se puede presentar la ventana de análisis que hace referencia a los datos captados por la cámara web. La figura 67 muestra las operaciones de visualización existentes.



Figura 67. Operaciones de visualización

EDITOR DE COLOR

Una vez terminada la digitalización e importado un proyecto se puede modificar su color, para esto se debe realizar los siguientes pasos:

- Seleccionamos la paleta de color dentro del panel
- A continuación se abre un panel que indica los colores RGB para colorear el objeto como se muestra en la figura 68.

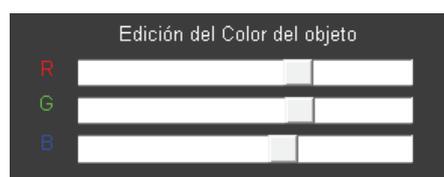


Figura 68. Opciones de edición

En estas opciones se manipulan los tres sliders para obtener el color deseado, la variación de cada uno de estos es individual. La figura 69 muestra el cambio de color de un objeto digitalizado.

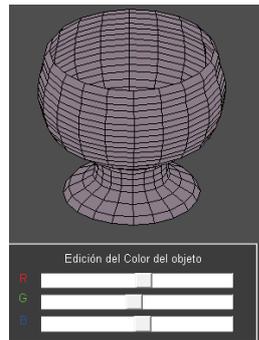


Figura 69. Edición del color de un objeto

Para poder salir de la opción de edición dar nuevamente otro click nuevamente en el botón de color.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se pudo diseñar e implementar un Sistema de Digitalización 3D capaz de construir un modelo geométrico de varios objetos, asequible para quien se interesa por la digitalización 3D, mediante la búsqueda de métodos y de la toma de una serie de decisiones en relación a la forma de adquisición de la nube de puntos correspondientes a un objeto.
- Se utilizó un sistema sin contacto, para poder extraer los datos del objeto a digitalizar debido a que no existe rozamiento con el objeto, como sucede con los sistemas por contacto, al existir rozamiento con el objeto los actuadores de la estructura mecánica no generarán la suficiente fuerza para desplazar el sensor sobre la superficie del objeto, esto produce una desincronización en la digitalización y el rozamiento puede afectar a la geometría del objeto.
- Se determinó dos métodos de digitalización los cuales dependen estrictamente de la geometría del objeto, su diferencia presentará resultados en el tiempo de digitalización y la cantidad de muestras necesarias para formar la nube de puntos. Presentando como resultado una menor cantidad de puntos y menor tiempo en la digitalización al tratarse de volúmenes de revolución.

- Se determinó que la nube de puntos para digitalizar un volumen normal, estará dada por la cantidad de pasos del motor de la base en conjunto con el mecanismo de transmisión por poleas y correas, es decir mientras más grande sea la relación de transmisión entre la polea conducida y la polea conductora la nube de puntos será mayor.
- Se determinó la necesidad de realizar un procesamiento de imagen con una cámara web para medir distancia, por medio del cual permite medir la profundidad de los detalles en un objeto, para esto se realizaron filtros para la detección del color rojo como resultado los objetos a digitalizar no deben poseer características de este color ya que producirán falsas medidas.
- Se pudo seleccionar los parámetros de configuración mediante la creación de una HMI en MATLAB, así como los métodos de digitalización de los distintos objetos, para poder visualizar su modelo 3D. Además de poder visualizar en la HMI el modelo 3D, también se puede importar y exportar archivos ya digitalizados.
- Se puede realizar diferentes modificaciones al modelo 3D al exportar un archivo ya digitalizado a un programa CAD mediante el Sistema de Digitalización 3D. SolidWorks es una potente herramienta CAD que permite abrir archivos exportados de modelos 3D creados en MATLAB.
- Los resultados obtenidos de las distintas pruebas realizadas a objetos, demuestran que la precisión y los tiempos de escaneo del Sistema de Digitalización 3D son aceptables por el costo del proyecto desarrollado.

- Existen sensores dedicados a la digitalización de objetos los cuales presentan una resolución en micras y son inmunes al ruido, su desventaja está en el costo de los mismos por lo cual se determinó una solución confiable través de una webcam con una resolución en milímetros.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar una adecuada digitalización se debe tomar en cuenta que la cantidad de luxes de la habitación en la cual se realizará la digitalización debe estar entre 50 a 60 luxes.
- La cantidad de detalles que presente el objeto no debe ser inferior a los 2 milímetros, al ser inferior el sistema no podrá detectar dichos detalles.
- Luego de finalizar una digitalización mediante el método volúmenes normales es necesario dar un tiempo de reposo al sistema, el cual estará alrededor de 10 minutos, debido al calentamiento de los actuadores.
- Se debe evitar mover la cámara web ya que esto producirá una descalibración en la medición de profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Arqueología, R. M. (2013, Julio). *Técnicas para el modelado tridimensional de artefactos arqueológicos*. Obtenido de <http://remarq.ning.com/page/tecnicas-para-el-modelado-tridimensional-de-artefactos-arqueologi>
- Cámara de alta definición*. (2013, Noviembre). Obtenido de <http://es.aliexpress.com/item/USB-2-0-30-0M-3-LED-PC-Camera-HD-Webcam-Camera-Web-Cam-MIC-CD/783774355.html>
- Capítulo 2 MATLAB*. (2013, Julio). Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/silva_c_c/capitulo2.pdf
- Capítulo 3 MATLAB*. (2013, Julio). Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/rufino_a_j/capitulo3.pdf
- CINPI. (2013, Julio). *Digitalización 3D aplicada a la medicina*. Obtenido de <http://www.cinpi.es/blog/2012/03/la-digitalizacion-3d-aplicada-a-la-medicina/>
- CINPI. (2013, Julio). *Digitalización 3D/ Ingeniería inversa*. Obtenido de http://www.cinpi.es/digitalizacion_ing_inversa.php
- Clasificación de turbo máquinas*. (2013, Julio). Obtenido de <http://www.caballano.com/introdu.htm>
- Cristina, F. (2013, Julio asas). *Reconstrucción 3D*. Obtenido de www.com.com
- Digitalización 3D en la arqueología*. (2013, Julio). Obtenido de <http://aqinstruments.wordpress.com/tag/digitalizacion-3d-en-arquitectura/>
- Digitalización 3D para modelos de personas*. (2013, Julio). Obtenido de <http://escaner3d.blogspot.com/2011/01/digitalizacion-3d-para-modelos-de.html>
- Engranajes*. (2013, Julio). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos30/engranajes/engranajes.shtml>
- Escaner 3D de bajo coste*. (2013, Julio). Obtenido de <http://www.iteb.es/noticiarios/2007/julio-agosto/articulo.htm>

- Escaner 3D de luz estructurada.* (2013, Julio). Obtenido de <http://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=380912811>
- Federico Cristina, S. H. (2013, Julio). *Reconstrucción 3D: de la adquisición de visualización.* Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/21774/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Flores, V. (2013, Julio). *Elementos de transmisión de potencia mecánica.* Obtenido de <http://www.slideshare.net/vfloresg/elementos-de-transmision-de-potencia-mecnica>
- Forero. (2011). Sistema de digitalización 3D a partir de visión termográfica. Colombia.
- La cámara web.* (2013, Noviembre). Obtenido de http://www.informaticamoderna.com/Camara_web.htm
- La digitalización del cine.* (2013, Julio). Obtenido de http://www.aeic2012tarragona.org/comunicacions_cd/ok/344.pdf
- Las tres gamas del PIC.* (2013, Agosto). Obtenido de http://www.infoab.uclm.es/labelec/solar/Microcontroladores/Las_tres_gamas.htm
- León, M. (2013, Julio). *Digitalización 3D.* Obtenido de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/8697-Digitalizacion-3D.html>
- Matlab GUI.* (2013, Julio). Obtenido de <http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>
- Mecanismo y maquinas.* (2013, Julio). Obtenido de <http://www.maestrojuandeavila.es/tecnologia/temas/mec/mec.htm#mecanismosymaqinas>
- Mecanismos.* (2013, Julio). Obtenido de <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmision.pdf>
- Mecanismos de trasmisión.* (2013, Julio). Obtenido de <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Mecanismos%20de%20trasmisi%F3n.htm>
- Microcontrolador PIC.* (2013, Agosto). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC
- Microcontrolador.* (2013, Julio). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC

- peraz, J. (3 de 2 de 1). *el rincosito jejeje*. Recuperado el 6 de 5 de 4, de <http://elrincondelvago.com>
- Prótesis dental 3D*. (2013, Julio). Obtenido de <http://3ds.com.co/digitalizacion-odontologicos.html>
- Que es una cámara web*. (2013, Julio). Obtenido de <http://www.informatica-hoy.com.ar/aprender-informatica/Que-es-una-Camara-web.php>
- RSV, I. (2013, Julio). *Aplicaciones de la digitalización 3D*. Obtenido de <http://www.rsvinformatica.com/index.php/81-noticias/noticias-digitalizacion/73-aplicaciones-digi>
- Scopigno, C. M. (2013). *Digitalización 3D*. Granda. *Sección de motores paso a paso*. (2013, Julio). Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo3.pdf
- Secuencia para manejar motores paso a paso*. (2013, Julio). Obtenido de <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lased/2002-03/MotoresPasoPaso/ftomotpap.htm>
- Sistema de poleas y correas*. (2013, Julio). Obtenido de <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm>
- Sistema de tornillo sin fin y rueda dentada*. (2013, Julio). Obtenido de <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/sistema%20de%20tornillo%20sinfin%20y%20rueda%20dentada.htm>
- Sistema simple de poleas con correa*. (2013, Septiembre). Obtenido de <http://aprendemostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/>
- Sistemas CAD/CAM*. (2013, Julio). Obtenido de http://news.thomasnet.com/company_detail.html?cid=10057183
- Sistemas ópticos*. (2013, Julio). Obtenido de http://www.etpcb.com.ar/DocumentosDconsulta/OPTICA/Optica_Instrumental_J._A._Rca%20By%20Diego%20Arenas/OP00501C.pdf
- Tecnologías de escaneo en 3D*. (2013, Julio). Obtenido de <http://www.revistalettreros.com/pdf/93-46a51.pdf>
- Torres, B. (2007, 08 07). *ESCÁNER 3D DE BAJO COSTE*. Obtenido de Noticiario ITEB: <http://www.iteb.es/noticiarios/2007/julio-agosto/articulo.htm>

Tutorial sobre motores a pasos. (2013, Noviembre). Obtenido de <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Usando GUIDE. (2103, Julio). Obtenido de http://www.ehu.es/izaballa/Ana_Matr/Matlab/guia.pdf

Vargas, J. (2009). Nuevos métodos de medida 3D mediante triangulación activa. España.

Villa, V. (2009). Reconstrucción 3D de modelos utilizando técnicas de visión artificial .

FECHA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE desde:

Sangolquí: _____

ELABORADO POR:

Klever Geovanny Guamán Gualpa

CI: 0502775562

Andrés David Sosa Guzmán

CI: 1719388827

AUTORIDADES:

Ing. Víctor Proaño

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL