



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA EN  
OBJETOS CON SCANNERS 3D PARA EL APOYO DE  
CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DEL  
ECUADOR.**

**AUTORAS:**

**LISINTUÑA TOAPANTA, JESSICA VIVIANA**

**MOLINA MOLINA, GABRIELA MADELEINE**

**DIRECTOR: ING. KIRBY POWNEY, EDUARDO PATRICIO MG**

**COORDIRECTOR: PhD. PADILLA ALMEIDA, OSWALDO VINICIO**

**SANGOLQUÍ**

**2017**

## CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA EN OBJETOS CON SCANNERS 3D PARA EL APOYO DE CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DEL ECUADOR “realizado por las señoritas LISINTUÑA TOAPANTA JESSICA VIVIANA y MOLINA MOLINA GABRIELA MADELEINE, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a las señoritas LISINTUÑA TOAPANTA JESSICA VIVIANA y MOLINA MOLINA GABRIELA MADELEINE para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 06 de julio del 2017

Atentamente,

Ing. Eduardo Kirby Mg.

Director del Proyecto de Titulación.

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, LISINTUÑA TOAPANTA JESSICA VIVIANA, con cédula de identidad N° 172442186-0 y MOLINA MOLINA GABRIELA MADELEINE, con cédula de identidad N° 171857151-4, declaramos que este trabajo de titulación “ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA EN OBJETOS CON SCANNERS 3D PARA EL APOYO DE CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DEL ECUADOR” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 10 de julio del 2017

Lisintuña Toapanta Jessica Viviana  
CC: 172442186-0

Molina Molina Gabriela Madeleine  
CC: 171857151-4

## AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN

Nosotras, TOAPANTA LISINTUÑA JESSICA VIVIANA y MOLINA MOLINA GABRIELA MADELEINE, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA EN OBJETOS CON SCANNERS 3D PARA EL APOYO DE CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DEL ECUADOR” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 10 de julio del 2017

Lisintuña Toapanta Jessica Viviana  
CC: 172442186-0

Molina Molina Gabriela Madeleine  
CC: 171857151-4

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, porque ha estado en cada paso dado; cuidándonos, dándonos fortaleza y la sabiduría necesaria para tomar buenas decisiones frente a cualquier problema, logrando así continuar y llegar hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, quienes han velado por nuestro bienestar y educación, siendo guías y pilares fundamentales a lo largo de nuestras vidas. Brindándonos la confianza, consejos, oportunidad y recursos para lograr culminar la carrera.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos:

A Dios, por la bendición de culminar con éxito una etapa más de nuestras vidas.

A nuestros padres y hermano(a)s, por la confianza y apoyo incondicional brindado.

A nuestros amigos, por todas los momentos compartidos durante este tiempo; risas, llantos y alegrías, demostrando que podemos ser amigos y compañeros de trabajo a la vez.

También, en la realización y ejecución del proyecto, participaron instituciones y personal calificado, a quienes con mucho cariño agradecemos la ayuda y tiempo dedicado en cada actividad:

A nuestros queridos docentes: Ing. Eduardo Kirby e Ing. Oswaldo Padilla PhD.

A nuestra apreciada Universidad de las Fuerzas Armas ESPE, que abrió sus puertas para formarnos como profesionales de excelencia y por brindar los insumos necesarios.

A los ingenieros Eduardo Ordoñez y Judith Zapata, pertenecientes al Instituto Espacial Ecuatoriano.

Al Museo del Banco Central de Cuenca y a la Iglesia de San Francisco de Quito, por la apertura

Al ing. David Loza, docente del departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica – ESPE

Agradecemos a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.0 Resumen.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Definición del problema .....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Descripción del Área de Estudio.....	4
1.4.1. Iglesia de San Francisco.....	5
1.4.2. Museo de Pumapungo .....	8
1.5. Objetivos.....	9
1.5.1 Objetivo General .....	9

1.5.2	Objetivos Específicos.....	9
1.5.3	Metas.....	9
CAPÍTULO II.....		11
2.	MARCO TEÓRICO.....	11
2.0	Resumen.....	11
2.1.	Ingeniería Inversa.....	11
2.1.1.	Definición.....	11
2.1.2.	Clasificación.....	12
2.1.3.	Aplicaciones.....	13
2.2.	Scanners 3D.....	15
2.2.1.	Definición.....	15
2.2.2.	Tipos de scanners 3D.....	15
2.2.3.	Modelos de scanners 3D.....	20
2.3.	Software para 3D.....	33
2.3.1.	Vxelements.....	33
2.3.2.	Geomagic Design X.....	35
2.3.3.	ZBrush.....	38
2.3.4.	3DS MAX.....	41
2.3.5.	Trimble RealWorks.....	43
2.4.	Representación en 3D.....	47
2.4.1.	Modelo 3D.....	47
2.4.2.	Pdf 3D.....	48
2.4.3.	Realidad Aumentada.....	48

2.4.4.	Impresión 3D.....	51
2.5.	Patrimonio Cultural.....	54
2.5.1.	Antecedentes .....	54
2.5.2.	Patrimonio Cultural en el Ecuador .....	55
2.5.3.	Culturas del Ecuador .....	60
2.6.	Estadísticos de control de calidad .....	70
2.6.1.	Definiciones estadísticas .....	70
2.6.2.	Ji-Cuadrado .....	72
2.6.3.	Teorema del límite central .....	74
2.6.4.	Intervalo de confianza .....	74
2.6.5.	Medidas directas.....	75
CAPÍTULO III.....		76
3.	METODOLOGÍA .....	76
3.0.	Resumen.....	76
	Procedimiento General.....	76
3.1.	Preparación, configuración, captura y edición de objetos y piezas patrimoniales con GoSCAN 3D.....	78
3.1.1.	Preparación del GoSCAN 3D .....	78
3.1.2.	Configuración del GoSCAN 3D .....	79
3.1.3.	Captura de información.....	81
3.1.4.	Edición de objetos .....	84
3.2.	Planificación, configuración, captura y edición del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito .....	93
3.2.1.	Planificación.....	93

3.2.3. Captura de Información .....	97
3.2.4. Procesamiento de datos .....	98
3.2.5. Edición de objetos .....	103
3.3. Control de calidad .....	106
3.3.1 Evaluación dimensional de objetos indistintos .....	107
3.3.2 Evaluación dimensional del retablo de la Iglesia de San Francisco.....	112
3.4. Representación.....	114
3.2.1. Simulación 3D.....	114
3.2.2. Realidad Aumentada (RA).....	116
3.3.3. Representación física .....	120
CAPÍTULO IV .....	122
4. RESULTADOS.....	122
4.0 Resumen.....	122
4.1. Resultados de la configuración, captura y edición de objetos y piezas patrimoniales.....	122
4.2. Resultados de la captura y edición del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito. ....	129
4.3. Resultados de control de calidad.....	133
4.4. Productos finales obtenidos .....	136
CAPÍTULO V .....	140
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
5.0 Resumen.....	140
5.1. Conclusiones.....	140
5.2. Recomendaciones .....	142

Referencias Bibliográficas .....	144
----------------------------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas Geográficas de las áreas de estudio.....	4
Tabla 2 Ejemplos de modelos scanner 3D .....	21
Tabla 3 Especificaciones Técnicas del scanner GoSCAN 3D .....	22
Tabla 4 Especificaciones Técnicas del Trimble TX5 Laser Scanner.....	25
Tabla 5 Requisitos mínimos para ejecutar correctamente Vxelements .....	33
Tabla 6 Requisitos necesarios para instalar Geomagic Design X.....	35
Tabla 7 Requisitos mínimos para instalar ZBrush 4R7 en Windows .....	39
Tabla 8 Requisitos mínimos para instalar ZBrush 4R7 en Mac Os .....	39
Tabla 9 Requisitos mínimos para instalar 3DS Max.....	41
Tabla 10 Requisitos mínimos para ejecutar correctamente Trimble RealWorks.....	44
Tabla 11 Técnicas de escaneo a emplearse en caso de pérdida de seguimiento .....	82
Tabla 12 Formatos de archivos producidos por Vxelements .....	85
Tabla 13 Parámetros utilizados en la captura del retablo de la iglesia.....	97
Tabla 14 Parámetros estadísticos .....	107
Tabla 15 Modelos utilizados como muestra .....	108
Tabla 16 Mediciones reales y virtuales de una máscara de cartón (M1) .....	109
Tabla 17 Frecuencias observadas para la base .....	109
Tabla 18 Frecuencias observadas para la altura.....	110
Tabla 19 Frecuencias esperadas para cada frecuencia observada de base .....	110
Tabla 20 Frecuencias esperadas para cada frecuencia observada de altura .....	111

Tabla 21 Valores de las DL de los detalles del retablo sur de la iglesia .....	113
Tabla 22 Parámetros estadísticos .....	114
Tabla 23 Calibración de objetos de diferente tamaño, material y textura.....	122
Tabla 24 Calibración de las piezas escaneadas en el Museo Pumapungo .....	124
Tabla 25 Mediciones reales y virtuales de nueve modelos 3D .....	133
Tabla 26 Tabla de Distribución Chi Cuadrado $\chi^2$ .....	135
Tabla 27 Objetos y piezas editadas y texturizadas.....	136
Tabla 28 Productos obtenidos en el proyecto .....	137
Tabla 29 Tipos de archivos .....	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plaza e Iglesia de San Francisco de Quito .....	5
Figura 2 Iglesia y Atrio de San Francisco de Quito en 1920 .....	6
Figura 3 Altar mayor de la iglesia San Francisco de Quito .....	7
Figura 4 Uso de la ingeniería inversa en la educación.....	13
Figura 5 Entorno virtual del Museo Nacional de Ciencias Naturales, España .....	14
Figura 6 Principio de un láser scanner basado en el tiempo de vuelo.....	17
Figura 7 Ejemplos de scanners basados en tiempo de vuelo .....	17
Figura 8 Principio de laser scanner basada en la triangulación .....	18
Figura 9 Principio de medición basado en cambio de fase .....	19
Figura 10 Ejemplos de scanners basados en cambio de fase .....	19
Figura 11 Componentes complementarios del scanner GoSCAN 3D .....	23
Figura 12 Componentes Complementario del Trimble TX5 Laser Scanner.....	27

Figura 13 Laser Scanner en obras civiles.....	28
Figura 14 Scanner 3D en Aseguramiento de la calidad y metrología industrial.....	28
Figura 15 Laser Scanner en la industria del entretenimiento.....	29
Figura 16 Laser Scanner en conservación del Patrimonio Cultural.....	29
Figura 17 Zonas ocultas .....	30
Figura 18 Elipses de error en relación al ángulo de incidencia sobre la superficie a medir.....	31
Figura 19 Ejemplos de puntos de referencia.....	31
Figura 20 Ejemplo de una mala ubicación de las dianas, (b) Ejemplo de una buena ubicación de dianas .....	32
Figura 21 Interfaz principal del software Vxelements con sus respectivos elementos....	34
Figura 22 Interfaz principal del software Geomagic Design X con sus respectivos elementos .....	36
Figura 23 Interfaz principal del software ZBrush 4R7 con sus respectivos elementos ...	40
Figura 24 Interfaz principal del software Autodesk 3ds Max con sus respectivos elementos .....	42
Figura 25 Interfaz principal del software Autodesk 3ds Max con sus respectivos elementos .....	45
Figura 26 Modelo 3D .....	47
Figura 27 Ejemplo de un Pdf 3D.....	48
Figura 28 Ejemplo de realidad aumentada.....	49
Figura 29 Ejemplo de un Tag utilizado para el proyecto de RA.....	50
Figura 30 Ejemplo de un código QR.....	51
Figura 31 Proceso de rebanado del modelo .....	52

Figura 32 Impresora 3D .....	53
Figura 33 Métodos de impresión según la tecnología y materiales .....	53
Figura 34 Partes de un retablo.....	59
Figura 35 Venus de Valdivia.....	61
Figura 36 Botella silbato de vasos comunicantes .....	62
Figura 37 Representación de un chamán .....	64
Figura 38 Botella silbato zoomorfa.....	65
Figura 39 Botella silbato zoomorfa.....	65
Figura 40 Botella silbato zoomorfa.....	67
Figura 41 Vasija con cuerpo antropomorfo .....	68
Figura 42 Hacha ceremonial .....	69
Figura 43 Aríbalo Inca .....	70
Figura 44 Partes de una tabla de contingencia .....	73
Figura 45 Procedimientos del proyecto.....	77
Figura 46 Conexión del GoSCAN 3D .....	78
Figura 47 Ventana de configuración del scanner.....	79
Figura 48 Parámetros de escaneo .....	80
Figura 49 Preparación para la captura de un faro de carro y una botella de soda.....	81
Figura 50 Relación del medidor de distancia entre Vxelements y scanner.....	81
Figura 51 Modelo 3D de una pieza de cerámica.....	82
Figura 52 Colocación de las referencias de posicionamiento .....	83
Figura 53 Edición en Vxelements.....	84
Figura 54 Procedimientos para edición final .....	86

Figura 55 Eliminación de ruido.....	87
Figura 56 Edición del contorno de un borde.....	87
Figura 57 Edición de huecos.....	88
Figura 58 Rellenado completo del modelo.....	88
Figura 59 Rellenado y mejoramiento de una malla.....	89
Figura 60 Eliminación de picos.....	89
Figura 61 Mejoramiento de malla.....	90
Figura 62 Añadir color.....	90
Figura 63 Representación de la imagen usada como textura.....	91
Figura 64 Edición de color.....	92
Figura 65 Mapa de textura.....	92
Figura 66 Posicionamiento de las estaciones de escaneo.....	94
Figura 67 Ubicación de las cuatro estaciones de trabajo.....	95
Figura 68 Ubicación de dianas en el retablo.....	96
Figura 69 Nube de puntos del retablo a color.....	98
Figura 70 Fusión de la nube de puntos del retablo.....	99
Figura 71 Nube de puntos segmentada.....	100
Figura 72 Segmentación de las secciones A, B, C del retablo.....	101
Figura 73 Malla de la sección A, parte inferior del retablo.....	102
Figura 74 Malla de la sección B, parte central del retablo.....	103
Figura 75 Malla de la sección C, parte superior del retablo.....	103
Figura 76 Presentación del antes y después de haber aplicado la opción smooth.....	104
Figura 77 Presentación del antes y después de aplicar la opción de Invert triangle normals.....	104

Figura 78 Presentación del antes y después de aplicar la opción remove picks .....	104
Figura 79 Georreferenciación de imágenes del retablo.....	106
Figura 80 Mediciones de un pedazo de arrecife.....	108
Figura 81 Mediciones de la sección A (parte inferior del retablo) .....	112
Figura 82 Procedimiento para simulación 3D.....	115
Figura 83 Visualización en Abode Acrobat pro Dc .....	116
Figura 84 Procedimientos para realidad aumentada .....	116
Figura 85 Grabación automática usando Autodesk 3ds Max.....	117
Figura 86 Creación de una marca de RA .....	118
Figura 87 Visualización de RA en computador .....	119
Figura 88 Visualización de RA en computador .....	120
Figura 89 Impresión 3D .....	121
Figura 90 Modelos 3D de objetos brillantes, transparentes y traslúcidos.....	126
Figura 91 Objetos no editados.....	128
Figura 92 Modelo 3D del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito .....	129
Figura 93 Modelo 3D del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito Representación de la sección A .....	130
Figura 94 Sección A del retablo sur, texturizada .....	131
Figura 95 Representación de la sección B .....	132
Figura 96 Representación de la Sección C.....	133
Figura 97 Representación 3D.....	138
Figura 98 Representaciones físicas .....	139

## **RESUMEN**

Ecuador posee una enorme riqueza patrimonial cultural, reconocida a nivel internacional; sin embargo, la mayoría de los tres millones de Bienes Culturales y Patrimoniales (BCP) estimados no se encuentran debidamente registrados, recuperados, protegidos y conservados bajo criterios de política pública que garanticen su puesta en valor, uso social y acceso a la población. Esto ha provocado que algunos objetos históricos no sean expuestos al público en general y que la digitalización del patrimonio usando diferentes técnicas involucre tiempo y gastos considerables. En los últimos años, en el país se han establecido medidas y mecanismos orientadas a la conservación y preservación de los bienes patrimoniales del estado, pero existen escasas investigaciones sobre el uso de nuevas tecnologías que permiten obtener su información en menor tiempo y con mayor exactitud, por lo que el objetivo de esta investigación es levantar y analizar objetos indistintos y patrimoniales con diferentes texturas y materiales para su respectiva representación 3D, usando scanners: GoSCAN y Trimble TX5 en apoyo a la conservación del patrimonio cultural del Ecuador. Obteniendo como resultado una biblioteca de calibración, manuales de captura, edición y representación de la información en 3D en distintas tonalidad RGB, en formato digital, realidad aumentada e impresiones tridimensionales.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **INGENIERÍA INVERSA**
- **SCANNERS 3D**
- **CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO**

## **ABSTRACT**

Ecuador has an enormous wealth of cultural heritage, recognized internationally; however, most of the estimated three million Cultural and Heritage Goods (BCP) are not properly registered, recovered, protected and preserved under public policy considerations that guarantee their value, social use and access to the population. This has caused some historical objects not to be exposed to the general public and that digitization of heritage using different techniques involves considerable time and considerable expense. In recent years, the country has established measures and mechanisms aimed at the conservation and preservation of patrimonial assets, but there is little research on the use of new technologies to obtain information in less time and with greater accuracy, So the objective of this research is to raise and analyze indistinct and patrimonial objects with different textures and materials for their respective 3D representation, using scanners: GoSCAN and Trimble TX5 in support of the conservation of the cultural heritage of Ecuador. Resulting in a calibration library, manuals for capturing, editing and rendering information in 3D in different RGB tones, in digital format, augmented reality and three-dimensional imprints.

### **KEY WORDS:**

- **REVERSE ENGINEERING**
- **SCANNERS 3D**
- **CONSERVATION OF THE HERITAGE**

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.0 Resumen

Este capítulo trata acerca de la ingeniería inversa utilizando scanners 3D, siendo un método muy útil en: estudios arqueológicos, productores de cine, diseñadores de video juegos, estudios criminalísticas, educación, medicina, arte y arquitectura, ingeniería civil, conservación del patrimonio cultural, entre otros. Actualmente, en el país se han establecido medidas y mecanismos orientadas a la conservación y preservación de los bienes patrimoniales del estado, pero existen escasas investigaciones sobre el uso de nuevas tecnologías que permiten obtener información en menor tiempo y con exactitud, por lo que el objetivo de esta investigación es levantar y analizar objetos con diferentes texturas y materiales para su respectiva representación 3D, usando scanners GoSCAN y Trimble TX5 en apoyo a la conservación del patrimonio cultural del Ecuador.

### 1.1. Antecedentes

En los últimos años, el uso de nuevas tecnologías como scanners 3D, permiten aplicar ingeniería inversa, que es opuesta a la ingeniería convencional, la cual estudia o analiza un producto terminando con el fin de conocer detalles de su diseño, construcción y operación, teniendo muchas aplicaciones en el mundo actual y siendo utilizada por todo tipo de empresas (Ramos D. , 2013).

Es importante conocer el uso de estas herramientas que brindan beneficios en diferentes campos de aplicación. Como en el trabajo de Sebastián (2005), quien realizó: “Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: Las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico”; en el cual a través del análisis de un ejemplo, se presentan algunas ventajas e inconvenientes del empleo de un scanner 3D

Konica Minolta en pequeños objetos arqueológicos, así como la aplicación del prototipado rápido por medio de una impresora 3D.

Un ejemplo se presenta en el trabajo de Álvarez & Olivares (2007), titulado: “Registro mediante la utilización de scanner laser 3D del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones”; que trata sobre la utilización del scanner laser para el registrado y documentación del estado de la fuente de los Leones de Alhambra, previos a las intervenciones de restauración que se llevaron a cabo.

Otro campo, donde ha crecido en gran medida las posibilidades de estos avances tecnológicos, es en la conservación del patrimonio cultural; ya que el escaneado 3D ha formado parte de un procedimiento consistente para la documentación y conservación a largo plazo de las piezas patrimoniales, sin contacto con la obras (FACTUMarte, 2010).

Existe una variedad de scanners y métodos para capturar en 3D. La toma de datos puede ser a corto y largo alcance (tomar la topografía de un paisaje). Los scanners de corto alcance se utilizaron para: levantar información sobre la superficie de cuadros como las Pinturas Negras de Goya y digitalización en 3D del Mappa Mundi de Hereford, capturados con el scanner 3D Lucida, y la renderización digital de un relieve perteneciente a la Basílica de San Petronio con el scanner de luz estructurada NUB3D SIDIO. La información generada puede ser utilizada en la investigación, usando varias plataformas informáticas en un ordenador, o re-materializar con diferentes propósitos como: producir objetos táctiles para personas no videntes y creación de copias o reproducciones exactas (FACTUMarte, 2010).

Ecuador posee una enorme riqueza patrimonial cultural, reconocida a nivel internacional; sin embargo, la mayoría de los tres millones de Bienes Culturales y Patrimoniales (BCP) estimados no se encuentran debidamente registrados, recuperados, protegidos y conservados, bajo criterios de política pública que garanticen su puesta en valor, uso social y acceso a la población (Ministerio Coordinador de Patrimonio, 2015). En el trabajo de Ruiz (2016) se presenta: “La automatización del escáner David 3D, como

una alternativa rápida y de bajo costo para la digitalización de las piezas patrimoniales del Ecuador”; en el que se investigó técnicas, tecnologías, herramientas de software libre y materiales de bajo costo para crear un prototipo de escaneo tridimensional.

## **1.2. Definición del problema**

Las necesidades de protección y recuperación de los bienes culturales del Ecuador no se han superado, provocando que se encuentren en peligro, debido a distintos factores como: el caso del tráfico ilegal, robo, desinterés de los ciudadanos y falta de mecanismos legales, provocando que algunos objetos históricos no sean expuestos al público en general y que la digitalización del patrimonio usando diferentes técnicas involucre tiempo y gastos considerables (Ruiz, 2016). Actualmente, gracias a las aplicaciones de las nuevas tecnologías empleadas en la captura de datos en tiempo real, permiten obtener la misma información en menor tiempo y con mayor exactitud; la misma, que sirve de apoyo a la conservación, restauración y difusión de datos escaneados. Además, al visitar los museos, en donde, no se pueden tocar las piezas u obras en exhibición, lo que disminuye considerablemente las experiencias de los visitantes, en especial de las personas no videntes y niños.

## **1.3. Justificación**

En el año 2007, el gobierno ecuatoriano decidió declarar en emergencia al patrimonio cultural, estableciendo medidas y mecanismos orientadas a la conservación y preservación de los bienes patrimoniales del estado (Gaëtan, 2008); y frente a esta necesidad, en el año 2011, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) ha optado por las bases de datos y la digitalización de las piezas históricas, aunque actualmente no ha estado presente dentro de la comunidad digital (Gaëtan & Lara, 2011 citado en Ruiz, 2016), sin embargo gracias al avance de las tecnologías de información geográfica se puede aplicar desde el archivado y restauración de piezas de arte y artefactos; creando una representación exacta que servirá a los tomadores de decisiones, en caso de que los objetos sean afectados por

diferentes circunstancias, sin necesidad de estar en contacto con las piezas u obras, para mejorarlos o reconstruirlos en forma virtual.

También, aportan beneficios en el arte y arquitectura, diseñadores gráficos 3D por ordenador y efectos visuales, sistemas de juego, realidad virtual y creación de museos virtuales; generando modelos idénticos de las piezas u objetos históricos que no pueden ser exhibidos o estar en contacto directo con las personas, permitiendo así la conservación del patrimonio y aumentar considerablemente las experiencias de los visitantes; además, con la impresión 3D las personas no videntes pueden interactuar con los objetos patrimoniales de manera dinámica, generando en ellos una imagen que se aproxime a la realidad.

#### 1.4. Descripción del Área de Estudio

El proyecto se realizó en diferentes lugares: el escaneo de objetos indistintos en el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia Sangolquí; el retablo del transepto sur en la iglesia de San Francisco de Quito; localizada en la provincia de Pichincha, cantón Quito, en el Centro Histórico de la ciudad de Quito; y las piezas patrimoniales en el Museo de Pumapungo; situado en la provincia de Azuay, cantón Cuenca, parroquia San Blas. En la tabla 1 se muestra las áreas de estudio con sus respectivas coordenadas geográficas.

**Tabla 1**  
**Coordenadas Geográficas de las áreas de estudio**

N°	Área de estudio	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	0°18'52.33"S	78°26'37.29"O
2	Museo de Pumapungo (Banco Central de Cuenca)	2°54'21.14"S	78°59'48.37"O
3	Iglesia de San Francisco de Quito	0°13'13.38"S	78°30'55.04"O

Fuente: (Google Earth. Pro 6.0, 2016)

A continuación, se presenta una breve descripción de la reseña histórica de las zonas de estudio:

#### 1.4.1. *Iglesia de San Francisco*

La iglesia de San Francisco es uno de los monumentos más importantes e influyentes en la historia de la arquitectura colonial sudamericana y de Ecuador debido a su contenido artístico y sus particulares características arquitectónicas. Es la obra más extraordinaria, ubicada en el Centro Histórico de la ciudad de Quito, declarado por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Se localiza en la calle Cuenca 477 y Sucre. Al frente una plaza, con su mismo nombre, la convierte en una obra arquitectónica imponente (ver figura 1).



**Figura 1 Plaza e Iglesia de San Francisco de Quito**

Fuente: (La Republica, 2017)

El conjunto franciscano está compuesto por la plaza, el atrio, la iglesia y dos capillas: San Carlos y Cantuña, la cual ocupa una superficie aproximada de cuatro hectáreas. Fue el primer templo construido a poco tiempo de la fundación de Quito, en 1536, como representación del dominio español. La obra inicial del templo y del convento, fue elaborado por Fray Jodoco Ricke y las demás partes del convento, fueron construidas en

diversas épocas según las necesidades. Fray Francisco Benítez construyó el actual patio central (INPC, 2011).

La fachada del templo y del convento son simples, sin lujos, casi monocromáticas con gran influencia del arte español: siendo muy parecida a la fachada del Monasterio de San Lorenzo, de El Escorial en Madrid, España, y acompañada por dos esbeltas torres, las cuales fueron destruidas en el año 1868 por un terremoto que afectó gravemente a la edificación, pero reconstruidas nuevamente años más tarde. El complejo artístico es una construcción horizontal que se extiende de un extremo a otro de la plaza, otorgándole a la edificación un carácter simbólico de orden, unidad, y proporción (ver figura 2) (INPC, 2011).



**Figura 2 Iglesia y Atrio de San Francisco de Quito en 1920**

Fuente: (Domingo, 2014, citado en INPC, 2011)

La iglesia está llena de riqueza acumulada durante largos años, desde su construcción hasta como la conocen actualmente. Incluye magníficos retablos, púlpitos, altares, obras y piezas de arte, candelabros, documentos y libros, que hacen contraste con el estilo barroco renacentista, convirtiéndola en un hermoso, elegante y espacioso conjunto arquitectónico de América del Sur. En el retablo principal, se alberga una de las dos copias auténticas de la estatua de la virgen de Pilar de Zaragoza, un calvario de tamaño natural con su Cristo, La virgen de las Angustias vestida de forma española, la virgen de los

Dolores, la virgen de Quito de Bernardo de Legarda. El Bautismo de Cristo por Diego de Robles, entre otros (INPC, 2011) (Robles, 2015) De acuerdo con Ortiz (2009), la edificación custodia un número mayor a 3500 bienes de arte colonial.

La construcción del altar mayor empezó en 1619 y terminó en 1625, luego con la introducción de las dos capillas: Pilar de Zaragoza y la de Villacís, lograron que el interior de la iglesia mayor sea más ostentoso. El altar tiene una ligera importancia sobre el resto de la iglesia, creando un efecto de supremacía en contraste con los otros elementos (Blasco, 2013).

A diferencia de la fachada monocromática, el interior de la iglesia presenta un arte barroco con influencias renacentismo flamenco lleno de policromía y esto se debe a la decoración de los retablos, columnas, arcos, cúpulas, imágenes y pinturas. El retablo mayor, que ocupa todo el fondo de la capilla, está construido de cedro y recubierto por pan de oro. Tiene una altura de 16 m y 10 m de ancho, siendo más alto que los otros retablos laterales. Dentro de la historia de la iglesia de San Francisco, la edificación ha sufrido grandes cambios arquitectónicos debido a la presencia de sismos, los cuales comprometieron a la estructura y la decoración del interior, provocando que, con el pasar del tiempo, las esculturas e imágenes hayan cambiado o reemplazado. (INPC, 2011) (Robles, 2015).



**Figura 3** Altar mayor de la iglesia San Francisco de Quito

Fuente: (Jaramillo, 2014)

#### 1.4.2. *Museo de Pumapungo*

El Complejo Pumapungo o Puerta del Puma, del Ministerio de Cultura y Patrimonio Cultural, se encuentra localizado en la provincia de Azuay, Ciudad Cuenca entre la calle Larga y Av. Huayna Capac. Es una evidencia tangible de la cultura Cañari Inca. El museo, teatro y parque ancestral forman parte de este grande espacio dedicado a actividades enmarcadas en el Plan Nacional del Buen Vivir y en las políticas nacionales de museos (Fundación Municipal Turismo para Cuenca, 2015).

En el interior del museo, se aprecia una gran riqueza cultural característica del Ecuador, la cual puede ser observada en la Sala Arqueológica Tomebamba o Museo del Sitio a través de la diversidad de las piezas y materiales localizada en el Imperio Inca, así como, en otros periodos prehispánicos de ciertas culturas como Narrío, Cashaloma y Tacalshapa (Landázuri & Ordóñez, 2010), mientras la Sala de Etnografía Nacional, alberga una colección de objetos que muestran el arte popular, fiestas populares, creencias, ritmos y símbolos de los diversos grupos humanos (Fundación ILAM, 2004). Adicionalmente, cuenta con una sala de arte; donde se exhibe un conjunto de obras del siglo XVIII, XIX y XX, una sala numismática del desarrollo histórico de la moneda ecuatoriana desde la época precolombina hasta la actualidad, cinco salas expositivas, una sala para artistas emergentes locales, nacionales internacionales. Además, ofrece el servicio de biblioteca y archivado histórico a disposición de docentes, estudiantes, investigadores y público en general (Fundación ILAM, 2004) (Landázuri & Ordóñez, 2010).

El Parque Arqueológico Pumapungo ocupa un área aproximada de cuatro hectáreas, situado al lado del río, donde antes se encontraba el barrio administrativo de la antigua ciudad Inca (Landázuri & Ordóñez, 2010). Cuenta con tres elementos; el parque arqueológico, en el cual se aprecia los vestigios del sitio incásico, el parque etnobotánico, convertido en nicho ecológico por más de sus 230 especies de plantas y árboles nativos andinos, y el centro de rescate de avifauna, en su labor de la lucha contra el tráfico ilegal de aves en coordinación con la Comisión de Gestión Ambiental, Ministerio del Ambiente y Reserva Amaru (Fundación ILAM, 2004).

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1 *Objetivo General*

Levantar y analizar objetos con diferentes texturas y materiales en 3D, mediante ingeniería inversa usando scanners 3D para el apoyo de la conservación del patrimonio cultural del Ecuador.

### 1.5.2 *Objetivos Específicos*

- Configurar el equipo GoSCAN 3D en función de la iluminación, material, textura y tamaño del objeto.
- Capturar objetos de diferentes tamaños, materiales y texturas mediante el uso del GoSCAN 3D, en los que se incluyan piezas o figuras patrimoniales y/o conservación.
- Editar los datos obtenidos de los objetos escaneados utilizando al menos dos programas en software libre y/o propietario.
- Representar los objetos en distintas tonalidades RGB, formato digital, realidad aumentada y en físico.
- Realizar manuales de: captura, calibración, edición y representación de objetos escaneados con GoSCAN 3D.
- Generar un modelo 3D del transepto sur del retablo de la iglesia de San Francisco utilizando Trimble TX5 scanner Laser 3D.

### 1.5.3 *Metas*

De acuerdo a los objetivos:

- Una tabla de calibración de 15 objetos de diferente tamaño, material y textura.
- Un documento del análisis de la calibración de los diferentes objetos escaneados en función de la iluminación.

- Captura de 15 objetos de diferente tamaño, material y textura, en los que incluya 5 piezas o figuras patrimoniales y/o conservación.
- 15 objetos editados mediante el uso de al menos 2 programas en software libre y/o propietario apropiados.
- Representación final de 15 objetos escaneados en distintas tonalidades RGB en formato digital, realidad aumentada y pdf 3.
- Impresión 3D de al menos un objeto escaneado.
- Manual de calibración, captura, edición y representación de objetos con el scanner GoSCAN 3D.
- Un modelo 3D del transepto sur del retablo de la iglesia de San Francisco.
- Un artículo del estudio que cumpla con los requisitos de una publicación indexada.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.0 Resumen

En este capítulo se realiza una revisión de los fundamentos teóricos de los aspectos como: ingeniería inversa, scanners 3D y patrimonio cultural. Además, se proporciona una descripción de contenidos, utilizados en el desarrollo del proyecto, que combinados entre sí permiten alcanzar los objetivos planteados.

#### 2.1. Ingeniería Inversa

##### 2.1.1. Definición

La ingeniería inversa es opuesta a la ingeniería convencional pues parte de un producto terminado para el posterior análisis de su diseño, construcción, funcionamiento y operación con el fin de obtener información del mismo para generar un modelo (Ramos D. , 2013). De acuerdo con Jiménez, et al (2010), a este modelo también se lo conoce como duplicado, el cual puede ser manipulable, medible, modificable y producir una versión mejorada del producto o reconstruirlo.

El fin de la ingeniería inversa, es obtener la mayor información posible de un objeto, sea este un elemento, una parte o inclusive de máquinas o dispositivos y procesos; en este sentido, la ingeniería inversa es analítica y según Montoya (2013) debe responder a lo siguiente:

- ¿Qué es el objeto?
- ¿Cuál o cuáles son las formas del objeto?
- ¿De qué está hecho el objeto?

- ¿Cómo funciona el objeto?
- ¿Cuál es la sustancia del objeto?
- ¿Cómo fue posible el objeto?

Para responder las preguntas antes mencionadas, se debe utilizar el método sintético o inductivo, es decir, partir de lo particular (el objeto) y llegar a lo general (las ideas) en obtener un modelo; por lo que, la ingeniería inversa combina análisis y síntesis (Montoya M. , 2013).

Una de las etapas más importantes de la ingeniería inversa es la generación del modelo tridimensional, ya que la información debe ser precisa y confiable, y gran parte del éxito o fracaso de este proceso dependerá de la ejecución de los programas. De acuerdo con Jiménez, et al (2010), los programas de ingeniería inversa se clasifican en programas analíticos y sintéticos. Los programas analíticos, tienen como objetivo obtener datos e información fidedigna de las características y propiedades del objeto con el fin de crear el modelo (por ejemplo programas de mediciones y caracterización de materiales), mientras que los programas sintéticos, usan la información del análisis para identificar al objeto y posteriormente reproducirlo, mejorarlo o rediseñar nuevos productos.

### 2.1.2. *Clasificación*

De acuerdo con Axayacatl (2014), la ingeniería inversa se divide en dos grupos:

- Ingeniería inversa de producto: obtiene información de productos físicos tales como: máquinas, componentes electrónicos, dispositivos, piezas patrimoniales, entre otros.
- Ingeniería inversa de software: descubre el funcionamiento o característica de un programa, cuyo código fuente se desconoce.

### 2.1.3. Aplicaciones

El desarrollo de esta ingeniería tiene su origen en la industria militar, quienes incautaban los artefactos de guerra del ejército enemigo con el objetivo de descubrir su funcionamiento, encontrar fallas o puntos débiles y crear otros equivalentes o mejorar su tecnología para obtener una cierta ventaja. De igual manera, a lo largo de la historia, la ingeniería inversa ha sido una tendencia utilizada por países industrializados como una herramienta de imitar, apropiar y copiar tecnología industrial (Ramos D. , 2013).

La ingeniería inversa puede tener diversas aplicaciones como es en el caso de la enseñanza; la cual es considerada como un producto de aprendizaje activo (ALP), sirviendo como material de apoyo a las clases típicas de libros de texto en las distintas asignaturas a través de la elaboración de programas de estudio y lecciones prácticas, demostrativas y con herramientas multimedia que ofrecen un enfoque diferente (Ramos D. , 2013). En la figura 4, se ilustra un ejemplo de la ingeniería inversa como herramienta de aprendizaje, tanto para docentes y estudiantes, en campos de estudio y programas de educación.



**Figura 4 Uso de la ingeniería inversa en la educación**

Fuente: (Creaform, 2017)

Por otro lado, debido al uso de esta ingeniería como herramienta para generar información, se ha logrado que sus aplicaciones se diversifiquen en los diferentes campos de la ingeniería, adquiriendo importancia en el ámbito del diseño y la manufactura en procesos mecánicos. Por ejemplo “para reproducir componentes mecánicos, innovar productos, generar bases de datos y conocimiento de los sistemas mecánicos, mejorar y

rediseñar componentes o máquinas y corregir fallas en los diseños” (Montoya; 2013, p. 27-28).

Las aplicaciones de la ingeniería inversa, en el campo de la medicina, también son conocidas por: la generación de archivos digitales tridimensionales de partes del cuerpo, dispositivos de ortopedia y prótesis, estética y cirugía plástica, mediciones de partes del cuerpo, así como diagnósticos y seguimientos (Ospina & Ramírez, 2015). También, es un método muy útil para los productores de cine, diseñadores de video juegos, estudios criminalísticas, y gracias a los dispositivos de escaneo se puede representar piezas patrimoniales o en estado de conservación con la finalidad de realizar museos virtuales, bases de datos, réplicas (para que personas no videntes y visitantes de museos pueden interactuar con los mismos), evaluaciones de daños y restauración en apoyo a la conservación del patrimonio cultural.

A continuación, en la figura 5 se observa un entorno virtual del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC) localizado en Madrid, España. Se puede realizar recorridos tridimensionales de sus salas, disfrutar de sus colecciones, incluso piezas que no se exhiben en público, y observar lo principales detalles. La aplicación se realizó con participación de la plataforma de Arte y Cultura de Google y está disponible para celulares y computadoras de forma gratuita (Sabbatini, 2013).



**Figura 5 Entorno virtual del Museo Nacional de Ciencias Naturales, España**

Fuente: (Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2017)

La ingeniería inversa no debe ser considerada como una herramienta en apoyo al duplicado, más bien, es un medio para descubrir el porqué de cada detalle de construcción y funcionamiento de un objeto, componente o sistema para aplicarlo en la ciencia.

## **2.2. Scanners 3D**

### *2.2.1. Definición*

Son dispositivos que analizan objetos y capturan datos sobre sus formas y su apariencia (color), cuyo propósito es crear una nube de puntos de muestras geométricas sobre la superficie del objeto. Los datos obtenidos, se pueden usar en la reconstrucción digital de diferentes objetos y en la creación de modelados tridimensionales, útiles para una amplia variedad de aplicaciones: entretenimiento, ingeniería inversa, control de calidad, arqueología, entre otros (Crespo & Fernández, 2014).

Hay varios tipos de scanners y tecnologías de escaneado 3D; dependiendo de las necesidades de cada proyecto algunos son ideales para el escaneo de corto alcance, mientras que otros son más adecuados para el escaneo de mediano o largo alcance, que se muestran a continuación:

### *2.2.2. Tipos de scanners 3D*

Los scanners 3D tienen una amplia variedad de formas y tamaños, cada uno con diferentes capacidades y limitaciones. Contreras (2014), describe los tipos de scanners dependiendo si está en contacto con el objeto o no y los divide en:

#### En contacto con el objeto

Este tipo de scanners examinan el modelo, mediante toques físicos sobre el objeto; es decir, cada contacto en el objeto corresponde con un punto del modelo, logrando así una

gran precisión. Algunas de las desventajas son: que puede causar un potencial daño, producido en las superficies de los objetos por el inevitable contacto con el scanner y además, su velocidad de escaneado es lento en comparación con otros tipos de scanners.

### Sin contacto con el objeto

Estos scanners, se caracterizan por emitir algún tipo de radiación como puede ser la luz (laser, infrarroja, natural) o el ultrasonido, entre otros; barren la superficie del objeto, sin la necesidad de tener contacto físico con el objeto escaneado. Se pueden clasificar en dos grupos: activos y pasivos.

- Scanners Activos

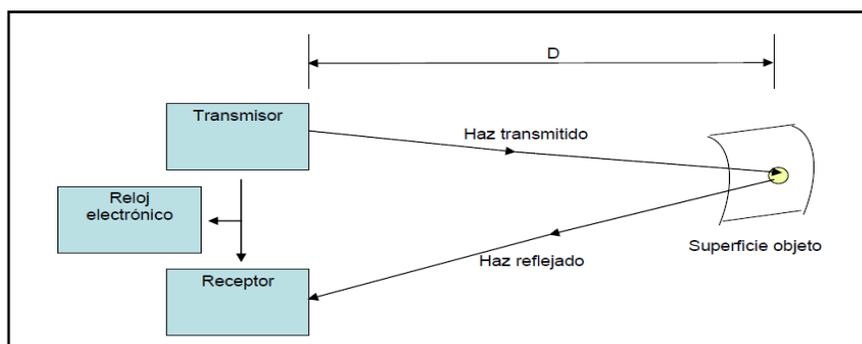
Los scanners activos emiten luz o algún otro tipo de radiación (electromagnéticas o ultrasonidos) que analizan el entorno, y mediante la detección de su reflejo capturan un objeto o lugar. Mecánicamente son más complejos que los scanners pasivos, debido a que requieren de un transmisor láser y un receptor. Sus ventajas son:

- No requieren luz ambiental, porque ellos generan su propia radiación.
- Proporcionan gran cantidad de mediciones de manera automática.
- Se pueden utilizar en superficies sin rasgos distintivos.
- Capturan mucha información en poco tiempo (1000-500.000 pts/s).

Una desventaja de este tipo de scanners, es que pueden verse afectados por fuentes de luz externa, reflectividad, color y rugosidad. Los scanners activos pueden medir la distancia de los objetos de varias maneras:

- **Tiempo de vuelo:** El tiempo de vuelo se basa en emitir unos pulsos de láser que se reflejan en el objeto, miden el tiempo que se demora el rayo en ir, reflejarse en el objeto y en ser capturado por el receptor; para así, por medio de la velocidad de la luz, determinar la distancia deseada (D). Este tiempo representa el espacio de

ida y vuelta, calculado por el reloj electrónico, por lo que se toma la mitad del mismo (ver figura 6).



**Figura 6 Principio de un láser scanner basado en el tiempo de vuelo**

Fuente: (Contreras, 2014)

La precisión de este scanner, dependerá de la capacidad que tenga el dispositivo para medir el tiempo; de manera que, cuanto más precisos sean en medir el tiempo, más precisos serán en medir la distancia. Además, capturan información a distancias muy grandes; por lo tanto, pueden escanear estructuras grandes como: edificios o accidentes geográficos.

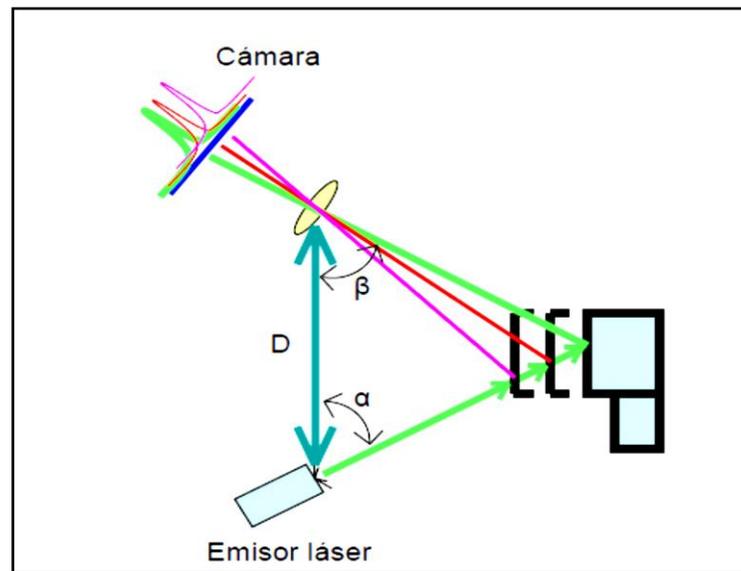
En la figura 7 se ilustran algunos ejemplos de scanners basados en el tiempo de vuelo.



**Figura 7 Ejemplos de scanners basados en tiempo de vuelo**

Fuente: (Contreras, 2014)

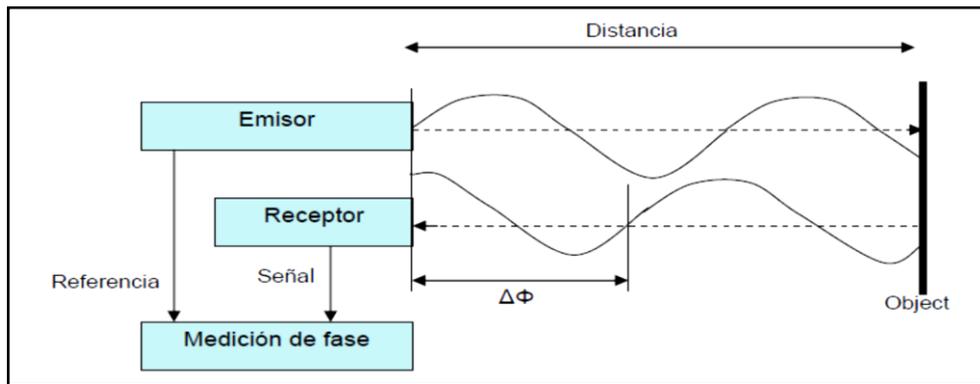
- **Triangulación:** Miden los objetos por triangulación, utilizando un láser para medir el entorno y una cámara para localizar la posición del punto láser. Se le denomina triangulación, porque el láser, el objeto y la cámara forman un triángulo. Este método consiste en determinar: la base de un triángulo, distancia entre dos de sus vértices y dos ángulos correspondientes, para obtener la posición del tercer vértice; según este principio se puede conocer la posición absoluta del punto P si se conoce la distancia  $D$  y los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , como se puede observar en la figura 8.



**Figura 8 Principio de laser scanner basada en la triangulación**

Fuente: (Contreras, 2014)

- **Medida de cambio de fase:** Se basa en el tiempo, pero evita la utilización de relojes de alta precisión; es decir, que este método emite una onda láser continua como portadora de una señal modulada, conocida como amplitud, se calcula la diferencia de fase entre las ondas enviadas y recibidas, y utiliza dicha medida para estimar la distancia al objeto (ver figura 9).



**Figura 9 Principio de medición basado en cambio de fase**

Fuente: (Contreras, 2014)

A continuación, en la figura 10 se presentan algunos ejemplos de scanners basados en cambio de fase:



**Figura 10 Ejemplos de scanners basados en cambio de fase**

Fuente: (Contreras, 2014)

- **Holografía conoscópica:** Es una técnica interferométrica, que consiste en atravesar un rayo reflejado en una superficie, mediante un cristal birrefringente (cristal con dos índices de refracción; uno fijo y otro que dependerá del ángulo de incidencia), obteniendo dos rayos paralelos que interfieren con el uso de una lente cilíndrica. Esta interferencia será capturada por un sensor CCD y la frecuencia determinará la posición del objeto (Contreras, 2014).

- **Luz estructurada:** Los scanners de luz estructurada, también conocidos como scanners 3D de "luz blanca". La mayoría utilizan una luz proyectada LED azul o blanco; los cuales, proyectan un patrón ligero consistente en barras, bloques u otras formas sobre un objeto y analizan la deformación del patrón para así obtener el modelo. El reflejo se captura con una cámara fotográfica y posteriormente, mediante unos algoritmos, se determina la posición de cada punto en el espacio 3D. Estos scanners pueden ser montados en trípode o de mano (EMS, 2013).

Su ventaja es la velocidad; en lugar de escanear un punto a la vez, escanean múltiples puntos o todo el campo de visión inmediatamente, reduciendo o eliminando el problema de la deformación por movimiento. Este tipo de scanners tienen problemas con las superficies transparentes y reflexivas.

- Scanners Pasivos

No emiten ninguna clase de radiación por sí mismos, pero detectan la radiación reflejada del ambiente. La mayoría detecta la luz visible, porque es una radiación ya disponible en el ambiente, pero también podrían utilizar otro tipo de radiación como la del infrarrojo. Los scanners pasivos puede ser estereoscopios o de silueta (Contreras, 2014).

### 2.2.3. Modelos de scanners 3D

Existen varios scanners 3D según la necesidad del proyecto. Algunos son especialmente para escaneo de corto alcance (objetos pequeños), mientras que, otros son más adecuados para el escaneo de mediano o largo alcance (grandes objetos), tales como: edificios, estructuras, aviones, vehículos militares entre otros. A continuación, en la tabla 2 se observan algunos ejemplos de scanners 3D:

**Tabla 2**  
**Ejemplos de modelos scanner 3D**



(a) Konica- Minolta Range 7 3D láser scanner.



(b) Creaform Handy SCAN handheld 3D laser scanner.



(c) Optech ILRIS Terrestrial Laser Scanner.



(d) Creaform Metra SCAN optically tracked 3D scanning and probing system.



(e) Surphaser Long Range 3D Scanner.



(f) Faro Photon 120 LS 3D Laser Scanner

Fuente: (EMS, 2015)

En este proyecto se utilizó dos tipos de scanners 3D, los cuales se los detallan a continuación:

### Scanner GoSCAN 3D

Según Creaform (2013), “el scanner GoSCAN 3D, es un dispositivo de mano ligero, que captura la geometría del objeto en 3D”. No requieren de ningún sistema de seguimiento o posicionamiento, ya que, utiliza al propio objeto como referencia; es decir

tanto el scanner como el objeto se pueden mover durante el escaneado. Como resultados del escaneo se obtienen modelos 3D, los cuales pueden ser integrados en cualquier proceso asistido por ordenador como: archivado, restauración, análisis o creación de contenidos.

- Especificaciones Técnicas

En la tabla 3, se resumen las principales especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 3**  
**Especificaciones Técnicas del scanner GoSCAN 3D**

<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>GoSCAN 3D</b>
Peso	1.1 kg
Dimensiones	127*158*262 mm
Fuente de luz	Luz blanca (LED)
Resolución	0.500 mm
Precisión	Hasta 0.100 mm
Distancia de seguridad	400 mm
Formato de salida	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3d, x3dz, .zpr
Rango de tamaños de las piezas	0.3m - 3.0 m

Fuente: (Creaform, 2013)

- Componentes del equipo

En la figura 11 se muestra el hardware incluido del scanner GoSCAN 3D. El equipo se encuentra en un estuche equipado de una espuma y debajo de la misma, está la tabla de calibración.



**Figura 11 Componentes complementarios del scanner GoSCAN 3D**

Fuente: (Creaform, 2013)

Donde:

1. Caja de transporte del equipo.
2. GoSCAN 3D.
3. Cable USB.
4. Cable alimentador de energía.
5. Marcas de posicionamiento.
6. Instaladores del software Vxelements y GoModel.
7. Tabla de calibración.

- Aplicaciones

Algunas de las aplicaciones según Creaform (2013) son:

- **Educación e investigación:** Actúan como herramientas pedagógicas 3D de investigación y desarrollo. Estos pueden utilizarse en varios proyectos o programas educativos en universidades, escuelas e institutos técnicos para el diseño industrial, diseño mecánico, arquitectura y gráficos por computadora.

En el campo de la investigación, se utilizan en múltiples formas; análisis 3D de objetos físicos, archivado, mediciones ópticas, entre otros.

- **Conservación del patrimonio:** Actualmente, la conservación del patrimonio cultural es muy importante; ya que muestra la relación existente de la gente con la historia y sus legados ancestrales por lo cual, en este caso en particular, el scanner GoSCAN 3D tiene un papel fundamental para:

*Archivado y conservación digital:* La digitalización de piezas y artefactos en 3D ofrece muchas ventajas, incluidas su documentación y clasificación en: catálogos, repositorios y bases de datos, medición, análisis precisos y uso compartido con la comunidad de investigadores. La conservación digital 3D preserva estos objetos para generaciones futuras.

*Restauración de piezas de arte y artefactos:* El problema del deterioro de las piezas de arte y los artefactos, debido al paso del tiempo, es de gran importancia, ya que el scanner genera modelos tridimensionales con precisión dónde se ha producido el deterioro, resultando especialmente importante para piezas expuestas a los efectos del medio ambiente y a esculturas que les falten varias piezas, logrando así acelerar y simplificar el proceso de restauración y conservación.

- **Museo virtual 3D:** Actualmente, algunas colecciones y exposiciones se exhiben en entornos virtuales e interactivos. Al mostrar formas 3D, en lugar de simples fotografías, la experiencia alcanza un nivel superior; tanto en la participación del usuario, como del realismo, logrando incrementar el número de visitantes, los cuales pueden acceder desde cualquier lugar.
- **Arte y Arquitectura:** El scanner GoSCAN 3D brinda varias posibilidades a los: artistas, escultores y arquitectos en el Diseño CAD, modelado y escultura, pues forma parte esencial en el proceso de creación; experimentar con la escala,

plasmar la vida real en el arte, realizar reproducciones fidedignas y representaciones arquitectónicas 3D.

- **Escaneado del cuerpo humano:** El escaneado 3D corporal es útil en aquellos casos, en los cuales, se requieren aplicaciones personalizadas, ya que cada cuerpo humano es único. Para este campo, el scanner GoSCAN puede ser utilizado en: análisis de forma, estudios de tamaño, creación de figuras y recuerdos personalizados, creación de avatares, ajuste personalizado del equipo, entre otras. (Creaform, 2013).

### Trimble TX5 Laser Scanner

Según Trimble (2012), el Trimble TX5 3D “es un scanner láser tridimensional de alta velocidad en medición y documentación detallada. Utiliza tecnología láser, para producir imágenes tridimensionales extremadamente detalladas de entornos complejos y geometrías en pocos minutos.” Obteniendo como resultado un conjunto de millones de puntos de medición 3D.” (p. 7).

- Especificaciones Técnicas

En la tabla 4, se resumen las principales especificaciones del equipo.

**Tabla 4**  
**Especificaciones Técnicas del Trimble TX5 Laser Scanner**

<b>Especificaciones técnicas</b>	<b>Trimble TX5</b>
Peso	5Kg
<b>Unidad Telemétrica</b>	

Continua 

Alcance	0,6m a 120m en interiores o en aire libre con baja luz ambiental e incidencia normal en superficies reflectantes de un 90%
Velocidad de medición	122.000/244.000/488.000/976.000 puntos/seg.
Error sistemático de distancia	2 mm en 10m y 25m,reflectividad a 90% y 10%
<b>Unidad de color</b>	
Resolución	Hasta 70 megapíxeles en color
<b>Unidad reflectora</b>	
Campo de visión (vertical /horizontal)	0,009° (40.960 3D pixel en 360°)
Velocidad máx. De escaneo vertical	5820 rpm o 97Hz
<b>Laser (Transmisor óptico)</b>	
Clase de Laser	3R
Potencia laser	20mW
Longitud de onda	905 nm
Diámetro del haz	3,0mm, circular

Fuente: (Geotronics, 2012)

- Componentes

En la figura 12 se observa los componentes complementarios del Trimble TX5 Laser Scanner, los cuales se detallan a continuación:



**Figura 12 Componentes Complementario del Trimble TX5 Laser Scanner**

Fuente: (Trimble, 2012)

Donde:

1. Caja de transporte del scanner
2. Cable de alimentación de CA
3. Unidad de alimentación externa con cable
4. Bateria PowerBlock
5. Estuche para tarjeta de memoria
6. Lector de tarjetas de memoria USB
7. Gafas de seguridad láser
8. Guía de inicio rápido, situada en la tapa del maletín
9. CD con software TX5 SCENE y esta guía del usuario, ubicada en la tapa del maletín

- Aplicaciones
- **Construcción e Ingeniería Civil:** En el sector de la construcción e ingeniería civil los datos de escaneo 3D, se pueden usar para: documentar cambios en los dibujos finales, monitorear deformaciones estructurales y movimiento, topografía de avances de obra, control de calidad y mediciones en las certificaciones, cartografía y modelización de obras e infraestructuras entre otras (ver figura 13).



**Figura 13 Laser Scanner en obras civiles**

Fuente: (Pérez F. , 2014)

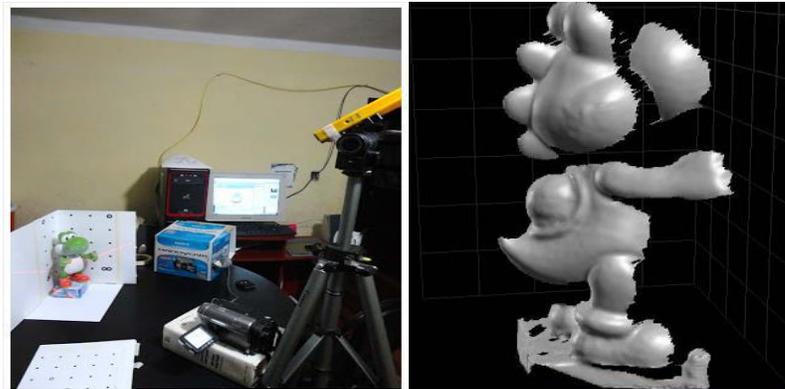
- **Aseguramiento de la Calidad y Metrología Industrial:** Los scanners 3D se pueden utilizar para: control dimensional de fabricación de piezas, que requieren estar dentro de ciertas tolerancias, y comparar la nube de puntos de las piezas escaneadas con el modelo teórico, permitiendo un control muy minucioso sobre la producción. También se utiliza para "escalar" diseños a partir de modelos creados a mano.



**Figura 14 Scanner 3D en Aseguramiento de la calidad y metrología industrial**

Fuente: (Pérez F. , 2014)

- **Industria del Entretenimiento:** Se utilizan los scanners 3D en la creación de modelos 3D digital para películas y videojuegos. Es mucho más rápido escanear el objeto físico, que crear manualmente el modelo 3D por medio de software de modelado (ver figura 15).



**Figura 15 Laser Scanner en la industria del entretenimiento**

Fuente: (Pérez F. , 2014)

- **Patrimonio Cultural:** Este scanner es ideal en la documentación de edificaciones, monumentos y lugares históricos con detalle y gran precisión, generando nubes de puntos de 360° de las superficies escaneadas para crear modelos 3D, que se emplearan, posteriormente, en la restauración o planes de conservación histórica. También, se realizan mediciones sin contacto (ver figura 16) (Pérez F. , 2014).



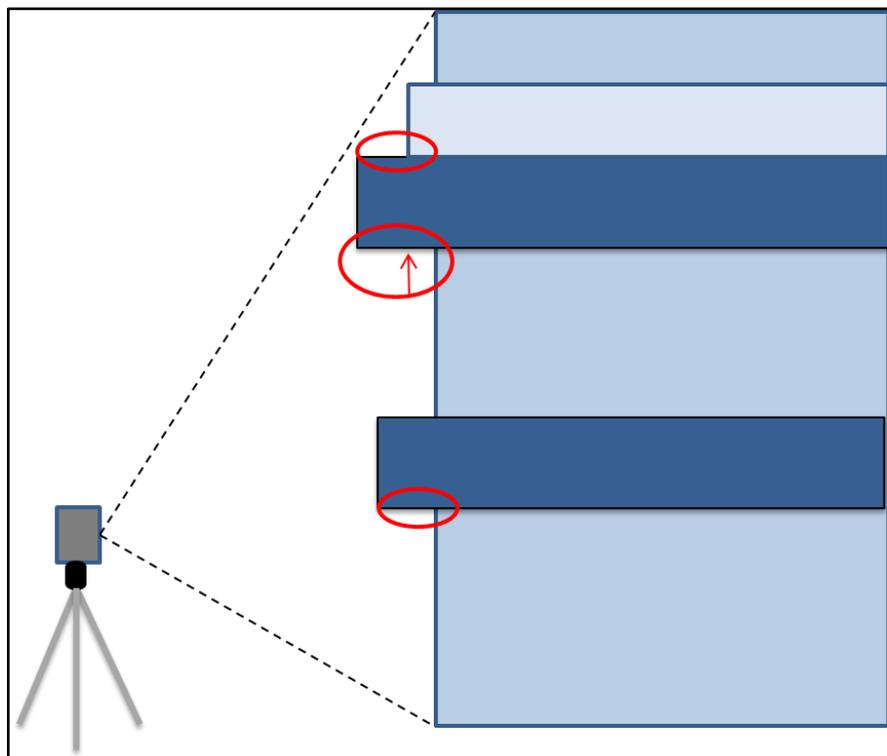
**Figura 16 Laser Scanner en conservación del Patrimonio Cultural**

Fuente: (Pérez F. , 2014)

### Metodología Trimble TX5 Laser Scanner

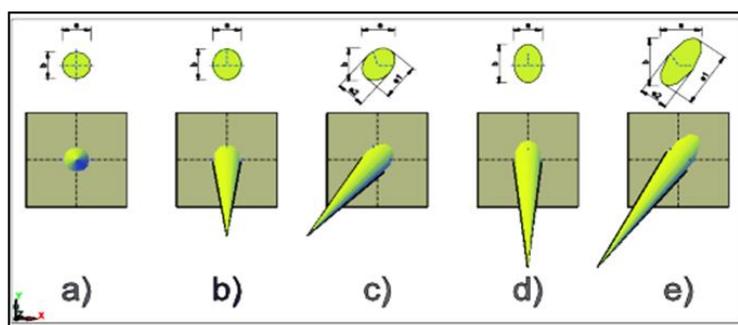
**Elección de las estaciones de escaneo:** Según Pérez, F. (2014), en la elección de las estaciones de escaneo se debe tomar en cuenta algunas cuestiones como:

- Las posiciones óptimas para el estacionamiento del scanner se deben elegir de manera que garanticen una máxima cobertura y precisión del área a escanear, debido a que el lugar de escaneo puede estar ubicado en una zona dispersa con varias obstrucciones, limitando los estacionamientos posibles del equipo o puede existir restricciones temporales para acceder al lugar.
- Además, en la elección de los estacionamientos se asegura generar solape en las nubes de puntos; se debe tener elementos comunes entre escaneos contiguos para después unirlos, y así evitar, zonas ocultas (ver figura 17) que provoquen futuros huecos en el modelo.



**Figura 17 Zonas ocultas**

- La precisión de la medición depende del diámetro de la huella del laser, recalcando que el ángulo de incidencia y el alcance son de gran importancia para determinar la posición del scanner.
- Minimizar la aparición de pequeños ángulos de intersección; con ángulos muy agudos, el haz laser no se refleja bien, por lo que, la precisión del scanner es menor (ver figura 18).

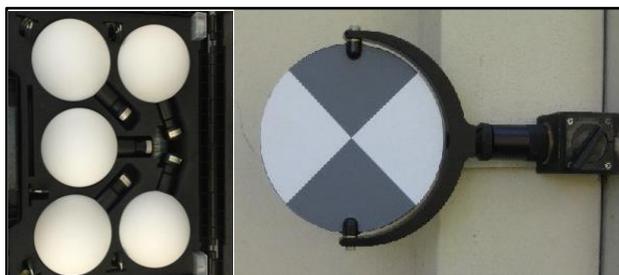


**Figura 18 Elipses de error en relación al ángulo de incidencia sobre la superficie a medir**

Fuente: (Pérez F. , 2014)

### Posicionamiento de puntos de referencia:

Junto a las posiciones óptimas de escaneo, también son importante las posiciones y los tipos de los puntos de referencia, los cuales pueden ser dianas reflectantes, esféricas, de papel, prismas entre otras. Estos se usan especialmente para registrar los escaneados realizados desde diferentes posiciones (ver figura 19)

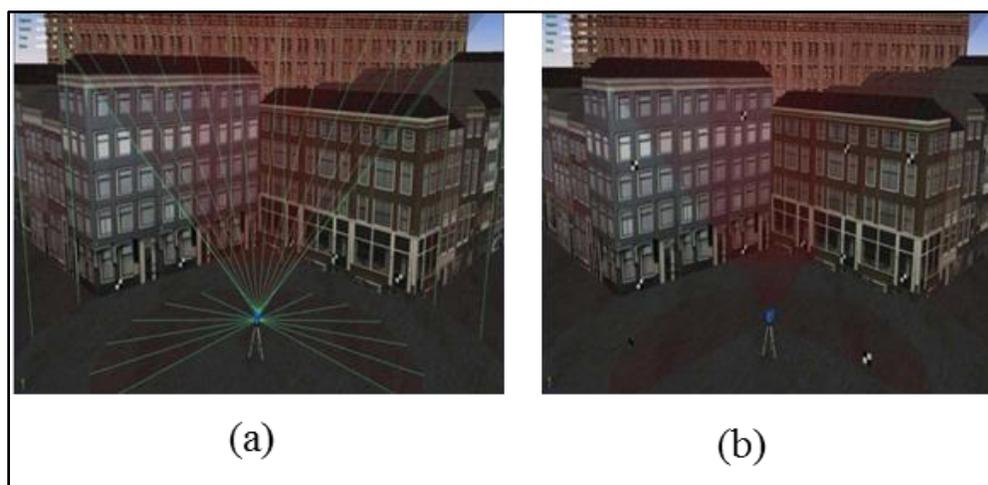


**Figura 19 Ejemplos de puntos de referencia**

Fuente: (Pérez F. , 2014)

En cada escaneo, debe haber, mínimo tres objetos de referencia en común con otros escaneos para poder calcular la orientación y posición correspondiente, mediante las herramientas que ofrece un software para 3D.

Mills & Barber (citado en Pérez, 2014), establecen que: “dependiendo de la técnica de registro empleada, debe haber al menos 4 puntos de referencias (dianas) bien distribuidas en cada escaneo”. Es importante, que las dianas estén esparcidas lo más ampliamente posible, tanto en los ejes X, Y, Z; es decir, que la distribución debe ser lo más homogénea posible (ver figura 20).



**Figura 20 Ejemplo de una mala ubicación de las dianas, (b) Ejemplo de una buena ubicación de dianas**

Fuente: (Contreras, 2014)

Los scanners 3D, permiten capturar superficies de objetos en tiempo real y de forma rápida, generando información que mediante procesos de edición, se obtienen varios productos, utilizados en varios campos. Además, se puede trabajar con diferentes volúmenes de información, ya sea escaneando objetos de pequeñas dimensiones o grandes edificaciones.

## 2.3. Software para 3D

### 2.3.1. Vxelements

Vxelements es un software creado por la compañía Creafom, que permite la adquisición de datos 3D a partir de scanners 3D. Consiste en la unión de tres módulos: VXmodel, VXtrack, y VXremote, convirtiéndolo en una herramienta completa con una interfaz fácil de usar (Hexagon, 2010).

- **VXmodel:** Es un software de pos-procesamiento que permite la preparación de datos digitalizados en 3D, para utilizarlos directamente en cualquier software de impresión en 3D o CAD.
- **VXinspect:** Es un software de inspección intuitivo, diseñado para empresas de fabricación que realizan control de calidad en condiciones de planta de producción.
- **VXtrack:** Es un módulo de rastreo que controla los desplazamientos, procesos de montaje y las deformaciones de las mediciones (Creafom, 2017).

En la tabla 5, se muestra los requisitos mínimos que debe tener una computadora para ejecutar correctamente el programa.

**Tabla 5**  
**Requisitos mínimos para ejecutar correctamente Vxelements**

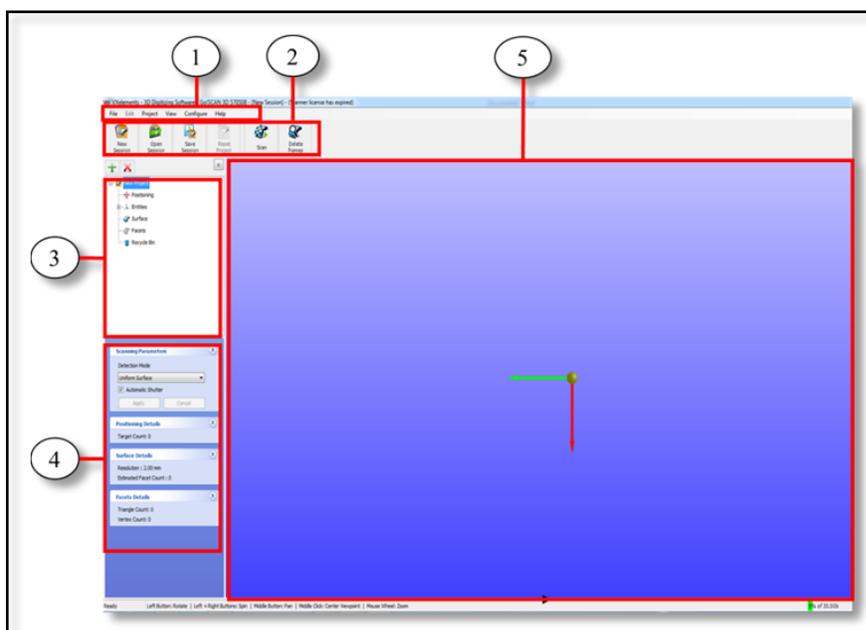
Componentes	Requisitos
Sistema Operativo	Windows 7 Professional de 64 bits
CPU	Core i5 (2+ Cores) GoSCAN 3D: Core i7 (4+ Cores)
Tarjeta Gráfica	Tarjeta NVIDIA 256 MB de memoria dedicada
Memoria	4 GB
Disco Duro	10 GB de espacio libre
Monitor	1024 x 768

Fuente: Modificado de (Creafom, 2017)

- Interfaz General

La interfaz principal de VxElements está compuesto por los siguientes elementos (ver figura 21):

1. Menú
2. Barra de herramientas
3. Árbol del proyecto
4. Panel de expansión
5. Visor 3D



**Figura 21 Interfaz principal del software Vxelements con sus respectivos elementos**

El menú y la barra de herramientas son complementarios entre sí. La barra de herramientas ofrece las funciones principales, mientras que algunas funciones más avanzadas se encuentran en el menú. El árbol de proyectos permite seleccionar el modo en el que opera el software; los modos disponibles son: posicionamiento, entidades, superficie, facetas y papelera de reciclaje.

Los paneles de expansión transmiten información sobre la situación de escaneo actual y ofrecen funciones avanzadas cuando es aplicable. Los paneles visualizados dependen del modo seleccionado del Árbol de proyectos, mientras que el visor 3D muestra el resultado de la exploración en tiempo real. Además, en la parte inferior de la pantalla se encuentra la barra de estado, la misma que muestra diferentes valores relativos al estado del scanner; listo, grabando y deshabilitado (ver anexo A).

### 2.3.2. *Geomagic Design X*

Geomagic Design X, es un software de ingeniería inversa que está diseñado específicamente para convertir datos de escaneo 3D, en modelos de alta calidad y compatibles con otros softwares CAD. Es un producto de la compañía 3D System, quienes se centran en el diseño asistido por computadora, con énfasis en el escaneo 3D y otras metodologías de diseño no tradicionales (Artec 3D, 2017).

Gracias a las herramientas de reparación de malla y a las funciones rápidas de: rellenado de huecos, optimización, suavizado, y pulimiento, este software ofrece grandes ventajas para la edición de mallas y procesamiento de puntos adquiridos, durante el proceso de escaneo 3D y además, conectar y complementar el proceso trabajando en programas CAD populares como Solidworks, Siemens NX, Solid Edge, Autodesk Inventor, PTC Creo y Pro/Engineer. También se puede crear diseños y rediseñar en menor tiempo utilizando los datos de escaneo 3D como una base de diseño (Artec 3D, 2017).

En la tabla 6 se muestra los requisitos necesarios del sistema para instalar el software Geomagic, desde octubre del 2015 la versión para 32 bits fue deshabilitada:

**Tabla 6**  
**Requisitos necesarios para instalar Geomagic Design X**

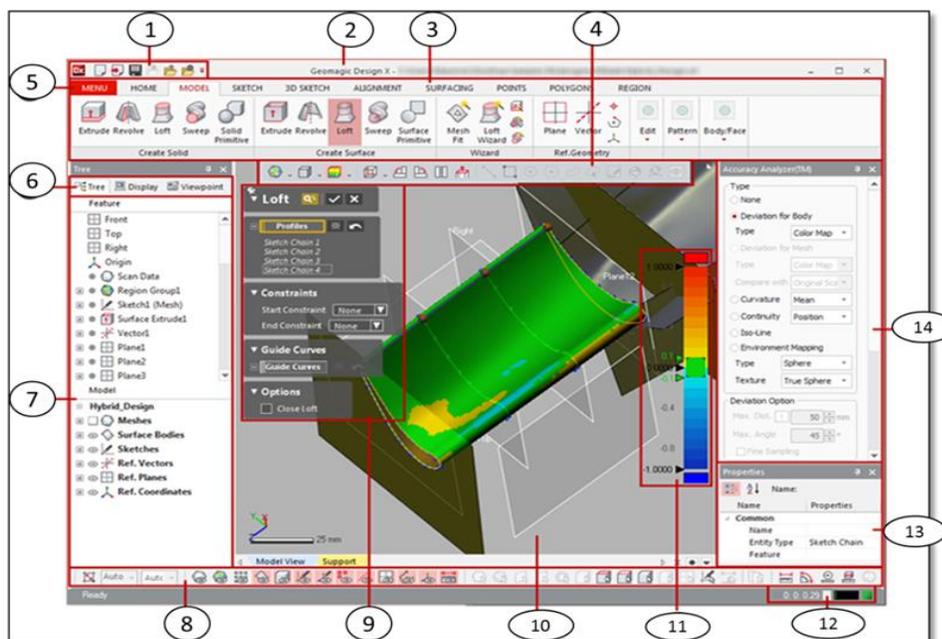
Componentes	Requisitos
Sistema Operativo	Windows 7 Professional de 64 bits

Continua 

	Windows 8 Professional de 64 bits
	Windows 10 Professional de 64 bits
CPU	Procesadores Intel y AMD con velocidad mínima de 2 GHz. <b>Recomendación:</b> Procesadores de varios núcleos
Memoria	8 GB <b>Recomendación:</b> 16+ GB (Basado en la versión de Windows utilizada)
Disco Duro	30 GB o más.
Monitor	1280 x 960
Fuente: Modificado de (Systems, 2013)	

- Interfaz General

La interfaz de usuario de Geomagic Design X es intuitiva, fácil de usar y dinámica (ver figura 22).



**Figura 22** Interfaz principal del software Geomagic Design X con sus respectivos elementos

La interfaz general está compuesta de los siguientes elementos:

1. **Acceso rápido a la barra de herramientas:** Ubicado en la esquina superior izquierda, el cual contiene los comandos más utilizados: Nuevo, Abrir, Guardar, Importar, Exportar, Preferencias y Deshacer / Rehacer.
2. **Barra de título:** Muestra en la parte superior la ruta completa en la que se está trabajando. Por ejemplo, si se importa un archivo, su ruta sería: \ Sample \ xxx .xrl". Se puede ver el nombre en la barra de título sólo después de guardar el archivo.
3. **Barra de cinta:** Se encuentran las herramientas incluidas en grupos lógicos y agrupados en distintas pestañas. Cada pestaña contiene un conjunto de comandos con funcionalidad relacionada. Por ejemplo, la pestaña Polygons incluye comandos relacionados con la creación de mallas poligonales.
4. **Barra de herramientas del lado superior:** Ubicada en la parte superior de la vista del modelo, la cual contiene los comandos más utilizados para manipular la vista y seleccionar entidades.
5. **Menú:** Contiene todos los comandos disponibles en la aplicación. Esta pestaña incluye: Archivos, Seleccionar, Editar, Insertar, Herramientas, Medir, Ver, Complementos y Ayuda.
6. **Pestañas de visualización, ayuda y punto de vista:** Permiten gestionar puntos de vista definidos por el usuario con modelos y entidades, así como buscar en línea alguna herramienta.
7. **Árbol:** Este panel, ayuda a administrar el historial de modelado y la lista de entidades
8. **Barra de herramientas personalizado:** Es una colección de los comandos y puede ser reposicionada en la posición deseada y personalizarla como desee.
9. **Árbol de diálogo:** Si se ejecuta un comando, esta opción aparecerá en la vista Modelo y debe ser llenado de acuerdo a las necesidades del usuario.
10. **Vista del modelo:** Es el espacio de trabajo principal. En esta área se visualiza y manipula un modelo. Esta vista se puede dividir en hasta cuatro y en la parte

inferior se puede cambiar la vista entre Vista de modelo, Soporte, Ayuda y Carpeta de imagen.

11. **Barra de color:** Se utiliza para comprobar errores en entidades creadas como un gráfico de color continuo.
12. **Barra de supervisión:** Muestra el estado actual de la operación, información de progreso, información de tiempo, información de consumo de memoria y el espacio libre disponible en la carpeta de caché.
13. **Panel Propiedades:** Muestra las propiedades de un objeto seleccionado, las mismas que pueden ser modificadas en este panel.
14. **Analizador de Precisión:** Muestra el análisis de desviación en tiempo real, mientras está diseñando, asegurando que el modelo terminado sea una copia fiel al objeto. Las opciones permiten analizar curvatura, torsión, mapeo de entorno, líneas y continuidad para crear superficies y curvas de alta calidad.

### 2.3.3. ZBrush

ZBrush es un programa para modelado, escultura y pintura en 3D diseñado por la empresa privada Pixologic. En sus inicios, el programa permitía crear pinturas digitales y después de un tiempo, se logró insertar en los mismos objetos 3D. Ahora, los menús trabajan en conjunto en un método no lineal y sin nodos facilitando la interacción entre la imagen 2D y el modelo en 3D, los cuales son guardados en los formatos nativos o exportados en .obj. Debido a la gran variedad de herramientas, permite crear rápidamente una concepción 2D o 3D, partiendo de la formación de figuras para dar forma, luego texturizar y por último, pintar detallados modelos o importando una nube de puntos obtenida de un escaneo 3D. Esta aplicación gráfica es utilizada por muchas personas alrededor del mundo, debido al procesamiento que permite esculpir y pintar millones de polígonos sin tener que preocuparse de la tarjeta gráfica (Pixologic, 2010) (EcuRed, 2013).

El objetivo de este software, es crear modelos más orgánicos y detallados que no parezcan generados en algún programa informático y que puedan estar acompañados con

renderizaciones de iluminación y efectos atmosféricos realísticos. Gracias a la interoperabilidad con: Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max y Cinema 4D, permite preparar el modelo para la impresión en 3D, realizar realidad aumentada o utilizarlo para otros fines en cualquier aplicación digital (Pixologic, 2010).

ZBrush 4R7, está disponible como versión oficial para un sistema operativo de 32 bits, mientras que para 64 bits se dispone de una edición preliminar (ejecutable preview), el cual cuenta con las mismas características que la versión oficial y ha sido probada en varios sistemas. Pero a partir de ZBrush 5 el programa estará disponible exclusivamente como una aplicación de 64 bits (Pixologic, 2010). A continuación, en las tablas 7 y 8 se muestran los requisitos mínimos para instalar ZBrush tanto para Windows y Mac OS:

**Tabla 7**  
**Requisitos mínimos para instalar ZBrush 4R7 en Windows**

<b>Componentes</b>	<b>Requisitos</b>
Sistema Operativo	Windows XP SP2 / Windows Vista / Windows 7
CPU	P4 o AMD Opteron o Athlon64 Procesador
Memoria	1024 MB <b>Recomendado: 2048 MB</b>
Monitor	1024 x 768

Fuente: (Modificado de EcuRed, 2013)

**Tabla 8**  
**Requisitos mínimos para instalar ZBrush 4R7 en Mac Os**

<b>Componentes</b>	<b>Requisitos</b>
Sistema Operativo	Mac OSX 10.5 o posterior
CPU	Intel Macintosh (Debe tener SSE2: Streaming SIMD y Extensions 2)
Memoria	1024MB <b>Recomendado: 2048 MB</b>

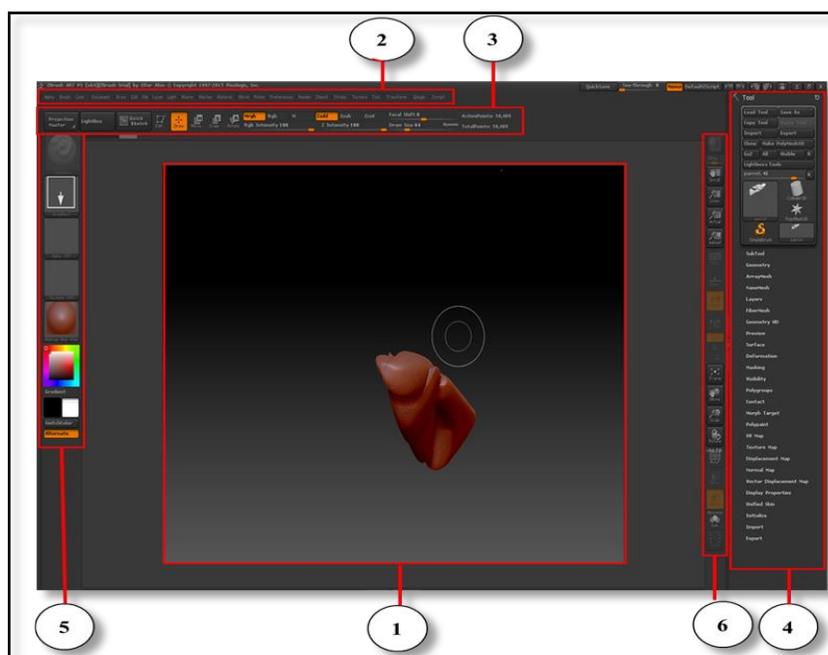
Continua 

Monitor	1280 x 1024
	<b>Recomendado:</b> 1280 x 1024 o mayor

Fuente: (Modificado de EcuRed, 2013)

- Interfaz General

Su interfaz general está dividida en varias secciones generales con el fin de mantener sus elementos juntos, como se muestra en la figura 23.



**Figura 23 Interfaz principal del software ZBrush 4R7 con sus respectivos elementos**

1. **Lienzo o Canvas:** Es la zona central donde se visualizan los modelos.
2. **Barra de menú:** Ubicada en la parte superior de la pantalla y contiene la lista de opciones de ZBrush.
3. **Barra de herramientas superior:** Se encuentran las herramientas principales para editar y pintar texturas a los objetos 3D. Esta barra tiene dos modos

principales: edit y draw, y el resto de opciones son sub módulos que se activaran de acuerdo al modo definido.

4. **Bandeja de panel:** Las bandejas se encuentran en el extremo izquierdo y derecho, y sólo contienen menús completos. Se encuentran separadas del resto de la interfaz por medio de barras separadoras, las cuales también sirven para expandirlas o contraerlas. Cada bandeja es abierta y cerrada independientemente de la otra. La barra de herramientas “Tool”, ubicada al lado derecho de la pantalla, está colocada por defecto y no puede moverse, pero si se desea insertar cualquier otra bandeja sólo hay que arrastrarla hacia el área deseada.
5. **Barra de herramientas izquierda:** Contiene las herramientas para: deformar, colorear, insertar material y texturizar modelos. Se encuentran activas en modo edición.
6. **Barra de herramientas derecha:** Muestra algunas herramientas para: aumentar o reducir el zoom, manejar la perspectiva, mover, girar o rotar el objeto (Rodríguez, Gavín, Castro, & Torres, 2009).

#### 2.3.4. 3DS MAX

Autodesk 3ds Max es un software creado por Autodesk, anteriormente llamado 3D Studio Max. Este posee un gran conjunto de herramientas que ayuda en: la creación, modelado, animación y representación en 3D, siendo especialmente útil para: desarrolladores de juegos, para, creación de películas con efectos especiales y en arquitectura (Lledó, 2010).

**Tabla 9**  
**Requisitos mínimos para instalar 3DS Max**

Componentes	Requisitos
Sistema Operativo	Microsoft Windows 7 (SP1), Windows 8 y Windows 8.1 Professional operating system.
CPU	Procesador multinúcleo de 64 bits Intel® o AMD®

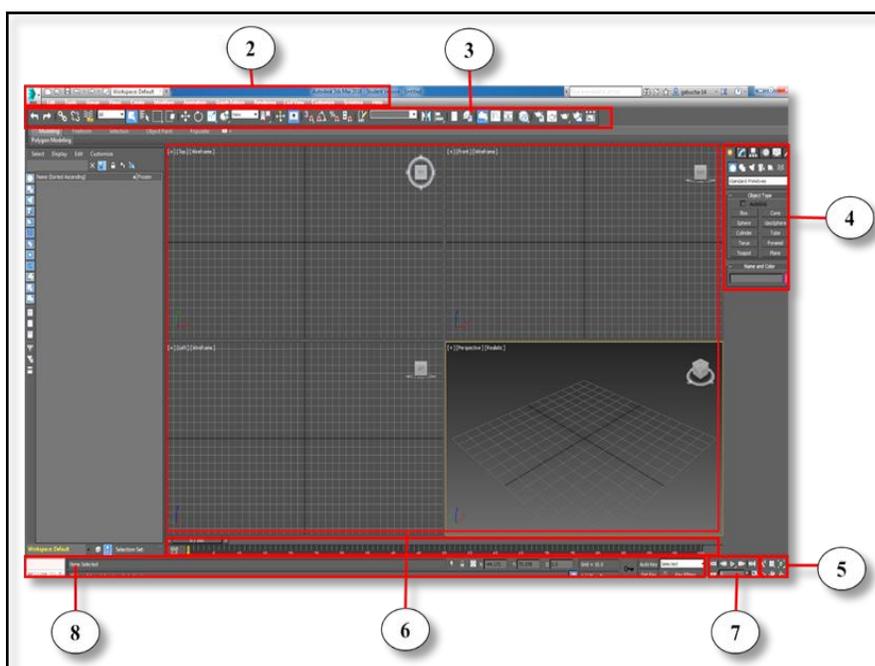
Continua 

Memoria	4 GB de RAM ,Recomendado, 8GB 6 GB de espacio libre en disco para la instalación
---------	---

Fuente: (Autodesk, 2015)

- Interfaz General

La interfaz principal de 3DS Max está compuesto por los siguientes elementos (ver figura 24):



**Figura 24 Interfaz principal del software Autodesk 3ds Max con sus respectivos elementos**

1. **Visores:** Áreas de visualización y manipulación del objeto desde 4 perspectivas: top, front, left y perspectiva.
2. **Barra de herramientas:** Permite el manejo de archivos, deshacer o rehacer comandos. Además, contiene los menús desplegables de las opciones de: edición, configuración, construcción, modificación, ayuda, entre otros.

3. **Barra de herramientas principal:** Contiene los iconos de acceso rápido a los comandos más utilizados en 3ds Max.
4. **Paneles de comandos:** Ubicada en la parte derecha del área gráfica, el cual contiene 6 grandes grupos de paneles con diferentes comandos: crear, modificar, animar, trabajar con jerarquías, presentación en pantalla y varias utilidades adicionales.
5. **Controles de visualización:** Muestra opciones para modificar el punto de vista dentro de cada ventana de dibujo, haciendo zoom, paneo, girando la cámara, aumentando o disminuyendo las vistas.
6. **Línea de tiempo:** Muestra la cantidad de cuadros o frames que sirve para realizar la animación. Se puede controlar el tiempo del movimiento manipulando los cuadros generados por cada objeto.
7. **Controles de tiempo:** Permite controlar la animación: regresar al primer cuadro, retroceder, avanzar, reproducir e configurar la línea de tiempo.
8. **Status Bar:** Permite posicionar los objetos en el eje x, y, z, y el modo de grabación para la animación (LabDigital, 2010) (Gregorio, 2010).

#### 2.3.5. *Trimble RealWorks*

Trimble RealWorks es un software que permite: registrar, visualizar, explorar y manipular datos de nubes de puntos, capturados con instrumentos topográficos y de escaneo 3D de Trimble. Algunas de sus funciones son:

- Administrar, procesar, editar, analizar y ajustar conjuntos de datos de gran tamaño.
- Realizar mediciones de forma inteligente; altura libre semiautomática, proyecciones verticales y horizontales.
- Comunicar resultados mediante la generación de vídeo y la exportación a Google Earth (formato .kml).
- Realizar un registro totalmente automático y generar informes de registro.
- Extraer de manera fácil y comprobar la calidad de los objetivos de la nube de puntos escaneado.

- Integrar con eficiencia los datos de sensores Trimble GNSS, ópticos y de instrumentos de escaneo 3D.
- Exportar con facilidad al paquete de cualquier diseño CAD.

En la tabla 10 se muestra los requisitos mínimos que debe tener una computadora para ejecutar correctamente el programa.

**Tabla 10**  
**Requisitos mínimos para ejecutar correctamente Trimble RealWorks**

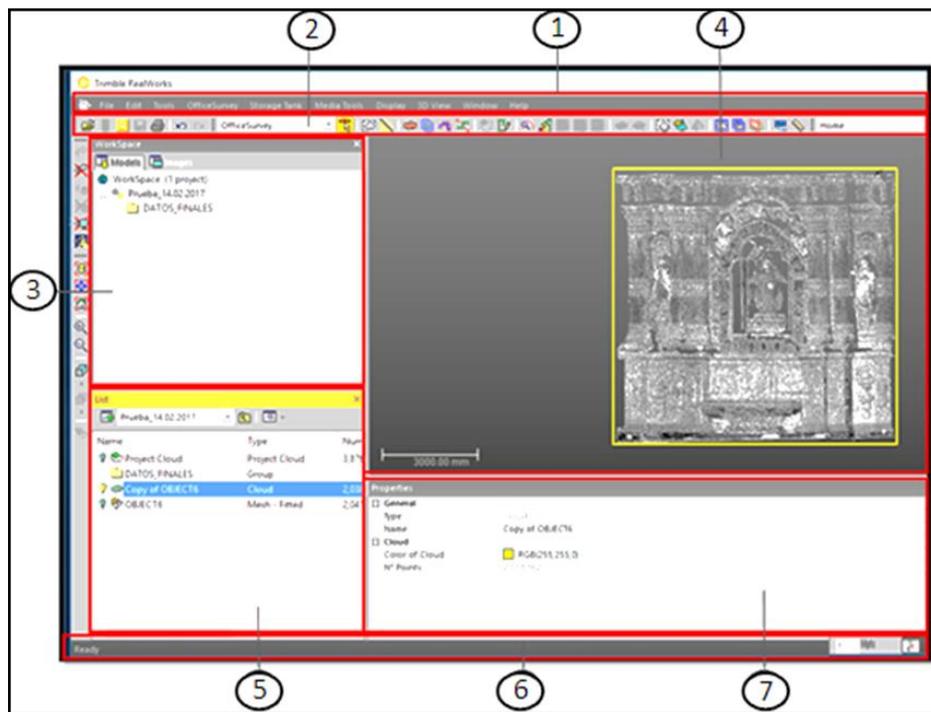
<b>Componentes</b>	<b>Requisitos</b>
Sistema Operativo	Microsoft Windows 7 u 8 – 64 bits
Procesador	2.8 Ghz (con 4 núcleos) como mínimo o superior
Tarjeta Gráfica	Tarjeta VGA: OpenGL 3.2 compatible con VRAM de 1GB como mínimo <b>Recomendación:</b> 3GB o mayor.
Memoria RAM	8GB como mínimo <b>Recomendación:</b> 16 GB y mayor.
Disco Duro	Disco duro de estado sólido (SSD) para el máximo rendimiento (256 GB)

Fuente: (Geocom, 2016)

Trimble RealWorks incluye tres módulos (OfficeSurvey, Registration y Modeling); cada uno corresponde a un procesamiento, según el modulo que establezca, cambia el entorno de trabajo. El software Trimble RealWorks básico y avanzado no cuenta con el módulo de Modeling.

- Interfaz General

La interfaz principal de Trimble RealWorks está compuesto por los siguientes elementos (ver figura 25):



**Figura 25** Interfaz principal del software Autodesk 3ds Max con sus respectivos elementos

1. **Barra de Menú:** Esta barra se localiza en la parte superior del interfaz, que contiene todas las herramientas y comandos disponibles. Algunos menús principales se activan automáticamente, según el modo de procesamiento a utilizar.
2. **Barra de herramientas:** Está compuesta por diferentes opciones, las cuales contienen usos específicos. Estas no están abiertas al iniciar el programa, las que se abren se encuentran horizontalmente debajo de la barra de menú o verticalmente, junto a las ventanas de área de trabajo. Los iconos son la representación gráfica de herramientas y comandos. En la barra de herramientas hay tres modos de procesamiento los cuales son:

*Registro:* El método de registro se basa en la nube de puntos, puede registrar exploraciones con respecto a otras, cuando se han utilizado objetivos puede comprobarlos y modificarlos. Los resultados se validan, mediante errores de registro, que se pueden guardar en un informe.

*Office Survey:* En este modo, desde la nube de puntos se pueden realizar diferentes actividades: dibujos 2D (polilíneas, contornos, travesaños, perfiles, entre otros.), crear mallas, editarlas, determinar el volumen, seleccionar y combinar imágenes 2D con las nubes de puntos, entre otras.

*Modeling:* Permite crear una geometría basada en la selección de la nube de puntos de los siguientes tipos: Esfera, Plano, Cilindro, entre otras. La geometría creada puede ser duplicada, modificada, movida, etc. Se han añadido herramientas para modelar tuberías y aceras estructurales.

3. **Ventana de trabajo:** En esta ventana se puede organizar los datos de forma jerárquica en un árbol denominado Árbol de proyectos. Este árbol principal se subdivide en subárboles denominados: escaneos, objetivos, modelos e imágenes, cada uno de ellos, se utiliza para organizar ciertos tipos de datos de un proyecto cargado. Las ventanas pueden moverse a cualquier ubicación dentro de la interfaz de usuario, cerrar, reducir y restaurar.
4. **Vista 3D del modelo:** La vista 3D, se localiza en la parte derecha del interfaz del usuario, debajo de las barras de herramientas. Contiene un marco de referencia (x, y, z) y una escala en la esquina inferior derecha e izquierda de la ventana. Esta se utiliza, principalmente, para mostrar u ocultar la representación 3D de una selección del árbol del proyecto.
5. **Lista:** Se localiza en la ventana de Área de trabajo. Se utiliza para mostrar el contenido de un grupo seleccionado del Árbol de proyectos, una vez cargado un proyecto y seleccionar un grupo del Árbol de proyecto, esta ventana cambiará su nombre según el contenido de la pestaña que se muestra. Puede mover la ventana Lista a cualquier ubicación de la interfaz de usuario, o cerrarla, reducirla y restaurarla.
6. **Barra de estado:** Mediante esta barra, se puede introducir valores entre 1 y 2000 millones de puntos y cargarlos en RAM, y además contiene el icono de modo de navegación estándar.
7. **Ventana de propiedades:** Esta ventana, se utiliza para enlistar la información de propiedades de un objeto seleccionado y clasificar por categorías como: General,

Contenido, Geometría, entre otras. Además, se divide en dos columnas; la izquierda, muestra los títulos de cada propiedad, y la derecha, los valores de las propiedades, ya sean fijas o modificables. Las propiedades mostradas en gris son fijas y las de negro son modificables (Geoteam, 2013).

## 2.4. Representación en 3D

La representación análoga de los objetos, se presenta en varias formas como:

### 2.4.1. Modelo 3D

“Un modelo 3D, es un archivo que posee la información necesaria para ver o “renderizar” un objeto en tres dimensiones” (Moreno, Leiva, & López, 2016). Esta información puede ser a través de algoritmos o escaneado. Este archivo contiene dos tipos de información:

(a) La geometría, esta información define la superficie del objeto, se refiere a la forma del objeto; ya sea esfera, cilindro, cubo, prisma, entre otros. Un modelo 3D se diseña sobre una malla.

(b) Los atributos de la superficie de un objeto, que son las características que definen el aspecto del objeto como el color y textura (ver figura 26).



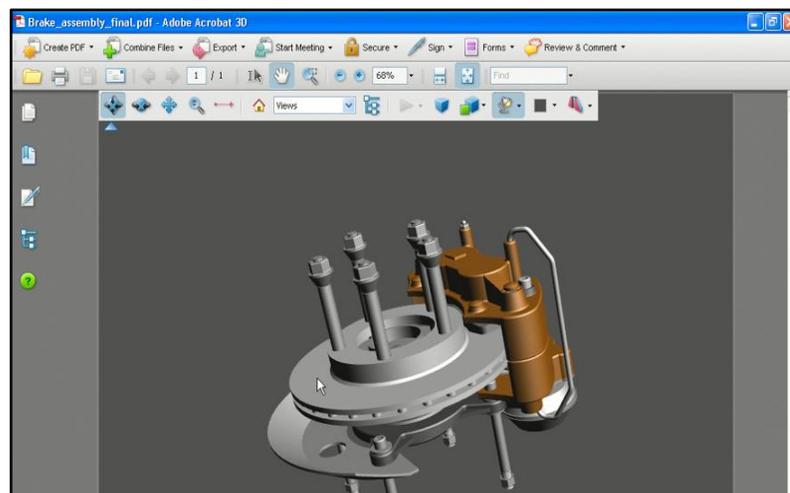
**Figura 26 Modelo 3D**

Fuente: (Rodríguez B. , 2013)

### 2.4.2. Pdf 3D

Una forma de presentar un modelo tridimensional, es mediante los pdf 3D, que poseen un interfaz sencillo y fácil de usar, permitiendo abrir, visualizar e interactuar con los modelos 3D de todo tipo de elementos (terrenos, yacimientos, edificios, piezas, entre otros), y generado con diversas técnicas (scanners 3D, fotogrametría, diseño, entre otros).

El pdf con contenido 3D, posibilita una publicación de información tridimensional, llegando a un gran número de personas a través de internet. Este archivo, puede ser abierto por cualquier usuario, quien use habitualmente los pdf, extensión frecuente de documentos de texto, informes, presentaciones, entre otros (Mañana, 2014). Además, según Mañana (2014) establece que: “pdf es un formato de archivos aprobado en la ISO 32000-1 como un estándar internacional para intercambiar y visualizar documentos electrónicos” (p.1) (ver figura 27).



**Figura 27 Ejemplo de un Pdf 3D**

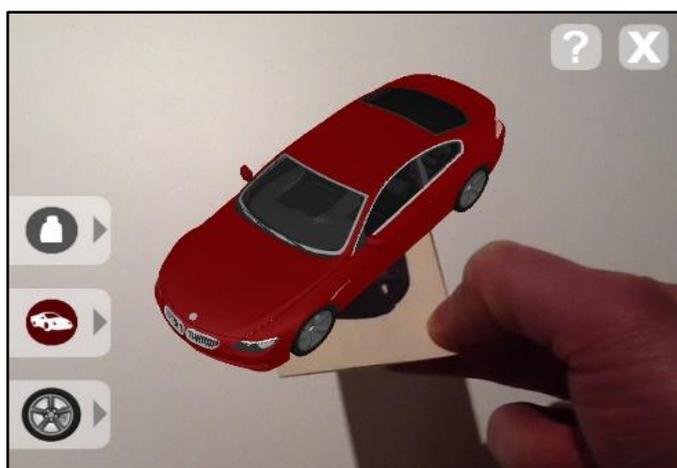
Fuente: (Wood, 2007)

### 2.4.3. Realidad Aumentada

La Realidad aumentada (RA), es una tecnología que permite: “la combinación de información digital e información física en tiempo real, es decir, consiste en utilizar un

conjunto de dispositivos tecnológicos que añaden información virtual a la información física” (Cabero & Barroso, 2016, pág. 142).

Esta tecnología facilita la integración coherente en tiempo real de objetos virtuales. Además, es: interactiva, combina diferentes tipos de información virtual (texto, URL, vídeo, audio y objetos en 3D), y permite al usuario modificar o enriquecer la realidad física a través de medios informáticos (ver figura 28) (Cabero & García, 2016, citado en Cabero & Barroso, 2016).



**Figura 28 Ejemplo de realidad aumentada**

Fuente: (Biartech, 2014)

- Dispositivos para RA

La realidad aumentada se puede utilizar en cualquier pantalla y dispositivo conectado, los más comunes son: los ordenadores, los equipos específicos de RA y los smartphones o tablets. En el caso del ordenador y Smartphone, la cámara conectada al equipo o integrada al celular, capta una imagen que digitaliza, mientras que el software de RA añade nuevas capas con información visual; ya sea con modelos 3D, imágenes 2D, audios o textos del escenario real, los cuales interaccionan con la realidad captada, ampliando la información del escenario real.

Una variedad de aplicaciones de realidad aumentada están disponibles para iPhone, iPad y Android. En el caso del ordenador y la televisión inteligente, la RA funciona con una cámara web, mediante anteojos o lentes conectados. Los dispositivos móviles, smartphones o tablets con GPS, permiten localizar al usuario y brindar información detallada de su posicionamiento con la información guardada previamente de la zona (López, J, Llorente, & Gámez, 2016).

- Activadores para RA

Según López, J. et al (2016) para realizar realidad aumentada: “un activador puede ser un objeto o una posición espacial, que al ser detectado por el dispositivo RA, provoca que se inicie ésta.” (p. 6). Consiste en cumplir la función de detección, para reconocer el entorno físico y seleccionar la información virtual asociada que se debe añadir.

El activador puede ser:

- Una marca o marcador, son empleados como símbolo determinado o una imagen específica (tag) que activa al software de RA para superponer la información a la realidad (ver figura 29).



**Figura 29 Ejemplo de un Tag utilizado para el proyecto de RA**

Fuente: (López, J. et al., 2016)

- Un código digital, más conocido como QR por sus siglas en inglés de Quick Response. Estos son unos códigos bidimensionales que permiten codificar información muy variada: texto, URLs, números de teléfonos, SMS entre otros.

La diferencia entre un marcador y un código QR, son los marcadores. Los de RA pueden ser identificados únicamente por la aplicación creada, mientras que, en los códigos, la información está codificada en el propio símbolo y puede ser leída por cualquier lector de códigos QR (ver figura 30) (Reinoso, 2012).



**Figura 30 Ejemplo de un código QR**

Fuente: (Reinoso, 2012)

- Una posición espacial: En el cual, el software de RA activa el dispositivo móvil por medio de su localización geográfica.

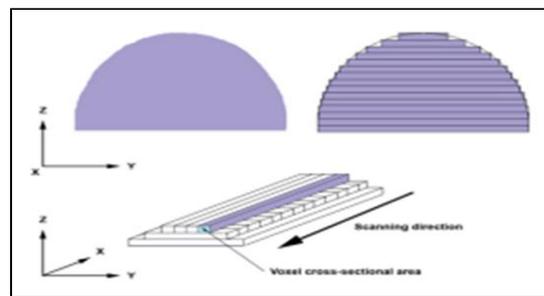
#### 2.4.4. *Impresión 3D*

La impresión 3D, o también conocida como manufactura aditiva, es un grupo de tecnologías de fabricación y prototipado rápido que, a partir de un modelo digital, permiten manipular de manera automática distintos materiales y agregarlos capa a capa de forma muy precisa para construir un objeto en tres dimensiones (López J. , 2016, pág. 1)

- Proceso de Impresión.

Para imprimir un modelo a partir de un archivo 3D, por lo general STL, primero debe pasar por el proceso de rebanado; consiste en cambiar al modelo digital técnicamente en una representación tridimensional, subdividida en una malla triangular, generando un archivo G-code, que contiene instrucciones adaptadas a una impresora específica. Esto se realiza mediante el uso de un software llamado “recortadora”, el cual puede ser de código abierto incluyendo Skeinforge, Slic3r, KISSlicer, y Cura (Noguera, 2014).

La impresora 3D, ejecuta las instrucciones del archivo G-code para ubicar capas sucesivas de líquido, polvo y papel para construir el modelo a partir de una serie de secciones transversales. Estas capas, que pertenecen a las secciones transversales virtuales a partir del modelo CAD, se unen automáticamente para crear la forma final (ver figura 31).



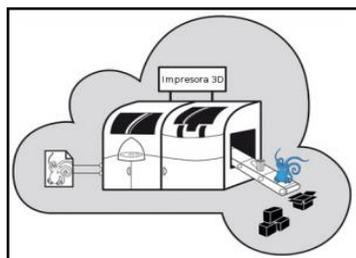
**Figura 31 Proceso de rebanado del modelo**

Fuente: (Noruega, 2014)

- Impresoras 3D

Una impresora 3D, es una máquina capaz de crear objetos y piezas de distintos materiales, a partir de un diseño elaborado por el ordenador. Estas fabrican las piezas, usando el material necesario para el modelo final, evitando material sobrante. Además,

aporta mayor flexibilidad al fabricar geometrías complejas y disminuye los costes indirectos relacionados con moldes (ver figura 32) (Romero, 2014).



**Figura 32 Impresora 3D**

Fuente: (Romero, 2014)

- Métodos de impresión

Existen algunas métodos para imprimir objetos en 3D, principalmente se basan en la forma en la que las capas son utilizadas para crear el objeto (ver figura 33).

Tipo	Tecnologías	Materiales comunes
Adicción	Modelado por deposición fundida	Termoplásticos (PLA, ABS) HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles
Hilado	Fabricación por haz de electrones	Casi cualquier aleación
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser	Termoplástico, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante	Yeso
Laminado	Laminado de capas	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta	Fotopolímero

**Figura 33 Métodos de impresión según la tecnología y materiales**

Fuente: (Arteaga, 2015)

Cada uno de estos métodos, depende de las necesidades y de la disponibilidad económica del cliente. Las consideraciones principales son: el coste del prototipo impreso, velocidad, coste de la impresora, elección y coste de materiales, así como capacidad para elegir el color.

## **2.5. Patrimonio Cultural**

### *2.5.1. Antecedentes*

El contenido de la expresión “patrimonio cultural” ha cambiado a lo largo de la historia, pues abarca todo lo realizado por un pueblo en su vida pasada y presente. En un principio fue transmitido por imitación y después por medio de la educación y enseñanza. En el siglo XVI, el significado de cultura hacía referencia a la producción agrícola, pero a partir del siglo XVII, se asocia a la acción de cultivar el conocimiento o el espíritu. En el siglo XVIII, la cultura se entiende como la acción de instruir, por lo que, las personas cultivan la mente, llevando a que en los siglos VXIII y XIX, bajo el concepto alemán, no solo se diferencia la clase culta sino también, por medio de un largo proceso, el concepto de cultura logre representar la unidad y la fortaleza de la nación. Y es así, como la comprensión de la cultura dejo de ser propia de la literatura para entenderse como el quehacer de un pueblo originada en valores y tradiciones heredadas del pasado (Austín T. , 2010).

Por otra parte, en la antigüedad el conocimiento del patrimonio era sinónimo de posesión medido en riqueza personal, pero durante la Revolución Francesa logró dar un gran paso, al entregar al Estado los bienes artísticos de la Iglesia y es así, como nace el primer museo de Europa conocido como Louvre. A partir de entonces y con ayuda de medidas revolucionarias se valorizó el patrimonio histórico, como conjunto de bienes culturales, que pertenecen a una nación. Más tarde, se realizaron pequeños esfuerzos para la protección y difusión de la cultura, como es el caso de la ley francesa de 1791 que transfería la necesidad de inventariar y conservar monumentos nacionales, con el fin de involucrar a la sociedad con el patrimonio (Llull J. , 2005).

Actualmente, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2006), establece que: “El patrimonio cultural no se limita a monumentos y colecciones de objetos, sino que comprende también tradiciones o expresiones vivas heredadas de nuestros antepasados y transmitidas a nuestros descendientes, como tradiciones orales, artes del espectáculo, usos sociales, rituales, actos festivos, conocimientos y prácticas relativos a la naturaleza y el universo, saberes y técnicas vinculados a la artesanía tradicional”.

Hace 15 años se preservó el patrimonio cultural mediante scanners 3D, se han capturado: la capilla de San Marcos de la Catedral del Salvador de Zaragoza, cuyo nombre consta en la Lista del Patrimonio de la Humanidad (Monzón, 2015); con Láser Scanner Terrestre, se escaneó uno de los monumentos más significativos de Priego de Córdoba: La Torre del Homenaje (García & Montes, 2012); y con el uso de tecnología LIDAR de mano, se realizó la toma de datos para generar el primer modelo 3D del interior de la Torre Inclinada de Pisa (Nosolosig, 2013).

### *2.5.2. Patrimonio Cultural en el Ecuador*

En el Ecuador, el patrimonio cultural representa un largo camino histórico de más de diez mil años, recorrido en el cual, se ha formado la identidad actual y al mismo tiempo, exhibe un sin número de objetos utilizados por los antepasados que sirven como testimonio que habitaron en el territorio: cazadores, recolectores, alfareros, orfebres, artistas, creadores, músicos y artesanos (INPC, 2011). Por esta razón, Ecuador posee una enorme riqueza patrimonial cultural, reconocida a nivel internacional, pues ostenta seis importantes reconocimientos concedidos por la UNESCO (5 materiales y 3 inmateriales): Islas Galápagos, Ciudad de Quito, Parque Nacional Sangay, Centro Histórico de Santa Ana de los Ríos de Cuenca, Qhapac Ñan (sistema vial andino), patrimonio oral y las manifestaciones culturales del pueblo Zápara, tejido tradicional del sombrero de paja toquilla, músicas de marimba, cantos y danzas tradicionales de la región del Pacífico Sur Colombiano y la provincia de Esmeraldas (INPC, 2017). Sin embargo, no se han materializado gran parte de las potencialidades que puede aportar al desarrollo

sociocultural y económico del país, debido a que, de los 3 millones de bienes culturales y patrimoniales estimados, no están registrados apropiadamente, recuperados, protegidos y conservados, bajo criterios de política pública, que garanticen su puesta en valor, uso social y acceso a la población (Ministerio Coordinador de Patrimonio, 2015).

A lo largo de la historia, se ha visto la necesidad de documentar el patrimonio religioso, histórico y artístico; para lo cual, se han empleado una variedad de técnicas, las mismas, que con el pasar del tiempo han variado, llegando a perfeccionarse hasta el siglo XXI, donde se busca incluso conservar y proteger el patrimonio intangible, por lo que, se hace imprescindible usar nuevas tecnologías para documentar, elaborar bases de datos digitales y físicas e inventariar los distintos bienes. En el caso de Ecuador no es una excepción, ya que las necesidades de protección y recuperación de sus bienes culturales no se han superado, provocando que se encuentren en peligro debido a distintos factores: tráfico ilegal, robo, desinterés de los ciudadanos y falta de mecanismos legales, por lo que, algunos objetos históricos no son expuestos al público en general (Ruiz, 2016), y que optar por la digitalización del patrimonio, usando diferentes técnicas involucre tiempo y gastos considerables. Actualmente, gracias a las aplicaciones de la ingeniería inversa, utilizando nuevas tecnologías en la captura de datos en tiempo real, permiten obtener la misma información en menor tiempo y con mayor exactitud.

En el año 2007, el gobierno ecuatoriano decidió declarar en emergencia al patrimonio cultural, a través del cual se dispone establecer medidas y mecanismos (Gaëtan, 2008) y frente a esta necesidad, en el año 2011, el INPC ha optado por las bases de datos y la digitalización de las piezas históricas, pero actualmente no ha estado presente dentro de la comunidad digital (Gaëtan & Lara, 2011 citado en Ruiz, 2016), sin embargo, gracias al avance de las tecnologías de información geográfica se puede lograr.

La Constitución de la República del 2008, es un conjunto de normas que amparan los derechos y libertades, organizan al Estado e impulsan el desarrollo económico y social, que establece en el Art. 57 y el Art. 330, Numeral 13 y 1 que, es un derecho mantener, recuperar, proteger, desarrollar y preservar el patrimonio cultural e histórico como parte

indivisible del patrimonio del Ecuador y que es responsabilidad del Estado, velar por la conservación y restauración del patrimonio cultural tangible e intangible y de la riqueza histórica y arqueológica del país.

En conjunto con la constitución ecuatoriana, el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, es un instrumento que planifica el desarrollo del país y busca mejorar la calidad de vida de la población, por lo que, se ha considerado establecer en el Objetivo 3, políticas que garanticen la preservación y protección integral del patrimonio cultural de la ciudadanía ante las amenazas y riesgos de origen natural o antrópico (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades, 2013).

En el marco de las nuevas políticas estatales de implementación de un modelo de desarrollo integral, dentro del proceso general de reforma del Estado, en 1978 se creó el INPC, que reemplaza a la Dirección de Patrimonio Artístico, con énfasis en investigación y generación de metodologías encargado de investigar, conservar, preservar, restaurar, exhibir y promocionar el Patrimonio Cultural en el Ecuador (INPC, 2016).

Un año después, mediante decreto supremo, se expidió la Ley de Patrimonio Cultural y con el fin de facilitar su aplicación, la Constitución Política de la República del Ecuador expidió el Reglamento General de la Ley de Patrimonio Cultural, en el cual, de acuerdo a UNESCO (2004), se declara bienes pertenecientes al Patrimonio Cultural del Estado los comprendidos en los siguientes artículos:

b) Los templos, conventos, capillas y otros edificios que hubieran sido construidos durante la Colonia; las pinturas, esculturas, tallas objetos de orfebrería, cerámica, entre otros, pertenecientes a la misma época; c). Los manuscritos antiguos e incunables, ediciones raras de libros, mapas y otros documentos importantes; h). Los objetos o bienes culturales producidos por artistas contemporáneos laureados a partir del momento de su defunción, y en la vida, los que han sido objeto de premiación nacional; así como los que tengan treinta años o más de haber sido ejecutados; j). En general, todo objeto y producción que no conste en los literales

anteriores y que sean producto del Patrimonio Cultural del Estado, tanto del pasado como del presente y que por su mérito artístico, científico o histórico hayan sido declarados por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, bienes pertenecientes al Patrimonio Cultural, sea que se encuentren en el poder del Estado, de las instituciones religiosas o pertenezcan a sociedades o personas particulares

El centro histórico de la ciudad de Quito está conformado por varias edificaciones monumentales, como es el caso del convento de la Iglesia de San Francisco, cuyo interior se estructura en tres naves en forma de cruz. La nave central, se encuentra elevada, el artesonado es de estilo mudéjar, uno de los primeros estilos en el continente y en la época. Alrededor de la nave central existen ocho retablos (Instituto Cervantes, 2017).

### Retablo

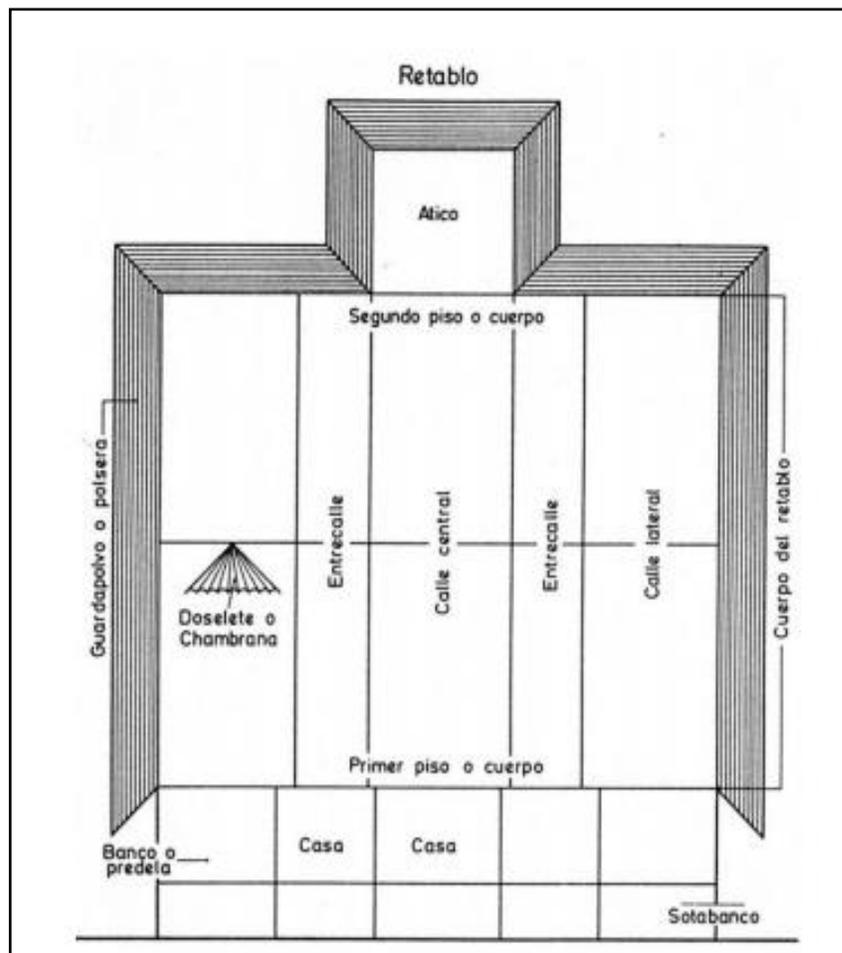
Según Ochoa, citado en (INPC, 2010), un retablo es una “Estructura donde se interrelaciona elementos arquitectónico, pictóricos y escultóricos en torno a un eje central de simetría. Obra arquitectónica hecha de mármol, piedra, madera u otro material que hace la decoración de un altar.”

- *Partes de un retablo*

Según Ochoa, citado en (Centro Virtual Cervantes (CVC), 2017), el retablo está formado por varias partes las cuales se detallará a continuación, y se ilustran en la figura 34:

- **Ático:** Parte superior de la calle central de un retablo. Suele ser el lugar elegido para disponer un calvario.
- **Banco:** parte inferior o basamento de un retablo. En ocasiones puede estar dividido en dos pisos, en cuyo caso se denomina el más próximo al suelo sotabanco.
- **Calle:** Son las divisiones verticales de un retablo.
- **Casa (Nicho):** Son espacios de forma cuadrangular o rectangular que, sirven para alojar pinturas o esculturas.

- **Cuerpo:** Son las divisiones horizontales de un retablo, o los pisos.
- **Entrecalles:** divisiones verticales más estrechas que las calles y que las separan unas de otras.
- **Guardapolvo:** pieza que enmarca un retablo tanto por los laterales como por la parte superior, con la misión de protegerlo del polvo.
- **Sótabanco:** parte inferior de un banco de retablo de dos pisos.
- **Arquitrabe:** Pieza o elemento estructural horizontal, sobre el que se asientan el friso (franja horizontal decorativa), la cornisa y el frontón.



**Figura 34 Partes de un retablo**

Fuente: (CVC, 2017)

### 2.5.3. *Culturas del Ecuador*

#### Valdivia

La cultura Valdivia (4.000 a. C. - 1.800 a. C), se localizó en la región Costa, específicamente en la provincia de Manabí, desde Puerto Cayo hacia el norte de la provincia Santa Elena. Se desarrolló en el periodo formativo. Esta cultura precolombina es una de las más antiguas de América y se destaca por la producción de vasijas y figurillas de cerámica elaboradas en piedra y barro, encontrándose las Venus de Valdivia (Avilés, 2010).

Se asume que Valdivia era una comunidad matriarcal (dirigida por una mujer), puesto que la gran parte de cerámicas son representaciones de mujeres, colocadas las manos en los pechos, con cabello generalmente largo, trenzado y con detalles en la parte frontal y posterior. La Venus de Valdivia representa formas femeninas, generalmente desnudas, con peinados de diferentes tamaños (peinado elevado, indica mayor jerarquía dentro del grupo). Los ojos en forma de granos de café, los brazos juntos en el cuerpo, piernas sin pies y formas redondeadas. No era frecuente representar mujeres en embarazo o durante el parto. Estas figurillas se relacionan con relatos míticos y como amuletos de fertilidad, tanto para la mujer como para la tierra. (Avilés, 2010).

La Venus de Valdivia fue modelada a mano; se usaba como base dos cilindros paralelos de barro, los cuales eran unidos al cuerpo y a la cabeza para después añadir el cabello y los brazos. En ciertos casos, los brazos están pegados en el cuerpo y las manos se colocan en los senos y en otras ocasiones, los brazos son cortados hasta los hombros. El cabello se representa con líneas horizontales, verticales o geométricas y va hacia el frente haciendo marco a la cara y en ocasiones con peinados variados (ver figura 35) (Avilés, 2010).



**Figura 35 Venus de Valdivia**

### Chorrera

Esta cultura se desarrolló en el periodo formativo tardío (1500 a. C – 500 a. C). Se hallaron tres asentamientos arqueológicos pertenecientes a esta cultura ubicados en la región Costa; Península de Santa Elena, en un barranco del río Babahoyo y Esmeraldas, y con el pasar del tiempo se extendieron por las provincias de Guayas, Manabí, los Ríos en incluso hasta la Región Amazónica, principalmente en Macas, ciudad en donde se encontraron botellas silbatos de procedencia chorreriana (Zhañay, 2013).

Se dedicaron a la caza, ganadería, agricultura, pesca así como al trabajo en piedra. Además, debido a la gran variedad de cerámicas como: vasijas, platos, flautas, figurines; y por sus representaciones, se identificó un gusto por la recolección de frutos como por ejemplo: piña, zapallo, guaba, entre otros (Iza, 2014). Debido al contacto con la naturaleza, especialmente de la fauna, lograron representar varias piezas destacadas por la técnica innovadora denominadas botellas silbato (Zhañay, 2013).

La cerámica Chorrera se caracteriza por su estética definida en la forma; objetos fino, delgados y representaciones de figura humana, material de fabricación; piedras

semipreciosas, concha spondylus, obsidiana, y por la decoración policromática; café rojizo, blanco amarillento, negro ahumado, verde turquesa, y beige (Zhañay, 2013).

La botella silbato tiene su origen en Ecuador. Al principio era un contenedor adaptado a la estructura corporal del hombre, el cual permitía almacenar, transportar y conservar líquidos para su subsistencia, después al agregarle un pico se convirtió en botella. Posteriormente, para mejorar el transporte se colocó un asa y se ligó el pico al cuerpo de la botella. Una vez solucionado el problema, el alfarero, a partir de varias técnicas, aprovechó las condiciones de salida de aire y logró reproducir sonidos y voces de la naturaleza, dando así origen a la botella silbato. El proceso termina con la aparición de la botella silbato de vasos comunicantes (Ayala, Polanco, & Espinosa, 2015). De acuerdo con Polanco (2012), la botella silbato, propiamente dicha, fue desarrollada en la cultura Chorrera.

En la figura 36, se observa una pieza perteneciente al Museo de Pumapungo. Representa una botella silbato de vasos comunicantes de la cultura Chorrera; este tipo de botellas aparecieron como perfección del alfarero, y es evidente el conocimiento de los principios de presión para lograr el sonido correspondiente. Se observa la caja de resonancia ubicado en el cuerpo del ave.



**Figura 36 Botella silbato de vasos comunicantes**

### Jama Coaque

La cultura Jama Coaque, se localizó en la región Costa, al norte de la provincia de Manabí, entre Bahía de Caráquez y el Cabo San Francisco. Se desarrolló en dos periodos históricos denominados: Desarrollo Regional (200/300 a. C y 700 d. C) e Integración (800 – 1523 d. C) (Maldonado & Vera, 2013). No existen evidencias directas relacionadas con el tipo de vivienda y sobre la economía, pero gracias a estudios de investigación se ha establecido que habitaban en colinas asentados cerca de zonas fluviales, y además por las características geográficas del territorio, sin duda se dedicaban a la agricultura, crianza de animales y de los recursos fluviales que también sirvieron como medio de comercio (Quinde, 2013).

Esta cultura es conocida por la alfarería, pues se hallaron abundantes representaciones antropomorfas, destacadas por sus atavíos, adornadas con tocados complejos, narigueras, orejeras, entre otros. Su material cultural presenta un gran interés en el detalle de elaboración de las figuras humanas identificadas en los dedos de manos y pies. La gama de adornos no sólo se encuentra en la cabeza, sino también en el cuerpo y aun en las extremidades. Tanto las figurines humanas como su ornamentación, fueron elaboradas en molde independientes provocando, en muchos casos, que los accesorios puedan ser retirados del objeto sin problema, convirtiéndose así, en una técnica exclusiva de la cultura Jama Coaque (Quelal, 2013).

En las cuatro culturas ancestrales de la región Costa (Chorrera, Bahía, Jama Coaque y Tolita) el chamán, a través de sus poderes sobrenaturales, era la figura simbólica para vincular el ámbito espiritual. Estos desempeñaban el papel protagónico en ritos ceremoniales, pues se consideraba como intermediarios para comunicarse con seres sagrados. La mayoría de pueblos, representaban al chamán como un individuo diferenciado que además anunciaba rango y autoridad. Se encontraron esculturas en posiciones ceremoniales, reclinados, sentados y masticando coca (Guamán, 2016). A continuación, se presenta la tercera pieza escaneada del museo Pumapungo, la cual,

representa un chamán vestido y adornado de manera especial con símbolos expresivos de su poder (ver figura 37)



**Figura 37 Representación de un chamán**

También se encontraron silbatos con representaciones zoomorfas, generalmente en forma de papagayo, y antropomorfas que representan principalmente personajes con instrumentos musicales, en los cuales también resaltan los adornos. Las representaciones de animales son menos acentuada que las representaciones antropomorfas (Quelal, 2013). Así mismo, poco se sabe sobre la vida ceremonial y de su ideología, pero por las representaciones en cerámicas se cree que realizaban cultos a seres mitológicos (Aguilar, 2013).

La figura 38, representa una botella silbato de vasos comunicantes compuesto por dos cuerpos globulares. Sobre uno de los glóbulos se ubica el cuello de botella, con forma cónica y vórtice redondeado. En el otro glóbulo se asientan las representaciones de un dragón y otro en forma de ave, en la cual se encuentra la caja de resonancia con orificios que probablemente se utilizaban para digitar.



**Figura 38 Botella silbato zoomorfa**

La figura 39 es una botella silbato, el cual representa un chamán adornado de manera simple. El silbato se encuentra en la región posterior del cuello.



**Figura 39 Botella silbato zoomorfa**

### Tacalshapa

La cultura Tacalshapa (500 a.C. - 1500 d.C.), al igual que la cultura Cashaloma, son dos subfases prehispánicas pertenecientes a la cultura Cañari propiamente definida. Tacalshapa es la más antigua y se desarrolló entre los periodos de Desarrollo Regional e inicios del periodo de Integración. Estas dos culturas representan la particularidad

arqueológica de la cultura del pueblo Cañari, las cuales, hasta la actualidad, conservan la mayoría de rasgos culturales y tradiciones de su pueblo milenario (Aguaiza, 2013).

El nombre Tacalshapa, proviene de una pequeña colina localizada a 12 km del sureste de una zona rural de Cuenca, en la parroquia Santa Ana. Esta cultura se extendió en varias localidades de la provincia del Azuay: Santa Ana, San Bartolomé, Quingeo, Sígsig, Gualaceo y los valles, así como en la provincia de Cañar, por lo cual y para un mejor entendimiento de su historia, se dividió en 3 partes: Tacalshapa I, II y III (Aguaiza, 2013).

Tacalshapa I, se desarrolló en las orillas del río Cuenca y Paute, en el cual se destaca vasijas rituales, en algunos casos, de tamaño pequeño. Se diseñaban líneas zigzag, triángulos, rectángulo, puntos, círculos o bandas en la cerámica con pintura negativa (superficies claras eran coloreadas para cambiarlas en claras), de igual manera, presentan diseños geométricos escalonados con decoración blanca sobre rojo y sencillas representaciones humanas. La forma prototipo de esta cultura es la olla de cuerpo globular con cuellos altos, y rostros humanos sonrientes; ojos en forma de discos, nariz y orejas modeladas que aparentan realismo así como boca aparentemente trabajada con punzón (instrumento que permite hacer huecos), en ocasiones, con brazos y manos en alto relieve (Tenecota, 2013).

Tacalshapa II ocupó principalmente, en lo que actualmente se conoce como provincia de Azuay y Cañar. Debido al crecimiento poblacional, también habitaron los valles interandinos y montañas altas. La mayoría de representaciones son antropomorfas, ya que el ser humano asume un papel protagónico en la sociedad y con la naturaleza. Se utilizaron dos tipos de técnicas; pintura negativa y positiva (se colorea la superficie blanca o clara para obtener una oscura). Las botellas lenticulares (forma convexa por los dos lados) son de tamaño más grande, en comparación con las de Tacalshapa I, con colores más claros y rojizos (Tenecota, 2013).

Las etapas anteriores se fusionan y en Tacalshapa III las piezas son de tamaño pequeñas y grandes; vasijas alcanzan un tamaño de 1.20m. La representación de las mismas formas

continuó, pero la calidad del material y del diseño decayó. Predominio del color rojo simple y se aprecia la decoración punteada trabajada con algún instrumento circular (Aguaiza, 2013).

Las figuras 40 y 41, son piezas del museo seleccionadas para el proceso de captura de información. La figura 40 representa una vasija de cuerpo leticular, provisto de un cuello alargado, ornamentado en la parte superior por una representación antropomorfa; orejas, boca y nariz están modelados en alto relieve, mientras que en los ojos se trabajó con alguna herramienta. Probablemente, las líneas localizadas en el cuello y en la parte superior llevan color negativo.



**Figura 40 Botella silbato zoomorfa**

En la figura 41, se observa una vasija de cerámica con cuerpo antropomorfo, probablemente con pintura positiva. Los ojos, la boca y la forma de los dedos de los pies, fueron representadas con alguna herramienta, mientras que las orejas, nariz, pechos, brazos y manos, se visualizan en alto relieve. La posición de los ojos, orejas, pechos y manos, no se encuentran a la misma altura.



**Figura 41 Vasija con cuerpo antropomorfo**

### Cashaloma

La cultura Cashaloma, simplemente, se localizó en la provincia de Cañar, en lo que actualmente se conoce como Ingapirca. Se desarrolló a finales del periodo Regional e Integración, pero decayó, con la dominación Inca, debido a las crueles masacres que intentaron oprimir a sus espíritus rebeldes (Aguaiza, 2013).

La pasta para elaborar las cerámicas se muestra bien amasada, así como superficies bien alisadas en el interior y exterior. Se usó colores variados; rojizos, tomate y anaranjado, con abundante decoración de figuras geométricas en blanco sobre rojo que se observa en: cántaros, en los cuales se guardaba los alimentos, botellas de pico, sonajeros o chinescos, copas y cuencos que eran usados para machacar hoja de coca. La pintura negativa no fue muy utilizada en las cerámicas, pero se encuentra en las bandas irregulares, difusas y discontinuas en los cuellos de los cantaros grandes (Tenecota, 2013) (Centro Interamericanos de Artes Populares (CIDAP), 2016). También, se encontraron algunas piezas que sirven como testimonio de la incursión en el metal (narigueras y

orejeras de cobre) y piedra (instrumentos para agricultura, cerámica y armas) (CIDAP, 2016).

La figura 42, se encuentra en el inventario de piezas escaneadas pertenecientes al museo Pumapungo. Es un hacha ceremonial Cashaloma elaborada en cobre.



**Figura 42 Hacha ceremonial**

### Inca

El periodo Inca (1.470 a.C.-1.534 d. C), constituyó un imperio importante en las civilizaciones aborígenes américas. A pesar de todo, colaboró en el desarrollo de los pueblos de las provincias de Azuay y Cañar, gracias a las grandes construcciones ceremoniales, caminos, puentes y fortalezas, como el Templo del Sol en Ingapirca y el Camino Principal Andino (Córdova, 2010). El imperio Inca se asentó, especialmente en la región Sierra pero también en la Costa, en la provincia de Manabí. Los Incas se apropiaron por medio de conquistas bélicas de los territorios pertenecientes a los Paltas y Cañaris, y con el tiempo, avanzaron al norte, extendiendo así su dominio en Ecuador (Tenesaca, 2016); los Incas nombraron al territorio cañari como Tomebamba y el sector de Pumapungo fue el núcleo central (conocido actualmente como Parque Arqueológico Pumapungo) (Armijos, 2010).

El estilo de cerámica, introducido por los incas, fue caracterizado por los vasos ceremoniales (keros) y las vasijas policromadas (aríbalos) (Tenesaca, 2016), las cuales, representan casi la mitad del número de cántaros incas.

La figura 43, representa un cántaro alargado con cuello alto, que servía para almacenar, transportar y servir chica (cerveza de maíz). Está adornada con un entepaño central, combinada con una banda horizontal de romboides (Bray, 2004).



**Figura 43 Aríbalo Inca**

## **2.6. Estadísticos de control de calidad**

Los parámetros y términos estadísticos utilizados en la evaluación de control de calidad, son los siguientes:

### *2.6.1. Definiciones estadísticas*

- **Población (N):** conjunto de elementos, que cumplen determinadas características, sujetos a un estudio estadístico. También, se conoce como universo o conjunto referencial (Pérez J. , 2006)

Se pueden distinguir poblaciones finitas e infinitas. Una población puede tener un número infinito de elementos y, por lo tanto, desconocer su tamaño (población infinita), o un número determinado de elementos y conocer el tamaño, por grande que sea (población finita) (Morales, 2012).

- **Muestra:** subconjunto de elementos representativos, pertenecientes a la población, utilizados para estudiar una población demasiado numerosa. El número de la muestra ( $n$ ) se llama tamaño muestral o tamaño de la muestra (Pérez J. , 2006).
- **Media aritmética** ( $\bar{x}$ ): también conocida como promedio, es una medida de tendencia central más utilizada para representar una distribución estadística y se define como la suma de los valores de un conjunto, dividida para el número total de datos (Pérez J. , 2006).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

**Ecuación 2.1**

Donde;

$x = \text{datos de la serie}$

$n = \text{numero total de datos}$

- **Margen de error (e):** es un valor en porcentaje que indica el error máximo aceptado en el proceso de medición. Se describe en un intervalo, entre el valor medido  $+/-$  el error de la medición (Lara, Cerpa, Rodríguez, & Núñez, 2006). Por ejemplo: Si la edad promedio de un grupo de jóvenes es 15 años con un margen de error del 2%, significaría que la edad de la población (grupo de jóvenes) se encuentra entre 13 años y 17.
- **Nivel de confianza:** es un valor expresado en porcentaje que expresa la certeza de que el dato se encuentre dentro del margen de error; las opciones más comunes

son 90%, 95% y 99% (Triola, 2004). Para el ejemplo anterior, a un nivel de confianza del 95%, se puede decir que las edades de los jóvenes, en el 95% de los casos, se encuentran entre 13 años y 17.

- **Nivel de significancia ( $\alpha$ ):** es el valor complementario del nivel de confianza; a 95% de nivel de confianza, el valor de  $\alpha$  es de 5% (0,05) (Triola, 2004).

### 2.6.2. Ji-Cuadrado

La prueba de bondad de ajuste introducida por Karl Pearson en 1900, también conocida como ji-cuadrado de Pearson, se aplica para:

- **Pruebas de independencia:** contrasta si dos variables son independientes, es decir, si existe relación entre ellas. Martín & Rosario (200), establecen que la hipótesis nula y alterantiva deben plantearse de la siguiente manera:

$$H_0 = \text{las variables son independientes}$$

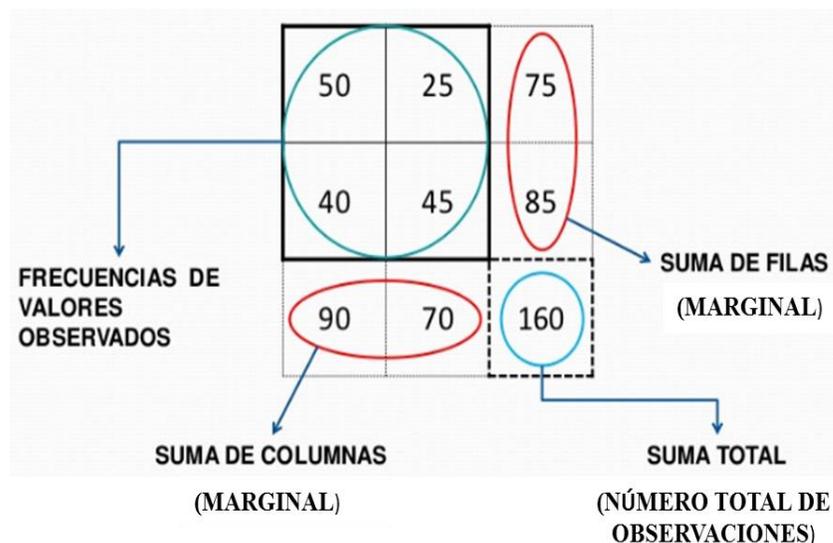
$$H_1 = \text{las variables no son independientes}$$

- **Pruebas de homogeneidad:** según Díaz, A (2009) permite: “establecer si las probabilidades en una distribución son equivalentes a valores teóricos supuestos o teóricos conocidos” (p. 221). De igual manera, Martín & Rosario (2008) formulan las siguientes hipótesis:

$$H_0 = \text{las proporciones son las mismas}$$

$$H_1 = \text{las proporciones no son las mismas}$$

La figura 44, representa una tabla de contingencia formada por filas (h) y columnas (k). A cada frecuencia observada le corresponde una frecuencia esperada o teórica, calculada a través de una hipótesis determinada. Las frecuencias observadas se ubican en las celdas y la frecuencia que resulta de las sumas por filas o columnas se denominan frecuencias marginales (Díaz V. , 2006).



**Figura 44 Partes de una tabla de contingencia**

Fuente: Modificado de (Ribera, 2011)

La frecuencia esperada para cada celda, se obtiene multiplicando los dos totales marginales comunes para una celda particular ( $n_i$  y  $n_j$ ) y dividiendo este producto por el número total de observaciones ( $n$ ).

$$e = \frac{n_i * n_j}{n}$$

**Ecuación 2.2**

Para estimar las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas, se aplica la ecuación 2.2 hasta sumar todas las celdas:

$$x^2 = \sum_{n=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j}$$

**Ecuación 2.3**

Donde;

$o_j = \text{frecuencias observadas}$

$e_j = \text{frecuencias esperadas}$

Los valores de  $\chi^2$  están distribuidos con  $\nu$  (grados de libertad), calculado por la ecuación 2.3:

$$\nu = (h - 1)(k - 1) \qquad \textbf{Ecuación 2.4}$$

Donde;

$h = \text{número de filas}$

$k = \text{número de columnas}$

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si  $\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{tabulado}}$ , caso contrario se acepta.

**Nota:** Para valores pequeños de  $n$ , la distribución de ji cuadrado tiene una larga cola a la derecha, mientras que al crecer  $n$ , el centro de la distribución se desplaza hacia la derecha, aproximándose a la distribución normal haciéndose más simétrica. La aproximación se considera aceptable para  $n > 30$ .

### 2.6.3. Teorema del límite central

El teorema del límite central menciona que: “si una muestra es lo bastante grande ( $n > 30$ ), sea cual sea la distribución de las variables, la distribución de la media muestral será aproximadamente una normal” (Rovira, 2003, pág. 6).

### 2.6.4. Intervalo de confianza

Es un rango de valores, calculado en una muestra, que indica el valor del parámetro estimado con su margen de error. (Bianco & Martínez, 2004).

Calculo del intervalo de confianza para la media de una población:

$$\bar{x} \pm z * \frac{\partial}{\sqrt{n}}$$

**Ecuación 2.5**

Donde:

$\bar{x}$ =media de la distribución

$z$ = valor crítico respecto al nivel de confianza

$\partial$ = desviación estándar

$n$ =número de muestra

#### 2.6.5. *Medidas directas*

Cuanto mayor sea el número de medidas de un objeto, el valor medio de estas se aproximara al valor verdadero de la magnitud, ya que los errores aleatorios de cada medida se va compensando unos con otros.

Según Taylor (1982) “en la práctica, no debe pasarse de un cierto número de medidas. En general, es suficiente con 10.”

## CAPÍTULO III

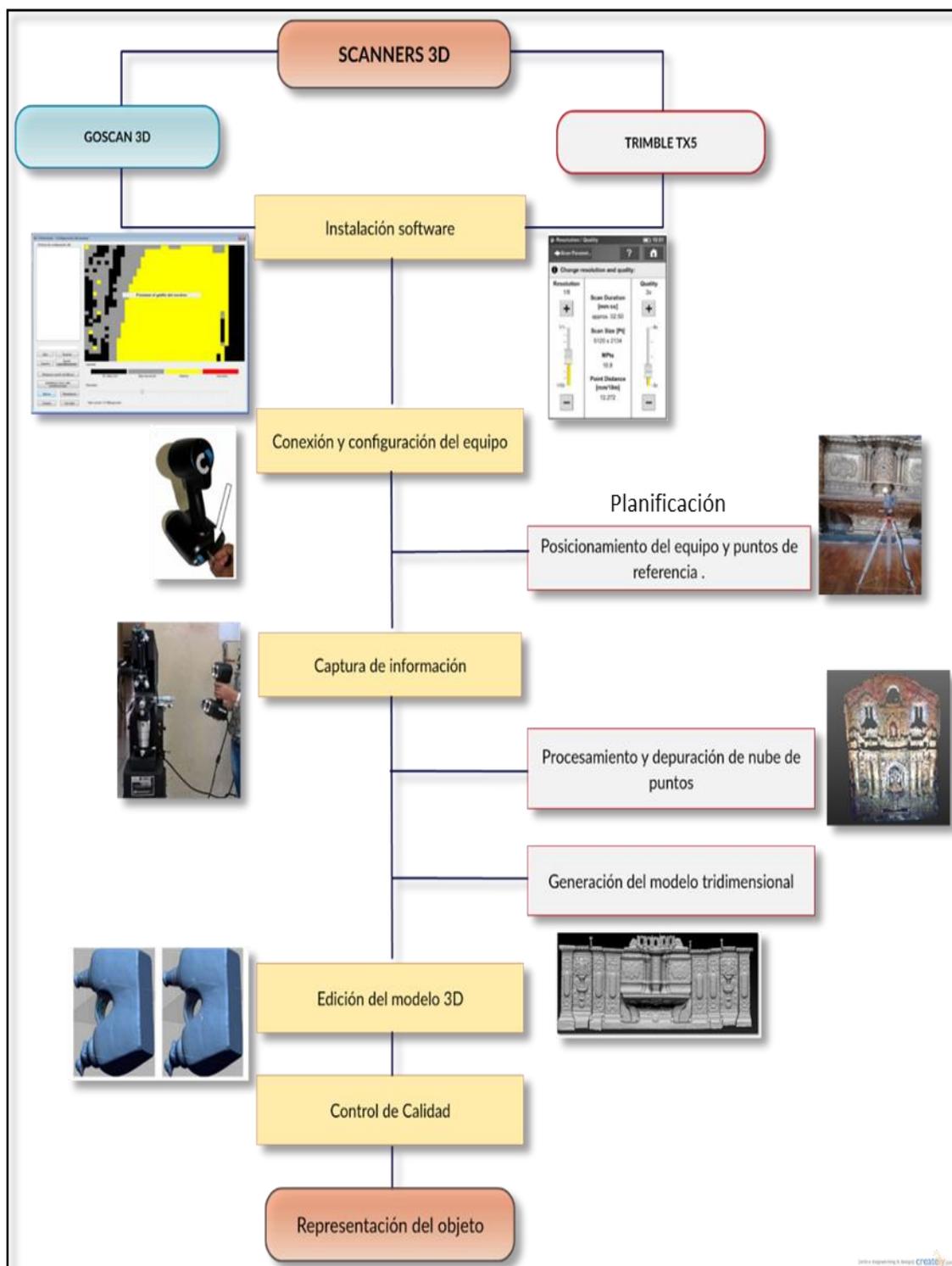
### 3. METODOLOGÍA

#### 3.0. Resumen

En este capítulo se describe la metodología que consta de dos procedimientos; en el caso de objetos y piezas patrimoniales con GoSCAN 3D, se utilizaron varios métodos: experimental, comparativo e inductivo; experimental, en cuanto a la calibración del equipo y saturación del patrón luz; comparativo, medición indirecta basada en los objetos reales durante todo el proceso e inductivo; ya que se obtuvieron conclusiones e información particular de las tablas de calibración, condiciones de iluminación, captura, edición y representación de los objetos de diferentes texturas y materiales a partir de premisas generales. Mientras que, para el retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito con Trimble TX5, se utilizó un proceso estándar; como mínimo debe tener ciertos puntos para la planificación.

#### *Procedimiento General*

A continuación, en la figura 45 se ilustra el resumen de los procesos ejecutados para la preparación, captura, edición, procesamiento y representación de objetos y piezas patrimoniales con GoSCAN 3D y retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito con Trimble TX5.



**Figura 45 Procedimientos del proyecto**

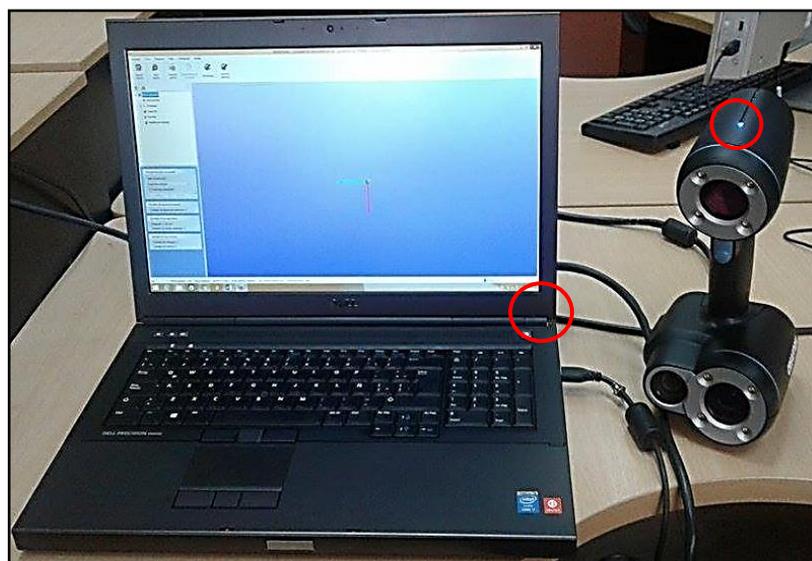
### **3.1. Preparación, configuración, captura y edición de objetos y piezas patrimoniales con GoSCAN 3D.**

#### *3.1.1. Preparación del GoSCAN 3D*

La preparación consistió en la instalación del programa Vxelements 2.1, cuyo procedimiento se detalla en el anexo A, y de la conexión del equipo. En este software se realizaron los procesos de calibración, configuración y captura de objetos y piezas patrimoniales. Además, ofrece algunas herramientas para edición del modelo 3D.

#### Conexión del GoSCAN 3D

El scanner debe estar conectado a un puerto del computador a través del cable USB y permanecer a una fuente de energía (toma corriente); los pasos a realizarse se encuentran en el anexo B. La conexión entre el cable USB y el scanner se debe realizar con mucha cautela, porque se puede dañar los terminales de los contactos metálicos conductores de electricidad. Cuando el equipo está conectado correctamente, se aprecia un pequeño destello de luz y en su parte inferior se enciende una luz azul (ver figura 46).

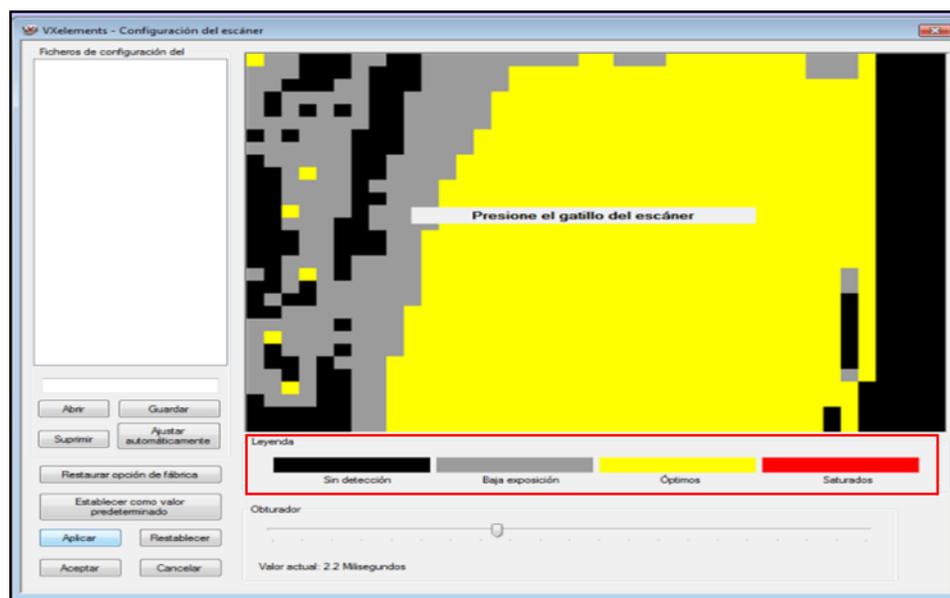


**Figura 46 Conexión del GoSCAN 3D**

### 3.1.2. Configuración del GoSCAN 3D

La configuración está en función del obturador, que controla el tiempo que el sensor del scanner se encuentra expuesto a la luz, y se expresa en milisegundos (mls). Este valor varía entre 1 a 8 y pese a que, la configuración establecida por el programa es de 2 milisegundos, este puede ser cambiada manualmente dependiendo del material del objeto, del cual se desea capturar información (ver tabla 23).

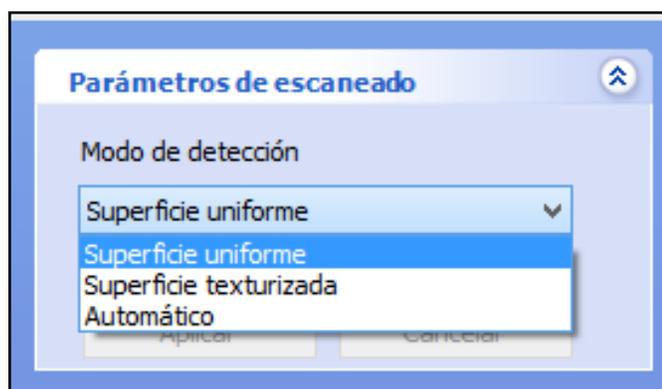
En la figura 47 se muestra la ventana de configuración del scanner, el cual dispone de una leyenda, la cual sirve como ayuda visual para designar el valor del obturador; cuando se observa el color gris y negro, significa que no hay suficiente información recopilada por el software para calcular y construir una malla de la superficie física; por lo que, el tiempo del obturador debe aumentar hasta observar el color amarillo, indicando que el cálculo de la superficie se hace bajo circunstancias ideales. De igual manera, cuando la reflexión del patrón de luz es tan intensa (color rojo), el tiempo debe ser disminuido, ya que el obturador está saturado.



**Figura 47** Ventana de configuración del scanner

### Selección de parámetros de escaneo

Después de elegir el valor del obturador se debe seleccionar el parámetro de escaneo, el cual se encuentra en función del color y tipo de textura; si el objeto tiene color uniforme (superficie especular) y textura lisa, se usa “Superficie Uniforme” como modo de detección, mientras que para el caso contrario, objetos con color no uniforme, texturas rugosas y superficies con niveles de detalle se escoge “Superficie Texturizada”. El modo de detección “Automático” combina las dos superficies (ver figura 48) (ver anexo C, literal 1).



**Figura 48 Parámetros de escaneo**

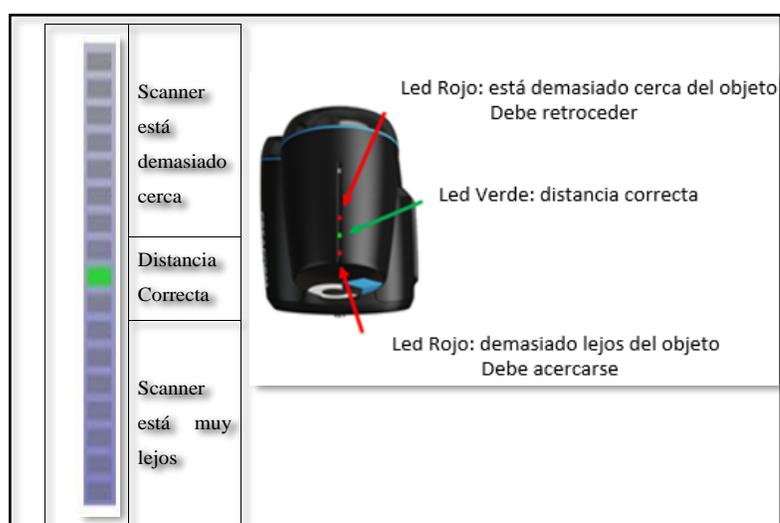
La mayor parte de luz que incide en la superficie de objetos brillantes, transparentes o reflectantes (dejan pasar fácilmente la luz) se refracta y solo una pequeña cantidad es reflejada, por tal razón, tienen que ser cubiertos con polvo blanco para conseguir un acabado mate, y así capturar información al ser escaneados. En este caso, se utilizó harina de trigo para escanear una botella de vidrio, un faro de un vehículo y un florero de vidrio, los cuales se observan en la figura 49. En objetos brillantes, se debe tener en cuenta el factor iluminación, por lo que se necesita evitar escanear en lugares donde la presencia de luz irradie directamente sobre la superficie del objeto; si es posible hacer el proceso de escaneo en oscuridad, para prevenir la presencia de reflejos y brillos. En general, es importantes evitar situaciones que generen sombras sobre el objeto a escanear.



**Figura 49 Preparación para la captura de un faro de carro y una botella de soda**

### 3.1.3. Captura de información

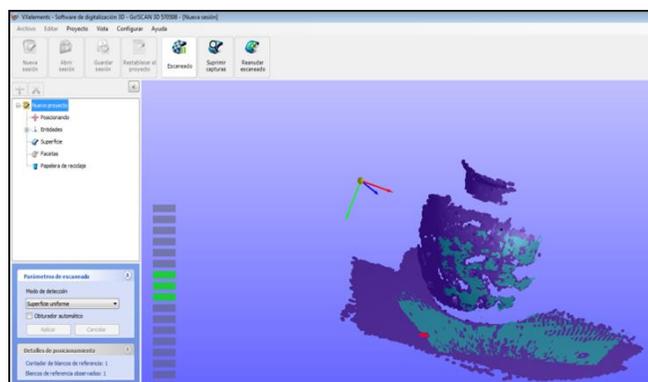
La distancia promedio entre el scanner y el objeto es de 40 cm, y su campo de visión puede ser de 30 a 55 cm. Durante el escaneo, un medidor se puede observar en el lado izquierdo del monitor que indica la distancia, el cual también está representado en la parte superior del scanner por 3 leds (rojo, verde, rojo) (ver figura 50).



**Figura 50 Relación del medidor de distancia entre Vxelements y scanner**

Fuente:(Creaform, 2013)

La captura de datos, se realiza de todas las vistas: superior, frontal, inferior, lateral izquierdo y derecho desde diferentes ángulos, con el fin de completar el modelo 3D del objeto; para lo cual, es necesario colocar en una base giratoria que se mueva tanto horizontal como verticalmente. Se puede observar todo el proceso directamente en la pantalla del computador, identificando partes del objeto que falta capturar. Mientras se escanea correctamente, la parte escaneada se muestra en turquesa y el color azul oscuro, representa el actual marco capturado, tal como se muestra en la figura 51.



**Figura 51 Modelo 3D de una pieza de cerámica**

La tabla 11 indica el proceso a realizarse; en caso de que, la superficie de un objeto carezca de rasgos distintivos para ser detectado, pierda su seguimiento, o se pierda la señal del equipo. Para mayor información ver anexo C.

**Tabla 11**  
**Técnicas de escaneo a emplearse en caso de pérdida de seguimiento**

Razón	Solución
Superficie no puede ser vista	Utilice la herramienta de configuración para ajustar el tiempo de obturación
	Calibrar el scanner
	Escanear la superficie con un ángulo diferente

Continua 

---

Señal del GoSCAN se pierde	Aplicar referencias de posicionamiento si la superficie no tiene suficientes características distintivas
----------------------------	--

---

Escanear la superficie con un ángulo diferente

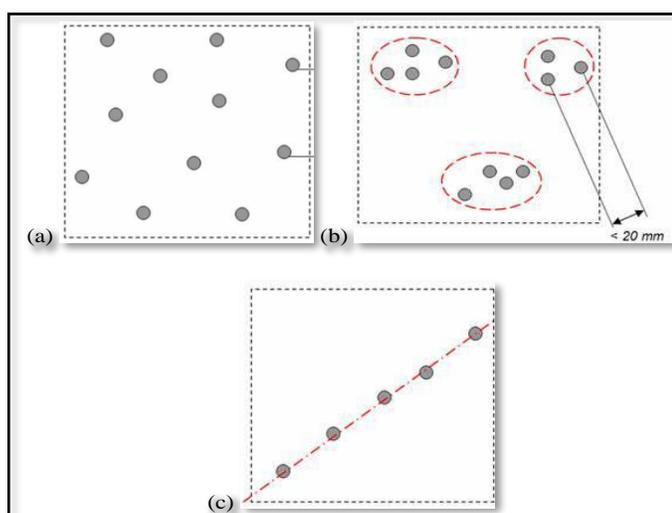
---

Fuente: (Creaform, 2013)

### Uso de referencias de posicionamiento

Al no capturar información, a pesar de configurar el scanner y escoger los parámetros de escaneo, se puede colocar referencias de posicionamiento en el objeto. Estas deben estar ubicadas al azar con una distancia mínima de 20 mm (0,75 pulgadas) entre ellos; superficies planas se recomienda colocar de 3 a 5 referencias. Cuando el objeto no refleja suficiente patrón de luz para proporcionar una primera posición exacta, se puede añadir 4 referencias alrededor del objeto, con el fin de conseguir suficiente información de posicionamiento para iniciar la exploración (ver anexo C, literal 3).

En la figura 52, literal (a) se ilustra un ejemplo de distribución correcta de las referencias de posicionamiento, mientras que (b) y (c), denotan el uso incorrecto de las mismas; no se deberá hacer varios grupos o colocarlos en línea.



**Figura 52 Colocación de las referencias de posicionamiento**

Fuente: (Creaform, 2013)

La cantidad de referencias, varían en función del tamaño del objeto y sólo son retiradas finalizado el escaneo. Estas referencias son de mucha utilidad cuando se pierde la señal del equipo y se desea reanudar con el escaneo.

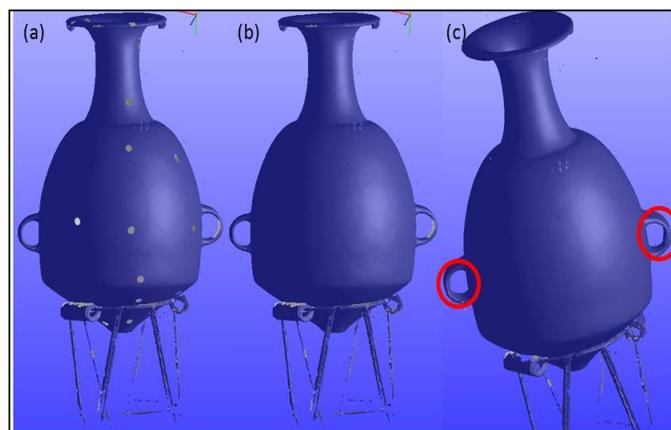
#### 3.1.4. Edición de objetos

Luego del proceso de escaneado, se procede a editar el modelo 3D, con la finalidad de obtener un modelo terminado, por lo cual, se realizan ediciones: preliminar en Vxelements y final en los programas Geomagic Design X y ZBrush.

##### Edición preliminar

El software Vxelements, de edición estándar, no cuenta con todas las herramientas necesarias de edición, sin embargo, ofrece cinco opciones de edición: rellenar blancos de referencia, optimización de facetas, decimado de triángulos, cerrar agujeros y eliminar parches aislados, los cuales se detallan en el anexo D, literal 1. También, permiten reducir el tamaño del archivo y ahorrar espacio en el disco del ordenador.

La figura 53, ilustración (a) es un Aríbalo Inca escaneado, usando referencias de posicionamiento, las cuales están representadas por los huecos alrededor del objeto. En (b) y (c) se rellenaron blancos de referencia y cerraron agujeros respectivamente.



**Figura 53 Edición en Vxelements**

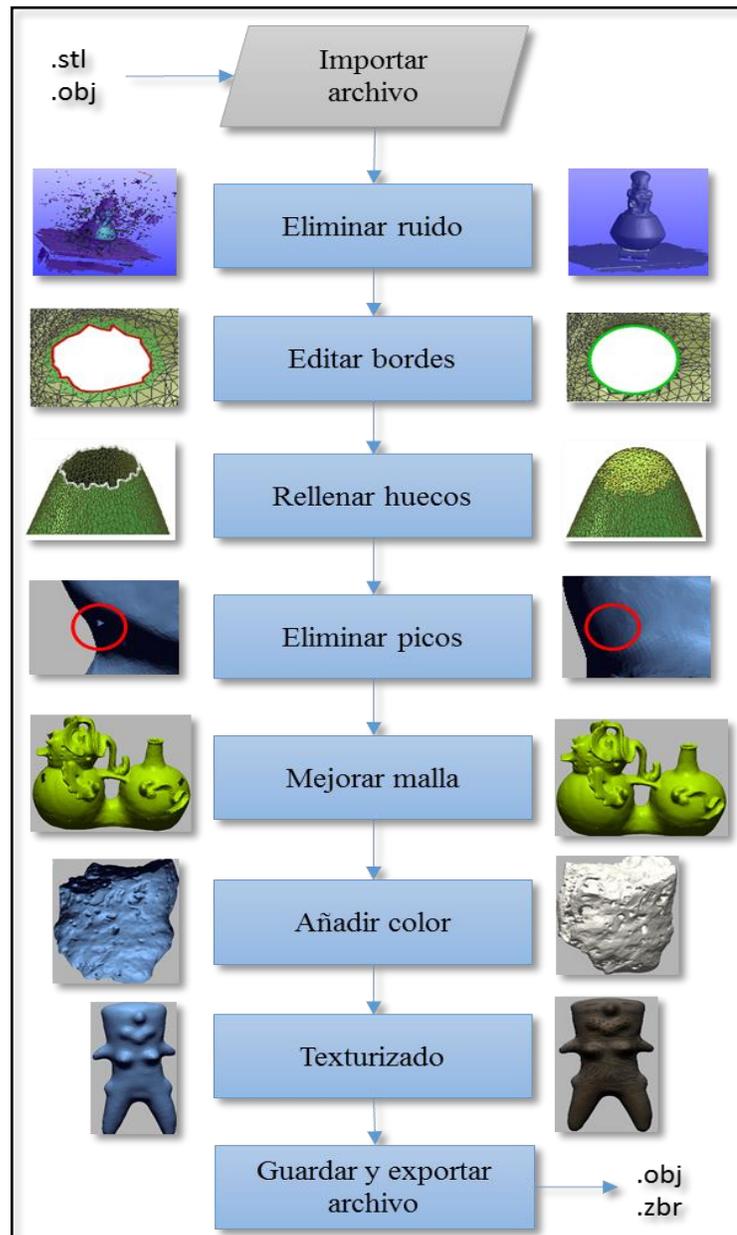
La cesión permite abrir el archivo, únicamente, en Vxelements y se guarda en .csf, mientras que la faceta (una malla de triángulos que sirve para definir la forma del objeto) puede guardarse en .stl, ya que es un formato de interoperabilidad con otros programas, pero también puede ser guardada en diferentes formatos. A continuación, en la tabla 12 se enlistan algunos formatos producidos por Vxelements:

**Tabla 12**  
**Formatos de archivos producidos por Vxelements**

<b>Formato de archivo</b>	<b>Descripción</b>
.CSF	Contiene los datos adquiridos de una sesión específica y se compone de uno o muchos proyectos.
.STL	Formato de salida principal y compatible con diversas aplicaciones de software de post-procesamiento. Incluye facetas producidas, pero no guarda información de textura.
.OBJ	Se compone de tres archivos: OBJ (guarda la geometría del objeto), BMP (contiene la textura), y MTL (posee las propiedades de representación). No pueden ser renombrados y no deben tener ningún espacio en su nombre.
.IGES	Se exportan las entidades geométricas

### Edición final

En la figura 54 se indican los procesos ejecutados para la edición final de los modelos 3D. Los siete primeros pasos se realizan en el software Geomagic Design X 1.0, mientras que para adjuntar textura se utiliza ZBrush 4R7. La licencia de estos programas es copyright, pero se puede descargar una versión de prueba. Su instalación es muy sencilla y el procedimiento se encuentra en el anexo E.



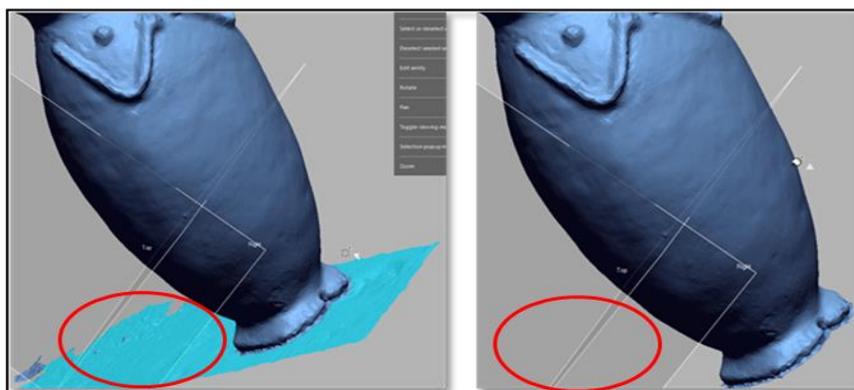
**Figura 54 Procedimientos para edición final**

- Importar archivo

Importar el archivo a trabajar, este software permite importar un sin número de formatos: stl, obj, xyz, 3ds, ply, wrl, iges, dxf, pix, m3d, dat, entre otros; para este caso, se usa la faceta guardada en .STL.

- Eliminar ruido

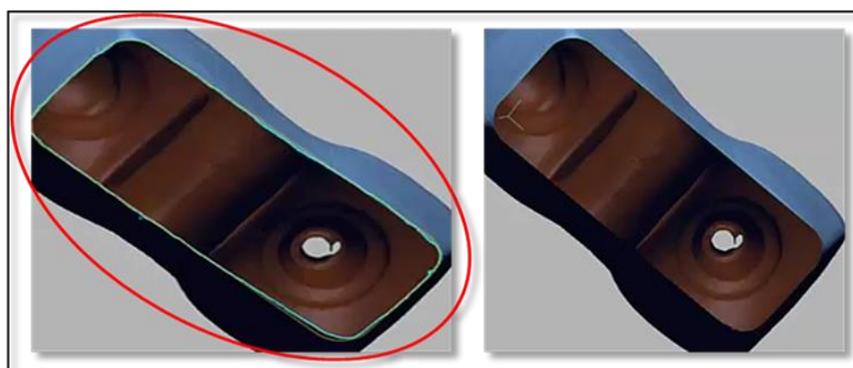
Las herramientas de selección, ya sean por entidad o caras, permiten eliminar el ruido (facetas no deseadas capturadas durante el proceso de escaneo). En la figura 55, se muestra la edición de la información innecesaria (caras de color turquesa), con el propósito de obtener, únicamente, el modelo escaneado.



**Figura 55 Eliminación de ruido**

- Editar bordes

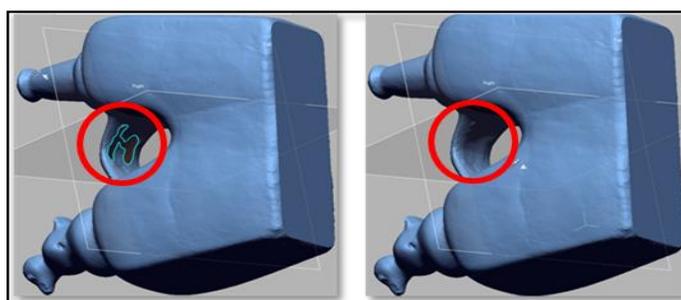
Previo a rellenar huecos grandes, suavizar, eliminar y/o definir una forma geométrica en el contorno de los bordes de la malla. En la figura 56, el borde seleccionado se encuentra en color turquesa y dependiendo del método elegido (en este caso: ajustar a una forma de entidad rectangular), el cambio a efectuarse se observa en color verde.



**Figura 56 Edición del contorno de un borde**

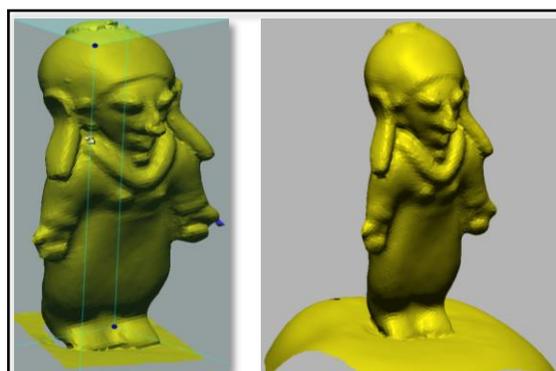
- Rellenar huecos

Editados los bordes, se rellenan los huecos, mediante el uso de caras planas y/o siguiendo una curvatura. En la figura 57, en la derecha, se rellenó un hueco basado en la curvatura de la malla; si los huecos son pequeños, no es necesario realizar el paso anterior, pero si los huecos no se rellena, puede ser porque hay caras que no se observan a simple vista y para esto, se debe editar los bordes o suprimir triángulos.



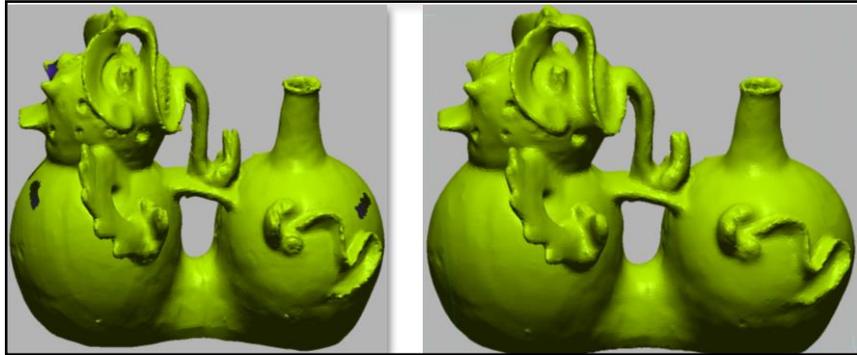
**Figura 57 Edición de huecos**

También, se editan las áreas faltantes en la malla, basadas en sus formas geométricas a través de la opción “Rewrap”, pero se debe tener cuidado del resultado, porque además, suaviza y mejora la calidad de una malla al mismo tiempo, perdiendo así la forma y detalles en ciertas áreas, como en este caso: rostro, manos y pies. Esta opción permite seleccionar, únicamente, a todo el objeto y no una parte (ver figura 58).



**Figura 58 Rellenado completo del modelo**

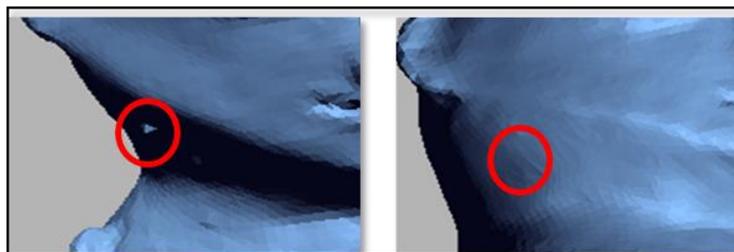
Si los resultados no son los esperados, otra alternativa es recrear globalmente una malla y mejorar la calidad de la misma, utilizando “Global Remesh”. En la figura 59, se muestra el modelo 3D sin agujeros y la eliminación de caras superpuestas, obteniendo una forma más redondeada y menos áspera en los bordes de las alas, boca y figuras del cántaro.



**Figura 59 Rellenado y mejoramiento de una malla**

- Eliminar picos

Luego, se seleccionan las formas de entidad que no se ajustan a la geometría de la malla, como es el caso de picos o crestas. Automáticamente se eliminan y rellenan las caras en las áreas seleccionadas (ver figura 60).



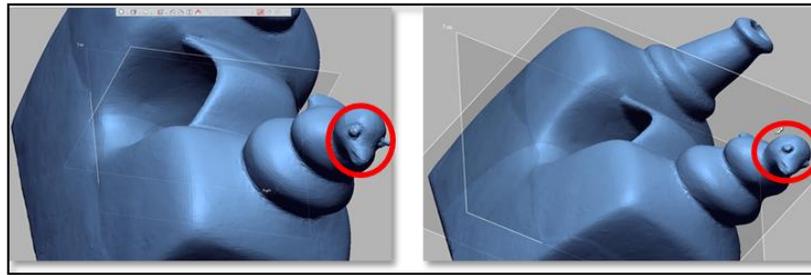
**Figura 60 Eliminación de picos**

- Mejorar malla

Con los resultados preliminares descritos, se obtiene un modelo completo sin espacios cóncavos para optimizar parcialmente una malla y mejorar la calidad de la misma, seleccionado las partes deseadas o su totalidad. Las siguientes opciones permiten:

- “Smooth”: reducir el efecto del ruido y la rugosidad.
- “Decimate”: reducir la triangulación.
- “Clean”: equilibrar el balance de los vértices.
- “Enhance”: afilar y suavizar esquinas redondeadas.
- “Deform”: deformar zonas seleccionadas.

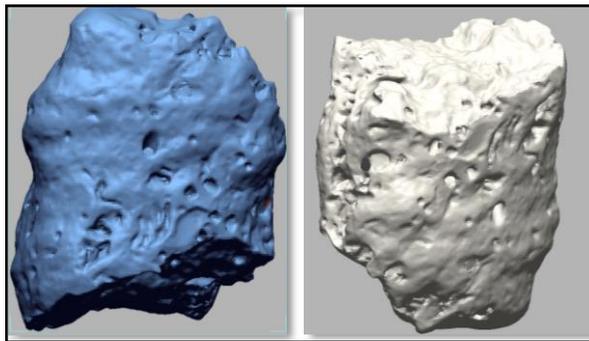
En la figura 61, se ilustra cómo se deformó la cresta del ojo derecho del ave, el suavizado de los dos ojos y también la limpieza del pico.



**Figura 61 Mejoramiento de malla**

- Añadir Color

Se añade color en objetos que tienen color uniforme (superficie especular), ya que el programa, permite colocar y manipular un tono en su totalidad. Geomagic, reconoce el color como textura, por lo tanto, no se añaden las dos opciones (color y textura) en un solo modelo. En la figura 62, se observa un pedazo de arrecife escaneado y el mismo objeto con tonalidad.



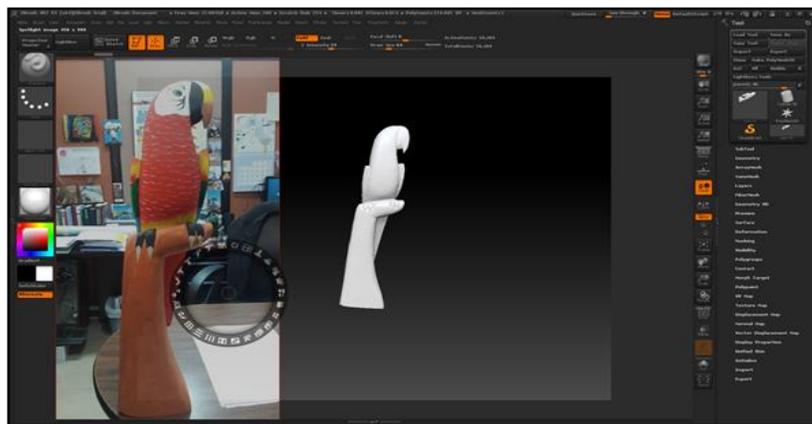
**Figura 62 Añadir color**

- Texturizado

Con el propósito de que las piezas se identifiquen como las originales, se adjunta textura 2D a través de una fotografía en una malla, para lo cual, se utiliza el software ZBrush 4R7, y no con Geomagic Design X; ya que las fotografías no cubrían por completo al modelo, obteniendo zonas sin información.

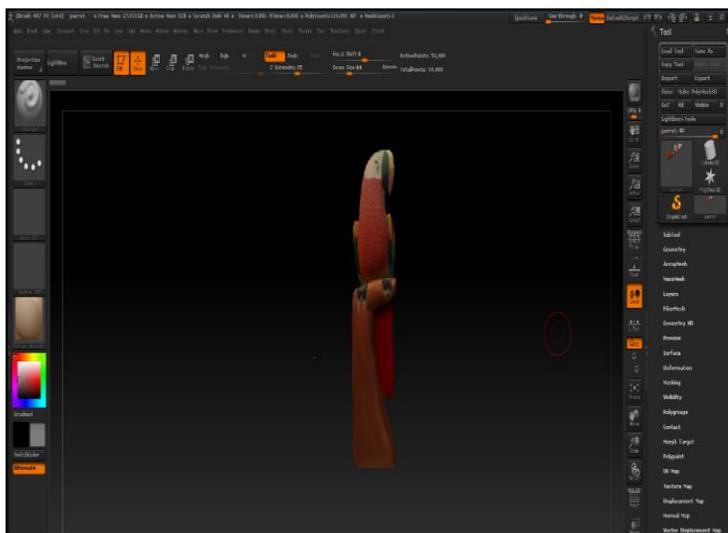
El archivo limpio y editado, obtenido de Geomagic, guardar de preferencia en .obj e importar en ZBrush. Después, cargar la fotografía colocada como textura y si esta se abre correctamente, se muestra junto con una rueda de herramientas, que permiten cubrir el modelo 3D con la imagen. Cuando sus detalles principales calcen con las de la imagen, se pinta digitalmente; si el objeto presenta espacios en blanco, significa que no está cubierta por la fotografía, por lo que la imagen debe sobrepasar un poco los bordes del modelo 3D.

En la figura 63 se indica el modelo 3D (derecha) y la imagen (izquierda) utilizada como textura, más la rueda de herramienta que permite ajustar la imagen con el modelo 3D.



**Figura 63 Representación de la imagen usada como textura**

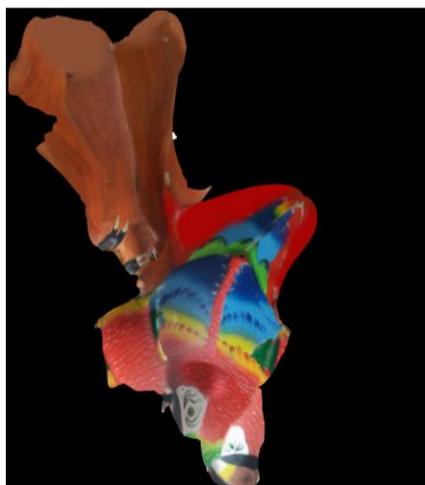
Cuando se ajusta la imagen con el modelo, no se debe mover el objeto, ya que la imagen no se sincroniza conforme al objeto, y al pintar la parte de color se distorsiona o cambia de tonalidad. Pintada la primera cara, se hace lo mismo para todas las vistas 3D. También, se pinta usando la paleta de colores, teniendo en cuenta, que el tono debe ser muy parecido al color del objeto para evitar un cambio visual en la textura (ver figura 64).



**Figura 64 Edición de color**

- Exportar y guardar archivo

Pintado el objeto, crear el mapa de textura, que establece cómo la textura se sitúa sobre el objeto y es similar al papel regalo que se envuelve a una caja. En la figura 65, se observa el mapa de textura que al proyectarse se desenvuelve en un plano 2D. Este mapa debe ser exportado en formatos de imagen, en este caso jpg. Por último, guardar la sesión en .zbr y exportar el objeto en .obj, el cual se utiliza para representación en 3D.



**Figura 65 Mapa de textura**

Se capturaron 33 objetos; 20 indistintos y 13 patrimoniales, de los cuales seis, únicamente fueron utilizados en la calibración del GoSCAN y cinco carecen de información suficiente para ser modelados. En la tabla 4.3 se presentan los resultados no editados, mientras que la tabla 4.5, muestra el resultado de los objetos y piezas patrimoniales editadas, texturizadas o añadidas color.

### **3.2. Planificación, configuración, captura y edición del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito**

En el escaneo del retablo sur de la Iglesia de San Francisco de Quito, se utilizó el equipo Trimble TX5 Laser Scanner basándose en la metodología de (Burón, 2014). Los procesos se dividieron en dos fases: campo y gabinete; los cuales se detallan a continuación.

#### *3.2.1. Planificación*

##### Posicionamiento de las estaciones de escaneo.

Antes de determinar las posiciones del scanner, se obtiene información acerca del lugar a escanear, debido a que pueden existir obstrucciones en su ubicación o restricciones temporales en el acceso, como en este caso al tratarse de la iglesia un bien público, no se puede restringir el ingreso a los visitantes, provocando que el área de trabajo sea obstaculizado. Con la finalidad de lograr posiciones óptimas del estacionamiento del scanner, se consideraron algunos puntos (ver apartado 2.2.3).

Analizado el lugar, se procedió a realizar pruebas a diferentes distancias y posiciones. El escaneo del retablo se llevó a cabo en cuatro diferentes posiciones: la primera (a), al igual que la última; sobre un andamio de 3m (d), se ubicaron en el centro, siguiendo una línea imaginaria paralela al retablo a una distancia de 3.5m; la segunda (c) y la tercera (b) a 2.50m del retablo (ver figuras 66 y 67).



**Figura 66 Posicionamiento de las estaciones de escaneo**



a) Centro del retablo



b) Lateral izquierdo del retablo

Continua 



c) Lateral derecho del retablo

d) Sobre un andamio de 3m

**Figura 67 Ubicación de las cuatro estaciones de trabajo**

Para obtener un punto de vista diferente y escaneos de zonas ocultas, se realizó el posicionamiento del scanner sobre un andamio, pero este era inestable, debido a la falta de apoyo sobre una estructura de la iglesia; dificultando la nivelación del equipo.

Después de haber establecido las posiciones óptimas, se continuó al estacionamiento del scanner, que generalmente sigue un procedimiento similar al de una estación total; llevándose a cabo el montaje del trípode sobre el cual se sujeta y coloca el scanner y finalmente, se nivela, para más detalle ver anexo F literal 1.1.

#### Posicionamiento de puntos de referencia.

Los diferentes puntos de referencia deben cubrir toda el área de escaneo; por tanto, se toma en consideración lo descrito en el apartado 2.1. En el presente proyecto se utilizaron 5 puntos de referencia (dianas esféricas) en la parte inferior, ubicándolas en lugares accesibles del retablo. No se colocaron puntos de referencia en la parte superior, debido a que la altura del retablo fue un inconveniente (ver figura 68).



**Figura 68 Ubicación de dianas en el retablo**

### Configuración de los parámetros

Previo a la captura de datos se configura el scanner, considerando diversas variables que están relacionadas entre sí, como: el área de captura, resolución, calidad y tiempo de escaneo, para mayor detalle de cómo modificar estas variables ver anexo F literal 1.2.

En este estudio la resolución juega un papel importante, ya que se necesita mayor detalle del retablo. Considerando que la resolución es la distancia entre dos puntos medidos consecutivamente, y es a partir de este parámetro cómo se determina la densidad de puntos de la nube. Por ejemplo en superficies planas, sin mucho detalle se necesitan menos puntos para modelar el objeto, mientras que en superficies con mayor curvatura se necesitan muchos más puntos, incluso a veces más de los que el scanner puede dar.

Hay que decir que cuánto más alta sea la resolución, se escanean más puntos para una misma zona y, por tanto, se tardará más tiempo en la captura, aumentando así el tamaño de los datos almacenados y el tiempo de escaneo. Además, el scanner trabaja con un ángulo constante entre dos puntos consecutivos (basado en coordenadas polares), la resolución dependerá de la distancia al scanner, es decir; los puntos escaneados a una

distancia mayor tendrán una resolución menor, mientras que los puntos más cercanos, una resolución más alta, por ello es aconsejable tomar un punto de muestra en la zona más alejada del scanner.

Estos parámetros se definen según el objetivo del proyecto a realizarse, por lo cual en la tabla 13, se detallan los parámetros utilizados con sus respectivos valores.

**Tabla 13**  
**Parámetros utilizados en la captura del retablo de la iglesia**

N° escaneo	Ángulo Horizontal (grados)	Resolución	Calidad	Tiempo (min)
1 (Centro del retablo)	100-240	1/2	4X	24.57
2 (Lateral izquierdo)	100-250	1/2	4X	18.32
3 (Lateral derecho)	150-250	1/2	4X	18.32
4 (Sobre un andamio)	100-240	1/2	4X	24.57

### 3.2.3. Captura de Información

Establecidos los parámetros de escaneo como son: el área de captura, resolución, calidad y activada la opción de escaneo a color, realizar el proceso de toma, que es totalmente automático; una vez iniciado, el láser se mueve al punto de inicio para empezar la captura de datos que se almacenaran en la memoria insertada en el scanner.

Se tiene en cuenta que para la medición de los puntos, el scanner emite un láser de clase 3R según la norma UNE EN 60825-1 /A2-2002, y por tanto al ver directamente al haz, es peligroso, ya que puede causar daños a las personas. Además, el scanner emite un sonido cuando está midiendo puntos para que se tomen las precauciones necesarias.

Finalizado el escaneo, se puede comprobar en la pantalla del scanner los datos que han sido medidos correctamente, ya que se muestra la nube de puntos a baja resolución.

En este caso, el proceso de estacionamiento y toma de datos se realizó de forma iterativa, en las cuatro estaciones ya establecidas. Para finalizar la captura; apagar el equipo, sacar la memoria del scanner y copiar los archivos escaneados en el ordenador para su post- procesamiento en la fase de gabinete.

#### *3.2.4. Procesamiento de datos*

Para este proceso se utilizó el software Trimble RealWorks (TRW). A continuación, se explican los pasos realizados:

##### Importación de los datos escaneados.

En la etapa de importación, crear un nuevo Proyecto, trabajar con los datos en formato fls., e importarlos. Estos datos se presentan como una nube de puntos en el espacio, cada uno con coordenadas X, Y, Z, un valor de reflectividad e información del color en forma de valores RGB (rojo, verde y azul) (ver figura 69). Para más información acerca de cómo importar la nube de puntos ver anexo F literal 2.1

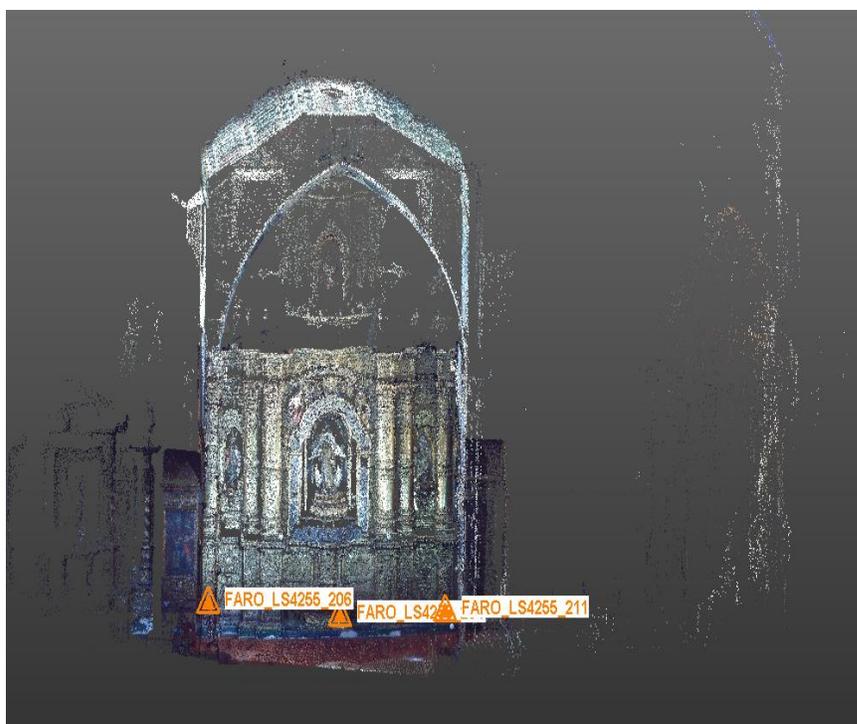


**Figura 69 Nube de puntos del retablo a color**

Orientación relativa: fusión de nubes de puntos.

Importadas las nubes de puntos al visor, se procedió a fusionarlas para realizar la orientación relativa, es decir; referenciales a una estación de escaneo. En este caso, se utilizó la herramienta “Extracción Automática de objetivos y registro”, la cual permite registrar un conjunto de estaciones, mediante el uso de puntos de referencia. El registro se basa en un método de ajuste de mínimos cuadrados utilizando las observaciones del objetivo correspondientes de cada estación (ver anexo F literal 2.2).

A continuación en la figura 70, se muestran las fusiones de las tres nubes de puntos del retablo, las cuales contienen 24 651 644 puntos respectivamente. Además hay que destacar que el escaneo realizado desde el andamio, se descartó debido a la inestabilidad del equipo, lo que provocó la toma de poca información.



**Figura 70 Fusión de la nube de puntos del retablo**

#### Segmentación y muestreo de la nube de puntos

La segmentación de la nube de puntos, es en realidad la eliminación del ruido, refiriéndose a que el ruido es toda aquella información innecesaria que haya podido ser

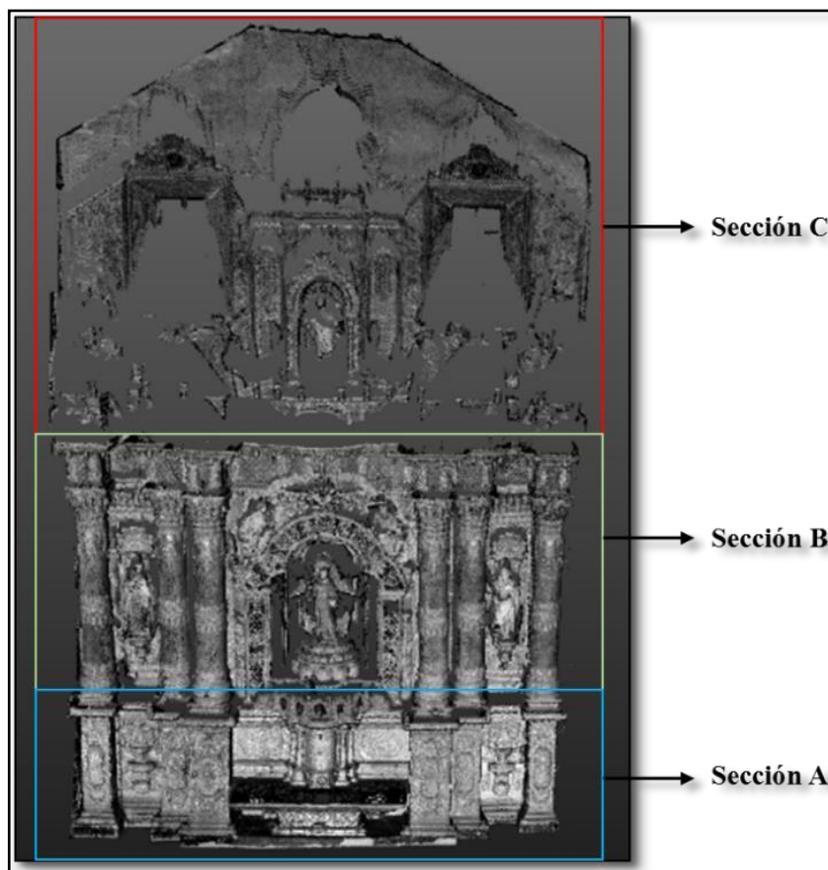
producida por condiciones meteorológicas, edificaciones cercanas, vegetación, tránsito de vehículos o personas, entre otras (ver anexo F literal 2.3).

Es importante realizar la segmentación, ya que el modelo contenía triángulos que conectaban los puntos con ruido a los puntos correctos, produciendo una malla llena de picos. En la figura 71 se ilustra la nube de puntos limpia, la cual fue segmentada hasta eliminar todo el ruido; en este caso, el número de puntos se redujo a 8.882.404, mientras que en la figura 70 se observa la nube de puntos sin segmentar.



**Figura 71 Nube de puntos segmentada**

Previamente a la creación de mallas y relleno de huecos, en esta fase se realizaron tres divisiones de la nube de puntos del retablo tomando en cuenta la complejidad de los detalles y la cantidad de información que posee cada una; sección A parte inferior, B parte central y C parte superior del retablo (ver 72).



**Figura 72 Segmentación de las secciones A, B, C del retablo**

El muestreo no se realizó, ya que hay pérdida de información en los detalles del retablo.

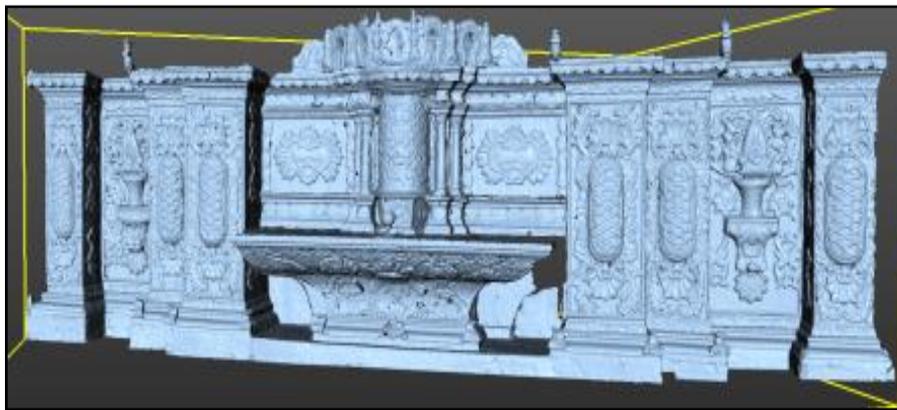
### Creación de mallas

Para crear mallas a partir de nubes de puntos, la conexión entre ellos se realiza mediante triángulos o cuadriláteros, para lo cual existen diferentes algoritmos. La técnica de

modelización con triángulos y tetraedros más populares es la del criterio de Delaunay; este algoritmo se suele optimizar utilizando un método de triangulación, ya sea por proyección plana, esférica, cilíndrica y entre otros; en este caso, se realizó la triangulación sin utilizar ninguna proyección.

La captura del retablo contaba con nubes de varios millones de puntos, por lo que, el mallado se realizó por secciones, anteriormente divididas en la segmentación para poder llevar a cabo el proceso de una forma más sencilla; es decir que el mallado sea rápido sin tener problemas con el funcionamiento del ordenador. Tras esta aclaración, se ejecutó la herramienta de mallado, para más detalle ver anexo F literal 2.4.

En el modelo 3D de la sección A, se capturó información necesaria para crear un modelo completo, debido a que la distancia de la posición del scanner con respecto al retablo era la más cercana, logrando un buen nivel de detalle en el diseño del sotabanco y en las formas de las calles del retablo (ver figura 73).

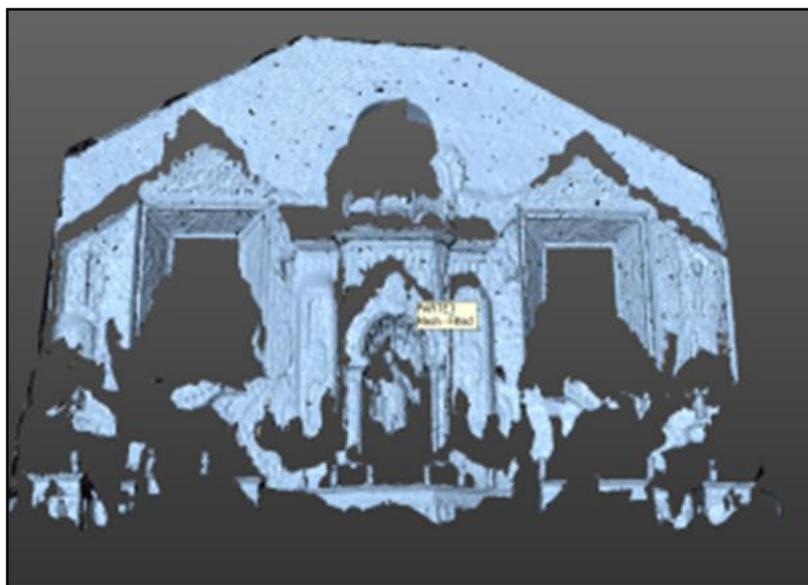


**Figura 73 Malla de la sección A, parte inferior del retablo**

En la sección B y C no se obtuvieron los modelos 3D completos, debido a la ausencia de puntos necesarios para alcanzar el detalle requerido, ya que al visualizar en cualquier software los detalles se deforman. Esto se debe a la presencia de zonas ocultas, a las cuales el scanner no tuvo alcance, desde las cuatro posiciones establecidas anteriormente (ver figuras 74 y 75).



**Figura 74** Malla de la sección B, parte central del retablo

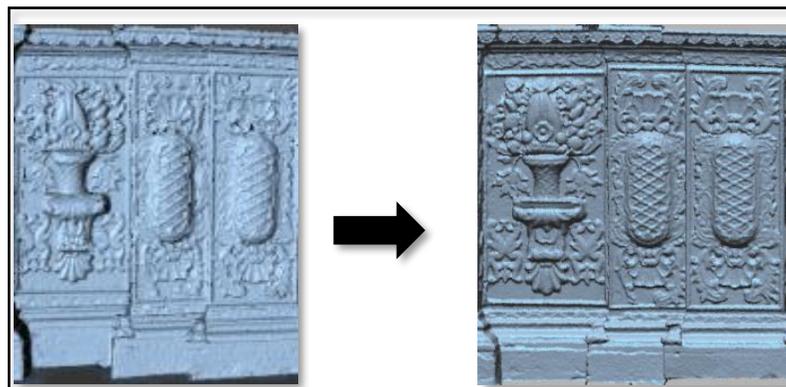


**Figura 75** Malla de la sección C, parte superior del retablo

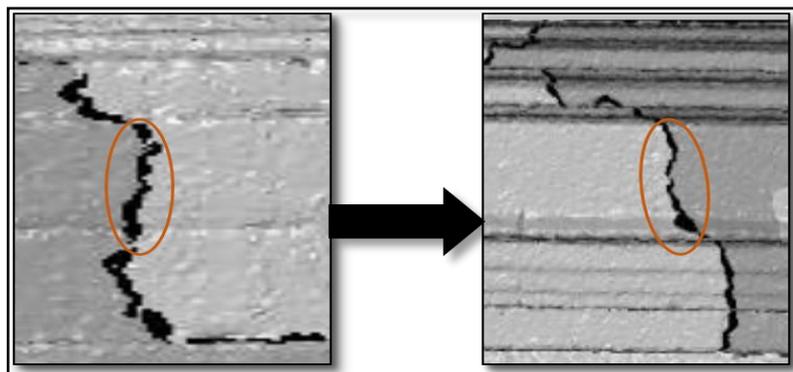
### *3.2.5. Edición de objetos*

El software Trimble RealWorks contiene una herramienta de edición, la cual consta de algunas opciones que se utilizaron para mejorar la malla como son: smooth, refine, invert triangle normals, remove picks. Para más información ver anexo F literal 3.

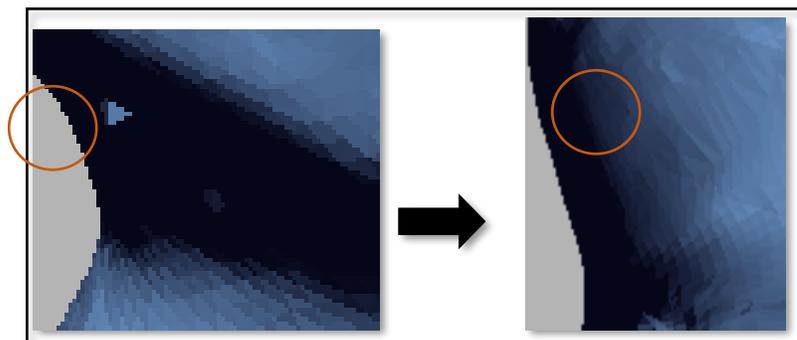
A continuación se puede observar la aplicación de las funciones de suavizar, invertir triángulos y eliminar crestas (ver figuras 76, 77 y 78).



**Figura 76** Presentación del antes y después de haber aplicado la opción smooth



**Figura 77** Presentación del antes y después de aplicar la opción de Invert triangle normals



**Figura 78** Presentación del antes y después de aplicar la opción remove picks

El proceso de edición se lo realizo únicamente a la sección A, ya que las otras secciones no tuvieron la información suficiente debido a los factores limitantes explicados anteriormente. En el apartado 4.2 se puede observar los modelos obtenidos, con sus respectivos análisis.

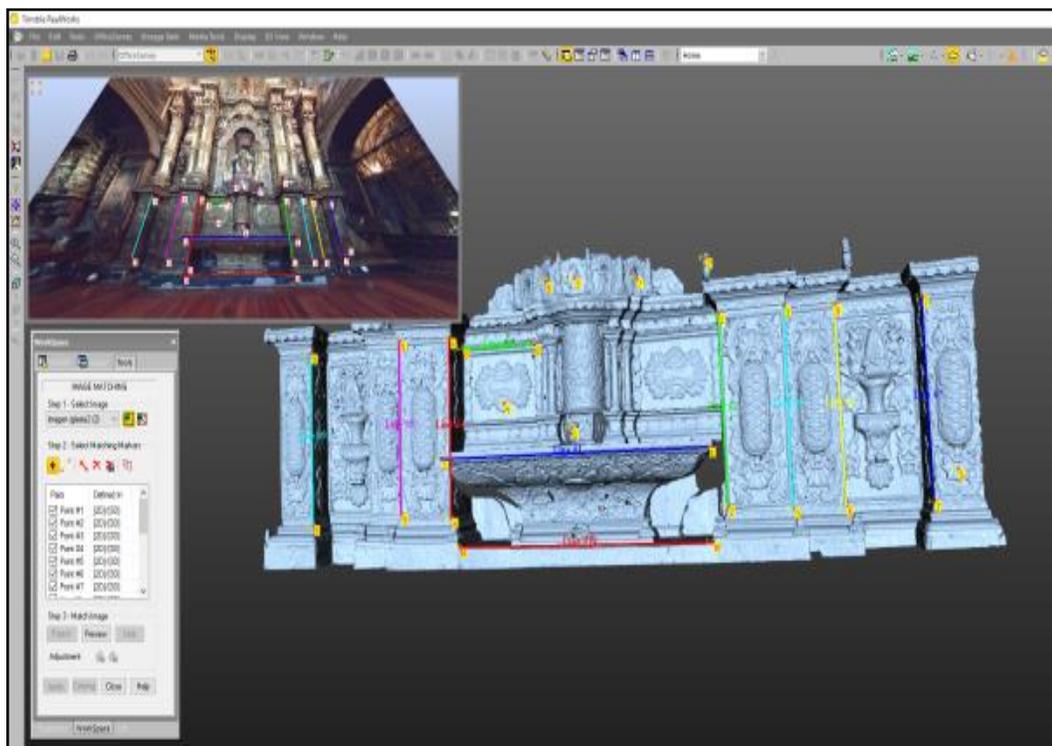
#### Tratamiento de huecos

El siguiente paso es el tratamiento de todos los huecos generados como consecuencia de la falta de puntos, no son más que zonas que no han podido ser tomadas por el scanner por diferentes motivos, en definitivas zonas ocultas no escaneadas. Éste proceso se realizó de forma manual, para lo cual, primero se segmentó los puntos del contorno del hueco a rellenar, una vez definido el contorno se crea una malla y se edita; para más detalle ver anexo F literal 3.

#### Texturizado

La asignación de textura es el proceso mediante el cual se obtiene un modelo foto-realista, para ello se importa una imagen en formato digital al programa, y mediante la opción “Image Matching Tool”, se acopla una imagen 2D a un cuerpo geométrico en 3D. Se debe tomar en cuenta que esta opción puede conllevar a inevitables deformaciones geométricas de la imagen, de tal manera, se da una sucesión de puntos y líneas de forma homogénea por toda el área de coincidencia, entre modelo e imagen para que las distorsiones se distribuyan homogéneamente.

Al realizar la coincidencia de la imagen con el modelo, se utilizó el modelo de la sección A del retablo, en el cual se ubicaron 7 puntos y 10 líneas homologas, debido a que el programa exige dar un mínimo de cuatro puntos; pero bien es cierto que, cuantos más puntos se den, mayor será la precisión (ver figura 79).



**Figura 79 Georreferenciación de imágenes del retablo**

Realizada la georreferenciación de las imágenes, se procedió a editar la malla por última vez para la asignación de textura, la cual consistió en; seleccionar la malla y dentro de la herramienta edición de malla, se eligió la opción textura y la imagen ya georreferenciada y finalmente opción aplicar. Para más información ver anexo F literal 4. El resultado del modelo 3D texturizado de la sección A, se observa en la sección 4.2 y figura 4.6.

### 3.3. Control de calidad

El retablo de la iglesia, a diferencia de los objetos indistintos, presenta varios detalles medibles, por lo cual se realizó dos procedimientos distintos, considerando diferentes parámetros en ambos casos.

En el caso de los objetos indistintos, se evaluó las dimensiones (base y altura) a 10 de 33 modelos virtuales, puesto que 11 no se editaron (ver apartado 3.1.4 y figura 91) y de las 11 piezas pertenecientes al Museo Pumapungo no se logró obtener información de sus fichas de información y sus medidas.

### 3.3.1 Evaluación dimensional de objetos indistintos

Para estimar las diferencias entre los modelos virtuales y reales, se aplicó la prueba de homogeneidad por ji-cuadrado de Pearson utilizando tablas de contingencia. En base a la variable distancia lineal (DL) dispuesta en dos categorías; DL real y DLvirtual, y considerando el apartado 2.6.2, se plantaron las siguientes hipótesis de investigación:

$H_0 =$  Las DL del modelo virtual son las mismas que las DL del modelo real.

$H_1 =$  Las DL del modelo virtual no son las mismas que DL del modelo real

El número de los elementos (10 modelos 3D) que componen la población, no es numerosa y según (Pérez J. , 2006) no se debe calcular el tamaño de muestra, puesto que los objetos son representativos y permiten inferir información del colectivo. En la tabla 14 se indica los parámetros estadísticos considerados.

**Tabla 14**  
**Parámetros estadísticos**

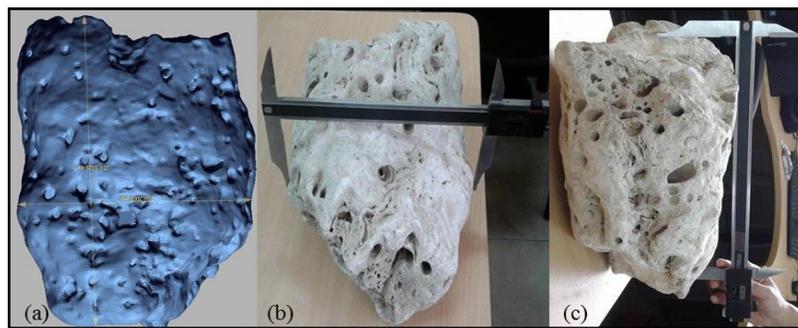
<b>Número de población (N)</b>	10 modelos
<b>Margen de error</b>	1 %
<b>Nivel de confianza</b>	99 %
<b>Nivel de significancia (<math>\alpha</math>)</b>	1 %
<b>Número de muestra (n)</b>	10 modelos

En la tabla 15, se enlistan los 10 modelos utilizados como muestra, los cuales fueron determinados por medio de un muestreo aleatorio simple.

**Tabla 15**  
**Modelos utilizados como muestra**

N°	Nombre de modelos
M1	Máscara de cartón
M2	Polylepis sin corteza
M3	Vaso térmico
M4	Manzana
M5	Arrecife
M6	Roca sedimentaria
M7	Botella de vidrio
M8	Polylepis con corteza
M9	Extintor
M10	Loro de madera

Se realizaron 10 mediciones (ver apartado 2.6.5), tanto de base y altura en los modelos virtuales y objetos reales respectivos. En la figura 80, se observa un ejemplo de las mediciones realizadas en un pedazo de arrecife (M5); el programa Geomagic Studio, se utilizó para medir una distancia lineal (entre dos puntos) en el modelo 3D (fotografía a), mientras que, en el cálculo del mismo segmento de recta sobre el objeto real, se usaron un: calibrador pie de rey digital (marca Mauser) (fotografías b y c) y un flexómetro, obteniendo como resultado preliminar 10 tablas; una por cada modelo.



**Figura 80 Mediciones de un pedazo de arrecife**

En la tabla 16, se presenta un ejemplo de las medidas de base y altura en centímetros (cm), tomadas del software (modelo virtual) y por un pie de rey digital (modelo real) de una máscara de cartón (M1). Las tablas de los otros modelos, se encuentran en el apartado 4.3.

**Tabla 16**  
**Mediciones reales y virtuales de una máscara de cartón (M1)**

n°	Pie de rey		Software	
	Base	Altura	Base	Altura
1	15,69	26,92	15,68	26,87
2	15,68	26,91	15,66	26,88
3	15,66	26,92	15,66	26,88
4	15,66	26,92	15,68	26,87
5	15,67	26,91	15,66	26,87
6	15,66	26,92	15,66	26,88
7	15,68	26,92	15,68	26,88
8	15,66	26,9	15,67	26,89
9	15,68	26,92	15,68	26,88
10	15,69	26,92	15,67	26,87

Luego, para obtener un valor representativo del conjunto de mediciones de cada modelo (M), se calculó la media aritmética (promedio) de la distancia lineal (DL), obteniendo de esa forma las frecuencias observadas tanto para base y altura de la muestra (ver tablas 17 y 18).

**Tabla 17**  
**Frecuencias observadas para la base**

BASE (cm)											
DL	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	TOTAL
real	15,67	3,95	7,98	6,44	25,00	23,55	5,23	6,81	17,72	14,37	126,72
virtual	15,67	3,94	8,11	6,47	25,06	23,78	5,22	6,33	17,67	14,65	126,89
TOTAL	31,34	7,89	16,09	12,91	50,06	47,33	10,45	13,14	35,39	29,01	253,61

**Tabla 18**  
**Frecuencias observadas para la altura**

ALTURA (cm)											
DL	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	TOTAL
real	26,92	67,54	8,95	5,32	31,89	25,55	22,37	70,20	60,31	59,65	378,40
virtual	26,88	67,53	8,91	5,65	31,90	24,96	22,26	70,12	60,38	59,26	377,86
<b>TOTAL</b>	53,79	135,06	17,87	10,97	63,79	50,21	44,63	140,32	120,69	118,92	756,26

Para calcular las frecuencias esperadas de cada frecuencia observada, se aplica la ecuación 2.2. Así, por ejemplo, la frecuencia esperada de la base para el valor de 15,67 (tabla 3.7 del M1), el valor esperado sería:

$$e = (126,72) * \frac{31,34}{253,61}$$

$$e = 15.66 \text{ cm}$$

Obteniendo las tablas 19 y 20, que contienen las frecuencias esperadas para base y altura:

**Tabla 19**  
**Frecuencias esperadas para cada frecuencia observada de base**

BASE (cm)											
DL	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	<b>TOTAL</b>
real	15,66	3,94	8,04	6,45	25,01	23,65	5,22	6,57	17,68	14,50	126,72
virtual	15,68	3,95	8,05	6,46	25,05	23,68	5,23	6,58	17,71	14,52	126,89
<b>TOTAL</b>	31,34	7,89	16,09	12,91	50,06	47,33	10,45	13,14	35,39	29,01	253,61

**Tabla 20**  
**Frecuencias esperadas para cada frecuencia observada de altura**

ALTURA (cm)											
DL	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	TOTAL
real	26,92	67,58	8,94	5,49	31,92	25,12	22,33	70,21	60,39	59,50	378,40
virtual	26,88	67,48	8,93	5,48	31,87	25,09	22,30	70,11	60,30	59,42	377,86
<b>TOTAL</b>	53,79	135,06	17,87	10,97	63,79	50,21	44,63	140,32	120,69	118,92	756,26

Aplicando la ecuación 2.3, calcular el valor de ji-cuadrado tanto para la base y altura;

Base:

$$x^2 = \frac{(15,67 - 15,66)^2}{15,66} + \frac{(3,95 - 3,94)^2}{3,94} + \dots + \frac{(14,65 - 14,52)^2}{14,52}$$

$$x^2 = 0,02$$

Altura:

$$x^2 = \frac{(26,92 - 26,92)^2}{26,92} + \frac{(67,74 - 67,78)^2}{67,78} + \dots + \frac{(59,26 - 59,42)^2}{59,42}$$

$$x^2 = 0,01$$

Se calcula los grados de libertad, a través de la ecuación 2.4.

$$v = (2 - 1)(10 - 1) = 9$$

Finalmente, el valor de ji-calculado se comprara con el ji-tabulado y se acepta o rechaza la hipótesis nula (ver apartado 4.3).

### 3.3.2 Evaluación dimensional del retablo de la Iglesia de San Francisco

Para comparar los valores del modelo virtual y real, se consideró un tamaño muestral de 35 detalles de la sección inferior, con la finalidad de garantizar la normalidad de la media, aplicando el teorema de límite central (ver apartado 2.6.3). La muestra se determinó por medio de un muestreo aleatorio simple; seleccionando los detalles con formas regulares y distancias lineales (DL) mayores a 30cm.

Se realizaron 10 mediciones (ver apartado 2.6.5) de cada detalle. En la figura 81, se muestra un ejemplo de las mediciones tomadas entre dos puntos, tanto en el modelo 3D (b) como en el objeto real (a), utilizando el software Geomagic Studio y un metro láser respectivamente.



**Figura 81 Mediciones de la sección A (parte inferior del retablo)**

Para determinar un valor representativo de las mediciones de los 35 detalles, se calculó la media aritmética ( $\bar{x}$ ) en centímetros (cm), obteniendo así la tabla 21. Además, se enlistan los valores de las distancias lineales (DL) medidas en el objeto real y modelo virtual (sección inferior del retablo).

**Tabla 21**  
**Valores de las DL de los detalles del retablo sur de la iglesia**

Nº detalles del retablo	DL objeto real	DL modelo virtual	DL modelo virtual - DL modelo real
1	227.62	227.69	0.07
2	227.33	227.40	0.07
3	41.25	41.28	0.03
4	222.85	222.78	-0.07
5	57.89	57.94	0.05
6	39.75	39.69	-0.06
7	41.20	41.26	0.06
8	85.60	85.53	-0.07
9	32.35	32.38	0.03
10	39.41	39.36	-0.05
11	66.80	66.88	0.08
12	75.35	75.30	-0.05
13	97.62	97.58	-0.04
14	54.62	54.68	0.06
15	39.41	39.45	0.04
16	33.30	33.36	0.06
17	39.35	39.25	-0.10
18	218.00	217.95	-0.05
19	54.10	54.16	0.06
20	109.70	109.74	0.04
21	336.15	336.22	0.07
22	97.95	97.88	-0.07
23	187.15	187.25	0.10
24	70.65	70.71	0.06
25	73.05	73.10	0.05
26	67.75	67.83	0.08
27	71.40	71.47	0.07
28	105.67	105.74	0.07
29	120.95	121.02	0.07
30	30.50	30.56	0.06
31	42.55	42.61	0.06
32	33.10	33.15	0.05
33	93.75	93.79	0.04
34	190.45	190.52	0.07
35	164.15	164.21	0.06
$\bar{x}$	99.68	99.71	<b>0.03</b>

Con el propósito de validar el modelo 3D obtenido, se determinó un error medio de 0,03cm; que resulta del promedio de las diferencias de las distancias lineales del modelo virtual con respecto a su objeto real. Adicionalmente, se estimó un margen de error para establecer un intervalo de confianza.

En la tabla 22, se detallan los parámetros utilizados para calcular el intervalo de confianza (IC) (ecuación 2.5):

**Tabla 22**  
**Parámetros estadísticos**

<b>DATOS</b>	
<b>n</b>	35
<b><math>\sigma</math></b>	0,06
<b>Nivel de confianza</b>	95%

$$IC = 0,03 \pm 1,96 \left( \frac{0,057}{\sqrt{35}} \right)$$

$$IC = (0,03 \pm 0,02)cm$$

$$IC = (0,3 \pm 0,2)mm$$

### 3.4. Representación

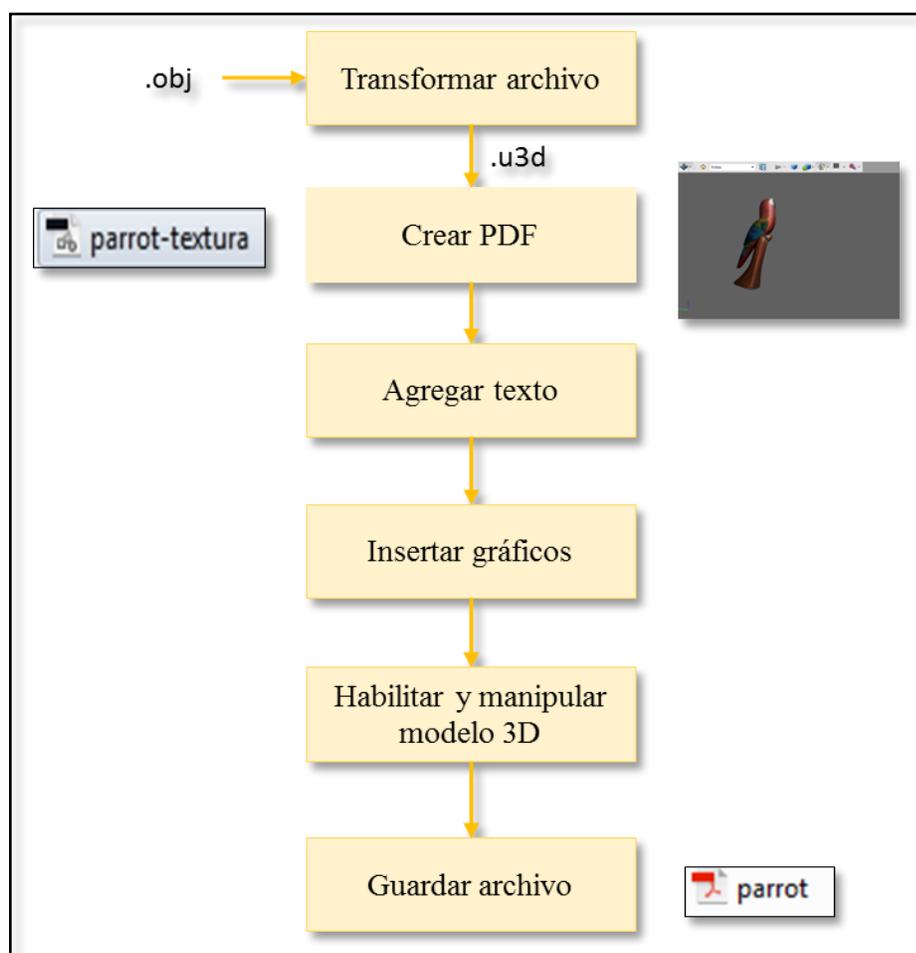
Los objetos escaneados con scanner de mano y terrestre, fueron representados mediante: simulación 3D, realidad aumentada e impresión 3D.

#### 3.2.1. Simulación 3D

Previo a la simulación 3D, se utilizó el software Photoshop; transformando los archivos .obj en .u3d, para importarlos en Adobe Acrobat Pro DC. La elaboración del pdf, se puede realizar de dos maneras: insertando un archivo en formato imagen como portada

del modelo 3D o, únicamente, el modelo. Visualizado el objeto, se diseña la presentación del pdf 3D, ya sea insertando texto, agregando imágenes y/o archivos multimedia. Finalizado la elaboración del documento, se guarda en extensión .pdf y es compatible para otros usuarios a partir de Acrobat 5.0.

Los procedimientos para elaborar PDFs 3D, se ilustran en la figura 82 y se detallan en el anexo G.



**Figura 82 Procedimiento para simulación 3D**

En la figura 83 se ilustra un ejemplo de elaboración del pdf 3D de un objeto de madera texturizado. No se utilizó una imagen como portada.

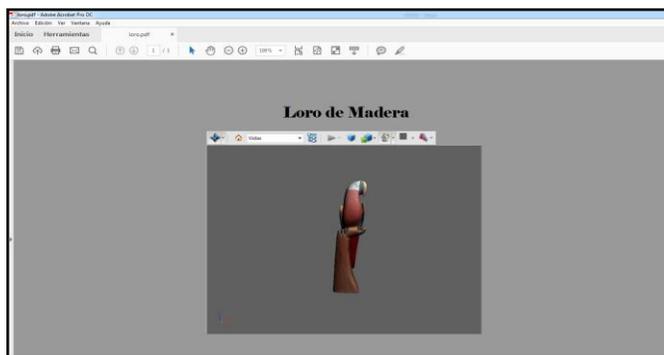


Figura 83 Visualización en Abode Acrobat pro Dc

3.2.2. Realidad Aumentada (RA)

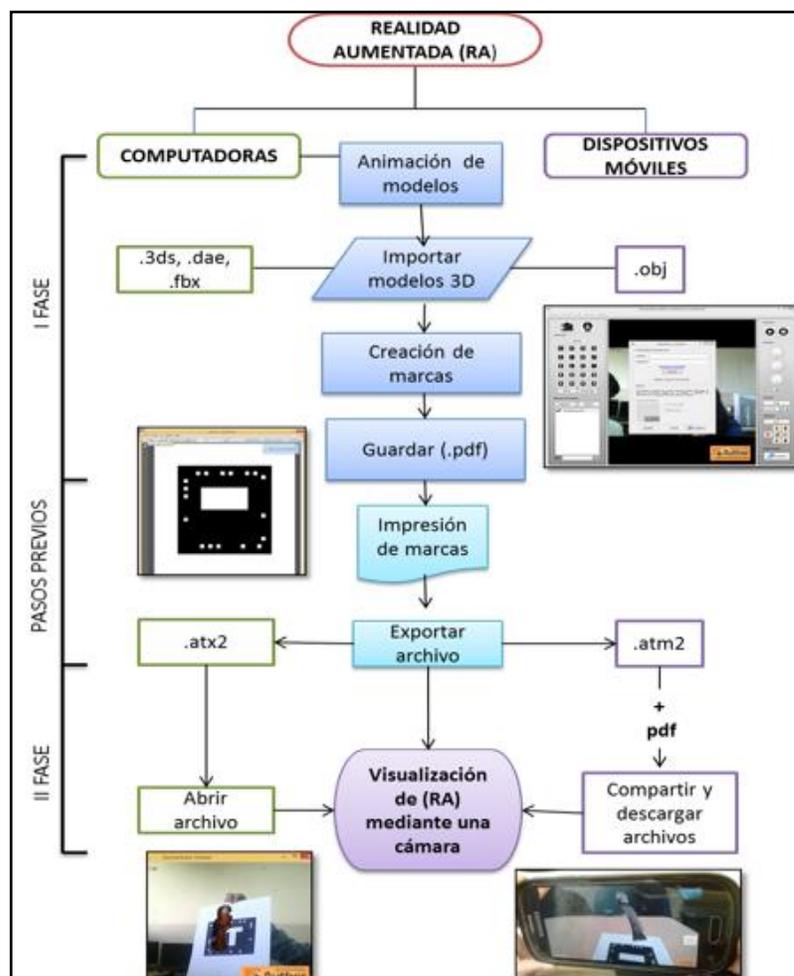
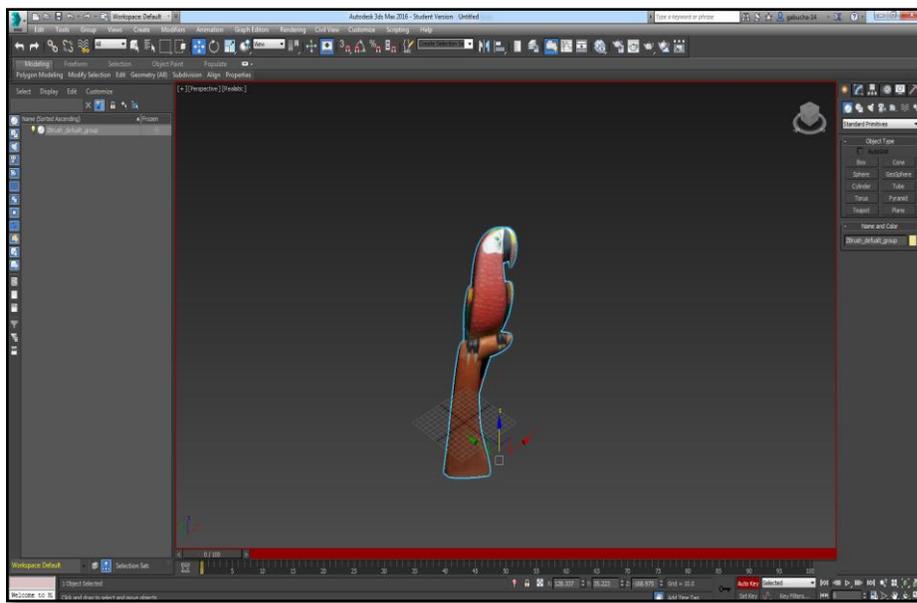


Figura 84 Procedimientos para realidad aumentada

La representación de los modelos 3D en realidad aumentada se puede realizar para computadoras y dispositivos móviles, cuyo procedimiento se divide en dos fases; la primera fase trata acerca de la creación de marcas RA, mediante el software Aumentaty Author, mientras que en la segunda fase, se visualiza realidad aumentada con Aumentaty Viewer. Los procedimientos se detallan en la figura 84.

### Animación 3D

Para visualizar todas las caras del objeto virtual, se añadió movimiento al modelo 3D, utilizando el software Autodesk 3ds Max; todos los detalles se encuentran descritos en el anexo G literal 1. Este programa graba movimientos que le asignen al objeto; ya sean de traslación, rotación o escala; designando el tiempo de la animación por medio de cuadros (frames). Cuando se inicia el proceso de grabación, el contorno del lienzo se presenta en color rojo, tal como se observa en la figura 85.



**Figura 85 Grabación automática usando Autodesk 3ds Max**

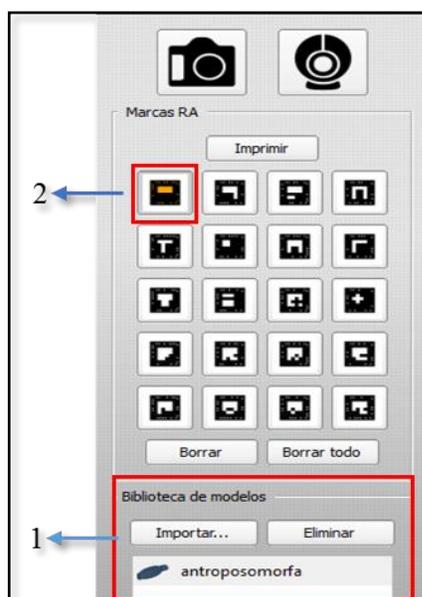
Finalizada la animación, se exporta el archivo en .fbx, que guarda la textura y movimientos, utilizados para realizar realidad aumentada.

### Importar modelos 3D animados

Los modelos 3D con animación, se importan en Aumentaty Author; se debe considerar que los formatos compatibles en la creación de realidad aumentada para computadoras pueden ser: modelos 3D soportados (.3ds, .fbx, .obj, .dae), de imagen (.bmp, .jpg, .jpeg, .png), video (.mpg, .avi, .mp4), mientras que en dispositivos móviles, únicamente, en .obj.

### Creación de marca RA

Los archivos importados se localizan en la biblioteca de modelos (1), a los cuales se les designa una marca RA, que cambia de color negro a anaranjado (2) cuando el modelo está completamente cargado (ver figura 86 y para más detalle, anexo G literal 2) .



**Figura 86 Creación de una marca de RA**

### Guardar e imprimir marcas de RA

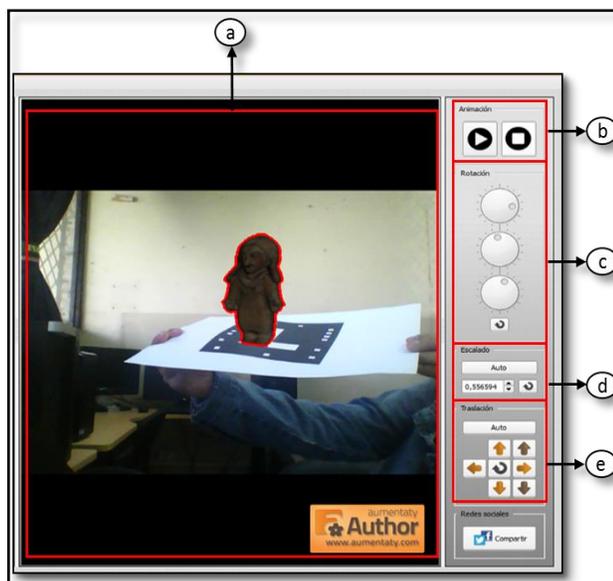
Previo a la visualización de RA, la marca creada debe guardarse en .pdf e imprimirla. Cada modelo se asigna en una marca diferente o puede ser reemplazada, borrando el contenido de la misma.

## Visualización de RA

Existen dos opciones de exportar el archivo creado: computadoras y dispositivos móviles. En el caso de computadoras, se guarda en formato .atx2 y en el segundo caso, en .atm2.

- En computadoras

El modelo animado se visualiza en el visor del programa (a), enfocando la marca RA impresa en la webcam del computador, la misma que debe estar activada. En el panel derecho del interfaz de trabajo, existen funciones para realizar ajustes al modelo en realidad aumentada como: animación (b); si el objeto importado tiene alguna animación, esta opción se activa automáticamente, junto con los iconos de “PLAY” y “STOP”, rotación (c); este contiene tres botones para la rotación del objeto ya sea en el eje Y, X y Z. Además, posee la opción de deshacer los cambios realizados con estos modificadores (icono con una flecha circular), escalado (d); esta opción puede mantener o cambiar la escala de los objetos y traslación (e); mantiene la posición de importación del objeto o se puede modificar con las flechas de color naranja y grises (ver figura 87).



**Figura 87 Visualización de RA en computador**

- En dispositivos móviles

Para visualizar realidad aumentada en dispositivos móviles, previamente se descarga la aplicación Aumentaty Viewer, archivos con extensiones .atm2 y .pdf; pueden ser compartidos mediante redes sociales y descargarse en: YouTube, 4shared, Dropbox, entre otros.

Descargado el archivo en el celular, se abre automáticamente con Aumentaty Viewer y se observa la escena cargada en una marca (ver figura 88), que se visualiza activando la cámara del móvil y enfocando la marca RA impresa.



**Figura 88 Visualización de RA en computador**

### 3.3.3. Representación física

La representación física se materializó mediante impresiones 3D, por medio de una impresora profesional de marca “dimension SST 1200es”, que utiliza tecnología de modelado por deposición fundida (MFD), es decir por capas.

Previo al proceso de impresión se prepara la máquina, la cual consiste en insertar cartuchos con el material (filamentos de plástico de color negro) para formar el objeto y su base de apoyo. Además, se creó el archivo de construcción que define trayectorias a seguir para formar la pieza; por lo que primero se abrió el archivo con extensión .stl en

el software Catalyst o Insight y seleccionar el espesor de material, color y corte, después se hizo clic en “Imprimir” y seleccionar la opción inicio de la impresora. Se esperó cierto tiempo hasta que la maquina caliente la cámara de construcción y lleve la licuadora de plástico a temperatura de operación.

El proceso de construcción inició con pocas capas de “material de apoyo” para formar la base y con el movimiento del cabezal de extrusión sobre una mesa XY, establece un hilo de material y al terminar cada capa, la mesa Z baja ligeramente para que continúe la siguiente capa. Finalmente, cuando la pantalla de la impresora 3D muestra "Terminado", se espera hasta que se enfríe el objeto y se abre la puerta de la cámara para retirarlo. En la figura 89, se observa un prototipo a pequeña escala, localizado en la cámara de la impresora.



**Figura 89 Impresión 3D**

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.0 Resumen

En este capítulo se muestran los resultados de la configuración, captura y edición de objetos y piezas patrimoniales con GoSCAN, así como del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito con Trimble TX5.

#### 4.1. Resultados de la configuración, captura y edición de objetos y piezas patrimoniales.

Se escanearon 19 objetos indistintos y 13 piezas pertenecientes al Museo de Pumapungo de la ciudad de Cuenca. A partir de los datos obtenidos por el scanner de mano GoSCAN 3D y durante el proceso de captura se obtuvieron las tablas 23 y 24 que muestran el valor de la configuración del equipo de acuerdo al material de cada objeto, nombre, tipo de textura y dimensiones de cada pieza escaneada. En la figura 91 y tabla 27 se muestran los modelos 3D de cada objeto.

**Tabla 23**  
**Calibración de objetos de diferente tamaño, material y textura**

N°	Nombre del objeto	Material	Textura	Largo x ancho (cm)	Obturador (mls)
1	Casco de moto	Fibra de vidrio	Lisa		8,0
2	Concha	Sustancias minerales	Rugosa		1,0
3	Balón de futbol	Cuero	Lisa		3,0
4	Máscara	Cartón	Rugosa	15,67 x 26,92	3,3
5	Objeto decorativo	Cerámica	Lisa		3,5
		Barro	Rugosa		5,5
		Madera	Lisa	14,37 x 59,65	5,5 - 6,0

Continua 

<b>6</b>	Polylepis con corteza	Corteza exfoliante	Rugosa	6,81 x 70,20	6,5
<b>7</b>	Polylepis sin corteza	Madera	Lisa	3,95 x 67,54	7,5
<b>8</b>	Peluche	Tela	Rugosa		5,6 - 6,5
<b>10</b>	Plato decorativo	Bronce	Lisa		1,5 - 2,2
<b>11</b>	Faro de carro	Fibra de vidrio	Lisa	19,96 x 14,23	2,0
		Metal	Lisa		5,0
<b>12</b>	Enciclopedia	Papel	Lisa		1,0 - 1,5
		Cartón	Lisa		4,0
<b>13</b>	Vaso térmico	Poliestireno expandido	Lisa	7,98 x 8,95	2,3
<b>14</b>	Fruta	Corteza orgánica	Lisa	6,44 x 5,32	5,0
<b>15</b>	Arrecife	Sedimentos	Rugosa	25,00 x 31,89	3,6
<b>16</b>	Roca sedimentaria	Sedimentos	Rugosa	23,55 x 25,25	4,8 - 6,4
<b>17</b>	Cartera	Cuerina	Lisa		2,2 - 4,0
<b>18</b>	Florero	Vidrio	Lisa		2,2 - 3,0
	Botella		Lisa	5,23 x 22,37	
<b>19</b>	Cuerpo Humano	Piel	Lisa	40,00 x 1,52	3,0 - 4,0

La configuración del scanner depende del material del objeto, como se observa en la tabla 4.1, los valores del obturador para un escaneo óptimo varían entre 1 y no superan los 7 mls, a excepción de objetos con superficies oscuras como por ejemplo el casco de moto. La configuración para objetos compuestos por sustancias minerales, cuero, cartón, bronce, papel, poliestireno, sedimentos, cuerina, vidrio y piel se encuentra en un rango de 1 a 4 mls, mientras que los valores aumentan de 5 hasta 7 mls para superficies de madera, tela y material orgánico. Estos resultados no pueden generalizarse para clases similares de materiales, como es el caso de la cerámica.

La configuración para objetos elaborados con cerámica sufren una variación en el valor del obturador, por lo que se elaboró la tabla 24, que contiene información del: material, textura, dimensiones y configuración de las piezas escaneadas en el Museo Pumapungo.

**Tabla 24**  
**Calibración de las piezas escaneadas en el Museo Pumapungo**

N°	Nombre de la pieza	Fotografía	Material	Textura	Obturador (mls)
1	Botella silbato (cultura Chorrera)		Cerámica	Lisa	5 - 6
2	Figura antropomorfa silbato (cultura Jama Coaque)		Cerámica	Rugosa	4 - 6
3	Representación de un Chamán (cultura Jama Coaque)		Cerámica	Rugosa	5
4	Cráneo		Tejido fibroso	Lisa	3 - 5
5	Cráneo intervenido		Tejido fibroso	Rugosa	3 - 5
6	Aríbalo Inca (Periodo Inca)		Cerámica	Lisa	5 - 6,5
7	Hacha ceremonial (cultura Cashaloma)		Bronce	Lisa	7 - 8

Continua 

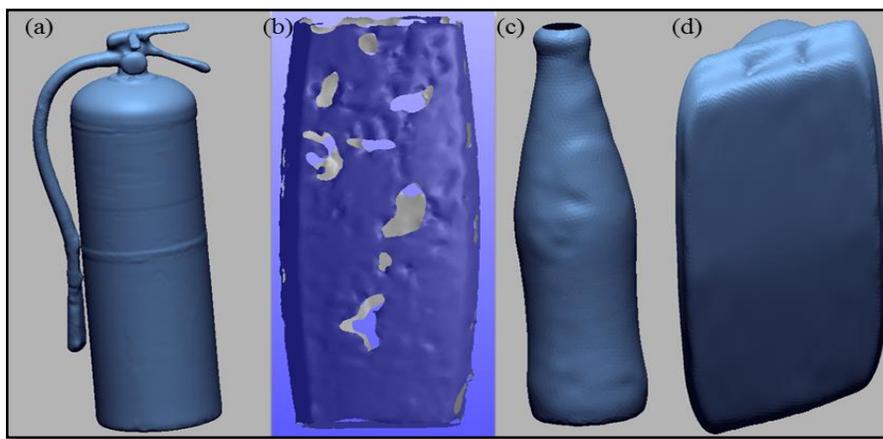
<b>8</b>	Tasa con asa zoomorfa		Cerámica	Lisa	1 - 2
<b>9</b>	Tzantza		Piel	Rugosa	3 - 4
<b>10</b>	Vasija antropomorfa (cultura Tacalshapa)		Cerámica	Lisa	3 - 5
<b>11</b>	Vasija Tacalshapa (cultura Tacalshapa)		Cerámica	Lisa	3 - 4
<b>12</b>	Venus de Valdivia (cultura Valdivia)		Cerámica	Rugosa	1 - 2
<b>13</b>	Botella silbato (cultura Jama Coaque)		Cerámica	Lisa	5 - 6

Los valores de configuración obtenidos en la tabla 24, muestran que el escaneo en circunstancias ideales, para superficies elaboradas con cerámica, se realiza entre 3 y 6 mls, obteniendo una diferencia en el valor establecido en la tabla 23 de 3,5. Esto se debe a que se elaboran objetos de cerámica con una variedad de técnicas, y por lo tanto, existen algunos tipos de cerámica con diferentes acabados. Además, a causa de las condiciones en las que se encontraron las piezas y por su antigüedad, hicieron necesario la intervención de procesos de conservación, soporte, capas pictóricas, entre otros; en algunas de ellas, provocando cambio en la calibración.

Tanto el tamaño y la textura determinan el tiempo de captura del objeto, por lo que se agruparon las superficies en textura táctil (lisa y rugosa), siendo menor el tiempo de exposición en superficies con textura lisa, mientras que en texturas rugosas, debido al nivel de detalle presente en la superficie, el tiempo de exposición es mayor, pero no se puede estandarizar el tiempo, ya que también, depende de las dimensiones del objeto a escanear. Según las especificaciones técnicas del GoSCAN 3D, el rango recomendado para escanear piezas es de 0,3 metros hasta 2.

Se realizaron pruebas de captura de dos figuras de acción de 11,8 x 4,3 cm y 9,6 x 3,9 cm de largo y ancho respectivamente, obteniendo ninguna información de captura. De igual manera, se escaneo una carpeta de 32,5 cm de largo, obteniendo información individual de la vista frontal y trasera del objeto, mas no se capturó información de las vistas lateral izquierda, derecha y superior, puesto que, el espesor es de 3 mm, provocando que no pueda ser detectado por el scanner. Sin embargo, al escanear una manzana de 6,44 x 5,32 cm de largo y ancho respectivamente, se logró obtener el modelo 3D, por lo que se debe considerar el volumen y no solo el área del objeto.

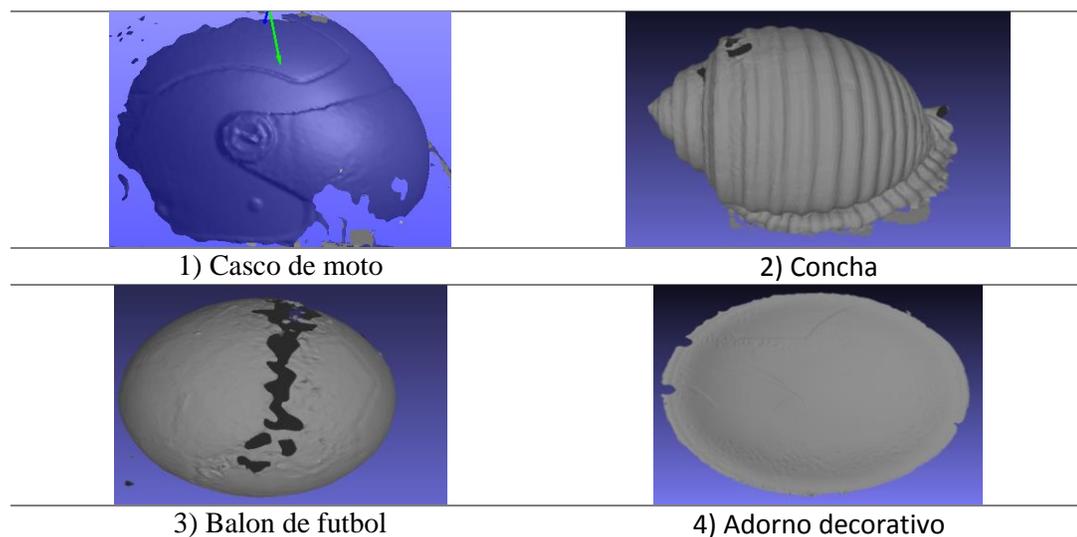
En la figura 90, se muestran los modelos 3D de (a) un extintor, (b) un florero de vidrio, (c) una botella de vidrio y (d) un lente de un faro de carro. El modelo (b) a diferencia de los otros representa información capturada sin edición.



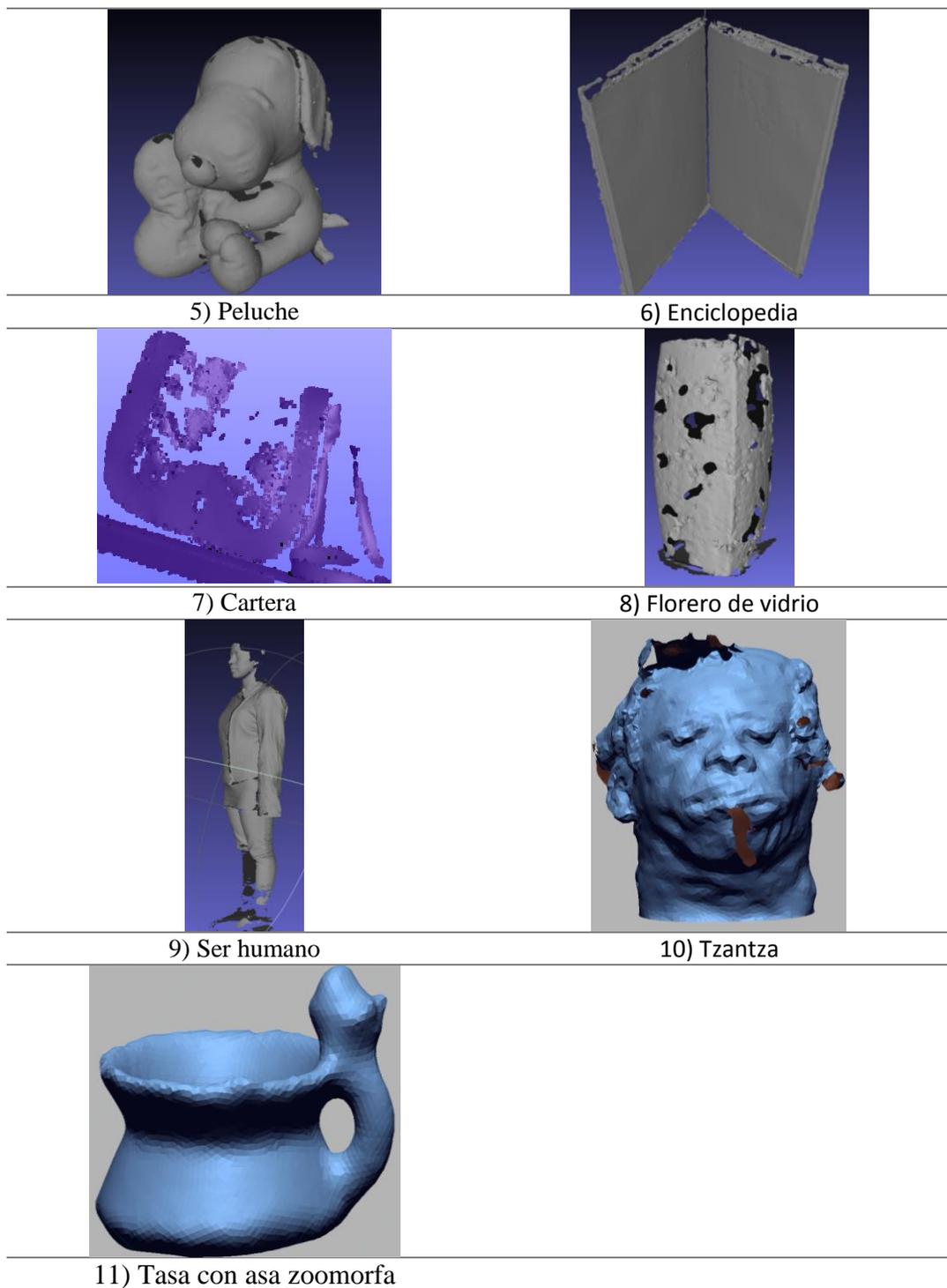
**Figura 90 Modelos 3D de objetos brillantes, transparentes y traslúcidos**

Las superficies con acabados brillantes o reflectantes son difíciles de escanear. La ilustración (a) de la figura 4.1 representa un modelo de un objeto brillante (extintor), en el cual la iluminación es importante a considerar durante el escaneo. La captura se realizó en un lugar cerrado que no permite el ingreso de alguna fuente luz, para así evitar reflejos y brillos en la superficie. Para conseguir el acabado mate en cuerpos traslúcidos y transparentes, se colocó harina en las superficies de los modelos (b), (c), (d), pero no se obtuvieron los resultados esperados, debido a la generación de grumos y a los huecos presentes en las superficies (ver modelo (b)); lugares donde no se adhirió el polvo, después del proceso de edición provocan que el modelo obtenido no cuente con la textura lisa del objeto real.

En la figura 91 se observa 11 objetos escaneados con GoSCAN, los cuales no fueron editados. Como por ejemplo: la Tzantza (10) debido a la presencia de cabello, el cual cubría la cabeza y partes de la cara, impidiendo la captura en aquellas zonas, ya que el grosor del cabello es inferior a la precisión (0.1 mm) proporcionado por el scanner. Otro ejemplo: el tamaño de la tasa con asa zoomorfa (11), fue un inconveniente en el proceso de captura, especialmente en sus bordes redondeados y al realizar el proceso de edición, se visualizó un cambio notorio en la forma de la base y contornos de la vasija con respecto al objeto real.



Continua 



**Figura 91** Objetos no editados

#### 4.2. Resultados de la captura y edición del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito.

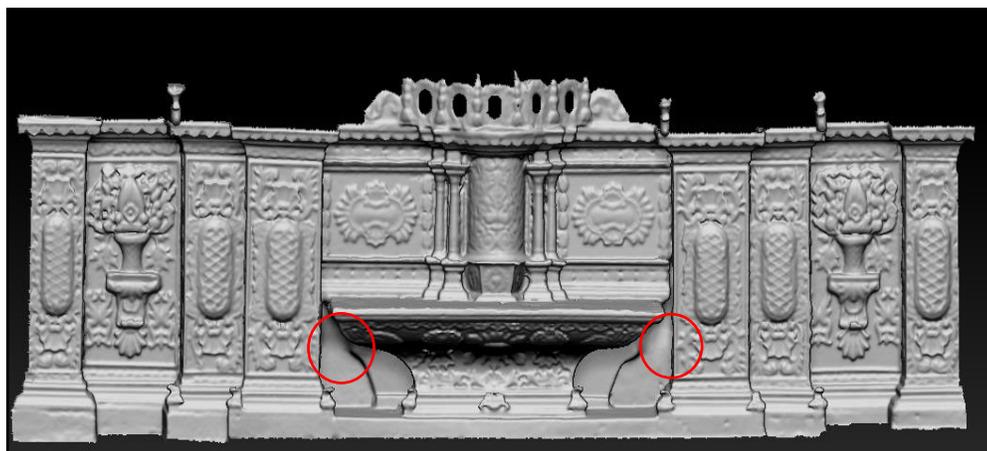
Del escaneo del retablo sur de la iglesia de San Francisco de Quito, se obtuvo un modelo 3D incompleto (ver figura 92), debido a la falta de información, por lo que, mediante el cálculo de áreas se estima que no se capturo el 40%, debido a la limitación de algunos factores presentados durante la toma de datos como; el tiempo y el reducido espacio del área de toma, cabe recalcar que en las tres secciones divididas, solamente una de ellas fue editada y texturizada (sección A) y los resultados de las otras secciones B y C se presentan con sus respectivo análisis.



**Figura 92 Modelo 3D del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito**

Al comparar en la figura 93, el modelo 3D de la sección A (literal a) con su respectiva fotografía (literal b), se considera que se escaneo un 95% de la sección, teniendo en cuenta que ciertas zonas fueron editadas (ver círculos rojos). En el modelo se puede observar que no hay distorsiones en los detalles de la calle central y de la ornamentación bañada en oro, presente en la parte baja de la columnas mixtas.

---



---

a) Modelo 3D

---



---

b) Fotografía

---

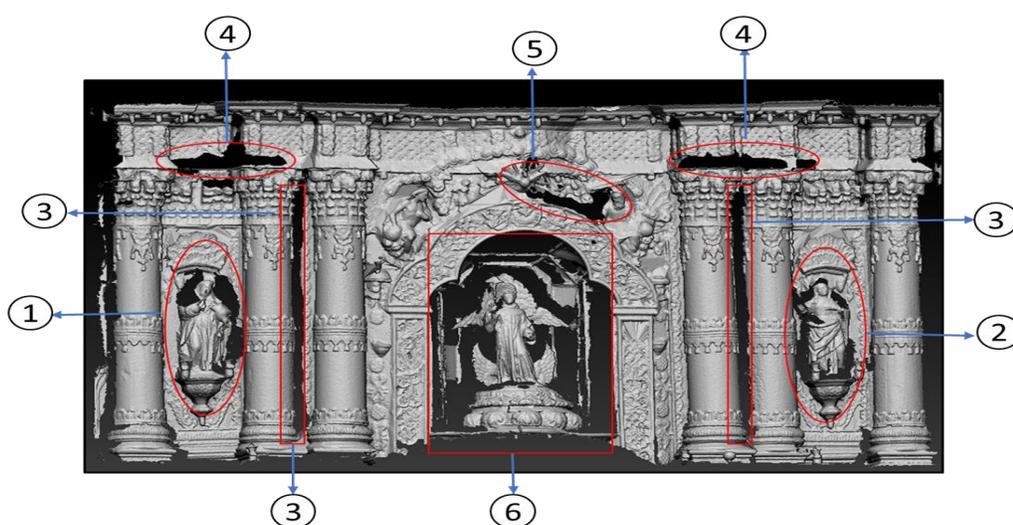
**Figura 93 Modelo 3D del retablo del transepto sur de la Iglesia de San Francisco de Quito Representación de la sección A**

Al obtener un modelo completo de esta sección, fue posible aplicar textura, para así conseguir un modelo más realista (ver figura 94).



**Figura 94 Sección A del retablo sur, texturizada**

En la figura 95 (a) se ilustra el modelo 3D de la sección B con ciertas zonas sin información, con respecto a la imagen real de la figura 4.6 (b), por lo tanto se estima que se escaneo un 58,4% esto se debe a los inconvenientes presentados durante la toma (ver apartado 4.2). Se presentaron huecos en diferentes partes de la sección, por ejemplo: en las partes laterales de los nichos de; San Joaquín (1) y de Santa Ana (2), en las partes adyacentes a las columnas mixtas, derecha e izquierda (3), y en la zona del arquitrabe (4); esto es debido a que el scanner no tuvo alcance desde las diferentes posiciones establecidas. De igual manera, los arcángeles (5) ubicados sobre el nicho de San Francisco de Asís (6), el mismo que no fue escaneado totalmente por la reflectividad del material (espejo) con el que está formado.



a) Modelo 3D

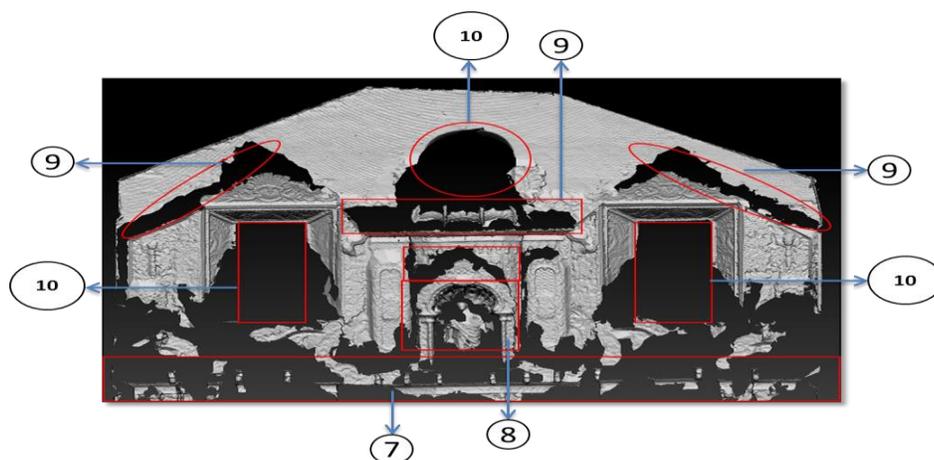
Continua 



b) Fotografía

**Figura 95 Representación de la sección B**

La sección C del retablo sur a comparación del modelo de la sección B contiene menos información, por lo cual se valora que se capturó un 43,5; ya que falta una considerable cantidad de datos, presente en diferentes zonas (ver Figura 96), por ejemplo: en la parte superior del arquitrabe (7), las partes laterales, superior e inferior del nicho del Cristo Redentor (8) y en el ático (9); debido a la presencia de objetos con geometrías y formas complejas a una altura inaccesible, así como de zonas ocultas, siendo esto una obstrucción para el paso de la luz láser. Además, esta sección cuenta con tres ventanas (10), las cuales no se escanearon por estar formadas con material de superficie traslúcido (vidrio).



a) Modelo 3D

Continua 



b) Fotografía

**Figura 96 Representación de la Sección C**

### 4.3. Resultados de control de calidad

La tabla 25 es el resultado de las mediciones de base y altura en centímetros (cm) de los nueve modelos 3D utilizados en la muestra, tomadas del software (modelo virtual), por un pie de rey digital y un flexómetro (modelo real).

**Tabla 25**  
**Mediciones reales y virtuales de nueve modelos 3D**

n°	M2: Polylepis sin corteza				M3: Vaso Térmico			
	Flexómetro		Software		Pie de rey		Software	
	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura
<b>1</b>	3,95	67,55	3,94	67,52	8,00	8,98	8,10	8,91
<b>2</b>	3,95	67,53	3,95	67,53	7,98	8,98	8,11	8,92
<b>3</b>	3,96	67,53	3,94	67,53	7,97	8,94	8,11	8,91
<b>4</b>	3,95	67,53	3,95	67,53	7,96	8,93	8,10	8,92
<b>5</b>	3,94	67,54	3,95	67,54	7,98	8,94	8,11	8,91
<b>6</b>	3,93	67,53	3,94	67,54	7,98	8,96	8,12	8,92
<b>7</b>	3,94	67,54	3,94	67,52	7,99	8,96	8,11	8,91
<b>8</b>	3,95	67,54	3,93	67,54	7,98	8,94	8,10	8,91
<b>9</b>	3,96	67,53	3,94	67,52	7,97	8,96	8,11	8,91
<b>10</b>	3,94	67,53	3,93	67,52	7,99	8,94	8,12	8,92
<b>n°</b>	<b>M4: Manzana</b>				<b>M5: Arrecife</b>			

Continua 

	<b>Pie de rey</b>		<b>Software</b>		<b>Pie de rey</b>		<b>Software</b>	
	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura
<b>1</b>	6,45	5,32	6,47	5,65	24,97	31,89	25,07	31,89
<b>2</b>	6,44	5,31	6,47	5,66	25,02	31,89	25,06	31,9
<b>3</b>	6,44	5,32	6,47	5,65	25,00	31,89	25,07	31,9
<b>4</b>	6,43	5,32	6,46	5,64	24,96	31,90	25,07	31,91
<b>5</b>	6,45	5,32	6,46	5,64	24,98	31,89	25,06	31,91
<b>6</b>	6,43	5,31	6,46	5,66	25,03	31,90	25,05	31,91
<b>7</b>	6,45	5,33	6,47	5,65	24,99	31,89	25,07	31,91
<b>8</b>	6,44	5,31	6,46	5,65	25,02	31,89	25,05	31,91
<b>9</b>	6,45	5,33	6,47	5,65	25,00	31,89	25,06	31,89
<b>10</b>	6,43	5,31	6,46	5,66	25,00	31,89	25,07	31,89
	<b>M6: Roca sedimentaria</b>				<b>M7: Botella de vidrio</b>			
<b>n°</b>	<b>Pie de rey</b>		<b>Software</b>		<b>Pie de rey</b>		<b>Software</b>	
	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura
<b>1</b>	23,56	25,23	23,78	24,96	5,23	22,36	5,21	22,25
<b>2</b>	23,54	25,23	23,79	24,97	5,24	22,36	5,22	22,26
<b>3</b>	23,54	25,25	23,78	24,97	5,24	22,36	5,21	22,26
<b>4</b>	23,55	25,29	23,79	24,96	5,23	22,37	5,21	22,26
<b>5</b>	23,55	25,29	23,77	24,96	5,23	22,38	5,22	22,25
<b>6</b>	23,54	25,23	23,78	24,95	5,24	22,38	5,22	22,25
<b>7</b>	23,56	25,23	23,78	24,95	5,24	22,37	5,22	22,25
<b>8</b>	23,56	25,26	23,78	24,96	5,22	22,36	5,21	22,27
<b>9</b>	23,55	25,23	23,79	24,97	5,23	22,37	5,22	22,26
<b>10</b>	23,55	25,25	23,78	24,97	5,22	22,38	5,21	22,27
	<b>M8: Polylepis con corteza</b>				<b>M9: Extintor</b>			
<b>n°</b>	<b>Flexómetro</b>		<b>Software</b>		<b>Flexómetro</b>		<b>Software</b>	
	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura	Base	Altura
<b>1</b>	6,8	70,2	6,34	70,11	17,72	60,31	17,68	60,39
<b>2</b>	6,81	70,19	6,32	70,12	17,72	60,15	17,67	60,38
<b>3</b>	6,82	70,21	6,33	70,13	17,71	60,32	17,68	60,39
<b>4</b>	6,82	70,21	6,33	70,13	17,71	60,34	17,66	60,38
<b>5</b>	6,82	70,21	6,33	70,11	17,73	60,33	17,68	60,37
<b>6</b>	6,81	70,19	6,32	70,13	17,72	60,34	17,67	60,39
<b>7</b>	6,81	70,19	6,32	70,11	17,72	60,34	17,68	60,39
<b>8</b>	6,8	70,2	6,32	70,12	17,73	60,33	17,67	60,38
<b>9</b>	6,82	70,19	6,34	70,13	17,71	60,34	17,68	60,32
<b>10</b>	6,82	70,19	6,34	70,13	17,71	60,33	17,66	60,39

Continua 

<b>M10: Loro de madera</b>				
<b>n°</b>	<b>Pie de rey</b>		<b>Software</b>	
	Base	Altura	Base	Altura
<b>1</b>	14,37	59,66	14,65	59,26
<b>2</b>	14,37	59,66	14,64	59,27
<b>3</b>	14,36	59,62	14,64	59,27
<b>4</b>	14,38	59,70	14,65	59,26
<b>5</b>	14,37	59,60	14,64	59,26
<b>6</b>	14,35	59,66	14,64	59,26
<b>7</b>	14,38	59,60	14,65	59,27
<b>8</b>	14,37	59,66	14,65	59,27
<b>9</b>	14,38	59,66	14,65	59,26
<b>10</b>	14,35	59,70	14,65	59,26

Para estimar las diferencias, entre los modelos virtuales y reales se aplicó la prueba de homogeneidad de ji-cuadrado por tablas de contingencia a una muestra de 10 modelos 3D, obteniendo que para el punto crítico de alfa 0,01 y 9 grados de libertad es de 21.66, y como el valor de ji-cuadrado calculado en base y altura es menor, se acepta la hipótesis nula, por lo que se puede decir que la distancia lineal real y virtual son significativamente las mismas. Además, al revisar la tabla 26, se observa que los valores de ji-cuadrado calculado son menores a lo puntos críticos de todos los niveles de significancia.

**Tabla 26**  
**Tabla de Distribución Chi Cuadrado  $\chi^2$**

$v/p$	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
9	27,87	24,46	23,58	21,66	19,02	16,91	14,68	13,28	12,24	11,38	10,65

Donde;

$v$  = grados de libertad

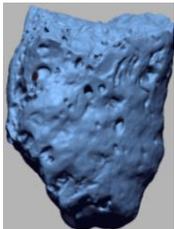
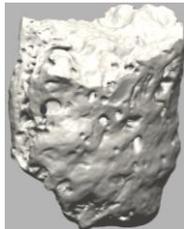
$p$  =probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el ji-cuadrado tabulado.

Con respecto a la validación del modelo generado de la sección inferior del retablo del transepto sur de la iglesia, el error medio es de 0,3 mm con un intervalo de confianza (0,1 – 0,5 mm) al 95%.

#### 4.4. Productos finales obtenidos

Se capturaron 34 objetos de diferentes tamaños, materiales y texturas, en los que se incluyen 20 objetos indistintos, 13 piezas patrimoniales y una infraestructura patrimonial. De los cuales 11 no se editaron, obteniendo como resultado final 23 modelos 3D; 17 texturizados y al resto se añadió color. A continuación, en la tabla 27 se presentan 3 modelos 3D con su respectiva fotografía del objeto real; el resultado de todos los modelos se encuentran en el anexo H.

**Tabla 27**  
**Objetos y piezas editadas y texturizadas**

Nombre	Modelo 3D	Modelos 3D texturizado	Fotografía del objeto real
Arrecife			
Loro de madera			
Aríbalo Inca			

Además, se crearon las representaciones de los mismos objetos en distintas tonalidades RGB, formato digital, realidad aumentada y PDF 3D; así como, manuales de instalación, calibración, captura, edición y representación de objetos, los cuales se detallan en la tabla 28.

**Tabla 28**  
**Productos obtenidos en el proyecto**

<b>Cantidad</b>	<b>Contenido y descripción</b>	<b>Extensión del archivo</b>
33	Objetos capturados de diferente tamaño, material y textura	.stl
1	Captura del retablo del transepto sur de la iglesia de San Francisco de Quito	.fls
17	Modelos 3D texturizados	.obj
6	Modelos 3D con color	.obj
11	Modelos no editados	.stl
19	Representación en Realidad Aumentada	.atm2, .atx2
19	Representación en PDF 3D	.pdf
2	Representaciones físicas	
7	Manuales de diferentes procesos	.docx

En la tabla 29, se describen las extensiones generadas en los diferentes softwares utilizados:

**Tabla 29**  
**Tipos de archivos**

<b>Extensiones</b>	<b>Softwares</b>
.stl	Geomagic Design x 1.0 Vxelements 2.1

**Continúa** 

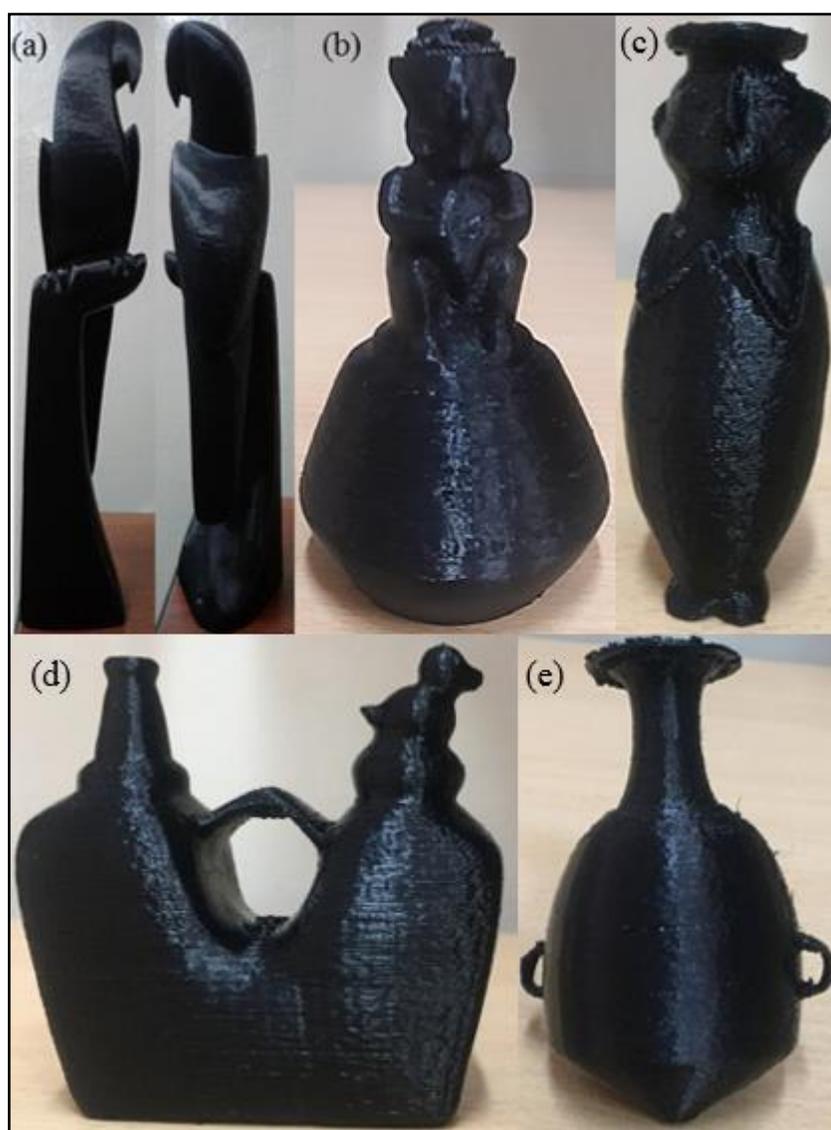
.fls	Trimble RealWorks 8.0
.obj	Geomagic Design x 1.0 ZBrush 4R7
.atm2	Aumentaty Viewer para móviles
.atx2	Aumentaty Viewer para computadoras
.pdf	Adobe Acrobat Pro DC
.docx	Microsoft Word

En la figura 97, se visualiza un ejemplo de la representación de los modelos 3D, mediante: simulación 3D (a), realidad aumentada de una pieza patrimonial en computadora (b) y en un dispositivo móvil (c).



Figura 97 Representación 3D

De los modelos 3D obtenidos, se realizó la representación física de cinco objetos indistintos. En la figura 98, se observan las impresiones 3D a pequeña escala de: (a) un objeto de madera de 21 cm de alto, (b) una pieza de cerámica de altura 10 cm; las representaciones físicas son, aproximadamente, tres veces más pequeños en relación a sus objetos reales, (c) figura antropomorfa de 7,7 cm de alto al igual que (e) Aríbalo Inca y (d) botella silbato de vasos comunicantes de altura 6,5 cm.



**Figura 98 Representaciones físicas**

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.0 Resumen

Este último capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones asociadas a los objetivos establecidos. En cada uno de los productos generados, se verifican que el uso de scanners 3D es productivo en la obtención y modelamiento de datos tridimensionales en el área de Conservación de Patrimonio Cultural, dependiendo del correcto manejo y alcance que tiene el equipo a utilizar. Como en este caso, el escaneo de piezas de conservación de un museo es diferente a la captura de un retablo de una iglesia.

#### 5.1. Conclusiones

Se cumplieron todos los objetivos y metas del apartado 1.5; destacándose lo siguiente:

En cuanto a calibrar el equipo GoSCAN 3D en función de la iluminación, material, textura y tamaño del objeto.

- El valor del obturador es diferente para cada material, por lo que se tiene que configurar el material del objeto a escanear (ver tablas 23 y 24)

Respecto a capturar objetos de diferentes tamaños, materiales y texturas

- En las pruebas realizadas, se escanearon objetos desde 0.05 m hasta 1,50 m de altura, por lo que, a diferencia de las especificaciones técnicas del scanner GoSCAN, si se pueden capturar objetos menores o iguales a 30 cm; siempre y cuando el espesor sea mayor o igual a 1,5 cm (ver apartado 4.1).

- El tamaño y textura del objeto determinan el tiempo de captura, siendo menor para objetos pequeños y texturas lisas, y mayor en objetos grandes y de superficies rugosas (ver apartado 4.1).
- El scanner GoSCAN captura la forma geométrica de los objetos, detalles en alto relieve y sin color. Sin embargo, no escanea: cabello humano y superficies translucidas y transparentes (ver apartados 3.2.3 y 4.1, y figura 91)
- Cualquier objeto brillante, se escanea en lugares oscuros y sin presencia de fuentes de luz adicionales. De igual manera, al obtener un acabado mate en superficies de cuerpos translucidos y transparentes (vidrio y espejo), se captura suficiente información para ser editado (ver apartados 3.2.3 y 4.1, y figura 91)

#### Sobre editar los datos obtenidos

- Se obtuvo una metodología detallada para la edición de datos en diferentes softwares de acceso libre y propietario (ver apartados 2.3 y 3.1.4).

#### En consideración a realizar manuales de: captura, calibración, edición y representación de objetos escaneados con GoSCAN 3D.

- Debido a las experiencias y al conocimiento sobre el uso de los scanners 3D en apoyo a la conservación del patrimonio cultural y para el desarrollo de futuros proyectos, se pudo elaborar guías de instrucciones para la captura (ver Anexo B), calibración (ver Anexo C) edición y representación de objetos o piezas (ver Anexos D y G).

#### Referente a representar los objetos en distintas tonalidades RGB, formato digital, realidad aumentada y en físico.

- Los modelos 3D texturizados y añadidos color, se representan por medio de: simulación 3D, realidad aumentada e impresiones tridimensionales a pequeña escala (ver apartado 4.4).

- Al realizar la prueba de homogeneidad de ji-cuadrado por tablas de contingencia, se acepta la hipótesis nula, concluyendo que las dimensiones de los modelos virtuales son iguales a las de los objetos reales (ver apartado 3.3 y 4.3).

Por lo que corresponde a generar un modelo 3D del transepto sur del retablo de la iglesia de San Francisco utilizando Trimble TX5 scanner Laser 3D.

- El scanner Trimble TX5 captura información de infraestructuras de grandes dimensiones, que puede ser utilizada en procesos de reconstrucción y conservación para proyectos futuros, ya que estadísticamente, el modelo virtual con respecto al real, tiene un error máximo de 0,5 milímetros al 95% de confianza.
- Para capturar mayor información de las zonas ocultas presentes en el retablo, hay que realizar varios escaneos en diferentes posicionamientos y alturas.

## **5.2. Recomendaciones**

- Escanear los objetos en una base giratoria que se mueva tanto horizontal como verticalmente para capturar todas sus caras y manipularlo. En lo posible, evitar situaciones que proyecten sombras sobre la superficie del objeto.
- Establecer una metodología adecuada para capturar objetos con superficies traslúcidas y transparentes, se sugiere conseguir un acabado mate que no altere la forma y textura de los modelos 3D con respecto a los objetos reales.
- Durante el proceso de escaneo, utilizar referencias de posicionamiento que permiten recuperar la señal del scanner y reanudar la captura, sin la necesidad de empezar un nuevo proyecto. No colocar dichas marcas en zonas del objeto que presenten detalles característicos; como rostro y manos, ya que provoca pérdida de información.
- Según las especificaciones técnicas del scanner GoSCAN, el rango máximo de tamaño de las piezas es de 3m, por lo que se recomienda probar en objetos mayores a 1.5m de altura.

- Con el fin de obtener un texturizado similar al del objeto real, tomar fotografías con alta resolución y contraste, desde la misma posición en la que se escanea el objeto y de sus diferentes caras.
- Para el post- procesamiento de los datos, es necesario utilizar ordenadores potentes y softwares específicos. En caso de no ser suficiente, procesar los datos obtenidos por secciones, principalmente en el modelado, ya que este requiere de mucho tiempo.

## Referencias Bibliográficas

Aguaiza, J. (2013). *Análisis de los rasgos gráficos de la cultura Cañari. Creación de familias tipográfica*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica de Chimborazo.

Recuperado el 26 de abril de 2017, de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2955>

Aguilar, M. (2013). *Creación de una muestra pictórica, invocando iconografía precolombina con materiales naturales*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica

Particular de Loja. Recuperado el 20 de abril de 2017, de

<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9354/1/Villacis%20Valarezo%20Andres.pdf>

Armijos, D. (2010). *Estudio de los 50 elementos históricos artísticos científicos, más significativos de Cuenca del siglo XVI al XX valor y uso turístico*. Tesis de

pregrado, Universidad de Cuenca. Recuperado el 29 de abril de 2017, de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1660>

Arteaga, L. (2015). *Fabricación y caracterización de filamentos para impresora 3d a partir de materiales reciclados*. Tesis de pregrado, Universidad de la Laguna.

Recuperado el 16 de abril de 2017, de

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/998/Fabricacion%20de%20filamentos%20para%20impresora%203D%20a%20partir%20de%20materiales%20recicladados..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Artec 3D. (2017). *Geomagic Design X*. Recuperado el 15 de abril de 2017, de [https://www.artec3d.com/es/3d-software/geomagic\\_design\\_x](https://www.artec3d.com/es/3d-software/geomagic_design_x)
- Austín, T. (2010). *Etimología del concepto de cultura*. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://www.lapaginadelprofe.cl/cultura/1cultura.htm>
- Autodesk. (2015). *3DS MAX*. Recuperado el 6 de enero de 2017, de <https://www.autodesk.com/education/free-software/3ds-max>
- Avilés, E. (2010). *Representación gráfica de elementos visuales de la cultura Valdivia aplicada a estampados textiles*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Quito. Recuperado el 30 de abril de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3128>
- Axayacatl, O. (2014). *¿Qué es la Ingeniería Inversa?* Recuperado el 2017 de febrero de 28, de Blog Ingeniería : <http://blogingenieria.com/general/ingenieria-inversa/>
- Ayala, M., Polanco, M., & Espinosa, T. (2015). *Forma, estructura y función de la botella silvato*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Artes, Quito.
- Bianco, M., & Martínez, J. (2004). *Inferencia estadística – Intervalos de confianza*. Recuperado el 24 de junio de 2017, de [http://www.dm.uba.ar/materias/probabilidades\\_estadistica\\_C/2005/1/PyEC014.pdf](http://www.dm.uba.ar/materias/probabilidades_estadistica_C/2005/1/PyEC014.pdf)

- Biartech. (2014). *Ejemplos de realidad aumentada*. Recuperado el 6 de julio de 2017, de <http://www.bihartech.com/ejemplos-realidad-aumentada/>
- Blasco, V. (2013). *Reflexiones sobre los estudios previos a la restauración del retablo mayor del Convento de San Francisco de Quito*. Recuperado el 14 de septiembre de 2016, de Patrimonium: <http://www.patrimonium.ec/index.php/2013-05-15-14-05-21/volumen-1/item/53-reflexiones-sobre-los-estudios-previos-a-la-restauraci%C3%B3n-del-retablo-mayor-del-convento-de-san-francisco-de-quito>
- Bray, T. (2004). La alfarería imperial Inka: una comparación entre la cerámica estatal del área de cuzco y la cerámica de las provincias. *Chungara*, 36(2), 365-374.
- Cabero, J., & Barroso, J. (2016). Ecosistema de aprendizaje con realidad aumentada: posibilidades educativas. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*(5), 142. Obtenido de <http://tecnologia-ciencia-educacion.com/judima/index.php/TCE/article/view/101/93>
- Calderón, A. (2012). *Democratización de la impresora 3d con fotopolímeros*. Tesis de pregrado, Universidad de Chile. Recuperado el 16 de abril de 2017, de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112106/cf-calderon\\_aa.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112106/cf-calderon_aa.pdf?sequence=1)
- Centro Interamericanos de Artes Populares (CIDAP). (2016). *La historia cañari contada desde la cerámica y metal*. Recuperado el 23 de abril de 2017, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ca>

d=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiG3o6L0bjUAhXF7yYKHT2LBTEQFggmMAE  
&url=http%3A%2F%2Fdocumentacion.cidap.gob.ec%3A8080%2Fbitstream%2  
Fcidap%2F735%2F1%2FLa%2520historia%2520ca%25C3%25B1ari%2520cont  
a

Centro Virtual Cervantes (CVC). (2017). *Glosario de términos artísticos relacionados con los retablos*. Recuperado el 17 de junio de 2017, de [http://cvc.cervantes.es/actcult/art\\_reli/retablos/glosario.htm](http://cvc.cervantes.es/actcult/art_reli/retablos/glosario.htm)

Contreras, A. (2014). *Obtención del modelo 3D de la azotea de la Escuela Técnica superior de ingenieros de telecomunicación de la universidad politécnica de Madrid, mediante tecnología escáner 3D*. Tesis de pregrado, Universidad Pólitecnica de Madrid . Recuperado el 7 de febrero de 2017, de [http://oa.upm.es/29053/1/PFC\\_AINARA\\_CONTRERAS\\_ECHEBARRIA.pdf](http://oa.upm.es/29053/1/PFC_AINARA_CONTRERAS_ECHEBARRIA.pdf)

Córdova, S. (2010). *Elaboración de un manual turístico para la enseñanza en el décimo año de educación básica en siete colegios fiscales de los cantones de la Provincia del Cañar*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca. Recuperado el 29 de abril de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1737>

Creaform. (2013). *Escáneres GO!SCAN*. Recuperado el 21 de enero de 2017, de <https://www.goscan3d.com/es/goscan-3d-scanner>

- Creaform. (2017). *Plataforma de software y paquete de aplicaciones en 3d*. Recuperado el 1 de abril de 2017, de <https://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/plataformas-de-software-de-aplicaciones-3d>
- Crespo, C., & Fernández, E. (2014). *Diseño e implementación de un escáner 3D para prototipado y modelado geométrico de objetos*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Caribe. Recuperado el 19 de enero de 2017, de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1368/TMCT%200011C.pdf?sequence=2>
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Díaz, V. (2006). *Metodología de la investigación científica y bioestadística: para médicos, odontólogos y estudiantes de ciencias de salud*. Santiago de Chile: RIL.
- EcuRed. (2013). *Zbrush*. Recuperado el 16 de abril de 2017, de [https://www.ecured.cu/ZBrush#Requisitos\\_para\\_el\\_uso\\_del\\_software](https://www.ecured.cu/ZBrush#Requisitos_para_el_uso_del_software)
- EMS. (2013). *Types of 3D scanners and 3D scanning technologies*. Recuperado el 9 de enero de 2017, de [https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D Scanning Technologies .pdf](https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanning%20Technologies.pdf)
- FACUMarte. (2010). *El escaneado en 3D para la conservación del patrimonio cultural*. Recuperado el 26 de agosto de 2016, de <http://www.factum-arte.com/pag/706/El-escaneado-en-3D-para-la-conservaci-n-del-patrimonio-cultural7.pdf>

Fundación ILAM. (2004). *Museo y Parque Ancestral Pumapungo*. Recuperado el 13 de abril de 2017, de <http://www.ilam.org/index.php/es/museo?id=4657>

Fundación Municipal Turismo para Cuenca. (2015). *Ruta de los museos*. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiIpcvdwrjUAhVMQiYKHQDzBKYQFggsMAI&url=http%3A%2F%2Fcuencaecuador.com.ec%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffolleto%2520Ruta%2520de%2520los%2520museos%2520Espan%25CC%2583>

Gaëtan, J. (2008). *Declaratoria del estado de emergencia del en el sector de patrimonio cultural*. Recuperado el 15 de septiembre de 2016, de <https://www.arqueo-ecuatoriana.ec/leyes/leyes-nacionales/512-declaratoria-del-estado-de-emergencia-en-el-sector-de-patrimonio-cultural>

García, D., & Montes, F. (2012). El Láser-Escáner 3D aplicado al patrimonio arquitectónico de Priego de Córdoba: la Torre del Homenaje. *Antiquitas*(24), 277-302.

Geocom. (2016). *Notas Técnicas software Trimble Realworks*. Recuperado el 16 de abril de 2017, de <http://www.geocom.cl/assets/Trimble-Realworks-Data-sheet.pdf>

Geoteam. (2013). *User guide Trimble RealWorks 8.0*. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de

<ftp://ftp.geoteam.dk/Manualer/Trimble%20RealWorks/Trimble%20RealWorks%208.0%20User%20Guide.pdf>

Geotronics. (2012). *Trimble TX5 scanner*. Recuperado el 16 de febrero de 2017, de [http://geotronics.es/files/products/180/Trimble\\_TX5\\_DS\\_1012\\_ESP.pdf](http://geotronics.es/files/products/180/Trimble_TX5_DS_1012_ESP.pdf)

Gregorio, A. (2010). *Interfaz studio max*. Recuperado el 17 de abril de 2017, de Curso 3D Studio Max: <https://sites.google.com/site/curso3dstudio/home>

Guamán, O. (2016). *La iconografía precolombina y su aplicación artística en el folclore*. Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 23 de abril de 2017, de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/6753/1/53%20LA%20ICONOGRAFIA%20PRECOLOMBINA%20Y%20SU%20APLICACION%20ARTISTICA.pdf>

Hexagon. (2010). *Creaform anuncia vxelements el software de captura todo en uno*. Recuperado el 1 de abril de 2017, de 3D Cad Portal: <http://www.3dcadportal.com/creaform-anuncia-vxelements-el-software-de-captura-todo-en-uno.html>

Hiemenz, J. (2011). *La impresión 3d con FDM: ¿cómo funciona?* Recuperado el 20 de junio de 2017, de <https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/FDM%20I%20-%20Tecnologia.pdf>

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2016). Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.inpc.gob.ec/direcciones-regionales/quito-r1-y-r2>

Instituto Cervantes. (2017). *Partes de un retablo*. Recuperado el 20 de junio de 2017, de [http://cvc.cervantes.es/artes/ciudades\\_patrimonio/quito/paseo/igl\\_francisco.htm](http://cvc.cervantes.es/artes/ciudades_patrimonio/quito/paseo/igl_francisco.htm)

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). (2011). *Guía de identificación de bienes culturales patrimoniales*. Quito: Ediecuatorial.

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). (2011). *Iglesia y convento de San Francisco*. Recuperado el 26 de marzo de 2017, de Una historia para el futuro: [https://downloads.arqueo-ecuatoriana.ec/ayhpwxgv/noticias/publicaciones/Iglesia\\_San\\_Francisco\\_INPC.pdf](https://downloads.arqueo-ecuatoriana.ec/ayhpwxgv/noticias/publicaciones/Iglesia_San_Francisco_INPC.pdf)

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). (2017). *Ecuador dueño de patrimonios mundiales*. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de Patrimonios Mundiales: <http://www.inpc.gob.ec/component/content/article/2-general/22>

Iza, M. (2014). *La memoria perdida del Yasuní*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito. Recuperado el 13 de abril de 2017, de [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjF186gybjUAhVDPiYKHUFWAL0QFggsMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dspace.uce.edu.ec%2Fbitstream%2F25000%2F2890%2F1%2FT-UCE-0002-49.pdf&usg=AFQjCNEW\\_zfPp-ngf2zSNZ49yB6AlbuXsg](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjF186gybjUAhVDPiYKHUFWAL0QFggsMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dspace.uce.edu.ec%2Fbitstream%2F25000%2F2890%2F1%2FT-UCE-0002-49.pdf&usg=AFQjCNEW_zfPp-ngf2zSNZ49yB6AlbuXsg)

Jiménez, E., Luna, A., García, L., Martínez, V., Luna, G., & Arrellano, L. (2010). *La Ingeniería Inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la Metrología*. Santiago de Querétano. Obtenido de La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología.

LabDigital. (2010). *3d Max Interfaz*. Recuperado el 17 de abril de 2017, de Tecnología Empresariales: [https://es.slideshare.net/lab\\_digital/3d-max-interfaz-01](https://es.slideshare.net/lab_digital/3d-max-interfaz-01)

Landázuri, C., & Ordóñez, M. (2010). *Las instituciones culturales*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador (FLACSO), Quito.

Lara, A., Cerpa, G., Rodríguez, M., & Núñez, H. (2006). Física Para Bachillerato Cinematica. En *Definición y tipos de incertidumbre* (pág. 42). Pearson Educación,.

Lledó, G. (2010). *¿Que es 3D Studio Max?* Recuperado el 3 de enero de 2017, de Educación y nuevas tecnologías:  
<http://blogs.ua.es/gonzalo/2010/03/31/%C2%BFque-es-3d-studio-max/>

Llull, J. (2005). Evolución del concepto y de la significación social del patrimonio cultural. *Arte, Individuo y Sociedad*, 182-188.

López, J. (2016). *Impresoras 3D*. Recuperado el 14 de abril de 2017, de [http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local\\_repository/documents/17854.pdf](http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf)

- López, M., Sánchez, F., Llorente, J., & Gámez, J. (2016). *Realidad aumentada en el desarrollo de la concepción espacial en las enseñanzas técnicas*. Recuperado el 14 de abril de 2017, de [https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/48748/24CUIEET\\_paper\\_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/48748/24CUIEET_paper_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Maldonado, J., & Vera, P. (2013). *Mobiliario contemporáneo con rasgos de la cultura Jama Coaque y materiales alternativos*. Tesis de pregrado, Universidad del Azuay. Recuperado el 20 de abril de 2017, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/236>
- Mañana, P. (2014). *Utilidades del pdf3d*. Recuperado el 14 de abril de 2017, de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/63515/4/v2\\_es\\_PDF3D\\_guia\\_usuario.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/63515/4/v2_es_PDF3D_guia_usuario.pdf)
- Martín, Q., & Rosario, Y. (2008). *Tratamiento estadístico de datos con SPSS*. Madrid: Thomson Editores Spain.
- Ministerio Coordinador de Patrimonio. (2015). *Plan de Protección y Recuperación del Patrimonio Cultural del Ecuador*. Recuperado el 21 de noviembre de 2016, de <http://www.culturaypatrimonio.gob.ec/>
- Montoya, M. (2013). *Algunas consideraciones sobre la integración de la ingeniería inversa, el cad y los prototipos rápidos*. Tesis de maestría, Unidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 2017 de febrero de 23, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/6450>

- Montoya, M. (Junio de 2013). *Algunas Consideraciones sobre la Integración de la Ingeniería Inversa, el Cad y los Prototipos Rápidos*. México, D.F, México.
- Monzón, J. (2015). Un proyecto de realidad aumentada para la difusión de la capilla del monumento de la Seo de Zaragoza: aplicación de técnicas de documentación gráfica y geométrica basadas en la ingeniería inversa. *Ars & Renovatio*(3), 166-191.
- Morales, P. (2012). *Tamaño necesario de la muestra*. Universidad Pontificia Comillas, Facultad de Humanidades, Madrid. Recuperado el 20 de junio de 2017, de [https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww2.df.gob.mx%2Fvirtual%2Fevaluadf%2Fdocs%2Fgral%2Ftaller2015%2FS0202EAC.pdf&h=ATMIKeXQHmlb2pNqwpNEvgZ\\_U9Zz\\_zEj46f\\_5M3fJpsTzK2qL7OzP2hw0P\\_eZHakrWGaHN3XVqLV66CkiZRFxbv-\\_FGnsdLJz5rUKeJNzdRzqrl-tJAarnnMxxxT7pTeWu](https://l.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww2.df.gob.mx%2Fvirtual%2Fevaluadf%2Fdocs%2Fgral%2Ftaller2015%2FS0202EAC.pdf&h=ATMIKeXQHmlb2pNqwpNEvgZ_U9Zz_zEj46f_5M3fJpsTzK2qL7OzP2hw0P_eZHakrWGaHN3XVqLV66CkiZRFxbv-_FGnsdLJz5rUKeJNzdRzqrl-tJAarnnMxxxT7pTeWu)
- Moreno, N., Leiva, J., & López, E. (2016). Robótica, modelado 3d y Realidad Aumentada en educación para el desarrollo de las inteligencias múltiples. *Aula de encuentro* , II(18), 158-183. Recuperado el 14 de abril de 2017, de <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ADE/article/view/3191/2625>
- Museo Nacional de Ciencias Naturales. (2017). *Museo virtual*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.google.com/culturalinstitute/beta/partner/museo-nacional-de-ciencias-naturales-mncn-cesic>

- Noguera, J. (2014). *Impresoras 3D*. Recuperado el 14 de abril de 2017, de <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/11/Impresoras-3D-2014.pdf>
- Nosolosig. (2013). *Tecnología LIDAR de mano para el primer modelo 3D del interior de la Torre de Pisa*. Recuperado el 13 de noviembre de 2016, de <http://www.nosolosig.com/noticias/170-tecnologia-lidar-de-mano-para-el-primer-modelo-3d-del-interior-de-la-torre-de-pisa>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2004). *Ley de patrimonio cultural, codificación*. Recuperado el 21 de noviembre de 2016, de [http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/ecuador/ec\\_codificacion\\_27\\_1\\_ey\\_de\\_patrimonio\\_cultural\\_sporof.pdf](http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/ecuador/ec_codificacion_27_1_ey_de_patrimonio_cultural_sporof.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2006). *¿Qué es el patrimonio cultural inmaterial?* Recuperado el 18 de enero de 2017, de <http://www.unesco.org/culture/ich/doc/src/01851-ES.pdf>
- Ortiz, M. (2009). *La restauración de bienes culturales patrimoniales en Quito: orígenes, evolución y panorama actual*. Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/4519>
- Ospina, C., & Ramírez, B. (Mayo de 2015). *Aplicación de la Ingeniería Inversa en la Reproducción de una Pieza Plástica Inyectada*. Pereira, Colombia.

- Ospina, C., & Ramírez, B. (2015). *Aplicación de la Ingeniería Inversa en la Reproducción de una Pieza Plástica Inyectada*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira, México. Recuperado el 6 de marzo de 2017, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5443/668412083.pdf?sequence=1>
- Peliza, J. (2010). *Dotación real de agua potable para complejos recreacionales en el sector del Valle de los Chillos*. Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito. Recuperado el 18 de junio de 2017, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1898/1/CD-2804.pdf>
- Pérez, F. (2014). *Flujo de trabajo en proyectos de modelización 3D con equipos laser escáner*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 20 de febrero de 2017, de [http://oa.upm.es/32264/6/PFC\\_FABIO\\_ROMERAL\\_PEREZ\\_1.pdf](http://oa.upm.es/32264/6/PFC_FABIO_ROMERAL_PEREZ_1.pdf)
- Pérez, J. (2006). *Estadística. Prueba Específica*. . Sevilla: MAD, S.L.
- Pixologic. (2010). *Instancias y detalles*. Recuperado el 16 de abril de 2017, de ZBrush 4R7: <http://pixologic.com/zbrush/features/ZBrush4R7/feature-enhancements/>
- Quelal, P. (2013). *Representaciones de aves en la iconografía de la cultura Jama-Coaque*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Recuperado el 20 de abril de 2017, de

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8685/T-PUCE-5765.pdf?sequence=1>

- Quinde, C. (2013). *Resignificación de los diseños y tecnologías de la cultura Jama Coaque en las artes aplicadas ecuatorianas*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca. Recuperado el 20 de abril de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3217?mode=full>
- Quito, M. d., & Cultural, I. N. (2011). Guía de identificación de bienes culturales patrimoniales. Quito: Ediecuadorial
- Ramos, D. (2013). *Uso de la Ingeniería Inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación*. Recuperado el 23 de febrero de 2017, de <https://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/380/189>
- Ramos, M., & Aguilera, V. (2013). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. *Handbook T-II* (págs. 8-13). México: Ecorfan.
- Reinoso, R. (2012). *Introducción a la Realidad Aumentada*. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de [https://www.google.com.ec/search?q=activadores+para+realidad+aumentada+de+reinoso&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjs2ov8y8\\_UAhWBPIYKHeCrDCYQBQghKAA&biw=1920&bih=974#](https://www.google.com.ec/search?q=activadores+para+realidad+aumentada+de+reinoso&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjs2ov8y8_UAhWBPIYKHeCrDCYQBQghKAA&biw=1920&bih=974#)
- Ribera, J. (2011). *Prueba Chi-Cuadrado*. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de <https://es.slideshare.net/armando310388/prueba-chicuadrado>

- Robles, D. (2015). *Libro fotográfico sobre 8 iglesias del centro histórico de Quito como registro comunicativo visual para fomentar el turismo local*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7966>
- Rodríguez, B. (2013). *Métodos basados en el CAD para su aplicación en la reconstrucción de piezas arqueológicas*. Recuperado el 6 de julio de 2017, de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/34748/45307>
- Rodríguez, G., Gavín, H., Castro, J., & Torres, M. (2009). *Trabajos de gráficos Z-Brush*. Recuperado el 16 de abril de 2017, de <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Programas3D/ZBrush/interfaz.html>
- Romero, M. (2014). *Diseño y construcción de una impresora 3D FDM*. Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Comillas, Madrid. Recuperado el 16 de abril de 2017, de <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/53e0917ab02bd.pdf>
- Rovira, C. (2003). *Teorema del límite central*. Recuperado el 20 de junio de 2017, de [https://www.calidad.com.mx/docs/art\\_64\\_1.pdf](https://www.calidad.com.mx/docs/art_64_1.pdf)
- Ruiz, A. (2016). *Automatización del escáner David 3D para la digitalización de piezas patrimoniales del Ecuador*. Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador, Quito. Recuperado el 5 de enero de 2017, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6014>

Sabbatini, M. (2013). *La representación social de la ciencia en los museos virtuales de historia natural en internet: el panorama iberoamericano*. Recuperado el 26 de abril de 2017, de

[https://ilamdocs.org/engine/download/blob/ilamdocs/10/2017/1/cienciaantepublico\\_sabbatini.pdf?app=ilamdocs&class=1&id=2976&field=10](https://ilamdocs.org/engine/download/blob/ilamdocs/10/2017/1/cienciaantepublico_sabbatini.pdf?app=ilamdocs&class=1&id=2976&field=10)

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de

<http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>

Systems, 3. (2013). *¿What are the system requirements for Geomagic Solutions software?* Recuperado el 15 de abril de 2017, de

<http://support1.geomagic.com/Support/5605/5668/Article/View/1161/-What-are-the-system-requirements-for-Geomagic-Solutions-software>

Taylor, J. (1982). *Errores en las medidas*. Recuperado el 29 de junio de 2017, de

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/medidas/medidas.htm>

Tenecota, D. (2013). *Estudio de los signos y símbolos de la cultura Cañari aplicado al diseño de mobiliario para un espacio habitable*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca. Recuperado el 26 de abril de 2017, de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/397>.

- Tenesaca, E. (2016). *Modelado 3D de piezas arqueológicas como registro para el museo de la universidad de Cuenca*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca. Recuperado el 29 de abril de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23724>
- Trimble. (2012). *User Guide Trimble TX5 3D Laser Scanner*. Recuperado el 22 de enero de 2017, de <http://mep.trimble.com/sites/mep.trimble.com/files/Trimble%20TX5%20User%20Guide.pdf>
- Triola, M. (2004). *Estadística* (Novena ed.). Pearson Educación.
- Wood, B. (2007). *Acrobat 3D Version 8 Essential Training*. Obtenido de <https://www.lynda.com/Acrobat-tutorials/Acrobat-3D-Version-8-Essential-Training/273-2.html>
- Zhañay, M. (2013). *Diseño de medallones con características precolombinas de la Cultura Chorrera*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Quito. Recuperado el 18 de abril de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/352?mode=full>