



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION Y ESTRUCTURAS

TESIS

**EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL
APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE OBRAS PATRIMONIALES**

PRESENTA

Miriam Alejandra Castro Figueroa

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN INGENIERIA CIVIL

ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN

TUTOR

Jesús Pacheco Martínez

COMITÉ TUTORAL

Miguel Ángel Soto Zamora

Aguascalientes, Ags., a 15 de Mayo de 2016

AUTORIZACIONES



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

DR. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEÓN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS
DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

Por medio del presente como Tutor designado de la estudiante **MIRIAM ALEJANDRA CASTRO FIGUEROA** con ID 1182 quien realizó la tesis titulada: **EVALUACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE OBRAS PATRIMONIALES**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATE NTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 23 de mayo de 2016.

Dr. Jesús Pacheco Martínez
Tutor de tesis

M.I. Miguel Ángel Soto Zamora
Coptutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Fomento
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Construcción y Estructuras
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias del Diseño
y de la Construcción

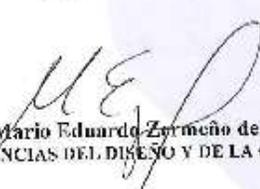
OFICIO No. CCDC-D-148-2016
ASUNTO: Conclusión de Tesis

DRA. GUADALUPE RUIZ CUELLAR
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
PRESENTE.

Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: **"Evaluación y calibración de las técnicas de fotogrametría digital aplicadas a la caracterización geométrica de obras patrimoniales"**, Presentado por la sustentante: **ARO. MIRIAM ALEJANDRA CASTRO FIGUEROA** con ID 1182 egresada de la **MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**, cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que el autor cuenta con el voto aprobatorio correspondiente.

Para efecto de los trámites que a la interesada convengan se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

A T E N T A M E N T E
"SE LUMEN PROFERRE"
Aguascalientes, Ags., a 24 de mayo de 2016


Dr. en Ing. Mario Eduardo Zermeno de León
DECANO DEL C. DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

- c.c.p.- M. en Ing. José Luis López López - Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
- c.c.p.- Dr. Jesús Pacheco Martínez - Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil.
- c.c.p.- M.I. Miguel Ángel Soto Zamora - Tutor de Tesis.
- c.c.p.- Arq. Miriam Castro Figueroa - Egresada de la Maestría en Ingeniería Civil.
- c.c.p.- Lic. Delia Guadalupe López Muñoz - Jefe Sección de Certificados y Títulos.
- c.c.p.- Archivo

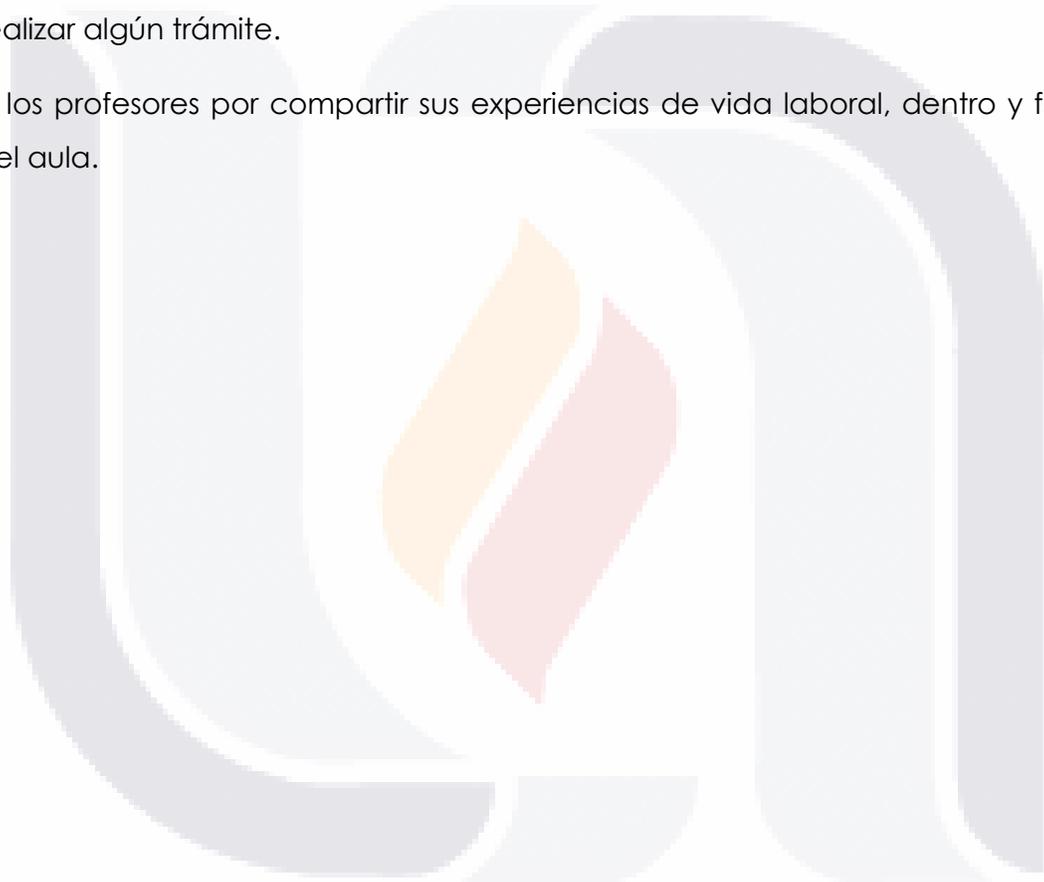
MEZLrbv

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, en especial al Consejo Académico de la Maestría en Ingeniería Civil por apoyarme en todo momento para tener un desarrollo académico óptimo, al Ing. Miguel Ángel Soto Zamora, por creer firmemente en mi desarrollo intelectual día a día, por compartir el conocimiento tanto en las aulas como en su tiempo libre.

A todo el personal administrativo, por su apoyo incondicional al momento de realizar algún trámite.

A los profesores por compartir sus experiencias de vida laboral, dentro y fuera del aula.



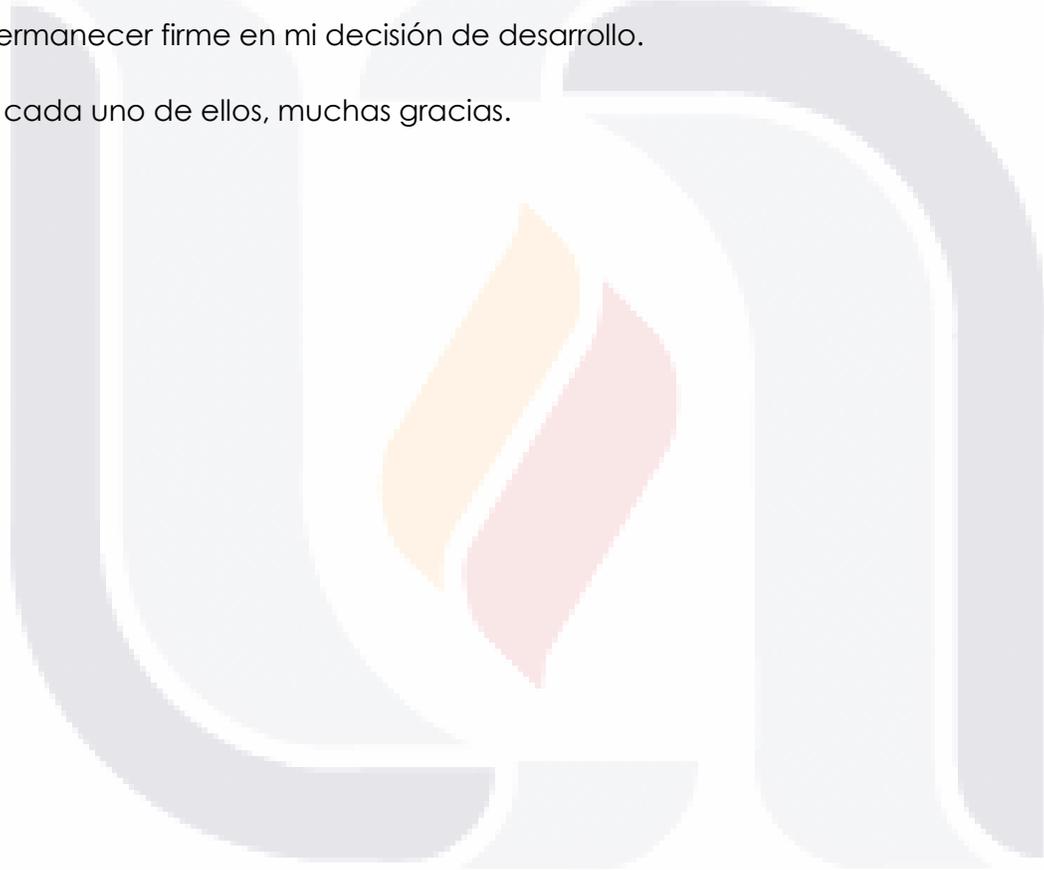
DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a Dios, mis padres, hermanas y en especial a mi esposo e hija, por ser un pilar importante en el desarrollo día a día, ya que sin su apoyo este logro no lo podría haber conseguido.

A mis compañeros de la MIC, por ser un buen equipo tanto en el aula como en la vida laboral.

A todas las personas que con su apoyo incondicional, me ayudaron a permanecer firme en mi decisión de desarrollo.

A cada uno de ellos, muchas gracias.



INDICE GENERAL

INDICE GENERAL..... 1

ÍNDICE DE TABLAS..... 5

ÍNDICE DE IMÁGENES 6

RESUMEN EN ESPAÑOL 10

ABSTRACT..... 11

1. INTRODUCCIÓN..... 13

1.1 Prologo 13

1.2 Objetivo General..... 15

1.3 Objetivos Particulares..... 15

 A. Propiedades del modelo 15

 B. Propiedades de la secuencia fotográfica 16

 C. Modelación 16

 D. Comparación de modelos..... 16

 E. Comprobación de resultados..... 16

 F. Conclusiones..... 16

1.5 Justificación..... 17

1.6 Hipótesis 17

1.7 Metodología..... 18

 A. Selección de objeto 18

 B. Proceso..... 18

 C. Resultado 18

2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO 20

2.1 Conceptos básicos 20

 2.1.1 Principales ventajas 21

 2.1.2 Fotogrametría terrestre y aérea 21

2.2 Origen y evolución de la fotogrametría	24
2.2.1 Relación entre fotogrametría y fotointerpretación	24
2.2.2 Medios para percibir imágenes tridimensionales	24
2.2.3 Determinación de elevaciones en base a puntos de apoyo terrestre	25
2.2.4 Levantamiento fotogramétrico	25
3. GENERALIDADES DEL MODELO	28
3.1 Técnica y procedimientos básicos	28
3.1.1 Técnica para la elección del modelo	29
3.1.2 Técnica para toma de fotografías	30
3.1.3 Generación del modelo	34
4. PROPIEDADES DEL MODELO Y SECUENCIA FOTOGRAFICA.....	38
4.1 Propiedades básicas del modelo	38
4.1.1 Color	39
4.1.2 Tamaño, textura e iluminación	43
4.1.2.2 Objetos medianos	45
4.2 Secuencia fotográfica.....	48
4.2.1 Cuadrado	49
4.2.2 Paralelo	49
4.2.3 Circular	50
5. MODELACIÓN.....	52
5.1 Procedimientos básicos de modelación	52
5.1.1 Selección de objeto	52
5.1.2 Proceso	52
5.1.3 Resultado	53
5.2 Número de fotografías para modelar.....	53
5.3 Procesos a modificar.....	53

5.3.1 Alinear fotografías	54
5.3.2 Creación de nube de puntos densa	59
5.3.3 Creación de malla	62
5.3.4 Creación de textura	66
6. COMPROBACIÓN DE MODELOS	71
6.1 Escenario de captura	74
6.1.1 Cuadrado	74
6.1.2 Paralelo	75
6.1.3 Circular	76
6.2. Comprobación de iluminación	80
6.2.1 Natural	81
6.2.2 Artificial	84
6.2.3 Baja intensidad	87
6.3 Comprobación de Pixeles	89
6.4 Modelos comparados variando el número de fotografías	93
6.5 Comprobación por color	95
6.6 Comprobación por tamaño	99
6.7 Comparación de resultados	104
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	109
CONCLUSIONES	111
Generales	111
A. Propiedades del modelo	111
B. Propiedades de la secuencia fotográfica	111
C. Modelación	112
D. Comparación de modelos	112
E. Comprobación de resultados	112

F. Conclusiones..... 112

Nichos de investigación 112

GLOSARIO..... 114

BIBLIOGRAFÍA 116

ANEXOS 118



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa código Selden.....38

Tabla 2 Comparativa cubo 10 x 1041

Tabla 3 Comparativa atlante tolteca.....43

Tabla 4 Referencia para valoración de error escenario de captura78

Tabla 5 Referencia para valoración de volumen escenario de captura79

Tabla 6 Tabla de referencia para valoración de error en iluminación natural ...82

Tabla 7 Referencia para valoración de volumen iluminación natural83

Tabla 8 Referencia para valoración de error iluminación artificial85

Tabla 9 Referencia para valoración de volumen iluminación artificial.....86

Tabla 10 Referencia para valoración de error iluminación baja intensidad88

Tabla 11 Referencia para valoración de error en pixeles.....90

Tabla 12 Referencia para valoración de volumen en pixeles92

Tabla 13 Referencia para valoración de error en número de fotografías.....93

Tabla 14 Referencia para valoración de volumen en número de fotografías....94

Tabla 15 Referencia para valoración de error por color96

Tabla 16 Referencia para valoración de volumen por color98

Tabla 17 Referencia para valoración de error por tamaño102

Tabla 18 Referencia para valoración de volumen por tamaño.....103

Tabla 19 Referencia para comparación de resultados104

Tabla 20 Referencia de error por comparación de resultados.....106

Tabla 21 Referencia para valoración de volumen por tamaño.....108

Tabla 22 Referencia discusión de resultados109

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Distancia a la base del estereoscopio e interpupilar	20
Imagen 2 Sistema de escáner laser terrestre	22
Imagen 3 Fotogrametría aérea, por medio de vehículo aéreo no tripulado	23
Imagen 4 Fachada Park Güell	28
Imagen 5 Cabeza Olmeca	29
Imagen 6 Proceso de captura de fotografías	30
Imagen 7 Escenario circular, técnica toma de fotografías.....	31
Imagen 8 Columna sala hipóstila Lonja.....	32
Imagen 9 Nube de puntos densa Sala Hipóstila	33
Imagen 10 Secuencia de proceso Agisoft Photoscan.....	35
Imagen 11 Ejemplo máscaras Agisoft Photoscan.....	35
Imagen 12 Códice Selden.....	38
Imagen 13 Códice Selden.....	39
Imagen 14 Cubo 10 x 10, color natural, negro y gris.....	40
Imagen 15 Cubo 10 x 10 gris prueba color	41
Imagen 16 Cubo 10 x 10 natural prueba color.....	42
Imagen 17 Cubo 10 x 10 negro prueba color.....	42
Imagen 18 Atlante Tolteca	43
Imagen 19 Atlante Tolteca	44
Imagen 20 Columna de la catedral	45
Imagen 21 Coatlicue	45
Imagen 22 Coatlicue	46
Imagen 23 Calendario azteca.....	47
Imagen 24 Cámaras fotográficas.....	48
Imagen 25 Escenario de captura cuadrado.....	49
Imagen 26 Escenario de captura paralelo	50
Imagen 27 Escenario de captura circular.....	50
Imagen 28 Piedra sacrificio.....	54
Imagen 29 Agregar fotografías.....	55
Imagen 30 Seleccionar carpeta.....	55

Imagen 31 Alinear fotografías 56

Imagen 32 Calidad 56

Imagen 33 Preselección y límite de puntos 57

Imagen 34 Parámetros para alinear fotografías 57

Imagen 35 Proceso de alineación de fotografías 58

Imagen 36 Fotografías alineadas 58

Imagen 37 Detalle de modelo fotografías alineadas 59

Imagen 38 Creación de nube de puntos densa 60

Imagen 39 Calidad y filtro recomendados 60

Imagen 40 Parámetros para creación de nube de puntos densa 61

Imagen 41 Proceso de creación de nube de puntos densa 61

Imagen 42 Detalle de nube de puntos densa 62

Imagen 43 Creación de malla 63

Imagen 44 Tipo de malla y total de polígonos 63

Imagen 45 Parámetros de creación de malla 64

Imagen 46 Proceso creación de malla 64

Imagen 47 Malla creada 65

Imagen 48 Detalle de malla creada 65

Imagen 49 Número de texturas 66

Imagen 50 Creación de textura 66

Imagen 51 Parámetros de creación de textura 67

Imagen 52 Proceso de creación de textura 67

Imagen 53 Textura creada 68

Imagen 54 Comparación de modelo Agisoft Photoscan – Sketch Up 71

Imagen 55 Definición de error Sketch up – Solid inspector2 72

Imagen 56 Definición de volumen cubo 10 x 10 73

Imagen 57 Detalle de volumen cubo 10 x 10 73

Imagen 58 Alinear fotografías, escenario cuadrado 74

Imagen 59 Nube densa, escenario cuadrado 75

Imagen 60 Malla, escenario cuadrado 75

Imagen 61 Alinear fotografías, escenario paralelo 76

Imagen 62 Alinear fotografías, escenario circular 76

Imagen 63 Nube densa, escenario circular	77
Imagen 64 Malla, escenario circular	77
Imagen 65 Determinación de error, escenario circular	78
Imagen 66 Determinación de volumen, escenario circular	79
Imagen 67 Cámaras fotográficas.....	80
Imagen 68 Cubo 10 x 10, iluminación natural, artificial y baja intensidad	80
Imagen 69 Errores iluminación natural iPhone 6.....	81
Imagen 70 Errores iluminación natural Nikon	81
Imagen 71 Volumen iluminación natural iPhone 6	82
Imagen 72 Volumen iluminación natural Nikon.....	83
Imagen 73 Error iluminación artificial iPhone 6	84
Imagen 74 Error iluminación artificial Nikon.....	84
Imagen 75 Volumen iluminación artificial iPhone 6	85
Imagen 76 Volumen iluminación artificial Nikon	86
Imagen 77 Error iluminación baja intensidad iPhone 6	87
Imagen 78 Error iluminación baja intensidad Nikon.....	87
Imagen 79 Error iluminación baja intensidad Sony Cyber shot	88
Imagen 80 Error 24.1 megapíxeles	89
Imagen 81 Error 13.5 megapíxeles	90
Imagen 82 Error 13.5 megapíxeles	90
Imagen 83 Volumen 24.1 megapíxeles.....	91
Imagen 84 Volumen 13.5 megapíxeles.....	91
Imagen 85 Volumen 6 megapíxeles.....	92
Imagen 86 Error 66 fotografías.....	93
Imagen 87 Volumen 30 fotografías	94
Imagen 88 Error, color gris	95
Imagen 89 Error, color negro	96
Imagen 90 Error, color natural	96
Imagen 91 Volumen, color gris.....	97
Imagen 92 Volumen color negro	97
Imagen 93 Volumen, color natural.....	98
Imagen 94 Cubo 6 x 6, cubo 10 x 10 y edificio 213.....	99

Imagen 95 Malla cubo 6 x 6 y cubo 10 x 10, alinear fotografías edificio 213	100
Imagen 96 Error, cubo 6 x 6	101
Imagen 97 Error, cubo 10 x 10	101
Imagen 98 Volumen, cubo 6 x 6	102
Imagen 99 Volumen, cubo 10 x 10	103
Imagen 100 Error, 5000 límite de puntos	105
Imagen 101 Error, 10000 límite de puntos	105
Imagen 102 Error, 20000 límite de puntos	106
Imagen 103 Volumen, 5000 límite de puntos	107
Imagen 104 Volumen, 10000 límite de puntos	107
Imagen 105 Volumen, 20000 límite de puntos	108



RESUMEN EN ESPAÑOL

Esta tesis basa su estudio en la evaluación y calibración de las técnicas de fotogrametría digital, realizando un escaneo fotográfico, mediante la utilización de Agisoft Photoscan para realizar un modelo de bajo costo, que nos permitió medir, visualizar y crear modelos 3D, posteriormente se podrá realizar la calibración utilizando SketchUp® y Solid Inspector2®.

En base a lo anterior las ponderaciones guardadas entre los parámetros físicos finitos se determinarán por color, escala, iluminación, forma, textura, escenarios de captura, tamaño y pixeles, utilizando parámetros modificables en el modelado de diferentes objetos como numero de fotografías, nube densa, malla y textura, definiendo las técnicas optimas guardadas entre las determinaciones antes mencionadas.

La técnica definirá un modelo estándar para la generación de elementos finitos y analizables, teniendo en cuenta el porcentaje de error y volumen que conlleva la implementación de la misma.

La calibración del mismo se podrá determinar con el análisis cuantitativo de cada uno de los modelos, comparándolos entre sí por medio del volumen físico y fotogramétrico, que arrojo el porcentaje de error del mismo.

Además de la evaluación y calibración de la técnica, se optimizará el tiempo, forma y ejecución de la foto modelación de bajo costo, obteniendo modelos más rápidos y confiables.

Por lo tanto los modelos obtenidos a través de esta técnica permitirán al investigador obtener objetos tridimensionales analizables, bajo el rigor de la rápida implementación, precisión y bajo costo.

Palabras clave: Fotogrametría, técnica, evaluación, calibración, estereoscopia digital, corto rango, precisión, bajo costo, Agisoft Photoscan®, SketchUp®, Solid Works2®.

ABSTRACT

This thesis bases its study on the evaluation and calibration techniques of digital photogrammetry, making a photographic scanning, using Agisoft Photoscan for a low-cost model that allows us to measure, visualize and create 3D models, then we can make calibration using SketchUp and Solid Inspector2.

Based on the above stored weights between finite physical parameters are determined by color, scale, lighting, shape, texture, capture scenarios, size and pixels, using modifiable parameters in the modeling of different objects such as number of photographs, dense cloud mesh and texture defining the good technical stored between the above determinations.

The technique will define a standard model for generating and analyzable finite elements, taking into account the error rate and volume involved in implementing it.

Calibration thereof may be determined by the quantitative analysis of each of the models, compared with each other by physical and photogrammetric volume, bringing as a result the error rate.

In addition to the evaluation and calibration of the technique, time will be optimized, the form and execution of the low-cost photo modeling, getting faster and more reliable models.

Therefore the models obtained through this technique will allow the researcher to obtain analyzable three-dimensional objects under the rigor of rapid deployment, accuracy and low cost.

Keywords: Photogrammetry, technique, evaluation, calibration, digital stereoscopy, short - range, precision, low cost, Agisoft Photoscan, SketchUp and Solid Works2.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Prologo

La fotogrametría es una técnica cuya finalidad es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto, creando un sistema de información a distancia para analizar diferentes fotografías, utilizando técnicas de percepción remota y las de fotointerpretación (Lerma García, 2002).

Existen diferentes tipos de fotogrametría, la terrestre es la fotografía que se toma paralela a la corteza y la aérea es obtenida desde vehículos aéreos, de esta última se desprende la analítica, analógica y digital, sus funciones en la mayoría son de investigar a partir de imágenes aéreas de modelos definidos y de diferentes puntos de vista ya sea ópticos o mecánicos para realizar un modelo (Ternryd & Eliz, 1971).

Las ventajas de utilizar este método es que se obtienen representaciones completas de los objetos, obteniendo información objetiva, instantánea, cómoda y económica, puesto que para su realización no se utilizan aparatos sofisticados. Existen algunos programas como el Agisoft Photoscan para hacer un escaneo fotográfico y crear un modelo, éste se utilizará como método inicial para modelar.

El estudio de la fotogrametría es una disciplina que está en constante evolución, existe la fotogrametría analítica y digital que se utilizan con técnicas más avanzadas aplicando diferentes formatos alternos para mejorar la calidad de los modelos, no solo utilizando fotografías, puntos de apoyo o referencias y programas de representación (Lerma García, 2002).

La fotogrametría digital potencia las herramientas matemáticas de la fotogrametría analítica, el procesado de imágenes, permitiendo que la técnica sea más competitiva y abierta para la generación de todo tipo de modelos en 2D y 3D. El procesamiento de imágenes se facilita con la utilización de programas que ofrecen productos y soluciones con gran rapidez y calidad tales como orto fotografías, modelos foto realistas y de piezas, elementos estructurales y deformaciones (Lerma García, 2002).

Este ámbito deja de estar limitado solo a la cartografía, se utiliza en la arquitectura, arqueología, historia, conservación del patrimonio, restauración e ingeniería civil.

Se pretende crear una metodología teórico-práctico para poder realizar modelos fotogramétricos más confiables, que sirvió de punto de comparación de levantamientos manuales o digitales por medio de escáner laser, tomando en cuenta que este método de fotogrametría de corto rango es de menor costo y fácil acceso, ya que ofrece resultados en menor tiempo que satisfacen las demandas del usuario.

Para la generación de modelos más confiables se analizan y comparan elementos geométricos tanto manual como digital. La información acerca de los puntos resulta importante para la restitución de las fotografías aisladas, creando un perfil en el que se va uniendo punto por punto.

Realizar una revisión de las técnicas de fotogrametría y estereoscopia digital, aplicadas a la caracterización geométrica del patrimonio edificado, calibrando los procesos de medición y optimizando los recursos disponibles para la generación de modelos digitales tridimensionales de dichas obras que ayudo a obtener los resultados deseados.

Mediante esto se pretende tener medidas más certeras de obras patrimoniales catalogadas realizando un trabajo conjunto, considerando los elementos que ya se tienen, analizándolos y actualizándolos con métodos fotogramétricos, previamente estudiados para lograr modelos más apegados a la realidad.

Para ello, es conveniente aplicar una serie de ejercicios con figuras de pequeña a mediana escala para posteriormente aplicarlo a modelos más amplios, analizando el número de fotografías que utilizan estas opciones para poder realizar un ejercicio más completo y lograr el objetivo planteado.

El desarrollo del presente trabajo resulta de vital importancia ya que propone que se haga un análisis y estudio para determinar una adecuada caracterización geométrica de las obras patrimoniales de mayor importancia que garantice un mejor análisis y pueda servir para desarrollar nuevas técnicas de fotogrametría digital, obteniendo resultados favorables y concisos al momento de modelar cualquier tipo de figura u obra patrimonial.

1.2 Objetivo General

Caracterizar las distintas propiedades de las etapas del proceso de fotogrametría, que tengan inferencia directa en la calidad del resultado, tomando en cuenta todos los parámetros previamente estudiados y establecidos para la realización del modelo.

Mediante el estudio de modelos, utilizando diferentes escalas, analizando variables como número de fotografías, color, iluminación, escenarios de captura, tipo de cámara, píxeles y tamaño para realizar la comparación de los mismos determinando los factores necesarios para la obtención de un modelo óptimo con buena calidad.

1.3 Objetivos Particulares

A. Propiedades del modelo

Mediante este proceso se pueden determinar los factores principales que intervienen en el modelo como color, tamaño, textura, iluminación y por último se hará un análisis de resultados de las propiedades del modelo.

B. Propiedades de la secuencia fotográfica

Se usan diferentes tipos de cámaras fotográficas (Teléfonos móviles, digitales y semi profesionales), tomando en cuenta el tamaño de la fotografía por medio de pixeles y el factor de iluminación para realizar un análisis de resultados de propiedades de la secuencia fotográfica.

C. Modelación

El objetivo es determinar los resultados finales, tomando en cuenta el número de fotografías para modelar según su tamaño del modelo a realizar, parámetros a modificar en el proceso de alineación de fotografías (Número de puntos), creación de nube densa (Calidad), elaboración de mallas (Polígonos) y textura, ya obteniendo los resultados de las cuatro etapas anteriores se puede generar una comparativa entre software de modelación utilizando Sketchup® y Solid Inspector2. Por último se analizan los resultados de modelación.

D. Comparación de modelos

Con base a los modelos ya obtenidos se analizan los parámetros más importantes como propiedades del modelo, secuencia fotográfica y modelación para ponderar cuales son los óptimos para realizar modelos de alta, media y baja calidad.

E. Comprobación de resultados

Se deben generar modelos en 3D utilizando diferentes programas, como AutoCAD, Sketchup, 3D Max o Archicad para comparar la dimensión y forma del modelo generado en Agisoft PhotoScan Professional.

F. Conclusiones

Es el último paso del proceso, por lo tanto se generan tablas comparativas con base a criterios generales y parámetros específicos, para plasmar en el documento la información específica y los resultados obtenidos en el mismo. Realizando las conclusiones pertinentes en cada paso del proceso de fotogrametría previamente estudiado.

1.4 Alcances

Se pretende que se conozca más a fondo el sistema de fotogrametría, utilizando programas de escaneo fotográfico para poder analizar cualquier objeto, haciendo diferentes aplicaciones; como modo de empleo y número de las fotografías, para así determinar los ajustes y parámetros necesarios para una modelación más específica y certera.

Es necesario determinar éste como un método de fácil uso y bajo costo, obteniendo el error y volumen de cada objeto, para después poder exportar los modelos para ser analizados por un programa de elementos finitos por ejemplo Abaqus, Ram elements, SAP 2000 etc. Obteniendo resultados más específicos para la ingeniería civil.

1.5 Justificación

La fotogrametría de corto rango es una técnica inexplorada, las implementaciones amplían las posibilidades de análisis sobre elementos tridimensionales, y permiten a los investigadores la administración de una técnica, medible, confiable y asequible que ayude a profundizar su estudio, es por eso la necesidad de realizar una investigación exhaustiva, ya que se pretende adquirir conocimiento de utilización parecido o igual a los del escáner laser, simplemente se necesita tener conocimiento básico de la utilización de una cámara fotográfica, Photoshop, Agisoft Photoscan y algún programa de modelación en 3D como AutoCAD, 3D Max, ArchiCAD o SketchUp entre otros. De estos últimos depende la comprobación por medio de pruebas de volumen, para la determinación del error específico.

1.6 Hipótesis

Por medio del análisis de obtención e interpretación de datos así como la integración de modelos finitos, se determinara el proceso óptimo entre medición física y fotogrametría para la elaboración de material gráfico de análisis y comprobación entre ellos.

1.7 Metodología

La técnica consiste en la selección de criterios que permitan obtener modelos de estudio con una capacidad de análisis confiable, desde una perspectiva de implementación rápida y bajo costo.

La metodología tomara en cuenta los siguientes criterios:

A. Selección de objeto

Generaron modelos a partir de diferentes características del proceso, utilizando factores como color (textura), secuencia fotográfica (inclinación, traslape y distancia), iluminación, escala del modelo y calidad de la imagen (Píxeles) para el procesamiento óptimo de una malla vectorial por medio de Agisoft Photoscan®.

B. Proceso

Determinación de cantidad y calidad fotográfica dentro del contexto de procesamiento de la información y valoración mínima para la calibración positiva del modelo frente al método de medición física, integrando los paquetes de instrucciones y modificaciones a imágenes a través de Agisoft Photoscan® para optimizar el modelado, creando una malla vectorial para su análisis de error y volumen.

Evaluando el porcentaje de error existente en Sketch up® entre los procesos de obtención de modelos físicos y fotogramétricos, utilizando Solid inspector2® para comparar sus volúmenes entre geometrías conocidas.

C. Resultado

Determinación con el modelado del estado óptimo de las relaciones entre las diferentes variables como color, textura, tamaño, iluminación, calidad, número de fotografías para obtener valores cualitativos y cuantitativos acerca del porcentaje de error, calidad y precisión.

Transformando los modelos a mallas vectoriales, comparando sus volúmenes entre geometrías conocidas, evaluando el error existente entre estas.



CAPÍTULO

2

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Fotogrametría es la ciencia o arte que trata de la obtención de medidas confiables por medio de fotografías, a fin de determinar las características geométricas tamaño, forma y posición del objeto fotografiado. (American Society of Photogrammetry)

2.1 Conceptos básicos

La fotogrametría es una técnica que se utiliza para obtener dimensiones a partir de una imagen, esto es obtener dimensiones de una fotografía, la fotogrametría puede practicarse en dos dimensiones a partir de una imagen o bien en tres dimensiones para lo cual se requieren más de dos fotografías según sea el caso (Vizcaino, 2015).

La estereoscopia es una capacidad de nuestro cerebro para visualizar el mundo en tercera dimensión, esto es además de tener la noción de largo y ancho también se pudo apreciar profundidad y esto permitió definir la proximidad de los objetos. Se logró mediante dos imágenes, que para este caso fueron capturadas en físico y permitió definir la profundidad por el ángulo que se generó entre ellos (Vizcaino, 2015).

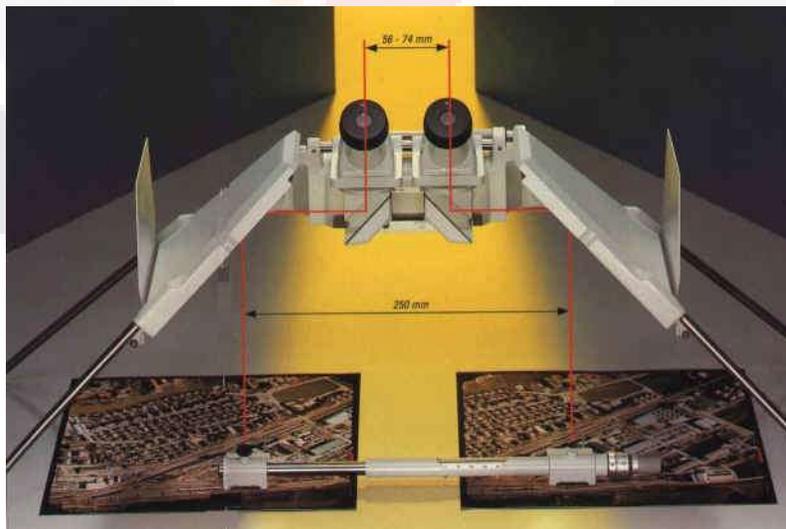


Imagen 1 Distancia a la base del estereoscopio e interpupilar (Iberica)

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Es prácticamente imposible obtener el volumen de un cuerpo irregular, para este caso una roca, se debe emplear el principio de Arquímedes que señala que el volumen de un cuerpo puede medirse al sumergirlo en un recipiente de agua y el resultado se obtendrá al medir el líquido desplazado por el objeto (Vizcaino, 2015).

2.1.1 Principales ventajas

Ventajas de la fotogrametría sobre otros sistemas de captura de información que pudieron señalar son los siguientes:

- Obtuvieron representaciones completas de los objetos (información objetiva).
- El registro es instantáneo.
- Utilizaron materiales relativamente económicos, de fácil manipulación y conservación.
- Pudieron utilizar objetos en movimiento.
- El proceso de captura de la información y el posterior de medida, no perturbo el objeto a estudiar.
- Proporciono grandes rendimientos.

En definitivo, se espera de la fotogrametría con respecto a la topografía clásica, una aplicación donde no es sustituible ninguna de estas, existió mayor comodidad, economía, facilidad y rapidez (Otero, Ezquerro, Rodríguez-Solano, Martín, & Bachiller).

2.1.2 Fotogrametría terrestre y aérea

A lo largo del tiempo se han utilizado diferentes técnicas de fotogrametría aplicadas a la ingeniería, en sus ramas de cartografía, construcción y conservación ya que ha evolucionado rápidamente y ofrece cada vez aplicaciones más amplias, la técnica es útil y necesaria para la formación académica de un ingeniero o arquitecto (Ternryd & Eliz, 1971).

El uso y aplicación de la fotogrametría terrestre y área se da en estudios de sitio, conservación, traslado de monumentos, planeación de tráfico urbano, entre otros (Corral Medrano, Estrada E, & Echaverri Pérez, 1994).

Fotogrametría terrestre es la utilización de una cámara métrica, montada en un trípode, dotada de medios para centrarla, nivelarla y medir los ángulos tanto horizontales como verticales para determinar la posición del eje óptico del objeto de toma. El instrumento resultante es el fototeodolito (Herrera, 1987).



Imagen 2 Sistema de escáner laser terrestre (Jaen)

La fotogrametría aérea se realiza por medio de la utilización de una cámara métrica montada en una aeronave, mediante la que es posible captar áreas relativamente extensas (Herrera, 1987).

Cabe destacar que el hecho de que las fotografías se formen mediante un haz de rayos luminosos refractados por el objetivo de toma, da como resultado que una fotografía tienda a ser una perspectiva, siempre que las alteraciones dadas por ese objetivo, las contracciones en la fotografía y la emulsión fotográfica sean muy pequeñas (Lerma García, 2002).

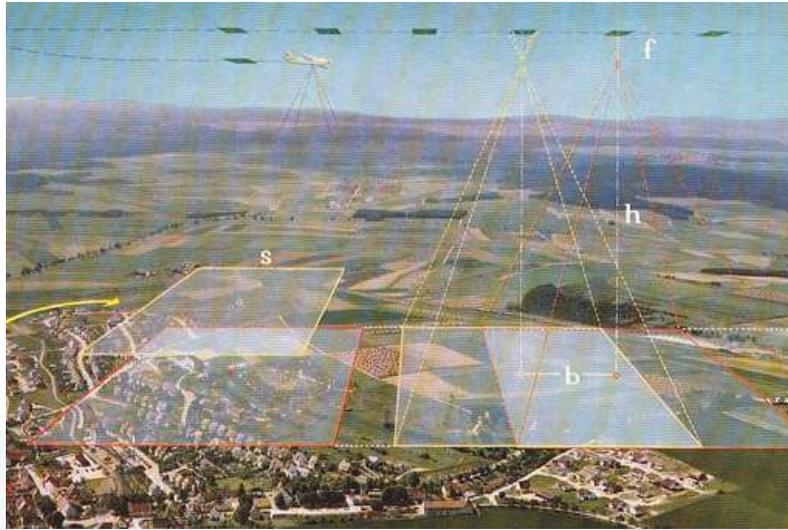


Imagen 3 Fotogrametría aérea, por medio de vehículo aéreo no tripulado (De topografía)

El texto se centró en esta última especialidad sin pretender profundizar en la complejidad de las técnicas fotogramétricas, sino que se referirá a aquellos principios elementales necesarios para la manipulación técnica del material aerofoto gráfico y cartográfico que hace posible el desarrollo y aplicación de las mismas (Otero, Ezquerro, Rodríguez-Solano, Martín, & Bachiller).

Por último señalar que dependiendo del método empleado, se pueden distinguir tres tipos diferentes de fotogrametría:

Fotogrametría analógica: Es la determinación precisa de un objeto en el espacio, mediante la utilización de fotografías aéreas, la fotogrametría analógica lo consigue mediante la utilización directa de dichas fotografías (Formando modelos estereoscópicos), reconstruyendo el modelo espacial con sistemas ópticos o mecánicos (Otero, Ezquerro, Rodríguez-Solano, Martín, & Bachiller).

Fotogrametría analítica: En este caso el modelo espacial se reconstruye exclusivamente mediante programas informáticos que simulan dicha geometría (Otero, Ezquerro, Rodríguez-Solano, Martín, & Bachiller).

Fotogrametría digital: Fotogrametría que utiliza como dato de entrada las fotografías aéreas previamente transformadas a formato digital, reconstruyendo así mismo el modelo espacial de forma numérica o

digital; en este caso los conceptos relativos a tratamiento digital de imágenes cobran gran importancia (Otero, Ezquerro, Rodríguez-Solano, Martín, & Bachiller).

2.2 Origen y evolución de la fotogrametría

Surgió de la disposición de imágenes fotográficas, que pudieron ser utilizadas con fines cualitativos, cuantitativos o métricos por medio de la disposición de imágenes.

La fotogrametría es la ciencia y arte de tomar medidas precisas utilizando fotografías (American Society of Photogrammetry). Por otra parte una definición acertada de fotogrametría puede inferirse del título de la obra del coronel del ejército francés Aime de Laussedat (1901) Se define como la búsqueda a través de instrumentos, métodos y diseños de topografía "Recherches sur les instruments, les methodes, et le dessin topographiques" en la que Laussedat, quien ha sido reconocido como creador o padre de la fotogrametría por muchos especialistas, la describe como una disciplina de carácter topográfico (Toro).

2.2.1 Relación entre fotogrametría y fotointerpretación

La fotointerpretación se dedica a identificar los objetos mediante sus imágenes fotográficas, incluso sobre los estados en que se encuentran y los procesos o fenómenos que los afectan. En la fotogrametría necesariamente se tiene que identificar los objetos a través de sus imágenes como parte esencial de su trabajo creando una relación estrecha entre ambas (Herrera, 1987).

2.2.2 Medios para percibir imágenes tridimensionales

Los medios para percibir imágenes tridimensionales artificialmente son los estereoscopios, ciertos sistemas de proyectores, o la observación de imágenes sobrepuestas en colores complementarios. Estos pueden ser de reflexión, refracción o mixtos (Vozmediano Montoya, 2006).

2.2.3 Determinación de elevaciones en base a puntos de apoyo terrestre

Cuando en un modelo se tuvo al menos dos puntos identificados de elevación, es posible obtener en el modelo las elevaciones aproximadas de otros puntos, mediante crear el modelo y después realizar una comparación utilizando algún método en 3D ya sea por interpolación o extrapolación (Vozmediano Montoya, 2006).

2.2.4 Levantamiento fotogramétrico

Consiste en la toma de fotografías métricas que es propiamente un levantamiento, se lleva a cabo por medio de la captación de información en imágenes que deben ser procesadas más tarde (Photoscan, 2012). En orden cronológico es la primera de las operaciones en el proceso de aplicación de la fotogrametría de un modelo, por lo tanto el grado de eficiencia con el que se realice tendrá influencia directa en el resultado de todo el proceso (Herrera, 1987).

El levantamiento fotográfico aéreo consiste en vuelos aproximadamente a la misma altura, creando fotografías en cuadrantes con movimientos verticales y horizontales, mediante superposiciones y acercamientos para después almacenar toda la información y generar el modelo correspondiente (Vozmediano Montoya, 2006).

Actualmente la solución más novedosa para la obtención de modelos en 3D es la Fotogrametría. La cual se basa en la utilización de imágenes convencionales las cuales generalmente son realizadas por cualquier tipo de cámara pero ya en esta parte dependen mucho del usuario de la cámara, porque esta requiere que al menos dos partes del modelo sean visibles desde distintos ángulos.

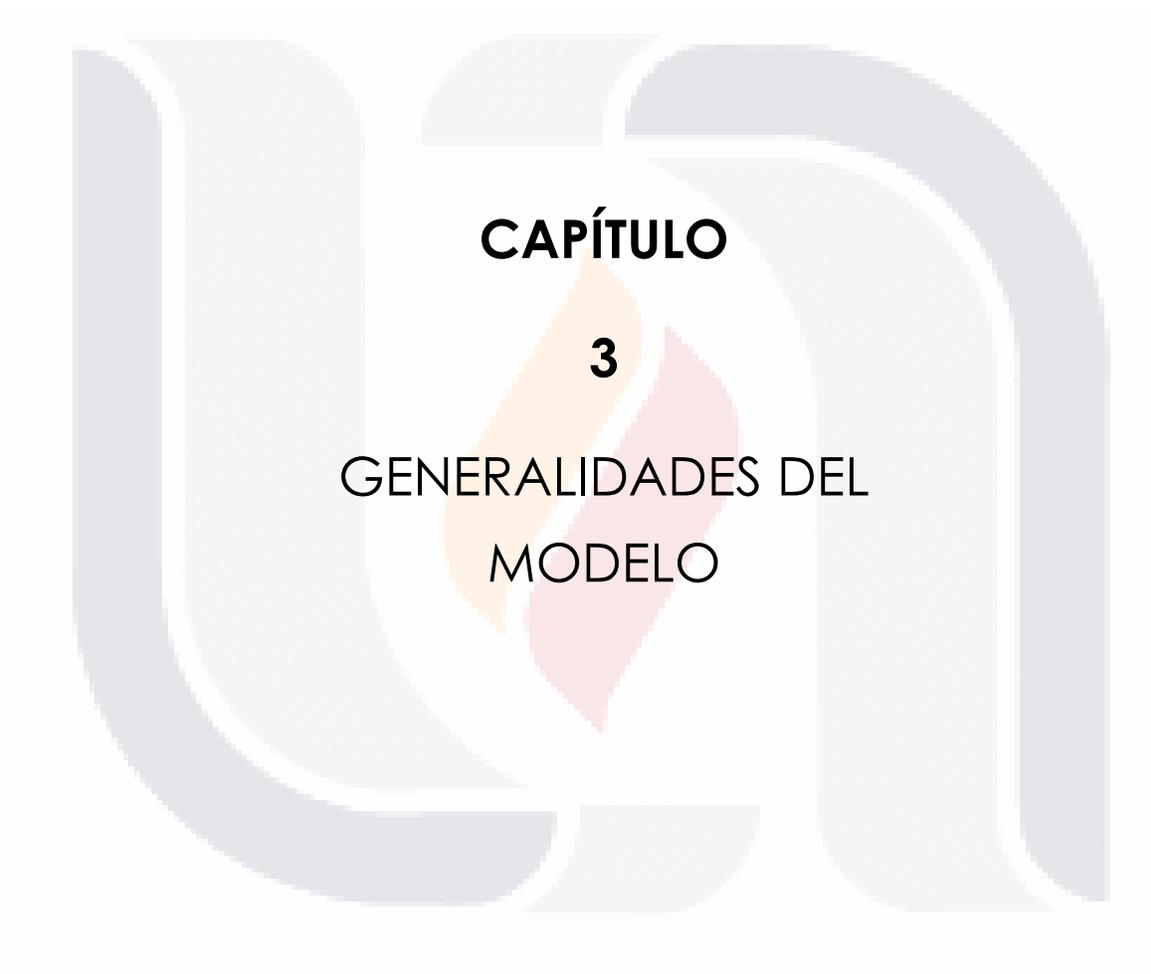
El procedimiento de la fotogrametría automatizada digital, consiste en encontrar los puntos homólogos en todas las fotográficas y con ello lograr localizar las posiciones relativas; posteriormente se logra una reconstrucción geométrica del modelo el cual logra definir la superficie de la cual se trató el

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

modelo. Logrando así hallar la profundidad y sus diferentes características (Lewis Falkingham, 2012).

En los últimos años las herramientas utilizadas para el estudio y documentación de patrimonio histórico se encontraba en un gran déficit porque no tenían una herramienta de identificación tan valiosa como lo es ahora la fotogrametría pero gracias a esto ha sufrido un increíble avance ya que ha obtenido grandes posibilidades como las estaciones fotogramétricas digitales y sistema laser escáner (Lerma García, 2002).

Con estos avances se ha facilitado de gran manera el trabajo lo que ha generado un muy bajo coste en ellas y un ahorro de grandes cantidades los cuales podrían ser invertidos en la modernización de los sitios históricos. Para el uso de esta herramienta se comenzara con la utilización de 4 coordenadas conocidas de las cuales se hace una rectificación de la fotografía y se proyecta cada una de las imágenes en estilo mosaico, precedentemente de esto se le realizan los estudios pertinentes a las fotos y se procede a una extracción de la estructura externa e interna del edificio (Vozmediano Montoya, 2006).



3. GENERALIDADES DEL MODELO

3.1 Técnica y procedimientos básicos

Se comenzó a modelar, surgieron muchas dudas, sobre todo como se tuvo que empezar, cuál era la técnica, que factores influyeron como color, textura, iluminación, tipo de cámara, número de fotografías y parámetros que se modificaron, todo lo antes mencionado para determinar el error que existe entre la fotogrametría y la medición física.

El programa que se utilizó se llama Agisoft PhotoScan® en su versión estudiantil, en cuestión de manejo fue amigable ya que tiene herramientas como el AutoCAD, Photoshop o Corel Draw, por lo tanto no se presentó alguna dificultad para su utilización.

Conforme se continuó modelando, se aprendieron nuevas técnicas, por lo tanto se obtuvieron resultados con más rapidez y menor costo.

Dos puntos importantes fueron, como se eligieron los modelos y la técnica que se empleó para tomar fotografías, conforme cada modelo que se realizó se aprendieron objetivos nuevos, desde el proceso de utilización del programa y técnica de tomar las fotografías, determinaron el resultado final (Imagen 4).



Imagen 4 Fachada Park Güell, Octubre 2015, Barcelona, España. Iluminación natural,

23 Fotografías cámara semi profesional Nikon® 18 pixeles

3.1.1 Técnica para la elección del modelo

Se modelo cualquier figura, escultura, cuadro o modelo siempre y cuando la escala se los permitió y las fotografías estuvieron al alcance del usuario, porque para la realización de fotogrametría de corto rango, la distancia fue un factor importante para su desarrollo (Imagen 5).

La complicación que presento algún modelo fue el factor de iluminación, ya que ejerce sombras sobre el objeto lo que no permite que los detalles aparezcan en las fotografías y por consecuencia en el modelo.

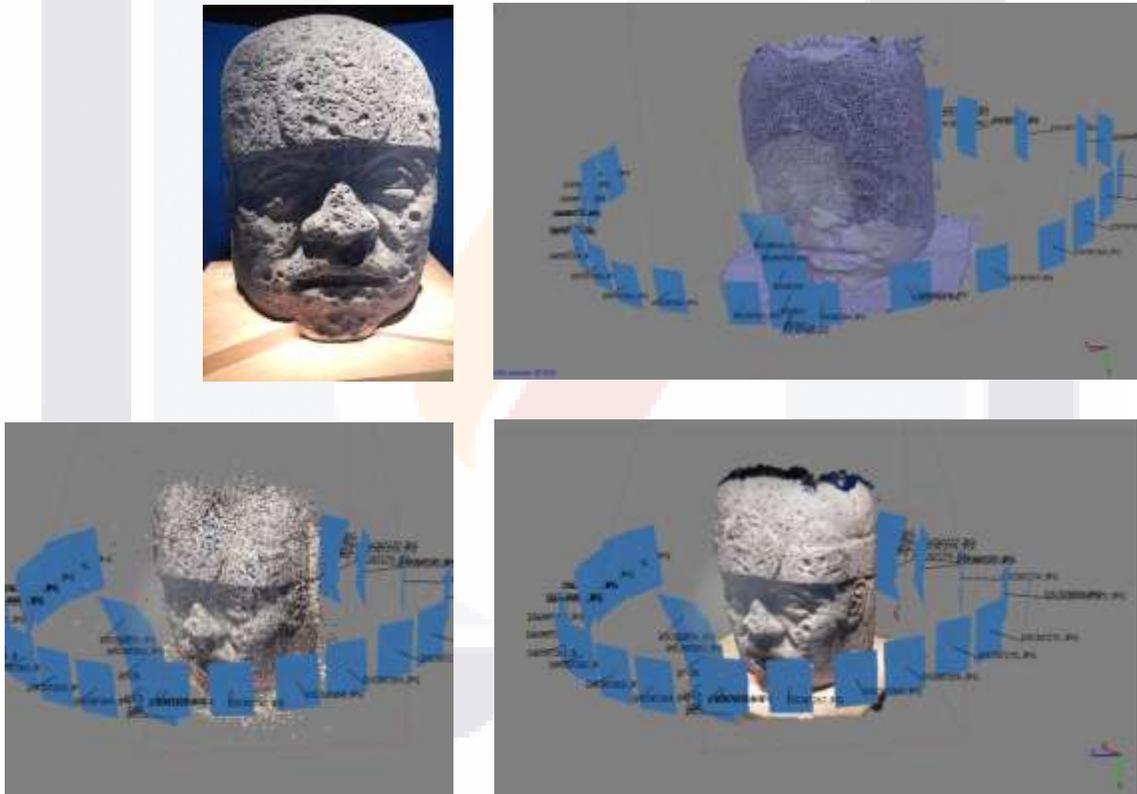


Imagen 5 Cabeza Olmeca Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F. Iluminación artificial, 43 fotografías Cámara semi profesional Nikon 16 pixeles (Soto, 2016)

3.1.2 Técnica para toma de fotografías

Ubicado el objeto a modelar se procedió a practicar sobre él una sesión fotográfica de tal manera que las capturas formaron un tipo de esfera sobre el elemento esto por ser objetos aislados.

La secuencia de fotografías se hizo considerando que entre una y otra toma existiría una relación de traslape entre ellas para que el programa identifique la relación entre estas, se puede hacer considerando al objeto como punto central y girando un aproximado de 45° máximo tomando de partida la fotografía anterior (Imagen3). Para facilitar el proceso se capturaban tres fotos en un mismo punto de apoyo, punto alto, medio y bajo, enfocando siempre al centro del elemento (Vizcaino, 2015).

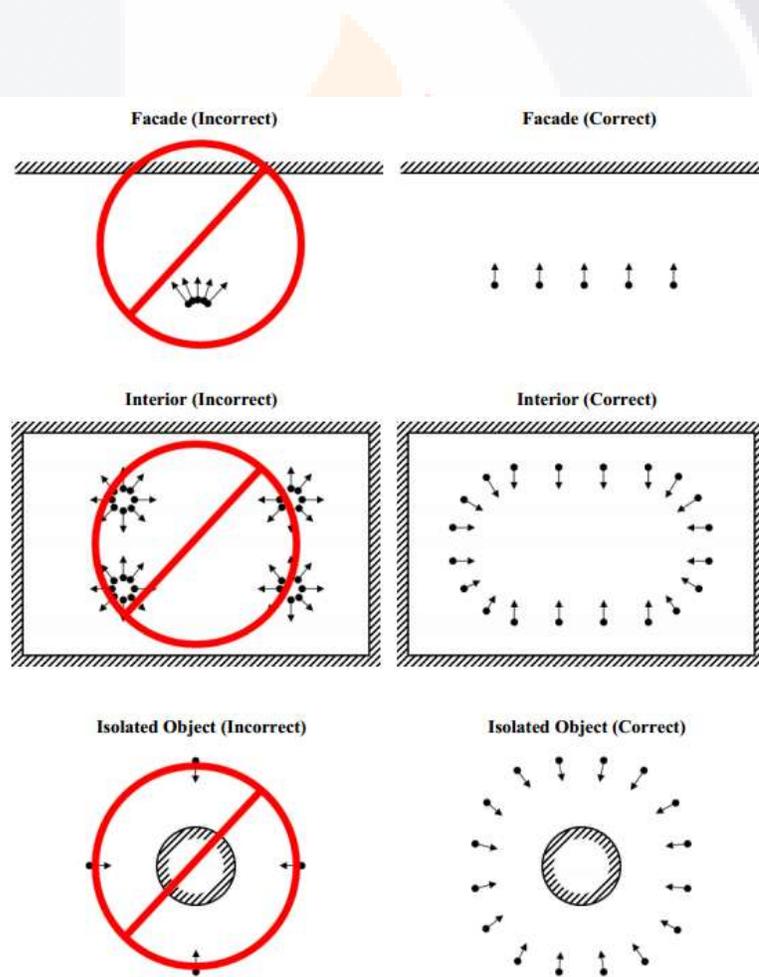


Imagen 6 Proceso de captura de fotografías (Photoscan, 2012)

Una vez que eligieron el modelo se tomaron todas las fotografías necesarias, tomando en cuenta que se trazó en el objeto una circunferencia alrededor de él, de tal manera que se capturaron veinticuatro fotografías por elemento, este número fue importante ya que el programa Agisoft PhotoScan® trabajo por medio de elementos de traslape, entre las diferentes fotografías (Imagen 7).

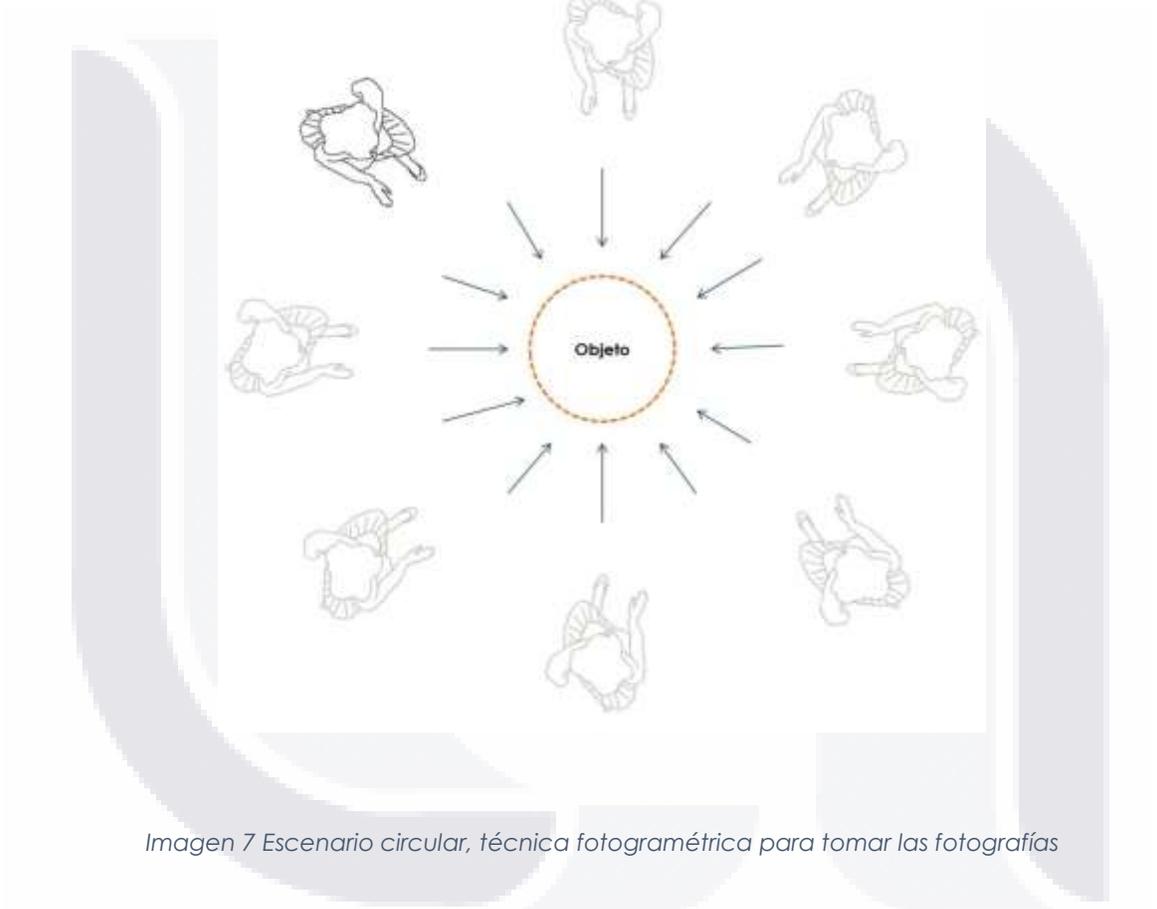


Imagen 7 Escenario circular, técnica fotogramétrica para tomar las fotografías

Cuando surgió el caso que el programa no encontró los elementos de traslape, se pudieron generar manualmente, colocándolos en el modelo o indicándolos al archivo en curso, mediante este proceso se determinó las pruebas con diversos número de fotografías, esté último aumento conforme a la escala del modelo.

Un ejemplo de escala fue la sala hipóstila de la Lonja de la ciudad de Valencia, España (Imagen 8 y 9) se pudo haber usado fotogrametría aérea, utilizando un dron, porque la realización de las secuencias fotográficas en elementos de gran altura es de gran complejidad debido al ángulo necesario para la correcta obtención de las tomas fotográficas, sin embargo es posible realizarlo mediante la implementación de equipos fotográficos montados en vehículos no tripulados.

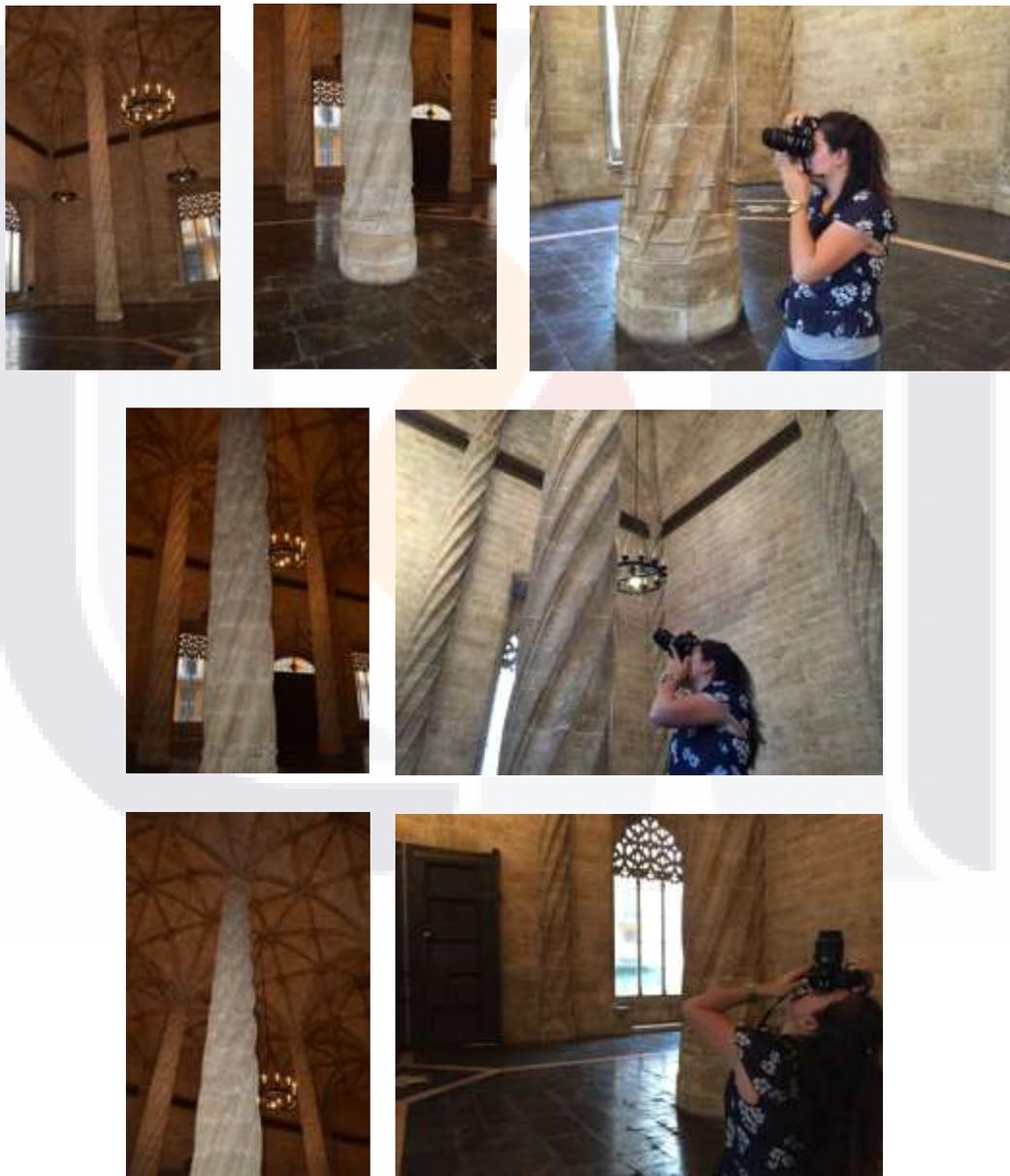


Imagen 8 Columna sala hipóstila Lonja, Octubre 2015, Valencia, España

Se realizaron fotografías previas para los detalles que pretendieron resaltar, capturaron al menos tres fotografías por cada ángulo de la columna, en las imágenes posteriores los recuadros azules (Imagen 9), corresponden a la relación que tuvo objeto – fotografía, el modelo no fue exitoso, porque necesitaron más elementos para poder desarrollarlo (Fotografías aéreas, medición física, iluminación óptima, computadora con mayor capacidad de procesamiento RAM).

Los elementos que existieron lograron crear un modelo en el cual se muestra el proceso alinear fotografías y orientar fotos, debido a la escala del elemento, solo lograron esta parte del proceso.

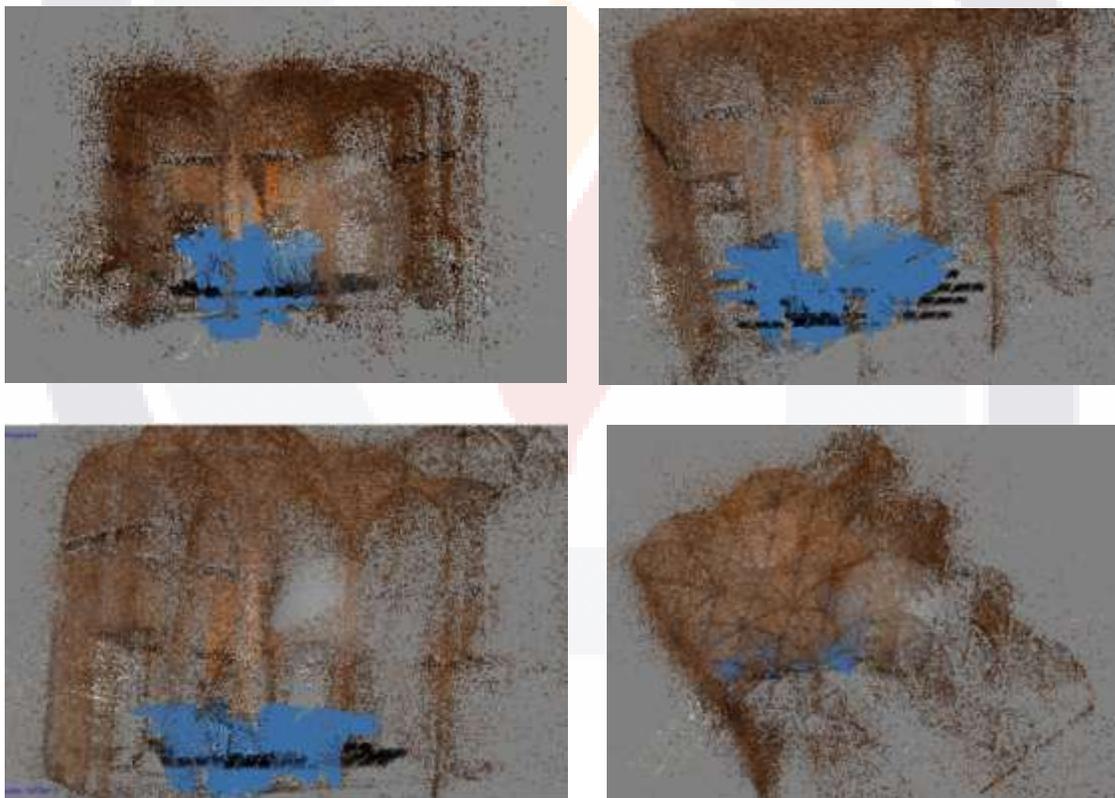


Imagen 9 Nube de puntos densa Sala Hipóstila, Lonja, Octubre 2015, Valencia, España,

Iluminación natural, 85 fotografías Cámara semi profesional Nikon® 24.1 pixeles

3.1.3 Generación del modelo

La utilización de la técnica para tomar fotografías antes mencionada es básica, ya que de esta dependió totalmente el resultado final de los modelos estudiados en este capítulo y los posteriores.

Al concluir la captura de imágenes, estas son transferidas al equipo de cómputo creando una carpeta para cada modelo (Vizcaino, 2015). Se requirió información más específica acerca del proceso de fotogrametría, para definir el proceso de modelación lleva una secuencia de trabajo que se encuentra en la pestaña flujo de Trabajo (Workflow) dentro del programa Agisoft Photoscan® la cual consiste en los siguientes pasos:

3.1.3.1 Secuencia de proceso

1.- La orientación de fotografías, a través Agisoft Photoscan "Define una serie de puntos en común entre las fotografías, a través de los cuales calcula la posición relativa de cada fotografía y mediante una técnica de paralaje digital, calcula la profundidad de dichos puntos en el conjunto total de la escena". Se obtiene la nube de puntos dispersa, la densidad de la misma depende de la cantidad de puntos a detectar por fotografía (Soto, Araiza, & Vizcaino, 2015).

2.- La densificación de la malla de puntos dispersa, se logra "Agregando puntos interpolados entre los puntos ya detectados en el primer procedimiento, cada uno de estos puntos, poseerá información relativa tanto a su posición espacial como un color definido de acuerdo con las fotografías de que haya sido obtenido". En esta etapa del proceso puedes tener cientos o miles de puntos y convertirse en cientos de miles o millones (Soto, Araiza, & Vizcaino, 2015).

3.- El mallado del modelo, es "La serie de triángulos definidos por los puntos de la nube densa o dispersa, son generados dando lugar a una malla de triángulos" (Soto, Araiza, & Vizcaino, 2015).

4.- La textura, "Consiste en la detección y aplicación de texturas fotográficas sobre el mallado generado, lo cual produce una suavización de los bordes de la estructura modelada y además aplica iluminación a la malla del modelo" (Soto, Araiza, & Vizcaino, 2015).



Imagen 10 Secuencia de proceso Agisoft Photoscan®

Existió un pre-proceso, se encontró entre el paso alinear fotografías y orientar fotos, el cual consistió en crear mascarar en cada fotografía que delimito el área de trabajo desde las fotos lo cual permite eliminar elementos no deseados en el proceso del modelo.

En práctica se pudo modelar el entorno del objeto aunque puede ser un problema cuando las nubes se adhieren a los elementos constructivos. La elaboración de máscaras se realiza dentro de la plataforma de Agisoft Photoscan® con las herramientas que proporciona el mismo.



Imagen 11 Ejemplo máscaras Agisoft Photoscan® (Vizcaino, 2015)

Se procesó orientación de fotos, en el cual se verifico que el programa ha identificado la totalidad del área de trabajo a modelar, de lo contrario es preciso redimensionar la región que el programa marca con un prisma cuadrangular.

Al finalizar los modelos se exportan en formato 3D el cual es aceptable para el software SketchUp® donde posteriormente se escalaran y orientaran para su comprobación de proporciones Solid inspector2® (Vizcaino, 2015).





CAPÍTULO

4

PROPIEDADES DEL MODELO
SECUENCIA FOTOGRAFICA

4. PROPIEDADES DEL MODELO Y SECUENCIA FOTOGRAFICA

4.1 Propiedades básicas del modelo

Mediante este proceso se determinó los factores principales que intervienen en el modelo como color, tamaño, y textura. Se usó diferentes tipos de cámaras fotográficas (Teléfonos móviles, digitales y semi profesionales), se tomó en cuenta el tamaño de la fotografía por medio de pixeles y el factor de iluminación y por último se hizo un análisis de resultados de las propiedades del modelo y secuencia fotográfica (Véase capítulo 6).

Color, tamaño, textura, iluminación, tipo cámara fotográfica y pixelaje fueron los factores más importantes que se estudió ya que por medio de ellos, se obtuvieron resultados que determinaron la técnica de fotogrametría (Resultados capítulo 6).

Tabla 1 Comparativa código Selden

CODICE SELDEN			
Color:	Piedra natural	Numero de fotografías:	15
Textura:	Rugosa	Secuencia fotográfica:	fachada paralela
Tamaño:	Gran escala	Cámara:	Nikon® semiprofesional
Iluminación:	Artificial – baja intensidad	Pixeles:	16 megapíxeles



Imagen 12 Código Selden, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F.
Iluminación artificial, 15 fotografías Cámara semi profesional Nikon® 16 pixeles (Soto, 2016)

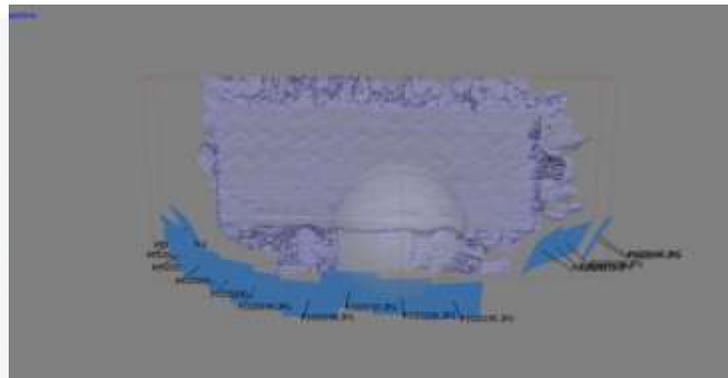
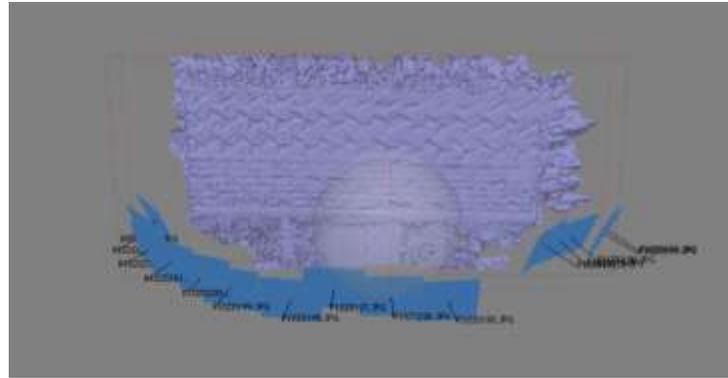


Imagen 13 Códice Selden, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F. Iluminación artificial, 15 fotografías Cámara semi profesional Nikon® 16 pixeles (Soto, 2016)

4.1.1 Color

El estudio del color es el factor más importante que se estudió ya que por medio de él, se dieron cuenta que influye en cada parte del modelo, dependiendo al mismo tiempo de la textura e iluminación, como factores determinantes para que se obtuvieran modelos legibles, es el caso que se muestra a continuación.

Realizaron varias pruebas de color natural, negro y gris para analizar su reacción que tenían conforme al color, textura e iluminación, ya que el factor de las sombras que generaban un cubo con otro que creó problemas para encontrar puntos de intersección, para el programa Agisoft PhotoScan® le resultó difícil el encontrar similitud de una fotografía con la otra (Resultados capítulo 6).



Imagen 14 Cubo 10 x 10, color natural, negro y gris, Iluminación artificial, 36 fotografías Cámara semi profesional Nikon® 24.1 pixeles

No se realizaron mascarar a cada fotografía ya que este factor depende del contexto del área en que se desarrolló la secuencia fotográfica. Existen dos tipos de máscaras, las específicas y las generales, cada una de ellas es para acelerar el proceso de modelado, la primera se definió por su forma del modelo y la segunda por el contexto del modelo.

No se realizaron mascarar a cada fotografía ya que este factor depende del contexto del área en que se desarrolló la secuencia fotográfica. Existen dos tipos de máscaras, las específicas y las generales, cada una de ellas es para acelerar el proceso de modelado, la primera se definió por su forma del modelo y la segunda por el contexto del modelo.

Tabla 2 Comparativa cubo 10 x 10

CUBO 10 x 10			
Color:	Natural, gris y negro	Numero de fotografías:	36
Textura:	Beta madera	Secuencia fotográfica:	Circular
Tamaño:	Objeto pequeño	Cámara:	Nikon® semiprofesional
Iluminación:	Artificial	Pixeles:	24.1 megapíxeles

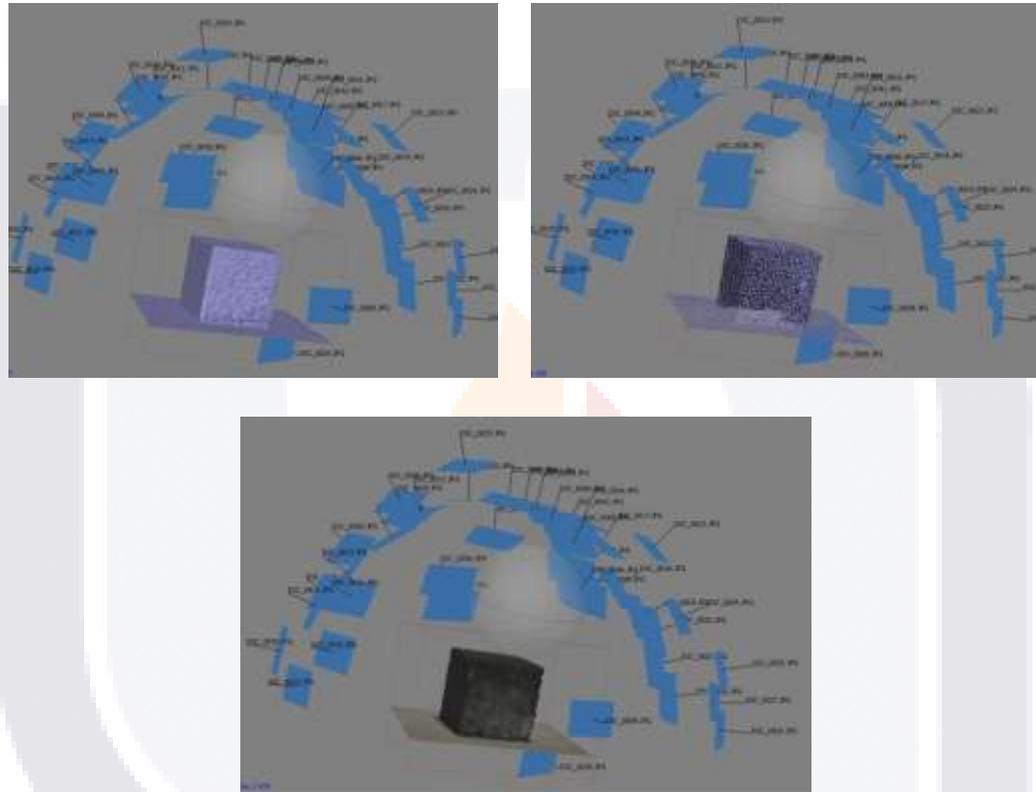


Imagen 15 Cubo 10 x 10 gris prueba color

Se determinó la iluminación como un factor importante, porque tuvo inferencia directa con el resultado exitoso de los modelos que se analizaron.

Los modelos en los cuales se utilizó iluminación de baja intensidad, no fueron exitosos porque el programa Agisoft Photoscan® no determinó los puntos de traslape entre sus fotografías, creando solo figuras distorsionadas, por lo tanto no se pudo determinar sus errores y volumen de los mismos, por falta de información (Véase capítulo 6).

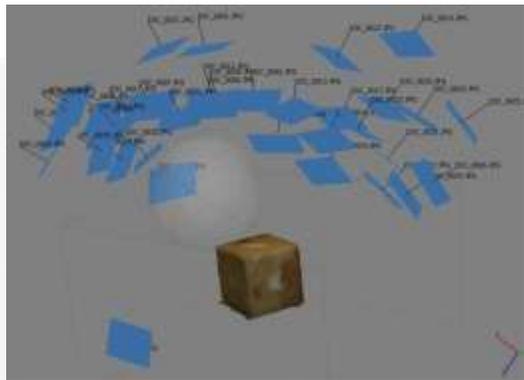
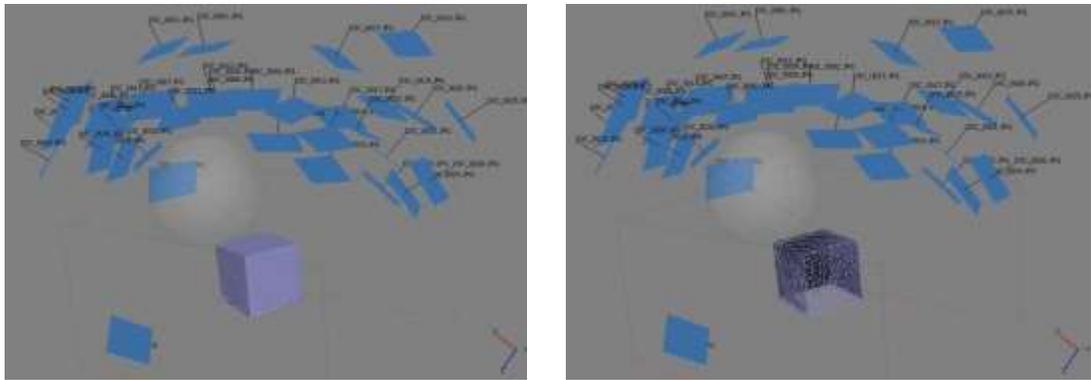


Imagen 16 Cubo 10 x 10 natural prueba color

El proceso aseguró crear modelos más rápidos, para la comprobación de cada parte de esté y los posteriores capítulos. Al momento de la generación de los modelos los problemas que se encontraron fue el exceso de elementos que integran las fotografías, ya que eso te genera modelos más pesados y por lo tanto no permitía optimizar el tiempo.

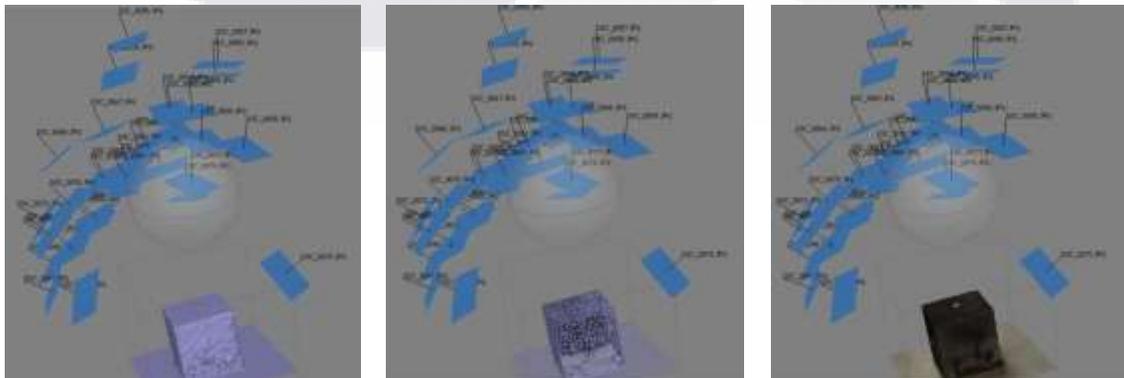


Imagen 17 Cubo 10 x 10 negro prueba color

4.1.2 Tamaño, textura e iluminación

Los objetos pequeños y medianos presentaron un problema en la realización de los modelos, sin embargo la gran escala depende del mayor número de fotografías y mayor número de puntos de traslape, obteniendo un obstáculo dado que la escala no permite completar estos procesos (Véase capítulo 6)

Tabla 3 Comparativa atlante tolteca

ATLANTE TOLTECA			
Color:	Piedra natural	Numero de fotografías:	18
Textura:	Porosa	Secuencia fotográfica:	circular
Tamaño:	Gran escala	Cámara:	Nikon® semiprofesional
Iluminación:	Artificial - Natural	Pixeles:	18.1 megapíxeles

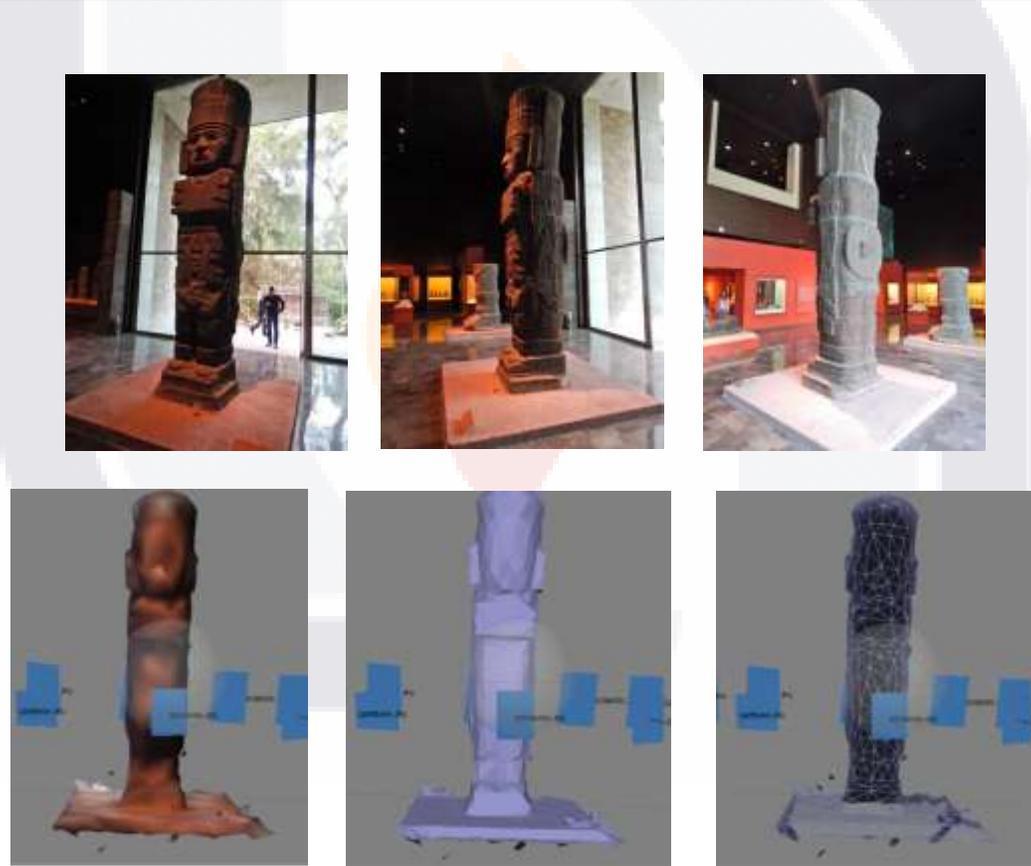
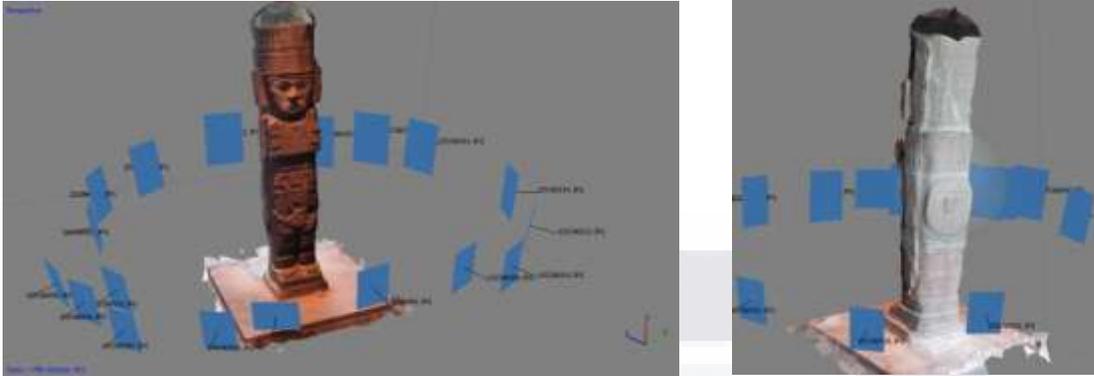


Imagen 18 Atlante Tolteca, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F.
Iluminación natural y artificial, 18 fotografías con cámara semi profesional Nikon® 16 pixeles

El factor del tamaño es determinante, ya que de éste dependió directamente si fue posible tener un modelo exitoso o no, la escala del elemento es el que determino qué tipo de cámara se utilizó, parámetros a modificar e iluminación.

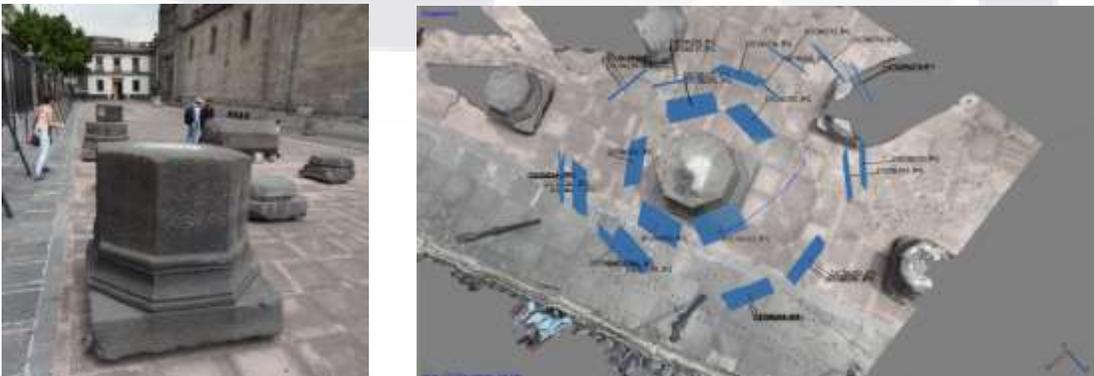


*Imagen 19 Atlante Tolteca, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F.
Iluminación natural y artificial, 18 fotografías con cámara semi profesional Nikon® 16 pixeles*

4.1.2.1 Objetos pequeños

El acceso a las fotografías de corto rango fue muy fácil, por tamaño, color, textura e iluminación fueron modelos exitosos. Para que la textura se note, los factores determinantes son el color y la iluminación, ya sea natural o artificial siempre y cuando no se generen sombras sobre el objeto y su contexto tuviera un color uniforme neutro y sin texturas.

Los relieves en el modelo son importantes porque con estos se determinó el desgaste que presenta cada elemento, en cuestión constructivo y estructural es un área de estudio a desarrollarse.



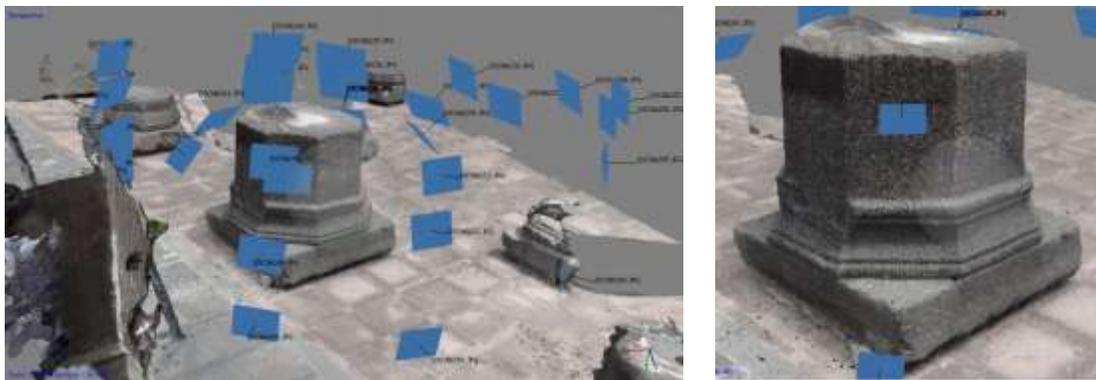


Imagen 20 Columna de la catedral, Marzo 2015, Ciudad de México Iluminación natural, 32 fotografías realizadas iPhone® 4S 8 megapíxeles

4.1.2.2 Objetos medianos

El factor de modelado fue parecido a la pequeña escala, la diferencia fue que el modelo es más grande, por lo tanto se necesitan tener más fotografías generales y se agregaron las fotografías de detalle, siguiendo los parámetros previamente ya establecidos (Véase capítulo 6).

En este tipo de elementos que tienen color gris, las texturas les afectan directamente ya que resultaron altamente porosos, pero el relieve es el que conforma el modelo, encontrando una fácil similitud entre sus partes que lo componen. La iluminación artificial es buena siempre y cuando, esté dirigida a todo el objeto en general y no se enfoque solo en algunos detalles, porque eso genera sombras sobre el modelo y por lo tanto el programa no identifica esos puntos, dejando esas partes del modelo sin procesar.

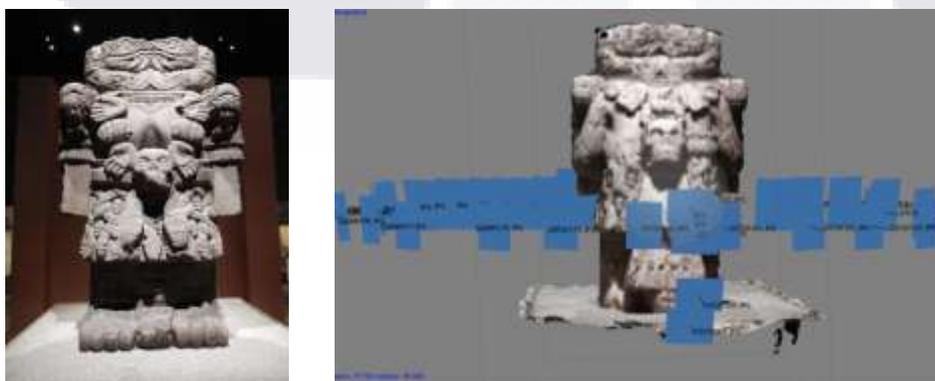


Imagen 21 Coatlicue, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F. Iluminación artificial, 51 fotografías con cámara semi profesional Nikon 16 píxeles

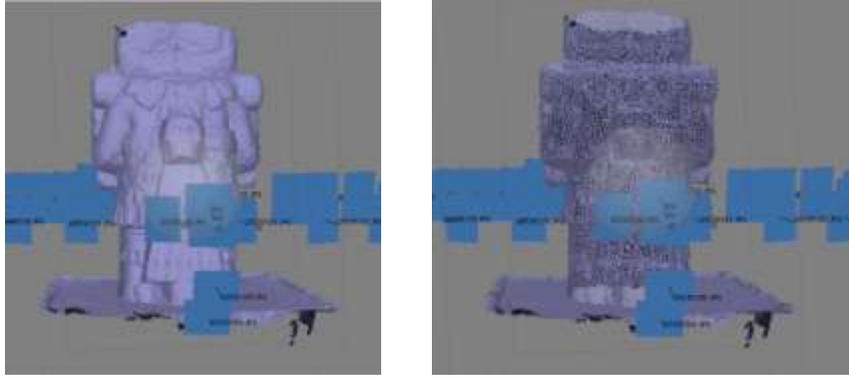


Imagen 22 Coatlicue, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F. Iluminación artificial, 51 fotografías con cámara semi profesional Nikon 16 pixeles

4.1.2.3 Gran escala

Para el estudio de este tipo de modelos utilizaron cámaras semi profesionales y profesionales, debido al tipo de fotografías que son necesarias para la obtención de modelos exitosos, el tamaño es el factor determinante, porque en la mayoría de los casos se necesitaría un dron (vehículo no tripulado) para poder tomar los detalles más importantes del elemento.

En el modelo del Calendario Azteca la iluminación fue parte artificial y con algunos reflejos de iluminación natural, por lo que se puede identificar claramente la nitidez de cada uno de los elementos.

La textura en este elemento fabricado en piedra, depende completamente del relieve, forma y color, se plasmó en el modelo exitoso con todos los requerimientos necesarios para su modelación (Véase capítulo 6).



*Imagen 23 Calendario azteca, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F.
Iluminación artificial, 144 fotografías con cámara semi profesional Nikon 16 pixeles*

4.2 Secuencia fotográfica

La iluminación y el tipo de cámara fotográfica fueron indispensables, en el proceso de modelado, el primer paso fue elegir el método de captura, se determinó la iluminación adecuada para la construcción de modelos de mayor precisión, se pondero las diferentes variables de iluminación natural, artificial y baja intensidad, bajo los parámetros de número de errores en la construcción de la malla, crearon la determinación de volumen y porcentaje de error al cálculo.

Se utilizó tres cámaras fotográficas diferentes, Sony® cyber - shot, iPhone® 6 y Nikon® D3200 (Especificaciones en Anexo B).

CAMARAS FOTOGRAFICAS		
8 megapíxeles	14.1 megapíxeles	24.1 - 13.5 - 6 megapíxeles
		

Imagen 24 Cámaras fotográficas

iPhone® (APPLE), Sony® Cyber shot (SONY) y Nikon® semiprofesional D3200 (NIKON)

Se contrasto tres métodos de captura, circular, cuadrado y paralelo, el método se integró con un equipo fotográfico idéntico para identificar el escenario óptimo del set fotográfico, permitió la construcción de modelos con mayor precisión. La calidad que se utilizó fue la máxima otorgada por la cámara fotográfica semi profesional NIKON®, con 24.1 megapíxeles, se utilizó iluminación natural con 42 fotografías.

4.2.1 Cuadrado

El método de captura cuadrado, consistió en dejar el objeto al centro, formaron un cuadrado en su perímetro, utilizaron cámara fotográfica NIKON® Semiprofesional D3200, procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M, RAM 8.00 GB, el modelo resultó erróneo, no existió proceso de confinamiento, el método generó errores al reconocimiento de puntos de traslape.

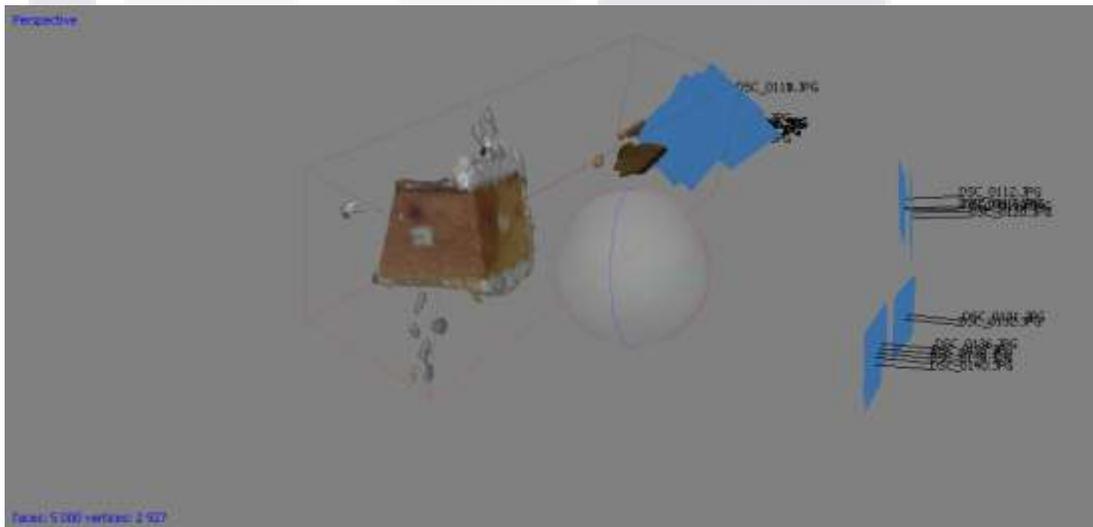


Imagen 25 Escenario de captura cuadrado

4.2.2 Paralelo

El método de captura paralelo, consistió en dejar el elemento al centro formaron dos líneas paralelas en su perímetro, utilizaron cámara fotográfica NIKON® Semiprofesional D3200, procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M, RAM 8.00 GB, el modelo resultó erróneo, generó distorsiones en la posición de los planos y ejes de construcción, así como variaciones en la escala. No se detectó completo el elemento por falta de información y puntos de traslape entre las fotografías.

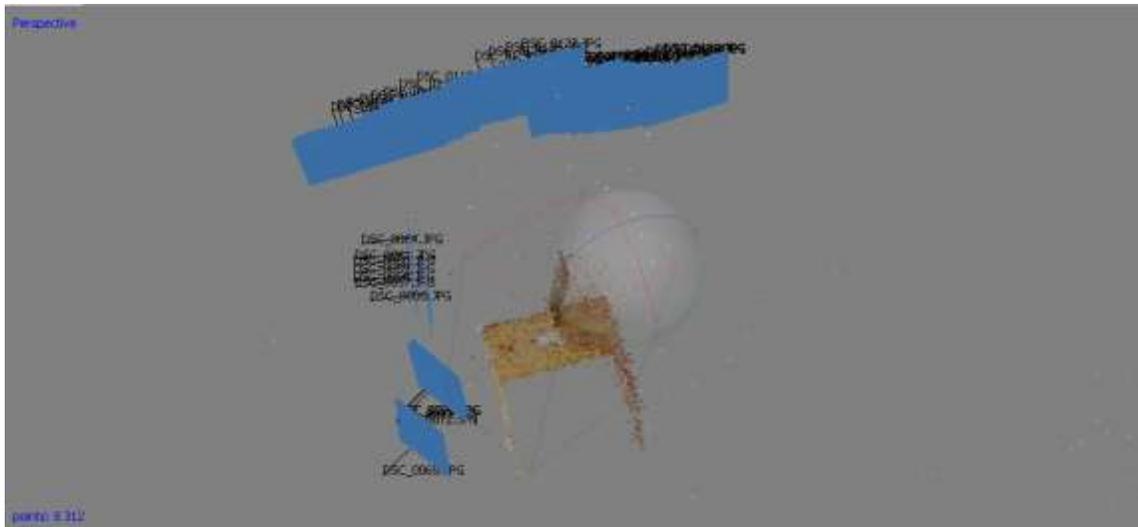


Imagen 26 Escenario de captura paralelo

4.2.3 Circular

El método de captura circular, consistió en dejar el objeto al centro, formaron un círculo en su perímetro, utilizaron cámara fotográfica NIKON Semiprofesional D3200, procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB, la construcción del modelo fue certero, ya que el método arrojó la caras, planos y ejes definidos.

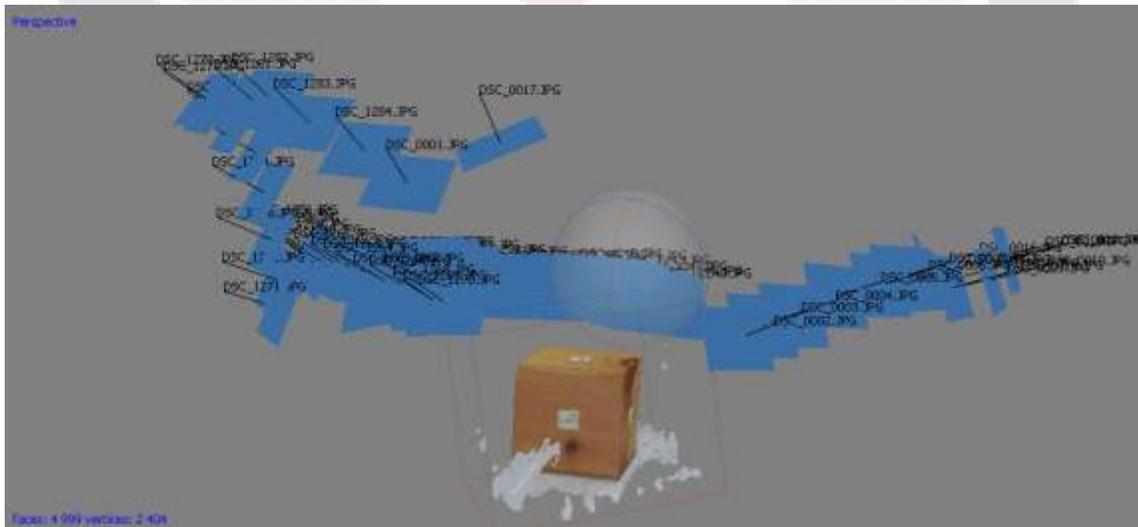


Imagen 27 Escenario de captura circular



5. MODELACIÓN

El objetivo es determinar los resultados finales, tomando en cuenta el número de fotografías para modelar según su tamaño del modelo a realizar, parámetros a modificar en el proceso de alineación de fotografías (Número de puntos), creación de nube densa (Calidad), elaboración de mallas (Polígonos) y textura, ya obteniendo los resultados de las cuatro etapas anteriores se puede generar una comparativa entre software de modelación utilizando Sketchup® y Solid Inspector2. Por último se analizan los resultados de modelación.

5.1 Procedimientos básicos de modelación

5.1.1 Selección de objeto

Se generó el modelo a partir de diferentes características del proceso, utilizando factores como color (textura), secuencia fotográfica (inclinación, traslape y distancia), iluminación, escala del modelo y calidad de la imagen (Píxeles) para el procesamiento óptimo de una malla vectorial por medio de Agisoft Photoscan®.

5.1.2 Proceso

Se determinó la cantidad y calidad fotográfica dentro del contexto de procesamiento de la información y valoración mínima para la calibración positiva del modelo frente al método de medición física, integrando los paquetes de instrucciones y modificaciones a imágenes a través de Agisoft Photoscan® para optimizar el modelado, se creó una malla vectorial para su análisis de error y volumen.

Se evaluó el porcentaje de error existente en Sketch up® entre los procesos de obtención de modelos físicos y fotogramétricos, utilizando Solid inspector2® para comparar los volúmenes entre geometrías conocidas.

5.1.3 Resultado

Se determinó con el modelado el estado óptimo de las relaciones entre las diferentes variables como color, textura, tamaño, iluminación, calidad, número de fotografías para obtener valores cualitativos y cuantitativos acerca del porcentaje de error, calidad y precisión.

Se transformó los modelos a mallas vectoriales, compararon sus volúmenes entre geometrías conocidas, evaluando el error existente entre estas.

5.2 Número de fotografías para modelar

Se determinó el número de fotografías, conforme a la escala del objeto (Véase capítulo 6), de esto dependió para ser un modelo exitoso. Se acoto el número de fotografías con un mínimo de 30 fotografías y el máximo lo determino la escala del mismo.

5.3 Procesos a modificar

5.3.1 Alinear fotografías: Se cargó las fotografías al interfaz del programa, previamente se colocaron en una carpeta, para tener fácil acceso a ellas.

Orientar fotos: Proceso que organizo las capturas para generar puntos dispersos.

5.3.2 Creación de nube de puntos densa: Paso donde se re-densifica la cantidad de puntos partiendo del proceso anterior.

5.3.3 Creación de malla: En esta parte de la secuencia se consigue una triangulación que conviene tenga referencia sobre los puntos densos. Proporcionando un relieve que asemeja la textura.

5.3.4 Creación de textura: Último paso donde se adhiere la textura fotográfica sobre el modelo, no fue necesaria para determinar el error y el volumen, debido a que la creación de la malla es la principal para generar estos.

(Vizcaino, 2015)

5.3.1 Alinear fotografías

Se utilizó el modelo de piedra sacrificio, por que reunió todas las características para el desarrollo un modelo óptimo, comprobando cada uno de los parámetros ya definidos (Imagen 28), factores determinantes iluminación, color, textura y escala mediana.



Imagen 28 Piedra sacrificio, Museo de Antropología e Historia, Marzo 2015, México, D.F. Iluminación artificial, 32 fotografías con cámara semi profesional Nikon 16 pixeles (Soto, 2016)

Una vez seleccionadas y pre procesadas las fotografías del modelo la primera fase consistió en la orientación de fotografías, un proceso a través del cual el software seleccionado definió una serie de puntos en común entre las fotografías, a través de los cuales calculo la posición de cada fotografía y mediante una técnica de paralaje digital, calculo la profundidad de dichos puntos en el conjunto total de la escena (Vizcaino, 2015).

Este proceso permite al usuario obtener una nube de puntos dispersa cuya densidad dependerá de la cantidad de puntos a detectar por fotografía que le indica al programa, el tamaño de la fotografía y el hecho de que en el pre procesamiento se hayan utilizado mascarar o no (Vizcaino, 2015).

Se definió el proceso al colocar todas las fotografías en una carpeta, ya una vez abierto el programa en la pestaña de flujo de trabajo (Workflow) se agregan las fotografías (Imagen 29).

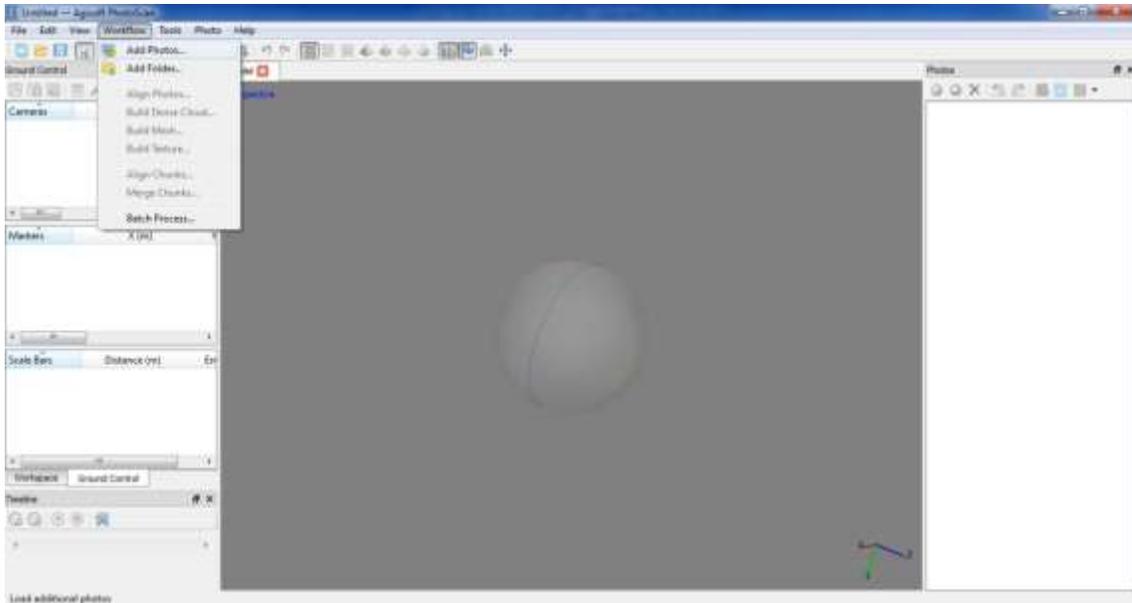


Imagen 29 Agregar fotografías

Posteriormente seleccionaron las fotografías en la carpeta correspondiente (Imagen 30).

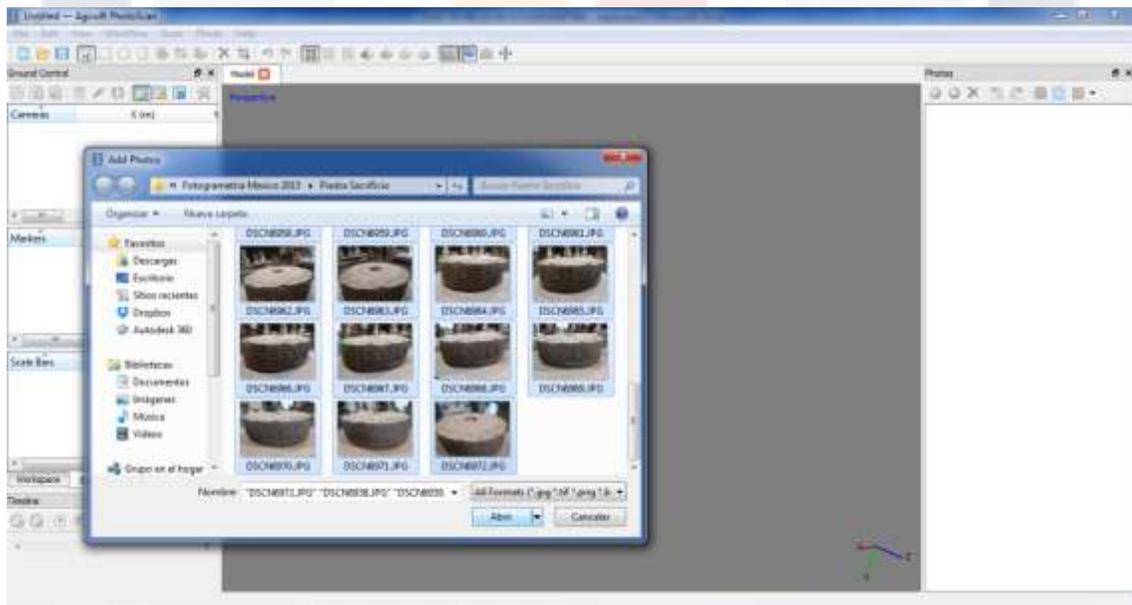


Imagen 30 Seleccionar carpeta

Una vez cargadas las fotografías en el archivo, se procedió a Alinear las fotografías (Align photos) como se muestra en la imagen 31.

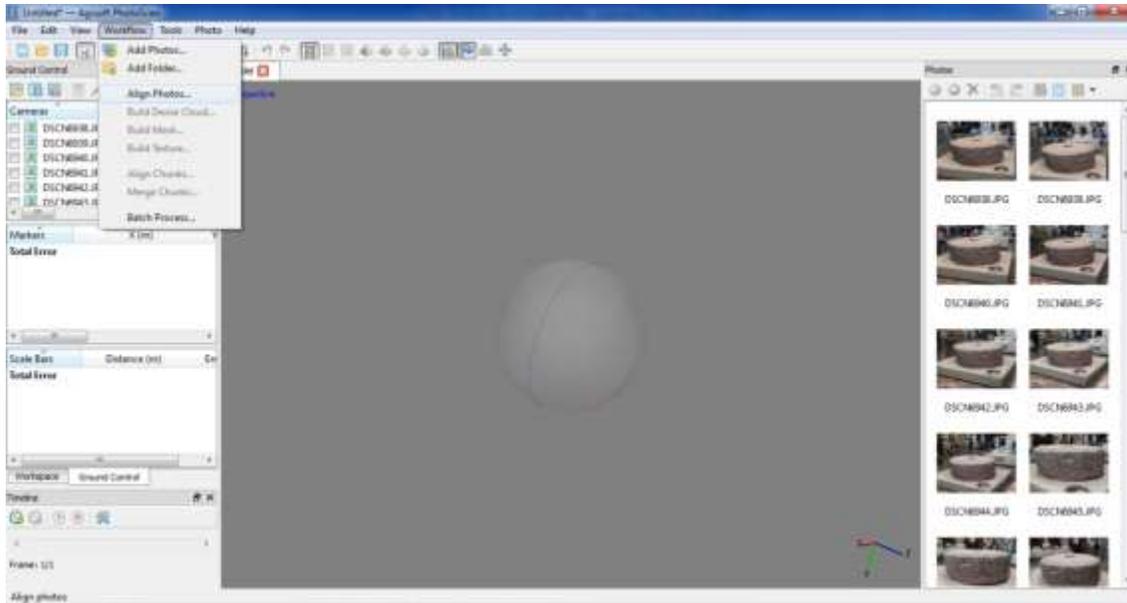


Imagen 31 Alinear fotografías

Para indicar los parámetros como exactitud (Accuracy) existe calidad alta, mediana o baja, tomaron en cuenta el tiempo de procesamiento, si existe mejor calidad en el modelo, significa más tiempo de procesamiento (imagen 32).

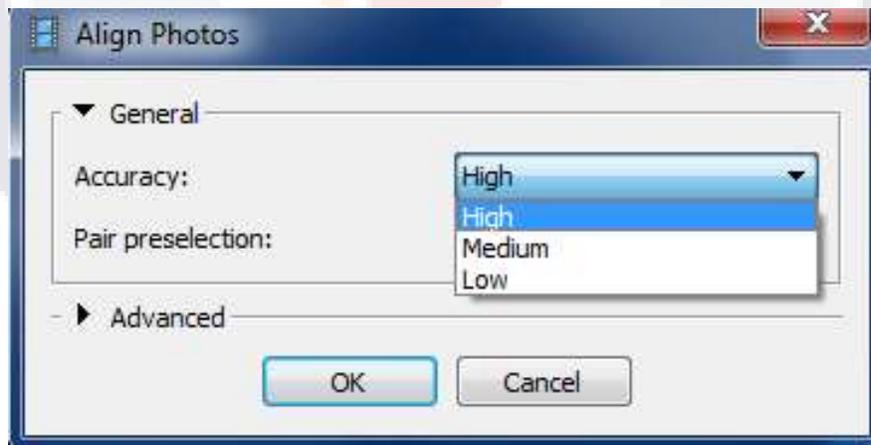


Imagen 32 Calidad (Photoscan, 2012)

Se creó una serie de puntos en común entre las fotografías, a través de los cuales calcula la posición de cada fotografía y mediante una técnica de

paralaje digital, calcula la profundidad de dichos puntos en el conjunto total de la escena (Vizcaino, 2015).

La recomendación de la exactitud fue alta, pre selección genérica y los límites de puntos 20000, estos parámetros fueron los recomendables para modificar los ámbitos según la exactitud y precisión que se requiera (Imagen 33 y 34).

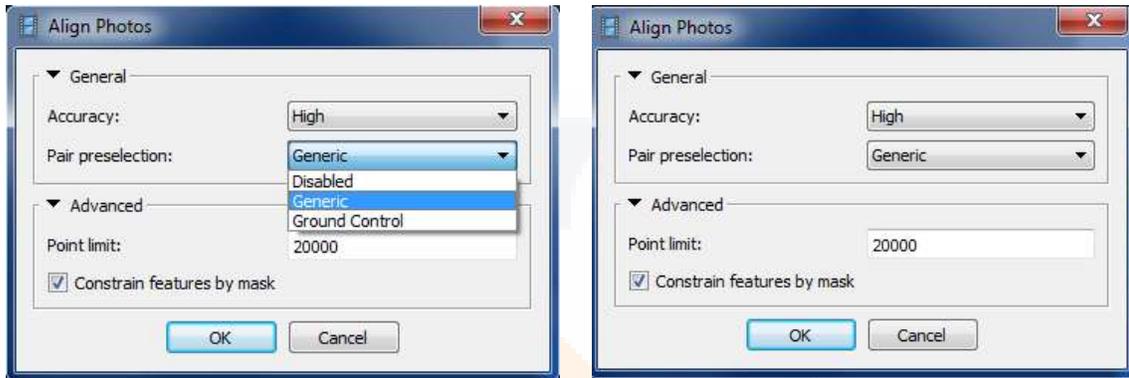


Imagen 33 Preselección y límite de puntos (Photoscan, 2012)

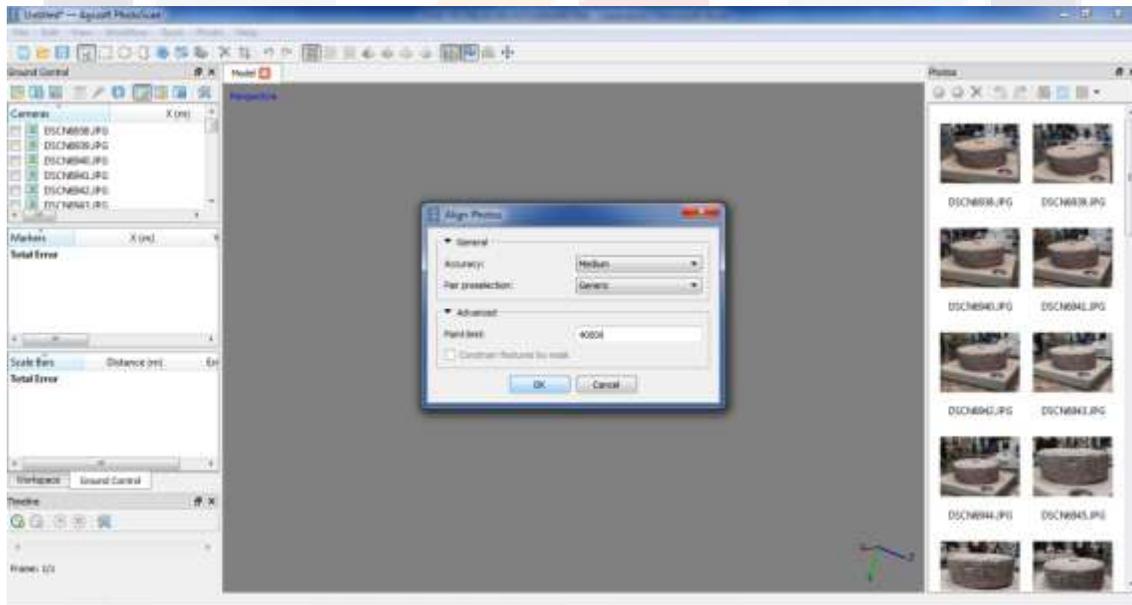


Imagen 34 Parámetros para alinear fotografías

En la imagen 37 se identificó si el modelo fue exitoso o no, en los casos que faltó información (fotografías) aparecieron huecos en el modelo.

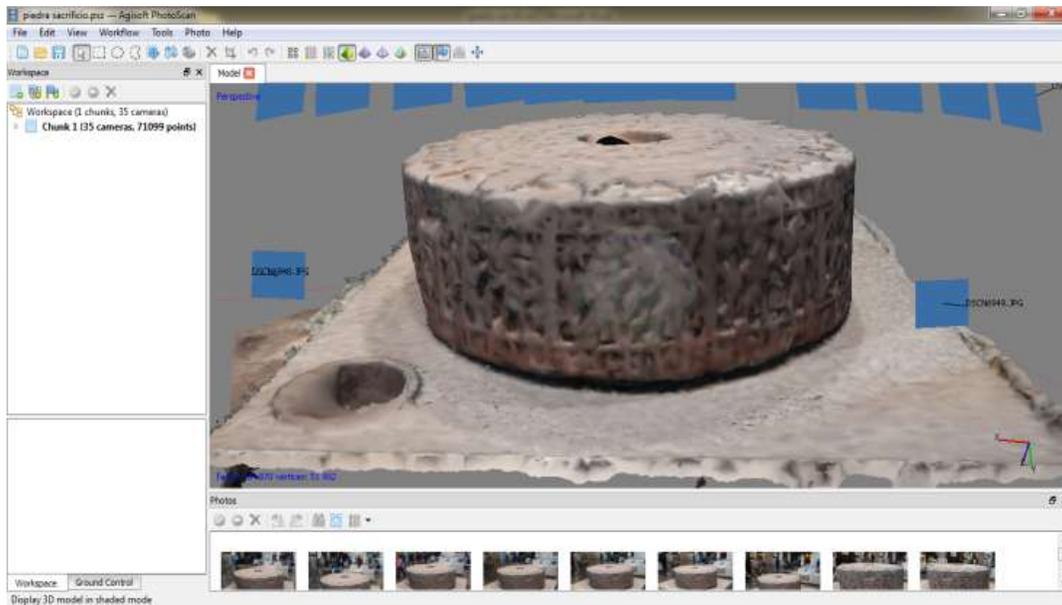


Imagen 37 Detalle de modelo fotografías alineadas

5.3.2 Creación de nube de puntos densa

El segundo proceso consistió en densificar la malla de puntos dispersa, agregando puntos interpolados, entre los puntos ya detectados en el primer procedimiento, cada uno de estos puntos, poseerá información relativa tanto a su posición espacial como un color definido de acuerdo con las fotografías de que haya sido obtenido.

Este proceso consumió una cantidad muy grande de memoria RAM, dicha cantidad dependerá de la resolución, tamaño de las fotografías y del número de estas que se seleccionaron para la formación de la escena a representar.

Durante esta etapa del modelado es común que se pase de tener cientos o miles de puntos a tener cientos de miles o millones de estos, por lo que la demanda de las características del equipo de cómputo, será en esta etapa la más grande de todo el proceso, consumiéndose también entre el 50% y el 70% del total de tiempo de procesamiento.

La gran mayoría de los software profesionales de fotogrametría permiten escoger la calidad de la nube densa (Mayor calidad, significará un número

más elevado de puntos) o en su defecto se puede escoger directamente el número de puntos a generar para la escena dada (Vizcaino, 2015).

El proceso se define en la creación de nube de puntos densa (Build dense cloud) solo se tuvo que utilizar el comando en la barra de tareas (Workflow) imagen 38.

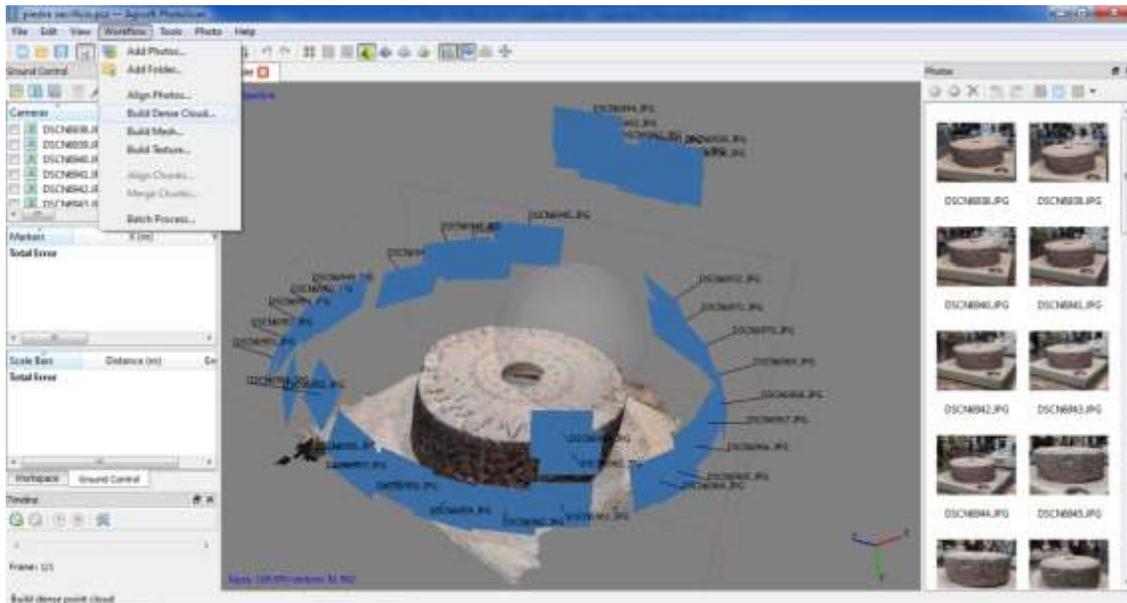


Imagen 38 Creación de nube de puntos densa

En la imagen 39 se define la calidad (Quality) de la nube de puntos densa entre los cuales se podía elegir muy baja, baja, mediana, alta y muy alta, en la parte avanzada se puede definir la profundidad del filtro (Depth filtering) se podía elegir leve, moderado o agresivo.

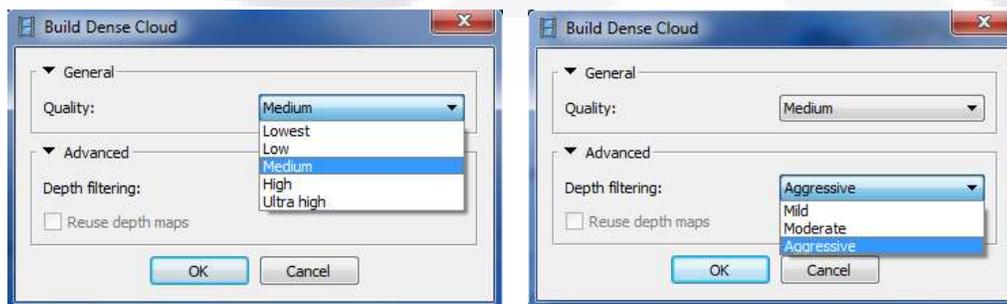


Imagen 39 Calidad y filtro recomendados (Photoscan, 2012)

Lo recomendado es elegir Calidad mediana y filtro Agresivo, siempre tomaron en cuenta el tiempo de proceso, ya que si se elige calidad más alta, afecta directamente en los puntos a definirse.

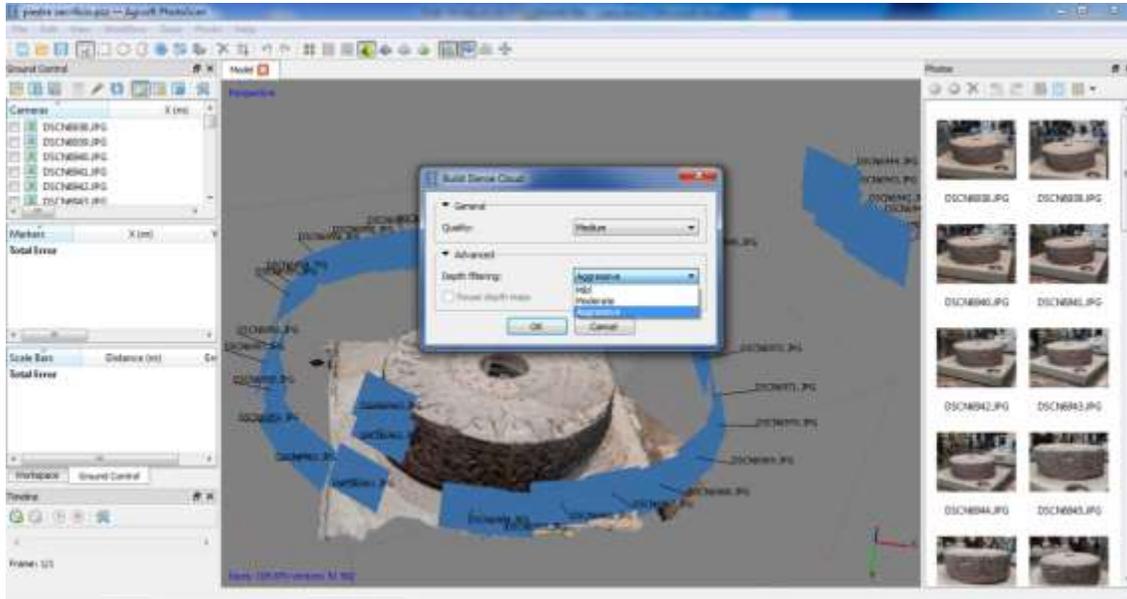


Imagen 40 Parámetros para creación de nube de puntos densa

El paso siguiente se comenzó la nube de puntos densa e indicaba cuanto es el tiempo restante (Imagen 41).

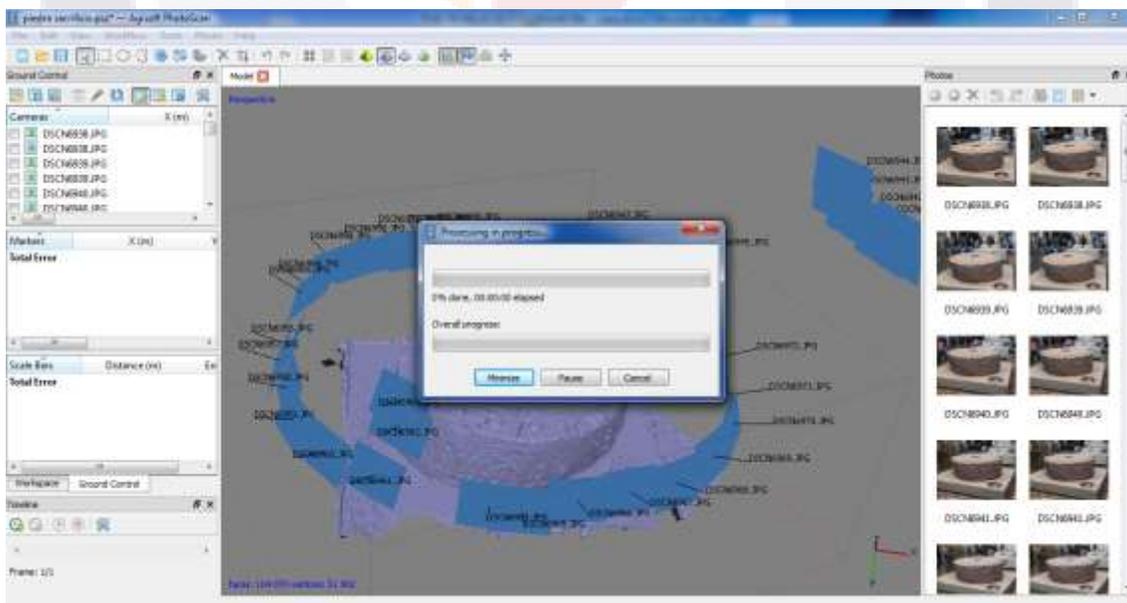


Imagen 41 Proceso de creación de nube de puntos densa

En la imagen 42 muestra el resultado del proceso de la nube de puntos densa, se mostró el modelo con ciertos relieves que son característicos de este proceso.

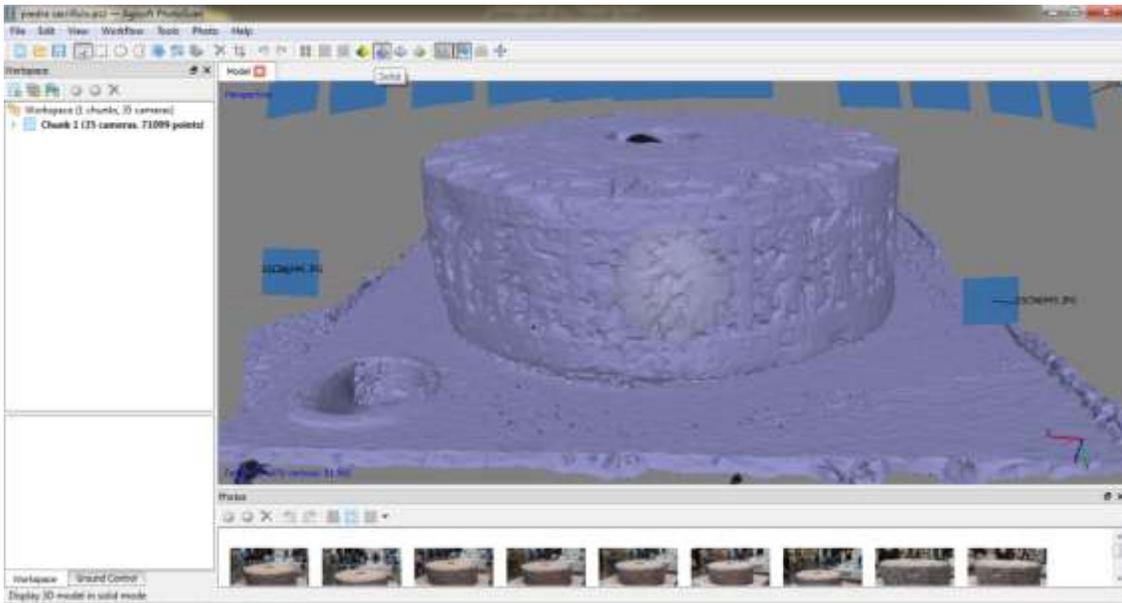


Imagen 42 Detalle de nube de puntos densa

5.3.3 Creación de malla

La tercera etapa realizó la malla del modelo, en esta etapa una serie de triángulos definidos por los puntos de la nube densa o dispersa, son generados dando lugar a una malla de triángulos, cuando se utiliza la nube dispersa para la modelación de la malla, esta resultará de baja calidad, pero permitirá ahorrar entre el 50% y el 70% del tiempo de procesamiento, por lo que resulta una buena opción generar un modelo de malla con la nube dispersa en ocasiones en que se debe trabajar con un gran número de fotografías o cuando se quiere comprobar la calidad de la aplicación de las máscaras que realizaron en el proceso, para evitar horas de procesamiento en un archivo no exitoso.

Generalmente como la densidad del mallado está definida por la densidad de la nube de puntos a emplear, es necesario limitar el número de elementos de malla a crear a fin de evitar la generación de un modelo demasiado pesado (Vizcaino, 2015).

Para la creación de malla (Build mesh) solo tuvieron que utilizar el comando en la barra de tareas (Workflow) imagen 43.

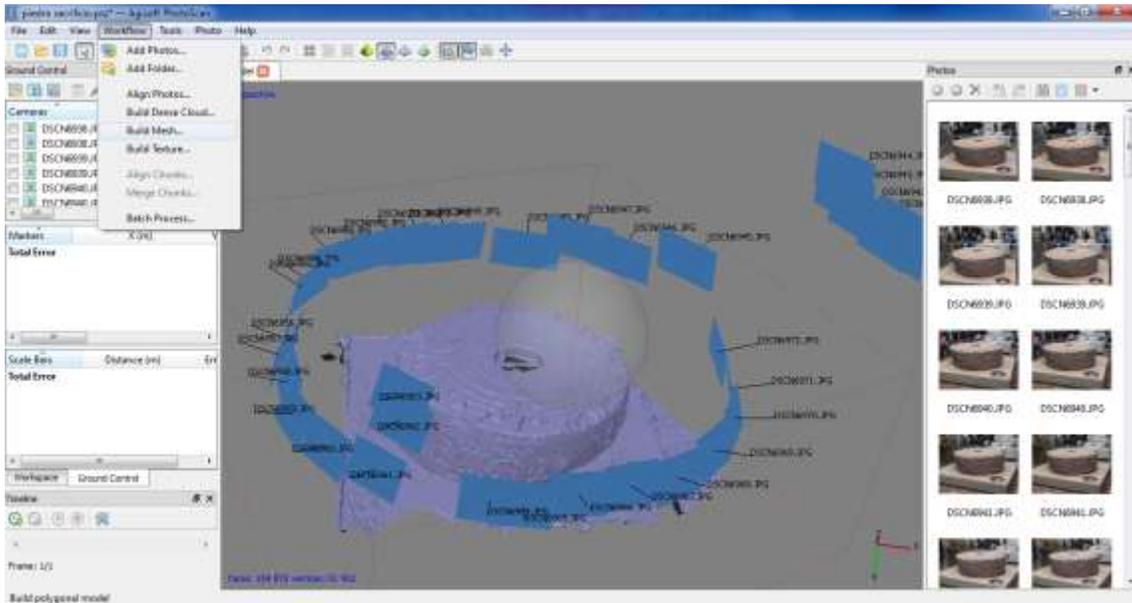


Imagen 43 Creación de malla

Los parámetros a modificar para la creación de la malla fueron el total de polígonos (Polygon count) Alto, mediano, bajo o personalizado (Imagen 44).

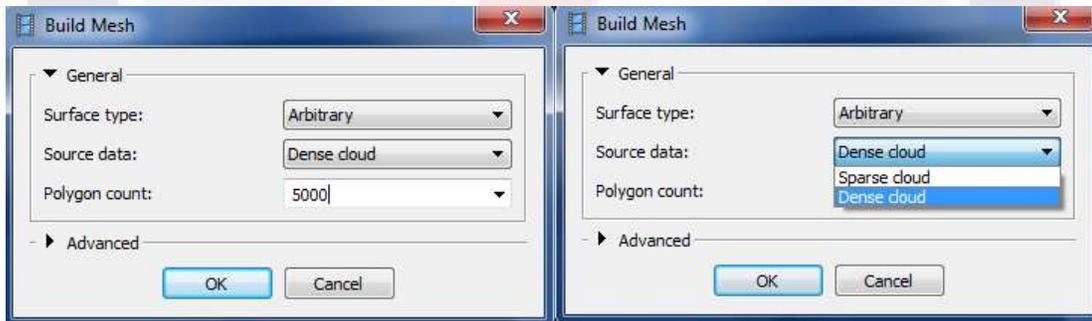


Imagen 44 Tipo de malla y total de polígonos (Photoscan, 2012)

El tiempo de procesamiento está relacionado directamente con la cantidad de polígonos generados para el modelo, así mismo la cantidad de dichos polígonos determinara la precisión geométrica del modelo (Soto, 2016).

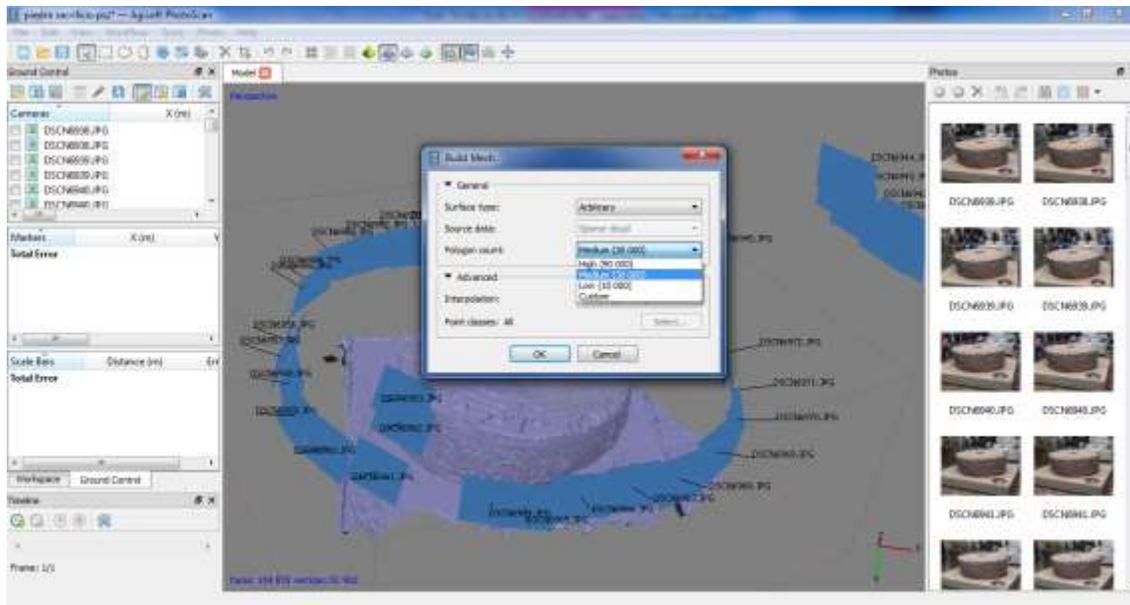


Imagen 45 Parámetros de creación de malla

El paso siguiente se comenzó la creación de malla e indico cuanto es el tiempo restante (Imagen 46).

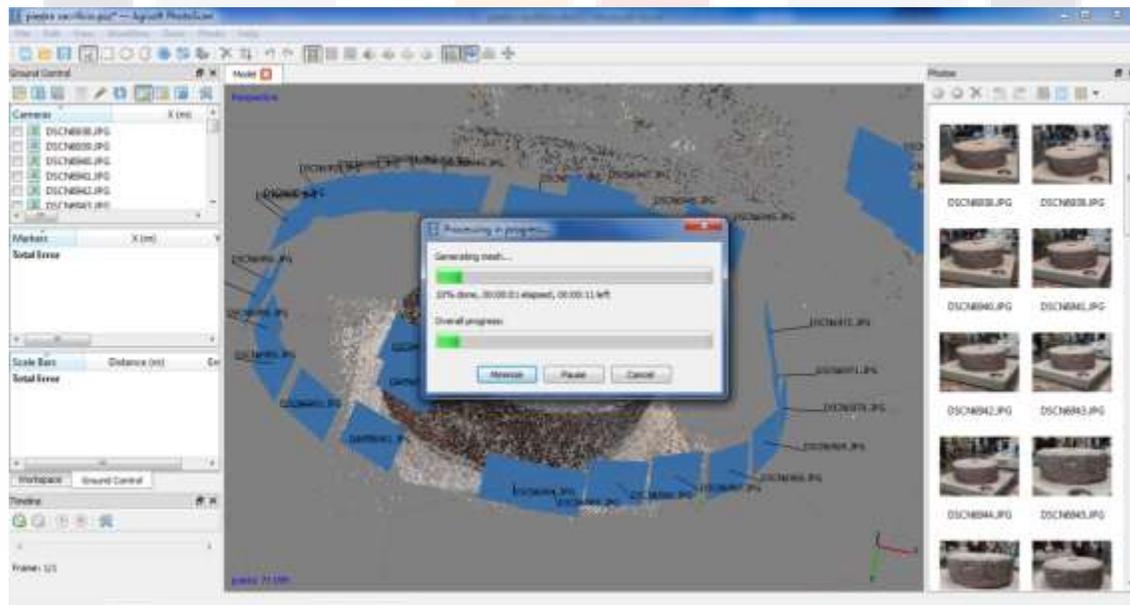


Imagen 46 Proceso creación de malla

En la imagen 47 se observó la finalización del proceso, mostrando la malla ya creada, mostrando la técnica de captura circular.

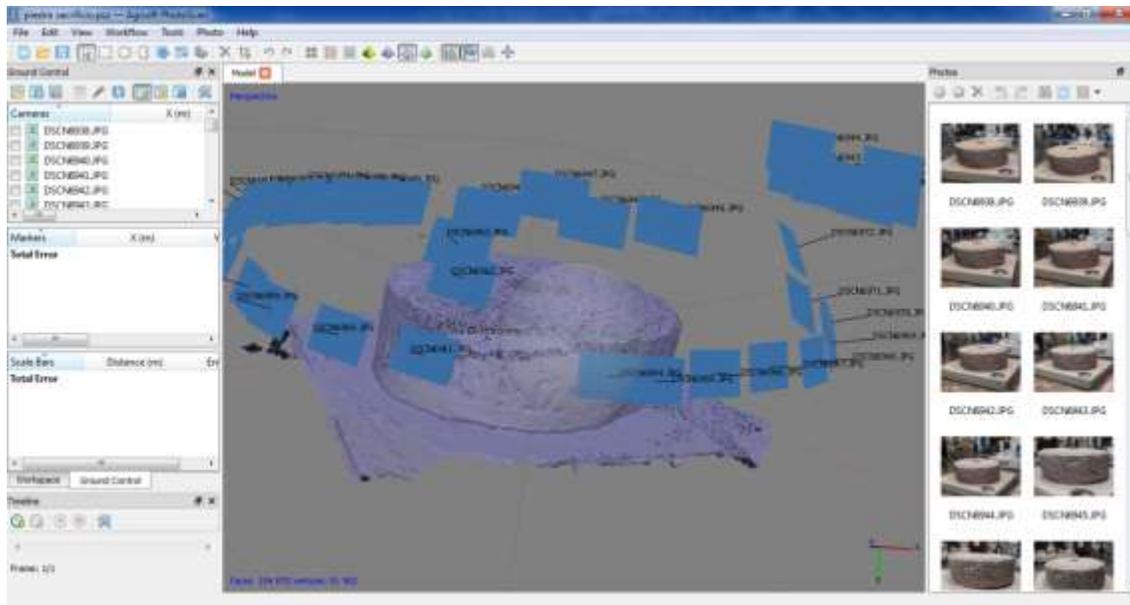


Imagen 47 Malla creada

En la imagen 48 apareció el modelo en pequeños fragmentos de polígonos, que se indicó al programa en la parte de parámetros, al inicio de este proceso. Estos polígonos ayudaron para la medición de la exactitud de la técnica, comparando los modelos en programas 3D (SketchUp® y Solid Inspector2®).

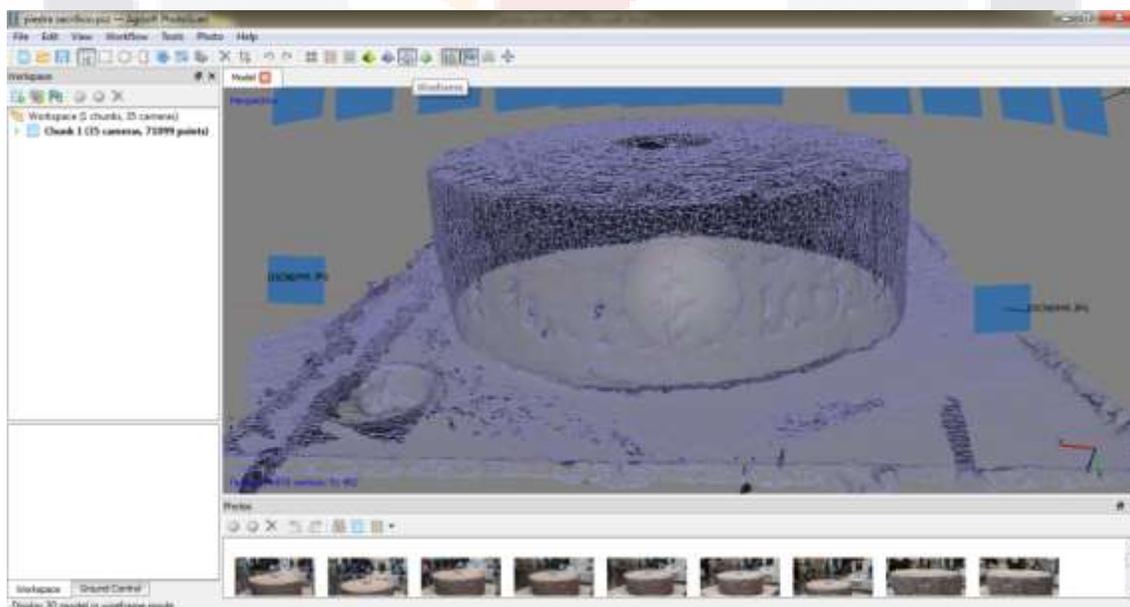


Imagen 48 Detalle de malla creada

5.3.4 Creación de textura

La última etapa en el proceso de modelación fotogramétrica consistió en la detección y aplicación de texturas fotográficas sobre el mallado generado, lo cual produjo una suavización de los bordes de la estructura modelada y además aplica brillo a la malla del modelo.

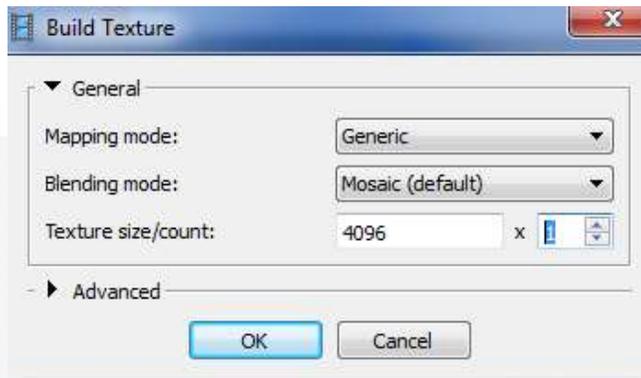


Imagen 49 Número de texturas (Photoscan, 2012)

Para la creación de textura (Build texture) se utilizó el comando en la barra de tareas (Workflow) imagen 50.

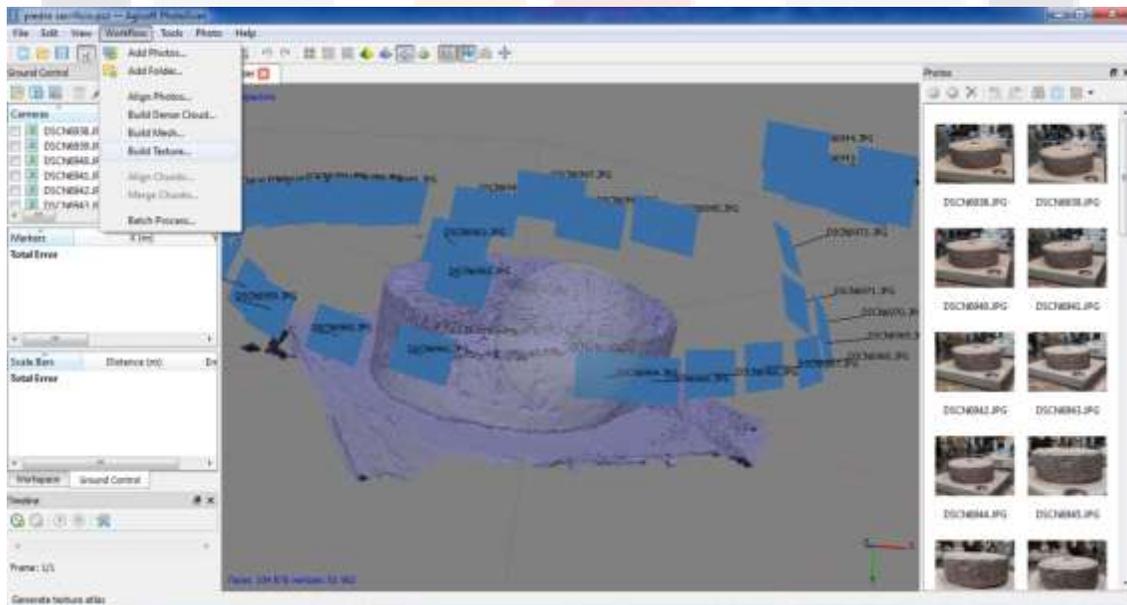


Imagen 50 Creación de textura

Los parámetros a modificar para la creación de textura fue el total de texturas (Texture count) 1, 2, 3 (Imagen 51).

El tiempo de procesamiento se relacionó directamente con la cantidad de polígonos generados para la textura, así mismo la cantidad de dichos polígonos determino la precisión geométrica del modelo (Soto, 2016).

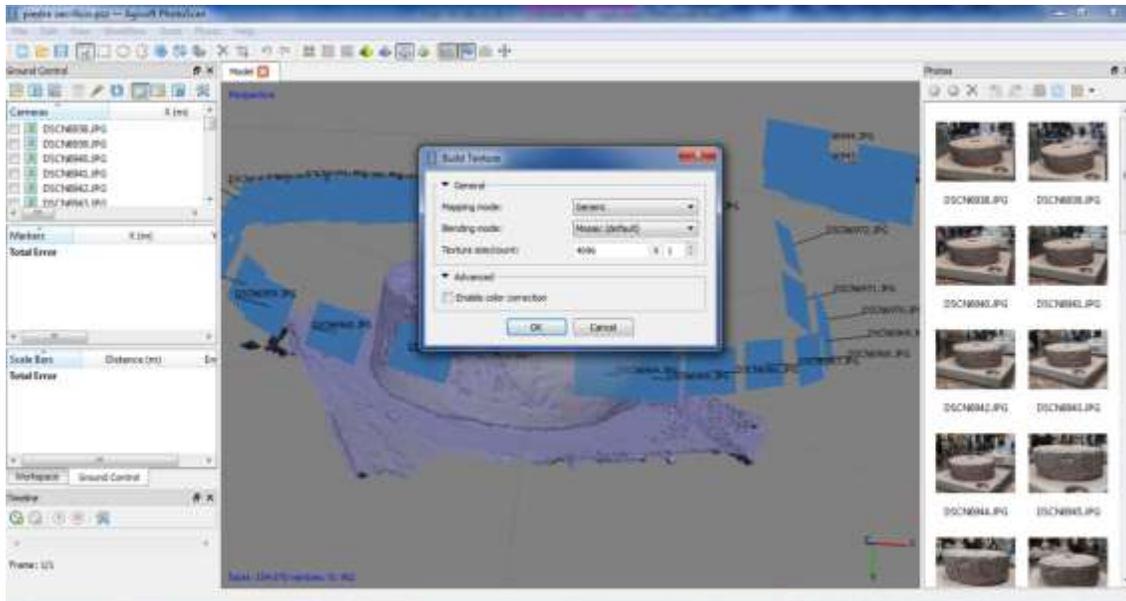


Imagen 51 Parámetros de creación de textura

Se comenzó la creación de textura e indico cuanto es el tiempo restante (Imagen 52).

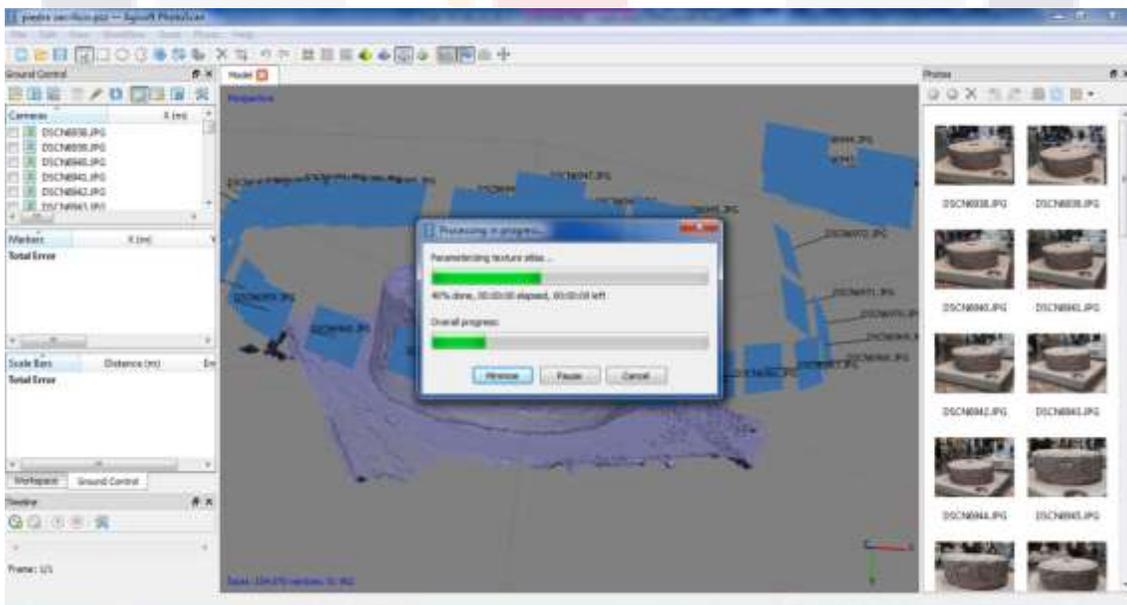


Imagen 52 Proceso de creación de textura

Dependiendo del número de texturas que se permitan al software aplicar al modelo, resultará su foto realismo; en modelos de gran escala muchas veces no es conveniente la aplicación de texturas puesto que los cambios en la iluminación durante el transcurso de la toma de fotografías ocasiona problemas y ofrece resultados no favorables (Vizcaino, 2015).

En la imagen 53 se muestra el resultado del proceso de creación de textura, mostrando el modelo ya en su totalidad, con los resultados se hizo la comparativa con las fotografías reales del elemento. Exportando el modelo con una malla de 5000 polígonos a SketchUp®, para realizar la comparación real, determinando el porcentaje de error de la técnica de fotogrametría, se utilizó Solid Inspector2®.

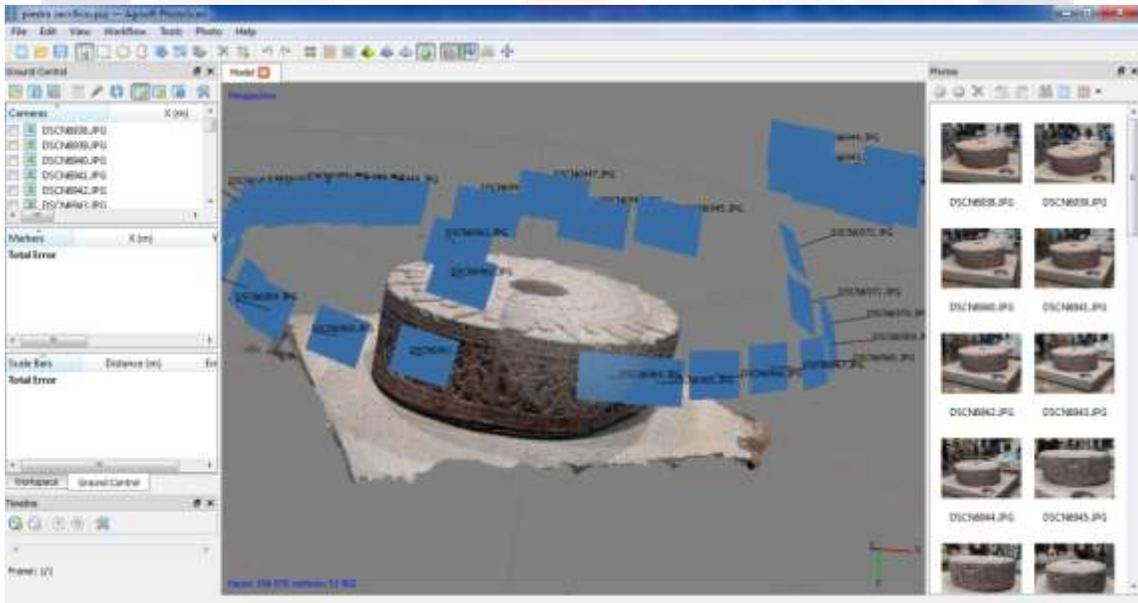


Imagen 53 Textura creada

El modelo fotogramétrico completo, se importó a algún formato reconocible por otros programas, permitió la manipulación digital de los modelos como es CAD® o cualquier software de modelación tridimensional libre o comercial, se utilizó Sketchup® y Solid Inspector2®.

Es necesario durante el levantamiento fotográfico registrar una o dos medidas en campo que permitan luego escalar el modelo para la correcta obtención de sus características geométricas y verificar la ausencia de distorsiones o deformaciones generadas por errores del procesamiento digital fotogramétrico o del levantamiento fotográfico (Vizcaino, 2015).

Para determinar el porcentaje de error de la técnica de fotogrametría es necesario exportar el modelo con una malla de 5000 polígonos a SketchUp, o algún Software en 3D para realizar la comparación real del elemento.





CAPÍTULO

6

**COMPROBACIÓN
DE MODELOS**

6. COMPROBACIÓN DE MODELOS

Se ubicó el objeto a modelar, posteriormente se procedió a obtener sus dimensiones en el cual utilizaron flexómetro para obtener las medidas de este. Realizaron los bocetos, que sirvieron como base para transportar el objeto a un modelo virtual lo hicieron en partes separadas, un punto importante fue la característica dimensional del perfil vertical y en otro apartado anotaron las medidas correspondientes a la sección en planta, sus variaciones según se tenga en el sentido vertical relacionándolo con el perfil anterior (Vizcaino, 2015).

Se obtuvieron las dimensiones del objeto se digitalizan los datos utilizando AutoCAD® por la facilidad que este programa cuenta para trabajar en dos dimensiones, trazando el perfil vertical que se obtiene del objeto. Para conseguir el modelo en tres dimensiones, el primer paso es importar desde Sketch Up® el perfil elaborado en AutoCAD®, en este programa se dimensionan las secciones que se contaban vista en planta para con ello usar una herramienta llamada seguir para conseguir los volúmenes que generan los perfiles (Vizcaino, 2015).

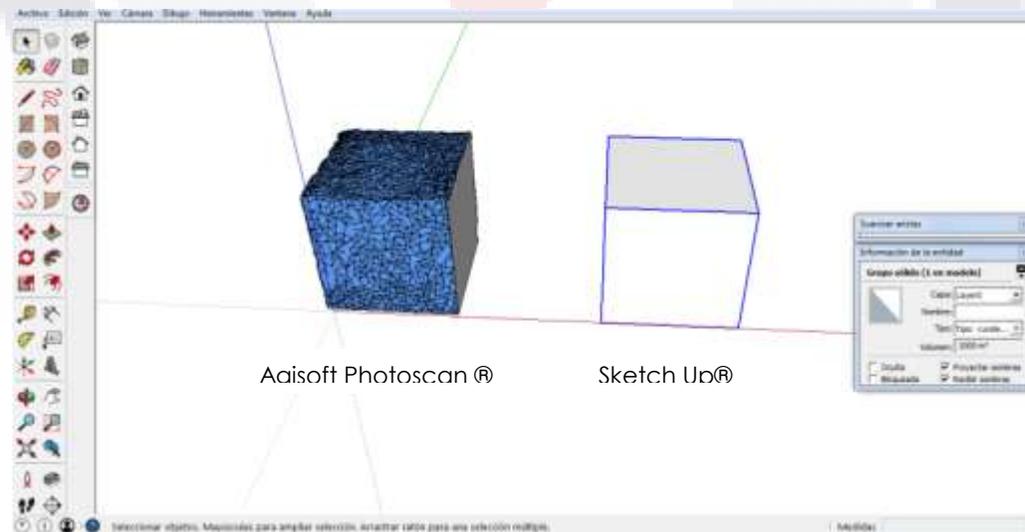


Imagen 54 Comparación de modelo Aissoft Photoscan® – Sketch Up®

Se finalizó importando el archivo Modelo 3D para la comparación de resultados del programa Agisoft PhotoScan® y los obtenidos por el replanteo convencional, este primer replanteo fue útil a su vez para escalar y orientar el modelo obtenido mediante foto-modelación. El resultado es un emparejamiento de modelos donde se verifica que las proporciones son similares (Vizcaino, 2015).

El error se determinó, exportando el archivo (malla) de Agisoft Photoscan® a Sketch up®, cerrando el elemento 3D que determino el volumen, se analizó por medio de solid inspector2, mostro el número de errores por elemento.

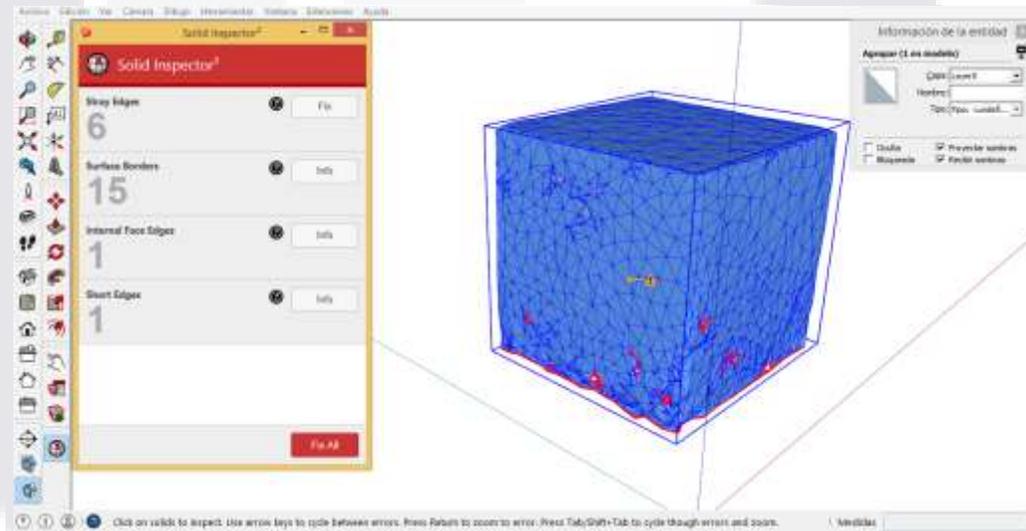


Imagen 55 Definición de error Sketch up® – Solid inspector2®

Conceptos básicos Sketch up®:

- Stray edges:** Bordes extraviados
- Surface borders:** Fronteras superficiales
- Internal face edges:** Fronteras de caras internas
- Short edges:** Bordes cortos, líneas cortas inferiores a 1 mm

El volumen se determinó por medio de sketch up®, se escaló, para su posterior medición, se determinó el rango de error de la medición física y fotogramétrica. Se obtuvo para realizar la comparación por medio de tablas y se determinó el rango de error.

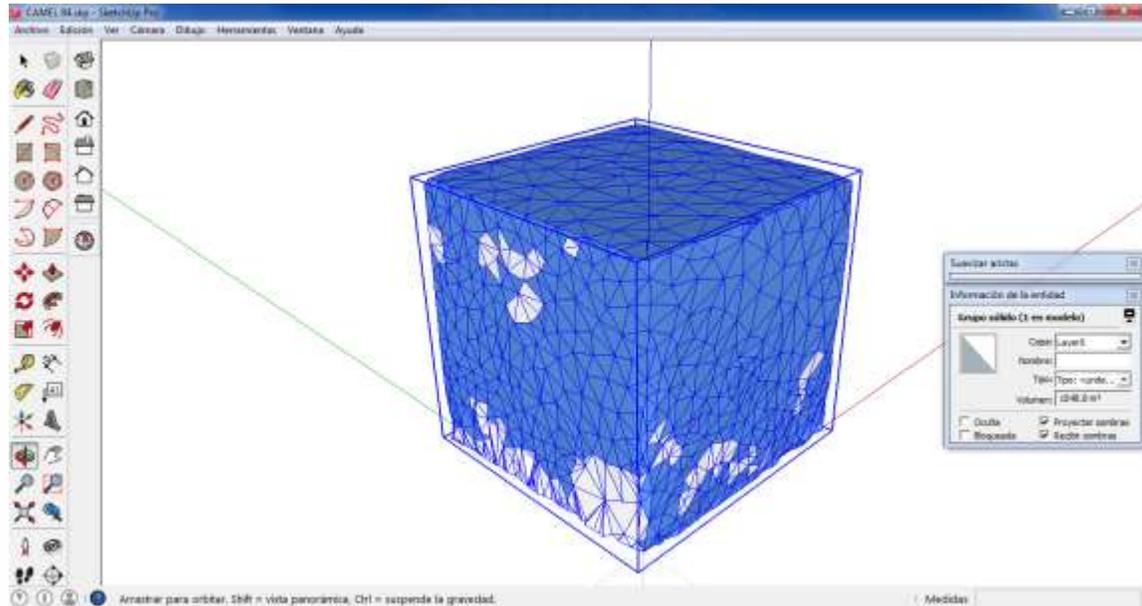


Imagen 56 Definición de volumen cubo 10 x 10

Se generó la determinación de volumen utilizando Sketch up®, se escaló el objeto conforme a la medición física, determinaron el volumen real de cada objeto realizando una comparativa de porcentaje de error.

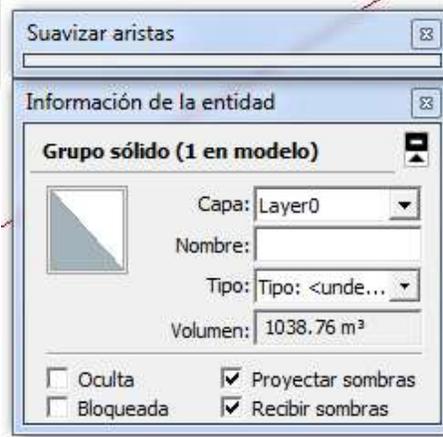


Imagen 57 Detalle de volumen cubo 10 x 10

6.1 Escenario de captura

Se contrasto tres métodos de captura, circular, cuadrado y paralelo, el método que se integró con un equipo fotográfico idéntico para identificar el escenario óptimo del set fotográfico, permitió la construcción del modelo con mayor precisión. El escenario circular resulto favorable, las fotografías coincidieron en sus puntos de traslape, los escenarios cuadrado y paralelo no se pudieron generar por falta de puntos de traslape entre ellos, el programa Agisoft Photoscan® no determino semejanza entre las fotografías realizadas.

6.1.1 Cuadrado

El modelo resultó erróneo, no existió proceso de confinamiento, el método genero errores al reconocimiento de puntos de traslape.

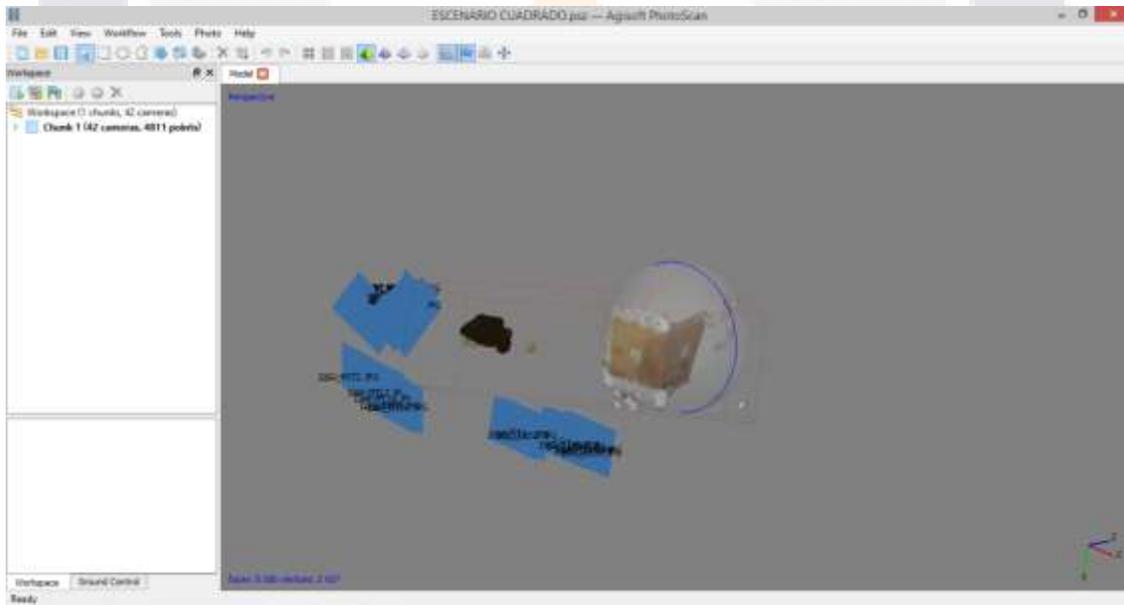


Imagen 58 Alinear fotografías, escenario cuadrado

La posición de las fotografías fue determinante, el programa no detecto los puntos de referencia colocados en el modelo, por lo tanto ubico las fotografías identificando solo un área del cubo, dando origen al error del modelo no exitoso.

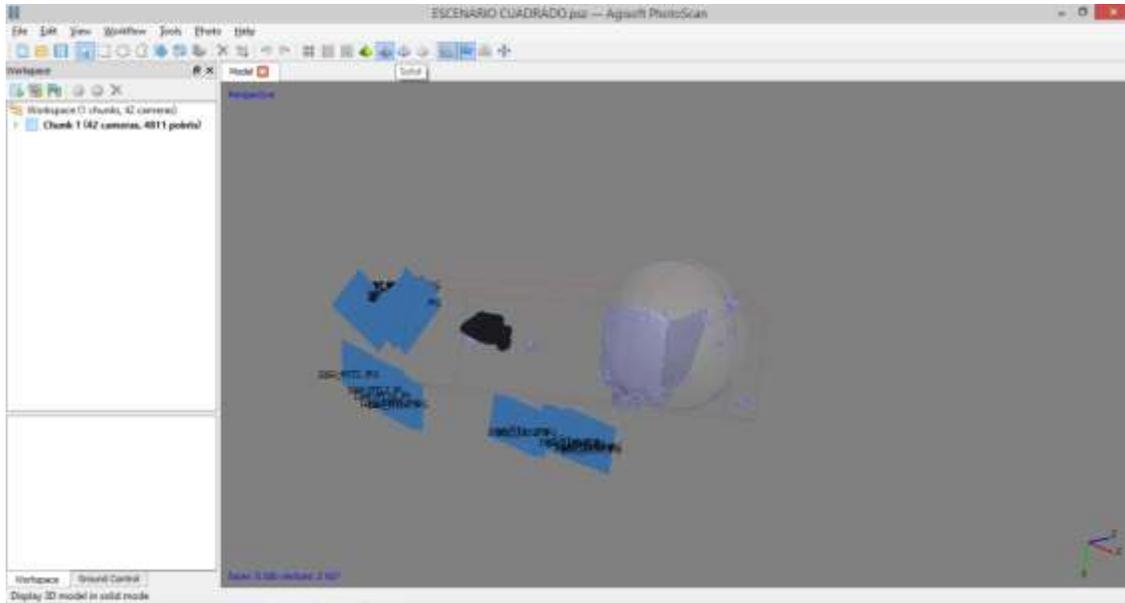


Imagen 59 Nube densa, escenario cuadrado

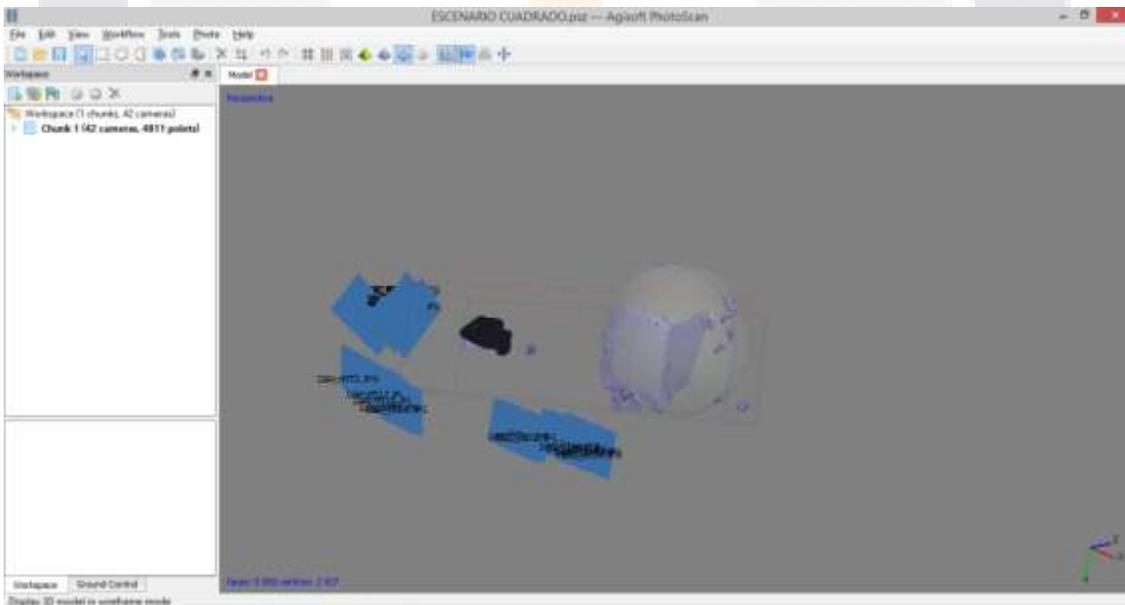


Imagen 60 Malla, escenario cuadrado

6.1.2 Paralelo

El modelo resultó erróneo, generó distorsiones en la posición de los planos y ejes de construcción, así como variaciones en la escala. Se determinó el primer paso de modelación, por la falta de información (fotografías).

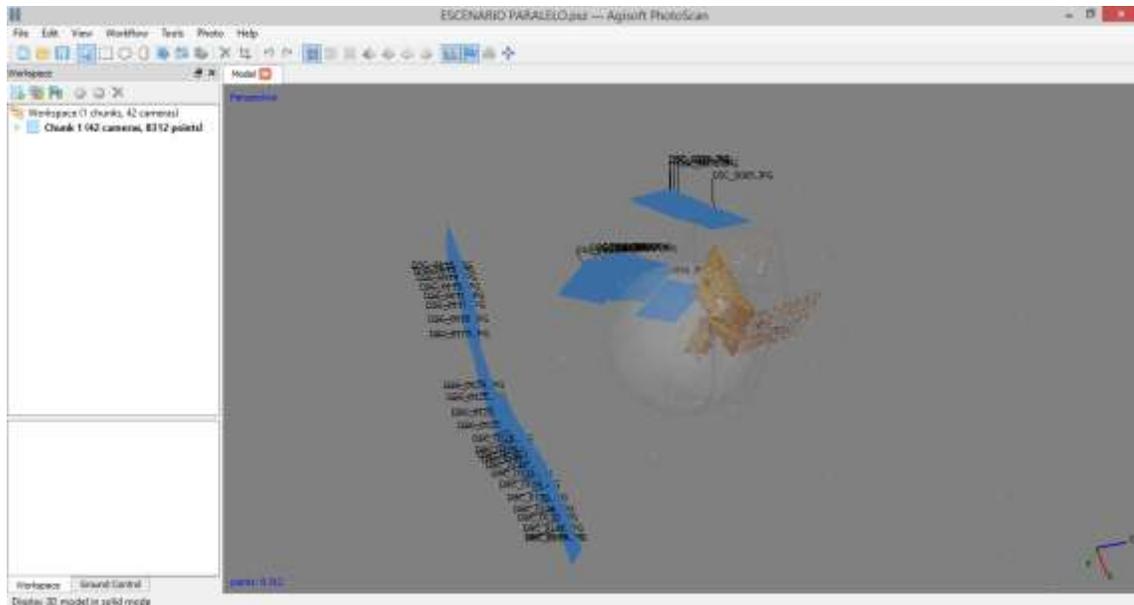


Imagen 61 Alinear fotografías, escenario paralelo

6.1.3 Circular

El método de captura circular, consistió en dejar el objeto al centro, formando un círculo en su perímetro, utilizaron cámara fotográfica NIKON Semiprofesional D3200, procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB.

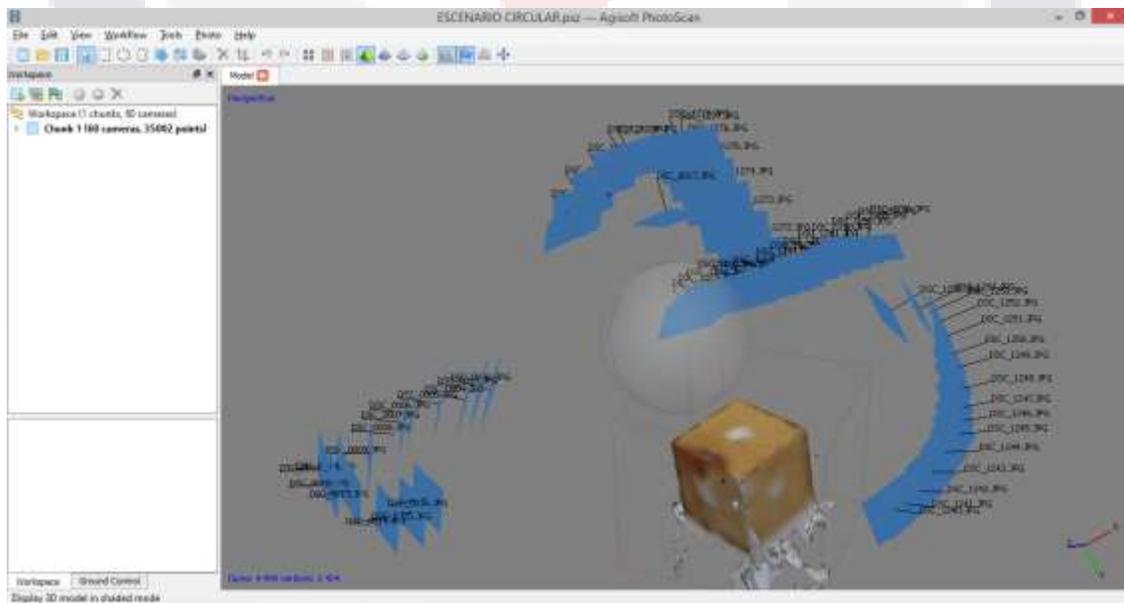


Imagen 62 Alinear fotografías, escenario circular

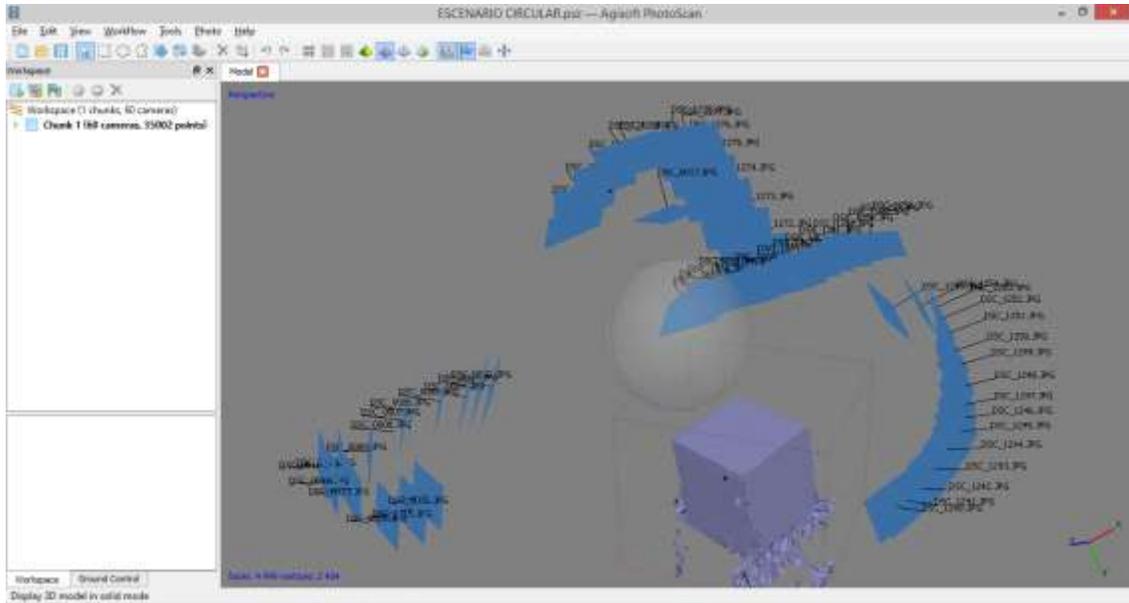


Imagen 63 Nube densa, escenario circular

La construcción del modelo fue exitoso, ya que el método arrojó la caras, planos y ejes definidos, en el proceso de alinear fotografías se mostro el objeto en sus cuatro caras completo.

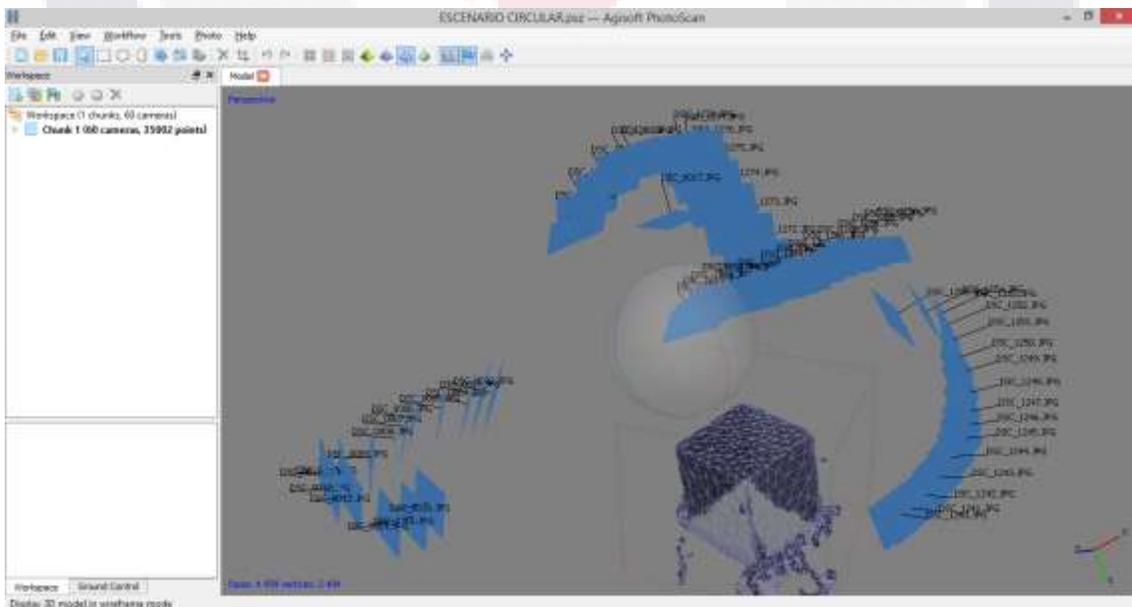


Imagen 64 Malla, escenario circular

Error

Se identificó el número de errores, por cada uno de los modelos, los escenarios cuadrado y paralelo, no pudieron compararlos ya que los modelos resultaron erróneos. El modelo óptimo fue el escenario circular.

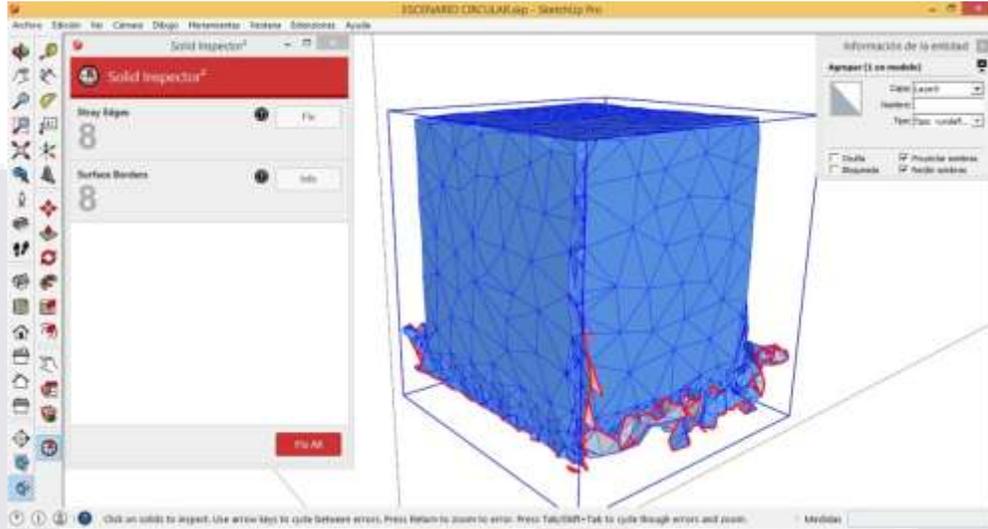


Imagen 65 Determinación de error, escenario circular

Sketch up® y solid inspector2®

Tabla 4 Referencia para valoración de error escenario de captura

ESCENARIO DE CAPTURA		
MODELO	ESCENARIO	ERROR
1	CIRCULAR (*)(**)	16
2	CUADRADO	N/A (***)
3	PARALELO	N/A (***)

(*) Escenario óptimo para la construcción digital del modelo (Fotografías NIKON Semiprofesional D3200 (Véase anexos)

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por que el escenario cuadrado y paralelo no se obtuvo el análisis completo.

Volumen

No se determinó el error y volumen del escenario cuadrado y paralelo, porque no se logró el volumen terminado en Agisoft Photoscan®. No existió punto de comparación, solo una variable resulto favorable.

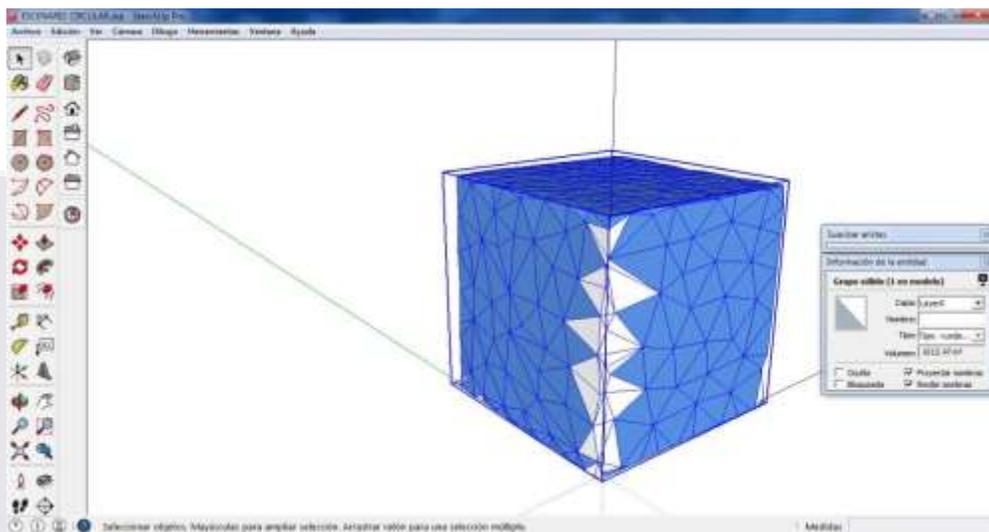


Imagen 66 Determinación de volumen, escenario circular

Tabla 5 Referencia para valoración de volumen escenario de captura

ESCENARIO DE CAPTURA			
VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	ESCENARIO	VOLUMEN M3	RANGO DE ERROR %
1	CIRCULAR (*)(**)	1012.47	1.247
2	CUADRADO	N/A	N/A (***)
3	PARALELO	N/A	N/A (***)

(*) Escenario óptimo de medición de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por que el escenario cuadrado y paralelo no se obtuvo el análisis completo.

6.2. Comprobación de iluminación

La iluminación jugo un papel indispensable, después de elegir el método de captura, se determinó la iluminación adecuada para la construcción de modelos de mayor precisión, se pondero las diferentes variables de iluminación natural, artificial e iluminación baja intensidad, bajo los parámetros de número de errores en la construcción de la malla, determinación de volumen y porcentaje de error al cálculo.

Se utilizó tres cámaras fotográficas diferentes, Sony Cyber - shot, iPhone 6 y Nikon D3200 (Especificaciones en anexo 8).

CAMARAS FOTOGRAFICAS		
8 megapixeles	14.1 megapixeles	24.1 - 13.5 - 6 megapixeles
		

Imagen 67 Cámaras fotográficas

Se utilizaron tres factores de iluminación:

Natural

Artificial

Baja intensidad



Imagen 68 Cubo 10 x 10, iluminación natural, artificial y baja intensidad con cámara NIKON® semiprofesional

6.2.1 Natural

Error

Elemento con pocos errores con iluminación semi controlada, el resultado de la comparación de las dos cámaras fue satisfactorio en todos los casos con excepción de la cámara Sony® Cyber-shot debido a que no fue una variable que pudieron determinar.

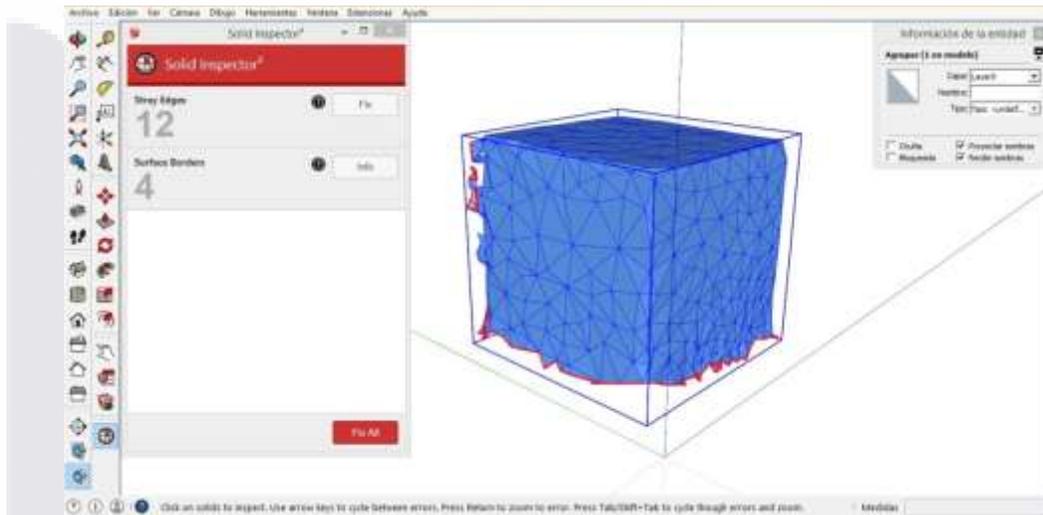


Imagen 69 Errores iluminación natural iPhone® 6

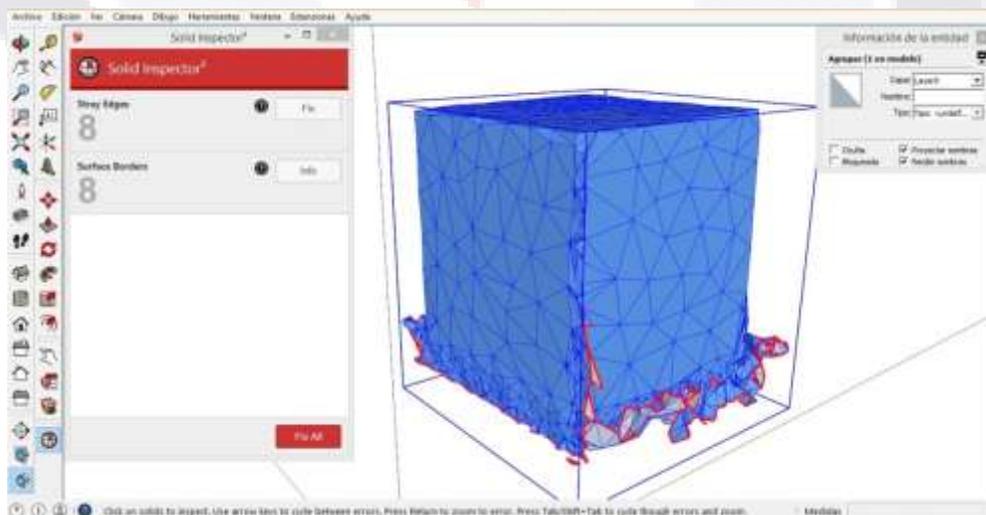


Imagen 70 Errores iluminación natural Nikon®

Tabla 6 Tabla de referencia para valoración de error en iluminación natural

ILUMINACION NATURAL		
MODELO	CAMARA	ERROR
1	NIKON D3200 (*)(**)	16
2	IPHONE 6 (*)(**)	16
3	SONY CYBER-SHOT DSC-W330	N/A(***)

- (*) Iluminación natural, construcción óptima de modelo
- (**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB
- (***) N/A Este modelo no se pudo generar por los parámetros establecidos de la cámara fotográfica.

Volumen

Obtención de volumen determinado por software; iPhone® 6 mejor resultado iluminación semi controlada natural.

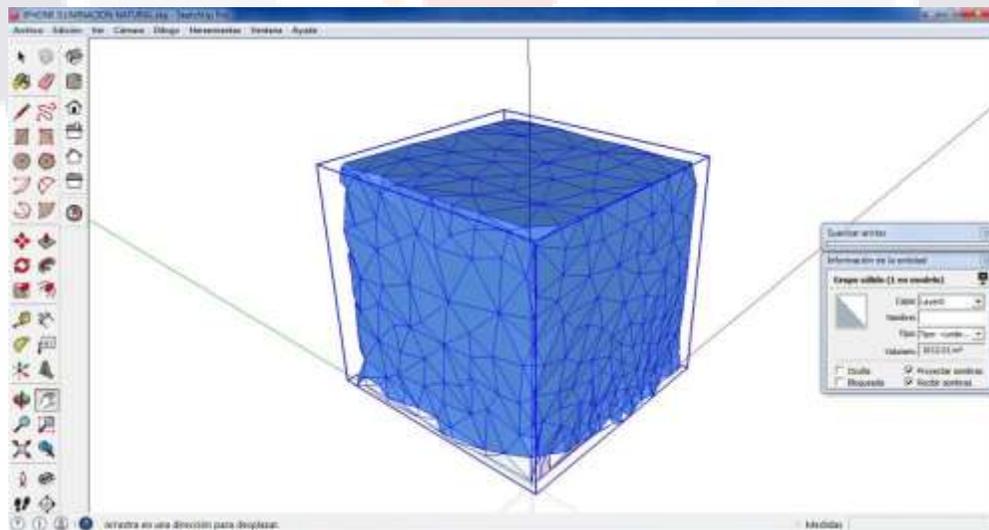


Imagen 71 Volumen iluminación natural iPhone® 6

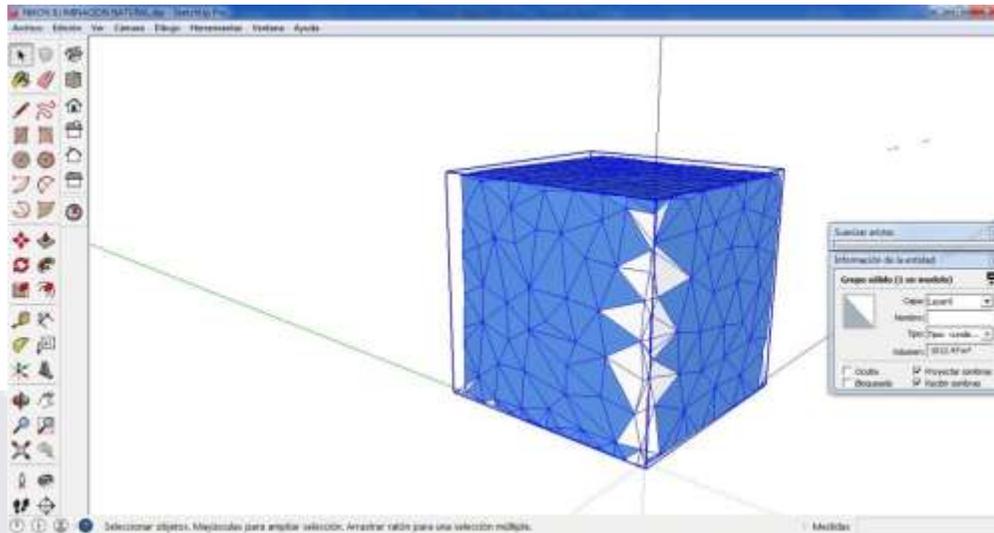


Imagen 72 Volumen iluminación natural Nikon®

Tabla 7 Referencia para valoración de volumen iluminación natural

ILUMINACION NATURAL VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	CAMARA	VOLUMEN M3	RANGO DE ERROR %
1	NIKON D3200 (*)(**)	1012.01	1.201
2	IPHONE 6	1012.47	1.247
3	SONY CYBER-SHOT DSC-W330	N/A (***)	N/A (***)

(*) Iluminación natural, construcción óptima de modelo

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por los parámetros establecidos de la cámara fotográfica.

El modelo resulto confiable, esta fue la iluminación óptima para demostrar las texturas, relieves y color del objeto, el tipo de cámara fue un factor determinante al igual que la iluminación.

6.2.2 Artificial

Error

La iluminación artificial, creo sombras en los elementos resultando más errores en el modelo, la comparación de NIKON - iPhone fue satisfactorio en los dos modelos.

La cámara Sony® Cyber-shot no fue una variable que se pudo determinar.

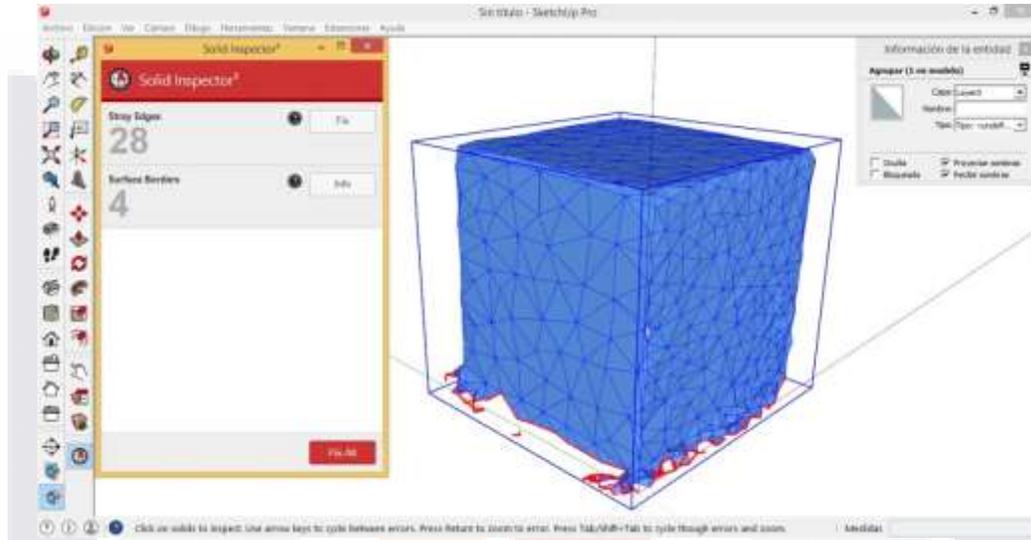


Imagen 73 Error iluminación artificial iPhone 6

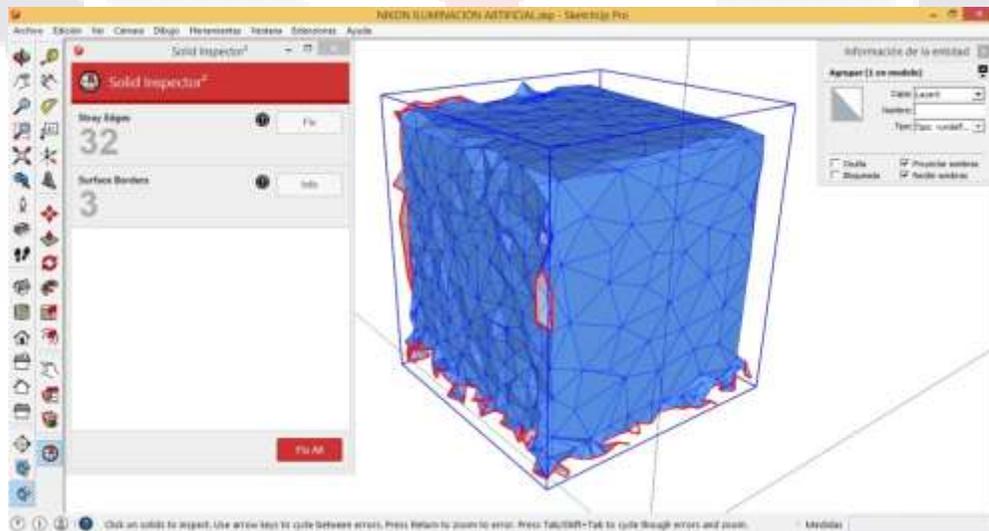


Imagen 74 Error iluminación artificial Nikon

Tabla 8 Referencia para valoración de error iluminación artificial

ILUMINACION ARTIFICIAL		
MODELO	CAMARA	ERROR
1	NIKON D3200	35
2	IPHONE 6 (*) (**)	32
3	SONY CYBER-SHOT DSC-W330 (***)	N/A

- (*) Iluminación artificial, construcción óptima de modelo
- (**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB
- (***) N/A Este modelo no se pudo generar por los parámetros establecidos de la cámara fotográfica.

Volumen

Se determinó el volumen con dos variables NIKON® – Iphone®, resulto la primera con un error de 0.16%, el proceso es confiable para realizar mediciones fotogramétricas.

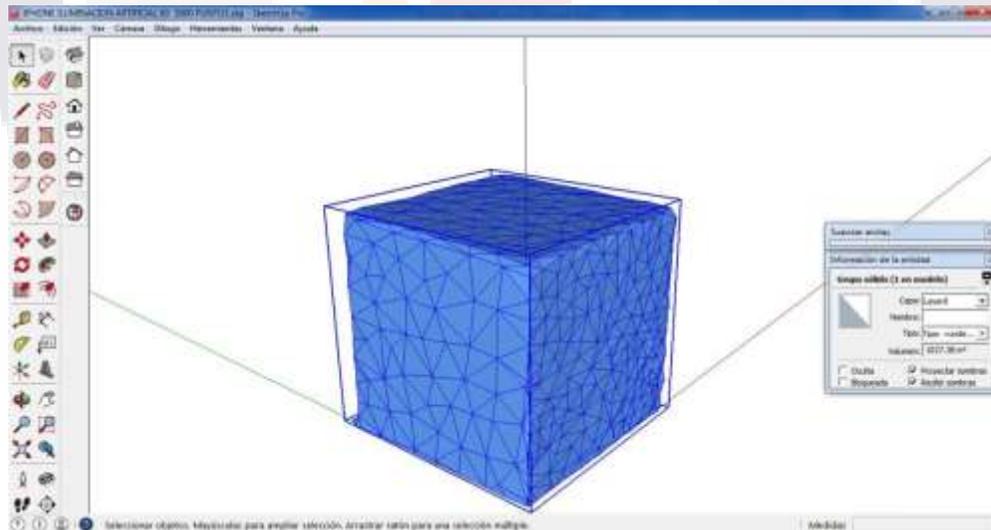


Imagen 75 Volumen iluminación artificial iPhone 6

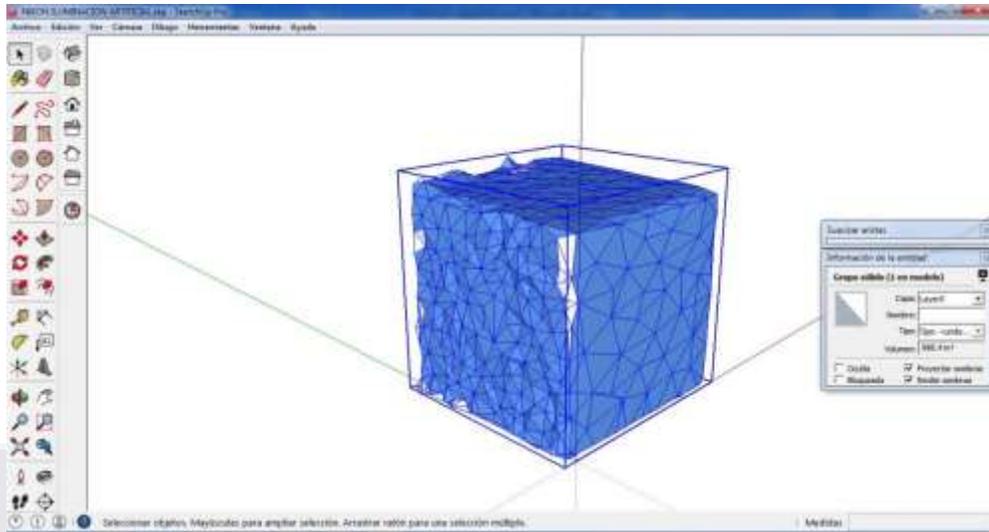


Imagen 76 Volumen iluminación artificial Nikon

Tabla 9 Referencia para valoración de volumen iluminación artificial

ILUMINACION ARTIFICIAL			
VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000CM3			
MODELO	CAMARA	VOLUMEN M3	RANGO DE ERROR %
1	NIKON D3200 (*) (**)	998.4	0.16
2	IPHONE 6	1027.38	2.738
3	SONY CYBER-SHOT DSC-W330	N/A (***)	N/A

(*) Iluminación artificial, construcción óptima de modelo

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por los parámetros establecidos de la cámara fotográfica.

La iluminación artificial mostro un error más bajo en comparación con la natural, mostrando las texturas y relieves del objeto, el tipo de cámara fue un factor determinante al igual que la iluminación artificial. La cámara Sony® cyber shot no mostro nada en ninguno de sus modelos por lo que no se consideró como variable.

6.2.3 Baja intensidad

Error

No existió la obtención de volumen y errores determinados que el programa obtiene, debido a que no encontró puntos de traslape, por falta de iluminación en el objeto.

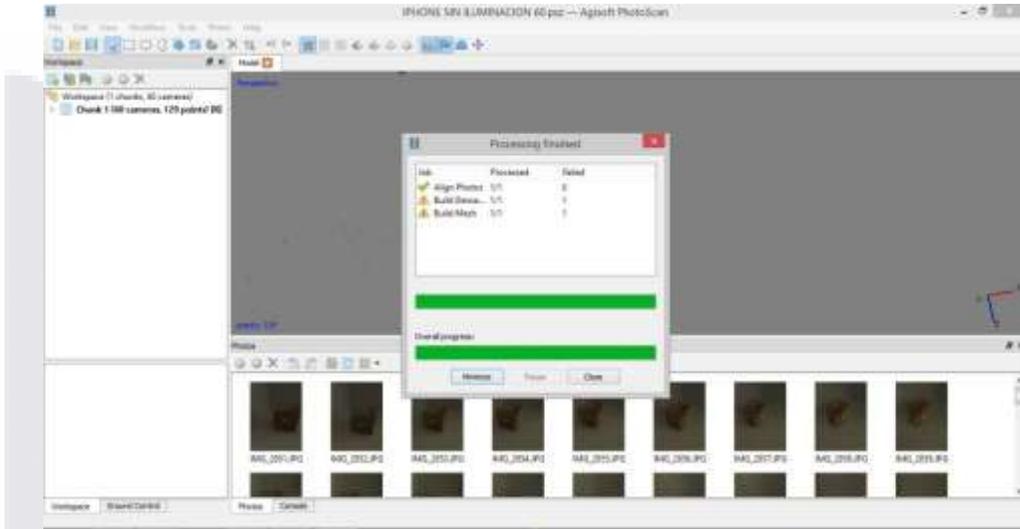


Imagen 77 Error iluminación baja intensidad iPhone 6

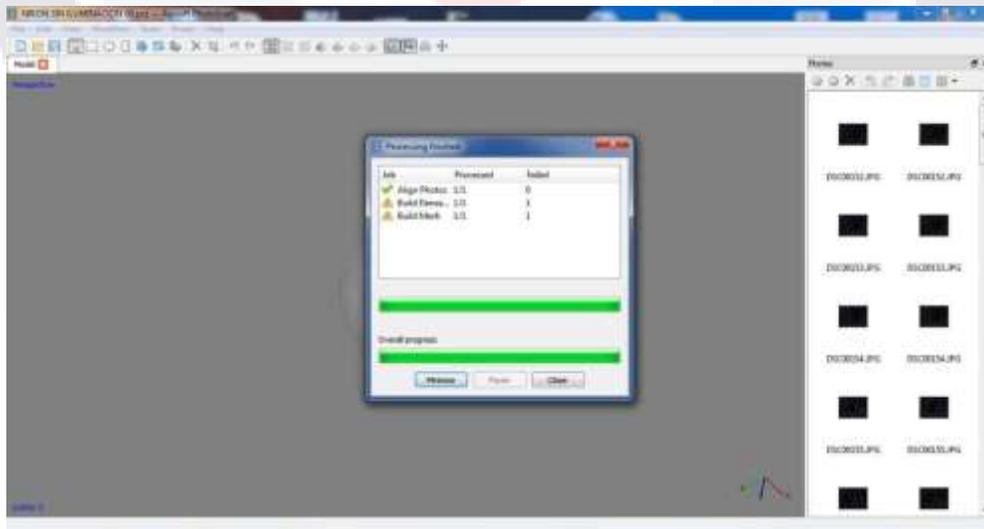


Imagen 78 Error iluminación baja intensidad Nikon

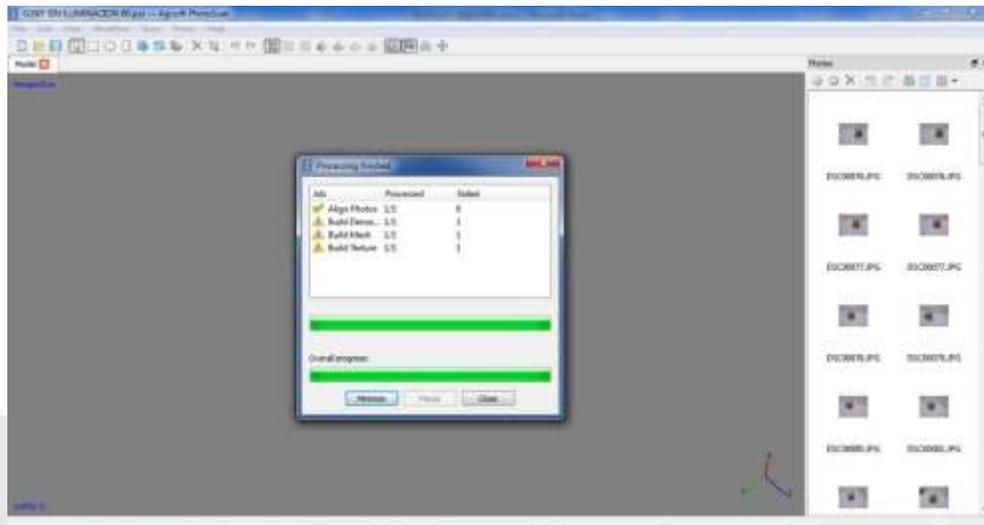


Imagen 79 Error iluminación baja intensidad Sony® Cyber shot

Tabla 10 Referencia para valoración de error iluminación baja intensidad

ILUMINACION BAJA INTENSIDAD		
MODELO	CAMARA	ERROR
1	NIKON D3200	N/A (***)
2	IPHONE 6	N/A (***)
3	SONY CYBER-SHOT DSC-W330	N/A (***)

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por falta de iluminación en el objeto.

La comprobación de la diferente iluminación realizada sobre un elemento de resultados conocidos informó que la mejor iluminación es la artificial, procurando no tener elementos de sombra profunda, para evitar los errores en el modelado y cálculo de volumetría. Los objetos analizados en iluminación natural marcan un mayor porcentaje de error y un número elevado de caras, esto provocado por las distorsiones del profundo sombreado.

La iluminación de baja intensidad fue nula de estudio por falta de un contraste medio en las caras y planos no permite al software la detención de puntos de traslape, por lo que su implementación no es funcional para la técnica.

6.3 Comprobación de Píxeles

El pixelaje determina la calidad de la textura y la fabricación de caras y bordes dentro de la decodificación de la información se definirá a mayor cantidad de pixelaje, mayor precisión en el modelado y menor rango de error en el cálculo de volumetría.

Error

Se integraron las mediciones en base a muestras y determinaciones previas de iluminación y consideraciones en el método de captura con la cámara NIKON Semiprofesional D3200, los resultados arrojados por el software son:

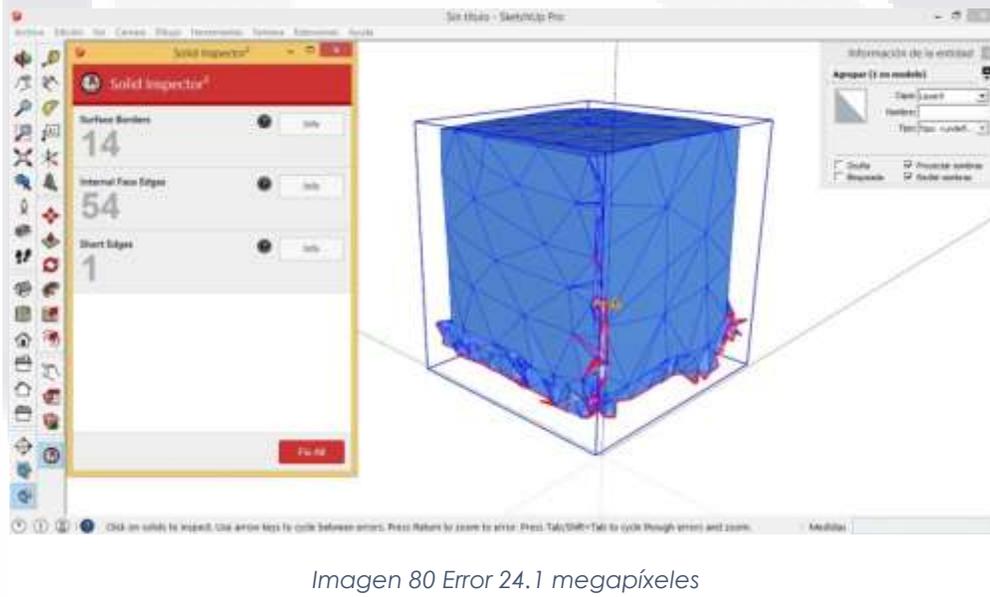


Imagen 80 Error 24.1 megapíxeles

El factor óptimo para la obtención del mínimo error, fue tomar las fotografías con 24.1 megapíxeles, tomaron en cuenta que el modelo tardaría más tiempo en procesarlo, debido al tamaño de las fotografías.

Utilizaron 60 fotografías, cámara NIKON semi profesional DC3200, calidad alta 24.1 megapíxeles, calidad media 13.5 megapíxeles y calidad baja 6 megapíxeles, iluminación natural y objeto a modelar cubo 10 x 10, madera natural con beta marcada como textura.

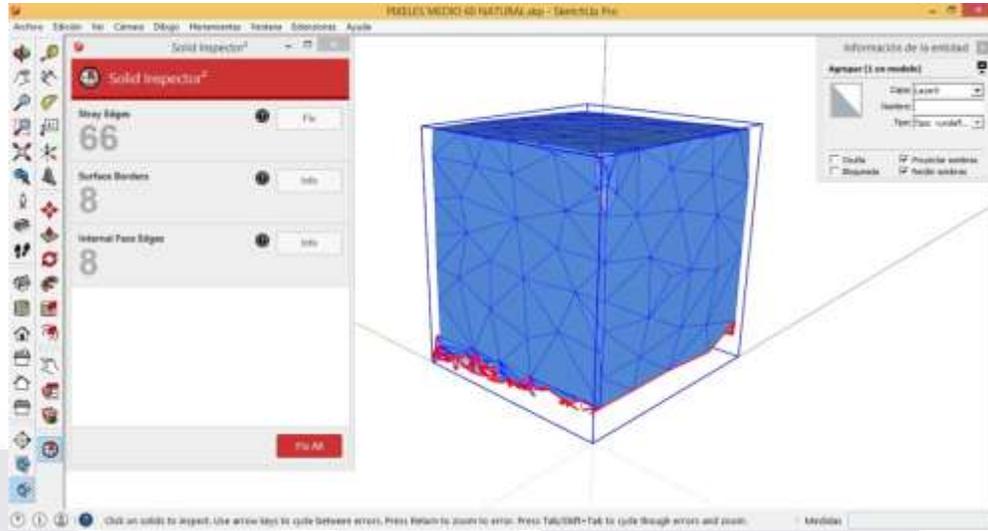


Imagen 81 Error 13.5 megapíxeles

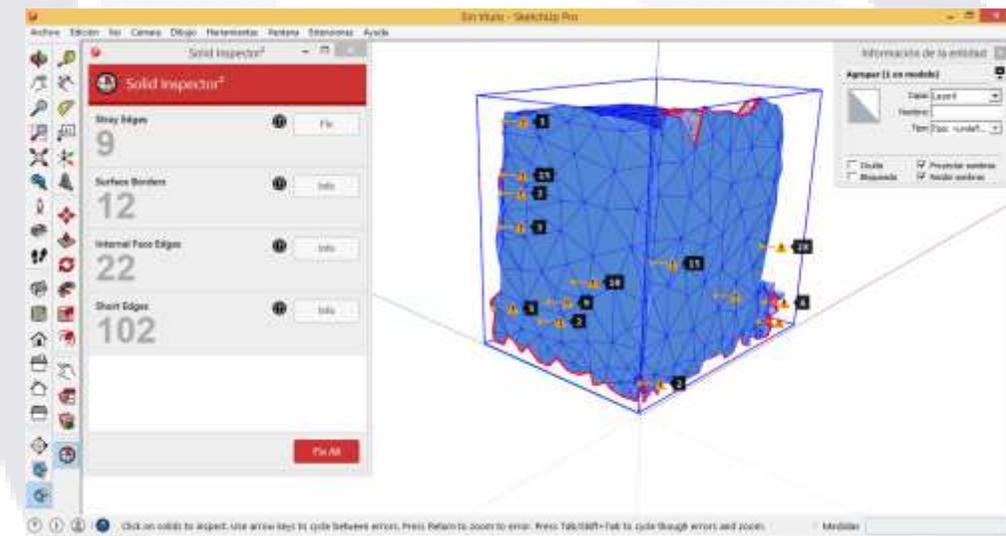


Imagen 82 Error 13.5 megapíxeles

Tabla 11 Referencia para valoración de error en píxeles

PIXELES		
MODELO	MEGAPIXELES	ERROR
1	24.1(*) (**)	68
2	13.5	82
3	6	145

(*) Menor número de errores en la construcción del modelo

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

Volumen

El volumen optimo se determinó con 13.5 megapíxeles, debido a la calidad intermedia de las fotografías, tomando los parámetros de error existe una diferencia, ya que el error mínimo se determinó con 24.1 megapíxeles y el volumen con 13.5 megapíxeles. Se debió a la calidad media de las fotografías, resulto un modelado más rápido al momento del procesado.

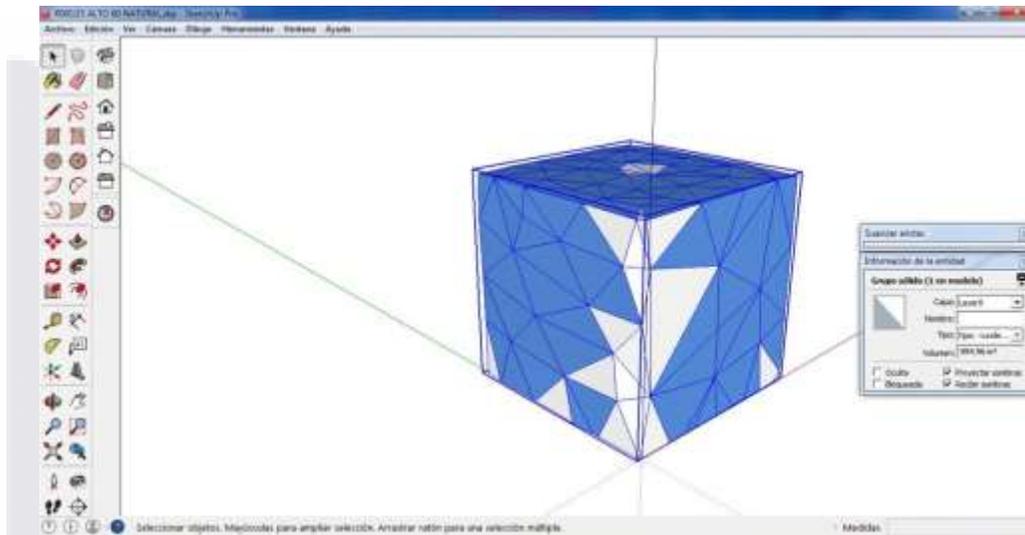


Imagen 83 Volumen 24.1 megapíxeles

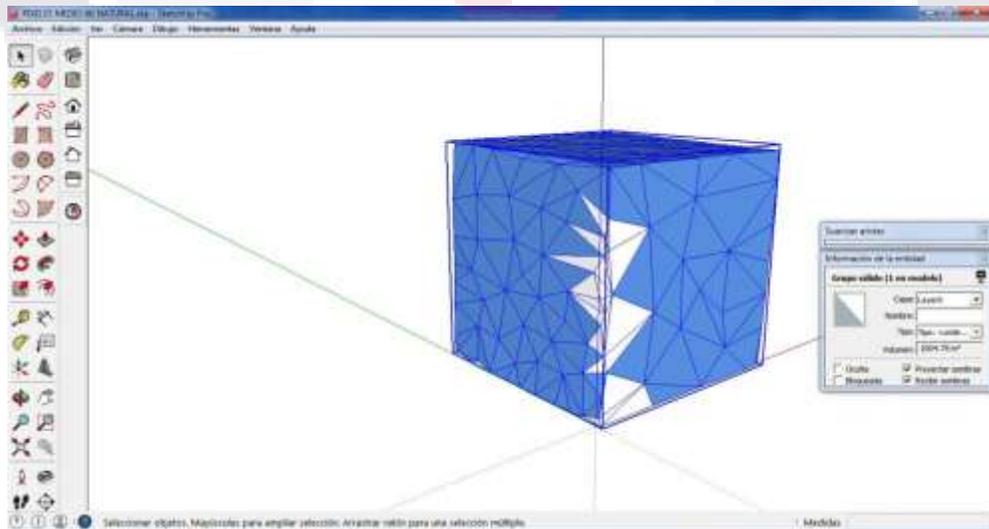


Imagen 84 Volumen 13.5 megapíxeles

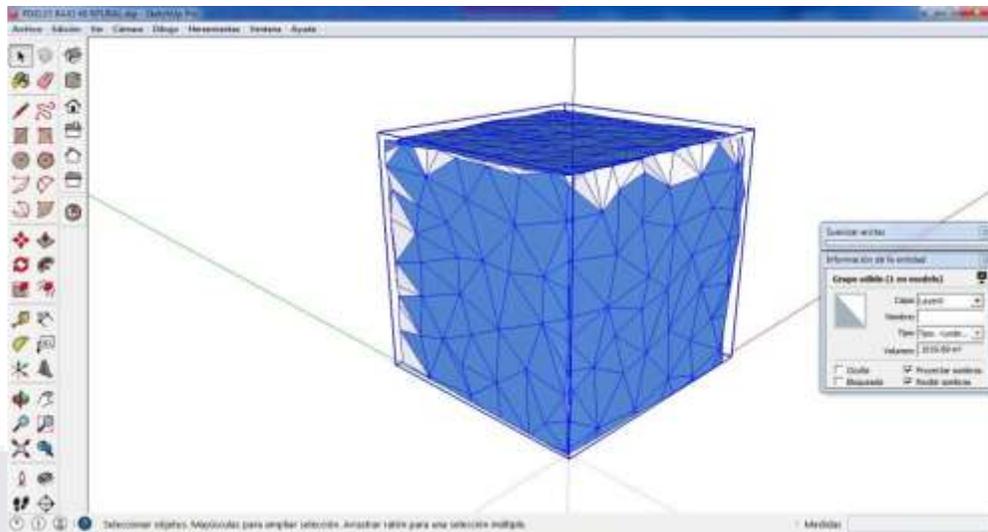


Imagen 85 Volumen 6 megapíxeles

Tabla 12 Referencia para valoración de volumen en píxeles

PIXELES			
VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	MEGAPIXELES	VOLUMEN M3	RANGO DE ERROR %
1	24.1	994.96	0.504
2	13.5 (*) (**)	1004.75	0.475
3	6	1019.89	1.989

(*) Escenario óptimo de medición de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

6.4 Modelos comparados variando el número de fotografías

La integración de modelos a través de Agisoft PhotoScan®, basado en número de fotografías contra número de errores arrojados en la construcción tridimensional digital.

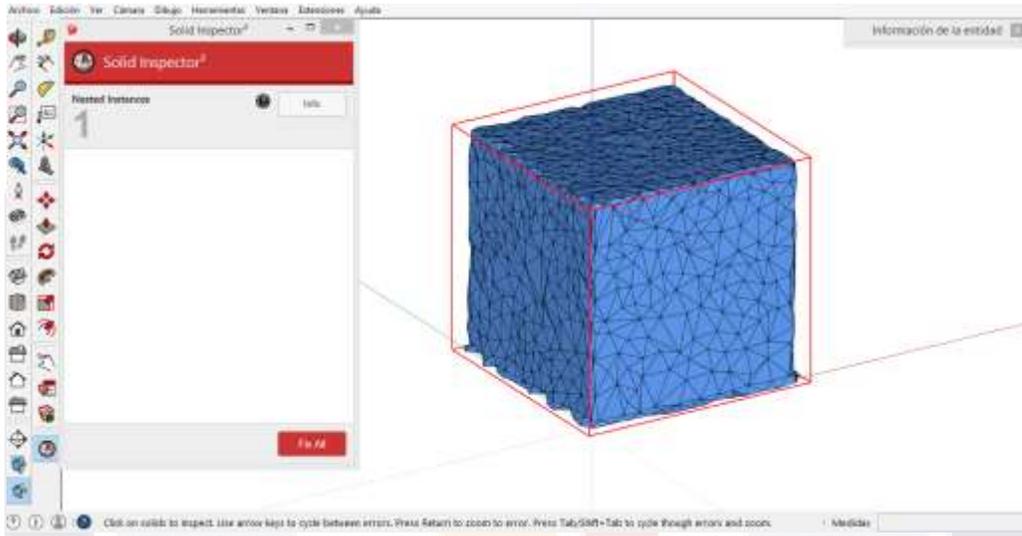


Imagen 86 Error 66 fotografías

Tabla 13 Referencia para valoración de error en número de fotografías

VARIACION NUMERO DE FOTOGRAFIAS		
MODELO	FOTOGRAFIAS	ERRORES
1	84	22
2	78	147
3	72	43
4 (*) (**)	66	1
5	60	2
6 (*) (**)	54	1
7 (*) (**)	48	1
8 (*) (**)	42	1
9	36	9
10	30	6
11 (***)	24	N/A

(*) Numero de fotografías óptima para la construcción del modelo

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por falta de fotografías

Tabla 14 Referencia para valoración de volumen en número de fotografías

NUMERO DE FOTOGRAFIAS VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	FOTOGRAFIAS	VOLUMEN CM ³	RANGO DE ERROR %
1	84	1048.8	4.88
2	78	1010.15	1.015
3	72	981.37	1.863
4	66	1009.45	0.945
5	60	988.66	1.134
6	54	1021.72	2.172
7	48	988.24	1.176
8	42	978.46	2.154
9	36	1038.76	3.876
10 (*) (**)	30	996.13	0.387
11	24	N/A (***)	N/A (***)

- (*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión del cálculo de volumen
- (**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB
- (***) N/A Este modelo no se pudo generar por falta de fotografías.

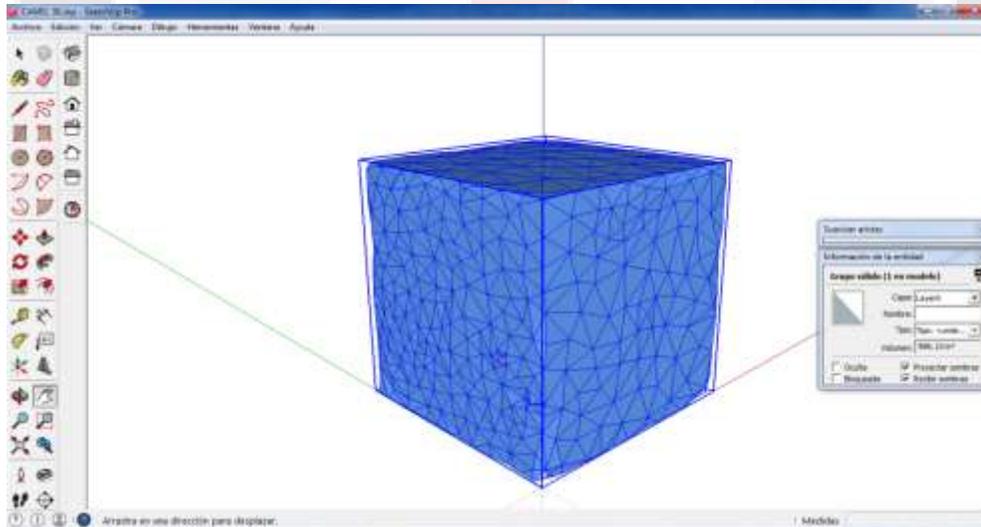


Imagen 87 Volumen 30 fotografías

El número de fotografías en el rango de 42 a 66 fue satisfactorio en la construcción de modelo y el cálculo de volumetría, sin embargo es importante mencionar que los modelos pequeños y medianos estos parámetros son aplicables, la obtención de modelos a gran escala, tendría un exponencial número de fotografías así como una proporción de proximidad similar al utilizando en la método de captura.

6.5 Comprobación por color

Se definió la metodología de captura, cantidad de fotografías, pixelaje e iluminación adecuada, se determinó el color del objeto, aporta mayor precisión en modelos de colores y texturas intrínsecas, la comprobación demostrara que objetos aportan mayor precisión en su construcción así como el cálculo de su volumetría.

Error

El valor de error en color gris y negro, se determinó el mismo. El color claro presento más errores. Utilizaron 36 fotografías, cámara NIKON semi profesional DC3200, calidad alta 24.1 megapíxeles, iluminación natural y objeto a modelar cubo 10 x 10, madera natural con beta marcada como textura.

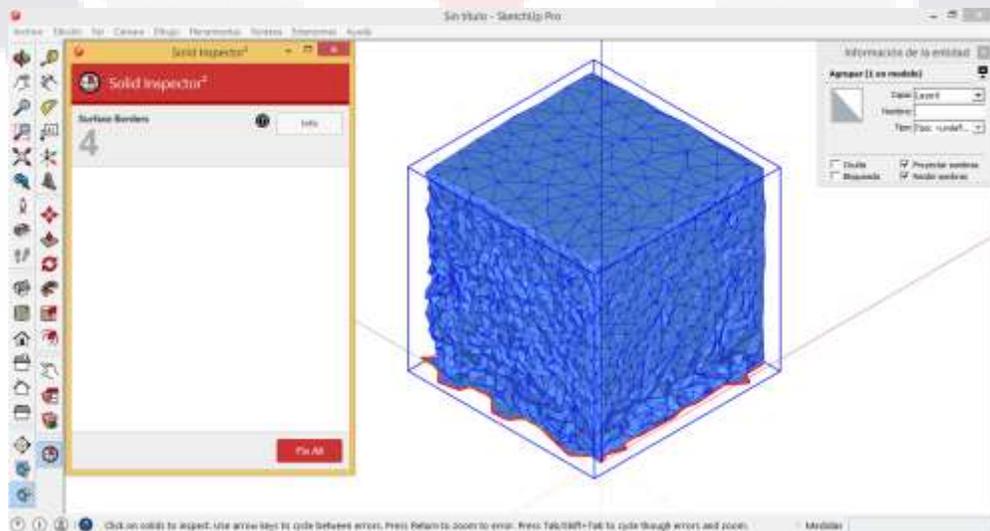


Imagen 88 Error, color gris

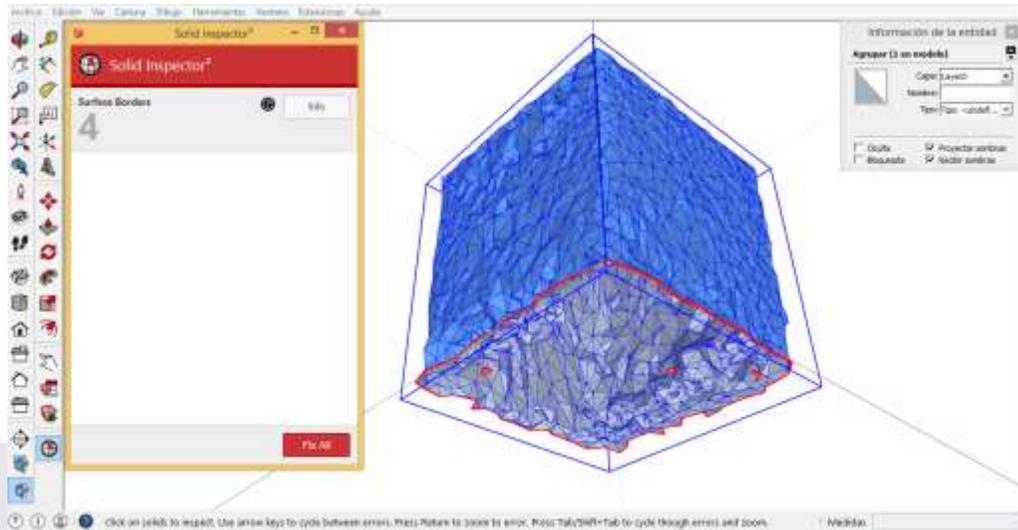


Imagen 89 Error, color negro

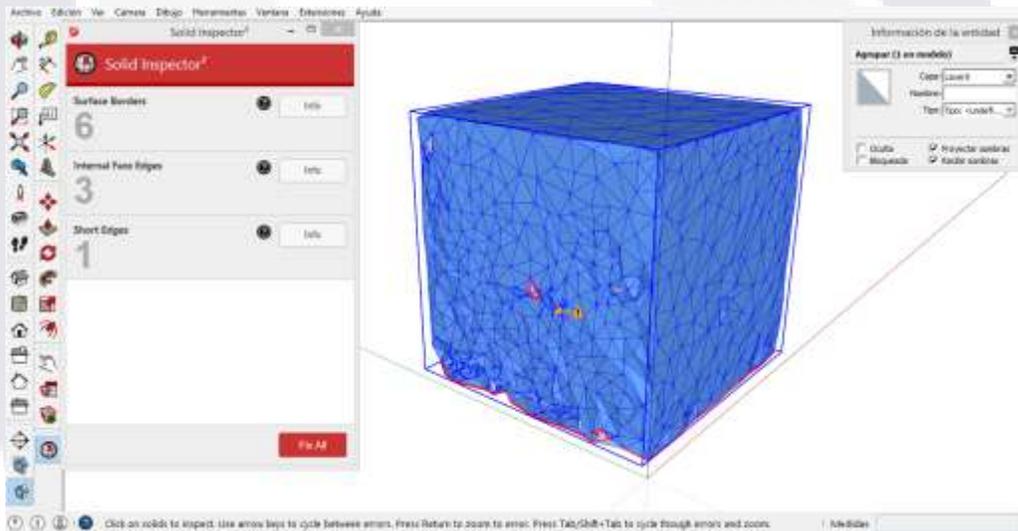


Imagen 90 Error, color natural

Tabla 15 Referencia para valoración de error por color

VARIACION POR COLOR		
MODELO	COLOR	ERRORES
1 (*) (**)	GRIS	4
2 (*) (**)	NEGRO	4
3	NATURAL	9

(*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión en la construcción del modelo

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

Volumen

Se determinó que los modelos de color oscuro (negro y gris), numéricamente son más confiables según su volumetría y número de errores. Se utilizó iluminación natural, las sombras no determinaron falta de información en el objeto a modelar.

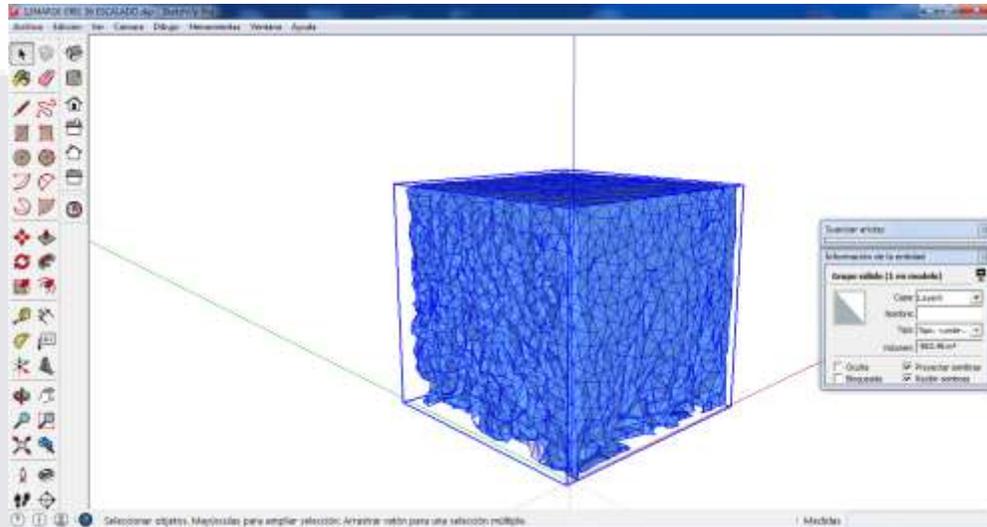


Imagen 91 Volumen, color gris

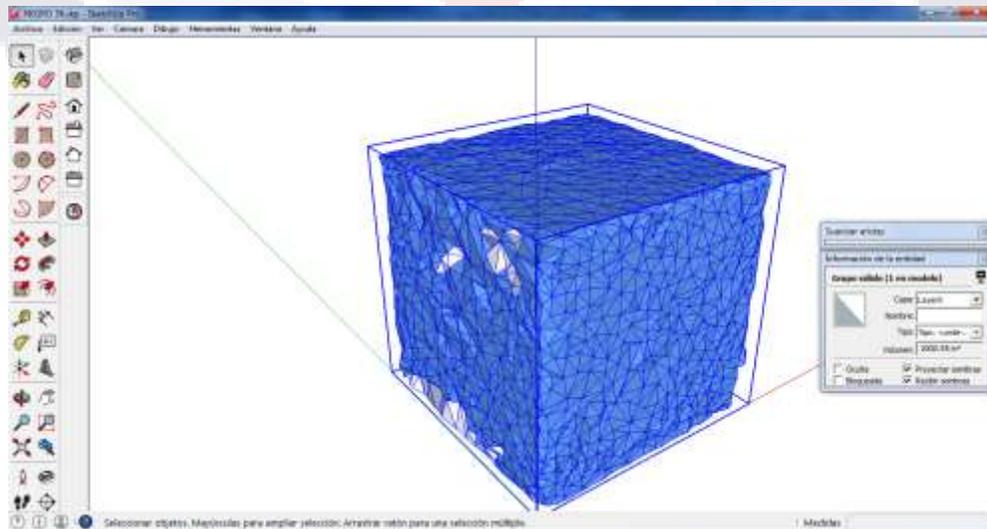


Imagen 92 Volumen color negro

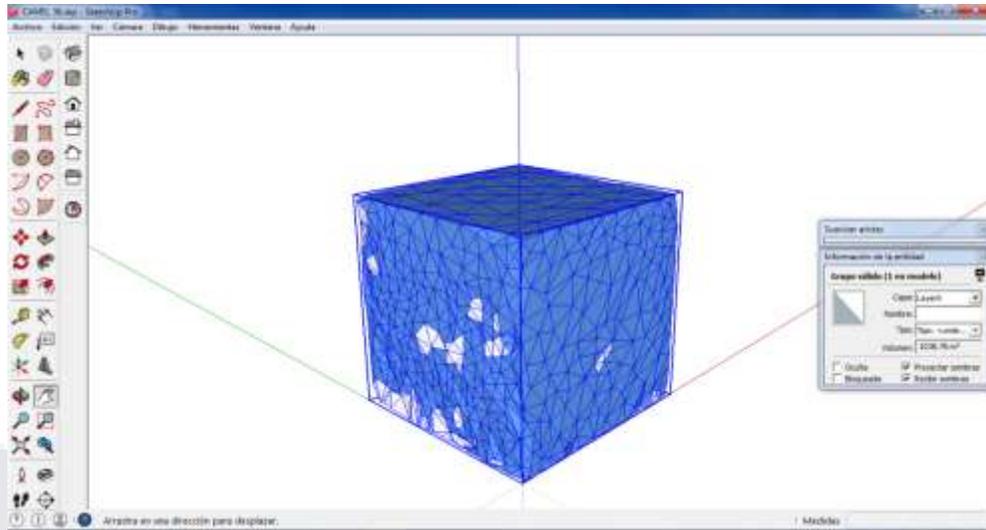


Imagen 93 Volumen, color natural

Tabla 16 Referencia para valoración de volumen por color

COLOR VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	COLOR	VOLUMEN CM3	RANGO DE ERROR %
1	GRIS	983.46	1.654
2 (*) (**)	NEGRO	1000.95	0.095
3	NATURAL	1038.76	3.876

(*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión del cálculo de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

6.6 Comprobación por tamaño

Se determinó tres variables para definir tamaño (Cubo 6 x 6, cubo 10 x 10 y edificio 213 UAA), se analizaron las mismas variables 60 fotografías, cámara NIKON® D3200 semiprofesional, iluminación natural y secuencia fotográfica circular.



Imagen 94 Cubo 6 x 6, cubo 10 x 10 y edificio 213

El error y volumen se determinaron por medio de la malla de puntos, debido a su tamaño el edificio 213 no completo el proceso, por falta de información fotográfica y equipo necesario dron (vehículo no tripulado) para elementos de esa magnitud. La alineación de fotografías no logra coincidir en ninguno de los puntos de traslape, generando puntos dispersos sin alguna clara referencia.

La malla del cubo 6 x 6 y del cubo 10 x 10, se ve claramente definida utilizando 5000 puntos de intersección.

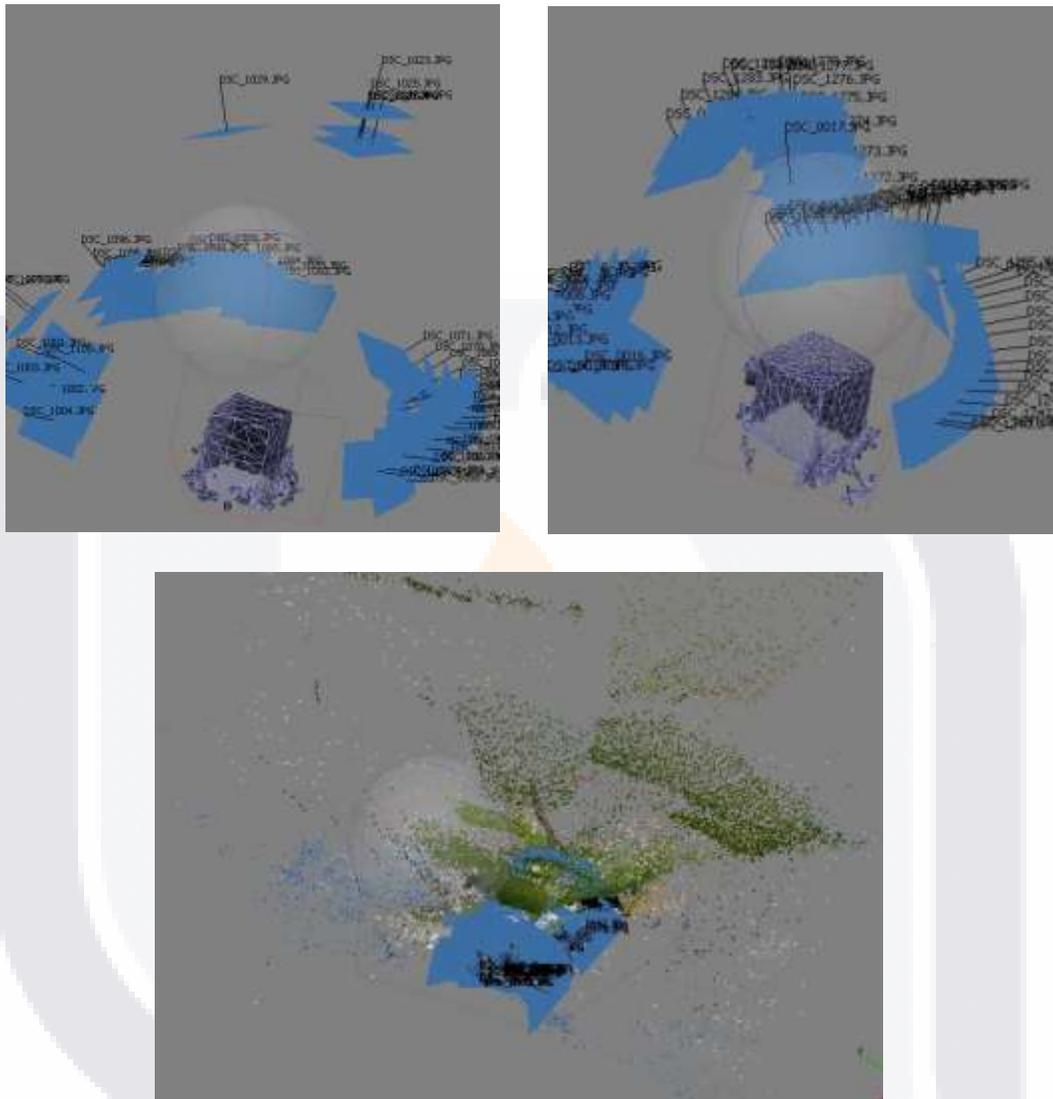


Imagen 95 Malla cubo 6 x 6 y cubo 10 x 10, alinear fotografías edificio 213

Error

Solo se tomaron en cuenta dos variables el cubo 6 x 6 y el cubo 10 x 10, el modelo del edificio 213 no resulto favorable. Se integraron las mediciones necesarias a los dos elementos a comparar los resultados determinados por el software son:

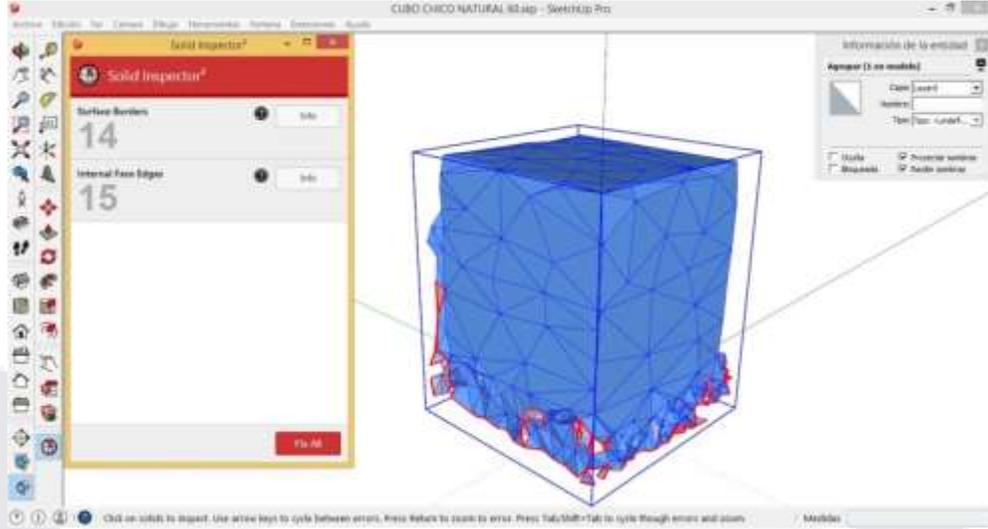


Imagen 96 Error, cubo 6 x 6

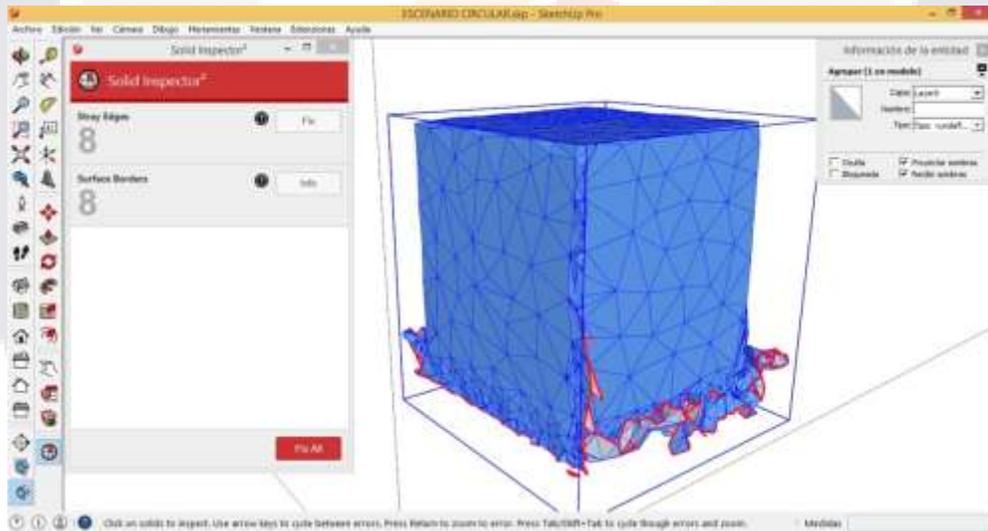


Imagen 97 Error, cubo 10 x 10

El modelo del edificio 213 no fue exitoso, no se determinó el número necesario de fotografías, no se contó con el equipo necesario, para determinar el modelo fotogramétrico. La utilización de un dron (Vehículo no tripulado) fue necesario, para la optimización del elemento a estudiar.

Tabla 17 Referencia para valoración de error por tamaño

COMPROBACION DE TAMAÑO		
MODELO	TAMAÑO	ERROR
1	CUBO 6 X 6 CM (*) (**)	29
2	CUBO 10 X 10 CM(*) (**)	16
3	EDIFICIO UAA	N/A

(*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión del cálculo de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por falta de fotografías.

Volumen

Se determinó el volumen de los elementos por de la medición física:

$$\text{Cubo } 6 \times 6 = 216 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cubo } 10 \times 10 = 1000 \text{ cm}^3$$

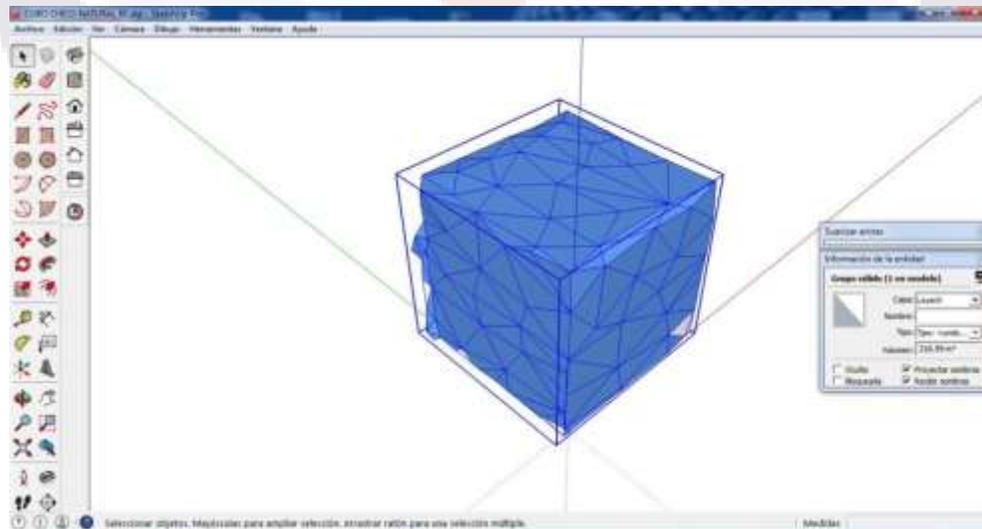


Imagen 98 Volumen, cubo 6 x 6

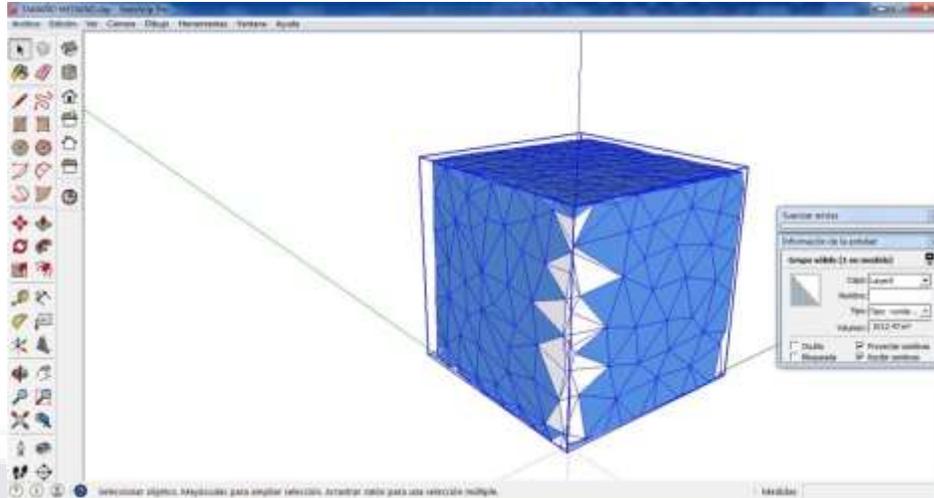


Imagen 99 Volumen, cubo 10 x 10

Tabla 18 Referencia para valoración de volumen por tamaño

COMPROBACION DE TAMAÑO VOLUMEN CUBO MADERA 6 X 6 X 6 CMS 216 CM3 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	TAMAÑO	VOLUMEN M3	RANGO DE ERROR %
1	CUBO 6 X 6 CM (*) (**)	216.99	0.458
2	CUBO 10 X 10 CM	1012.47	1.247
3	EDIFICIO UAA	N/A	N/A

(*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión del cálculo de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por falta de fotografías.

El tamaño formo parte importante en la generación de modelos y en su cálculo, sin embargo no fue posible determinar a gran escala por falta de elementos tanto físicos como técnicos, la escala pequeña y mediana, resultó fácil de comprobar por todo el análisis previo de este capítulo.

6.7 Comparación de resultados

La técnica aporta tres grandes variables en el proceso. La primera son las propiedades intrínsecas del modelo como son su color, textura e iluminación. La segunda es el método de captura, número de fotografías así como sus píxeles. La tercera variable para la construcción de una técnica certera depende la capacidad de procesamiento y sus parámetros pertinentes dependiendo de la escala, calidad y tiempo.

Tabla 19 Referencia para comparación de resultados

MODELO	ALINEAR FOTOGRAFIAS			NUBE DENSA			MALLA		TEXTURA	
	EXACTITUD	LIMITE DE PUNTOS	TIEMPO	CALIDAD	PROFUNDIDAD FILTRO	TIEMPO	NUMERO POLIGONOS	TIEMPO	NUMERO TEXTURA	TIEMPO
1	ALTA*	20000*	27 MIN**	ALTO	AGRESIVO*	6 HR 20**	5000*	10 MIN*	3	6 MIN
2	MEDIANA	10000	11 MIN	MEDIANO*	MODERADO	3 HR 36	3500	8 MIN	2	4 MIN
3	BAJA	5000	4 MIN	BAJO	TEMPLADO	60 MIN	2000	4 MIN	1*	4 MIN**

* Procesamiento de datos optimo, determinantes generales.

** Procesamiento de datos con HP® PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB tiempo supeditado a procesador y RAM

Error

Se determinó el error en base a la comparación de los tres modelos, se tomó en cuenta el límite de puntos de cada uno de ellos. Haciendo una comparativa de 5000, 10000 y 20000 puntos. Utilizaron 42 fotografías, cámara NIKON semi profesional DC3200, calidad alta 24.1 megapíxeles, iluminación natural y objeto a modelar cubo 10 x 10, madera natural con beta marcada como textura.

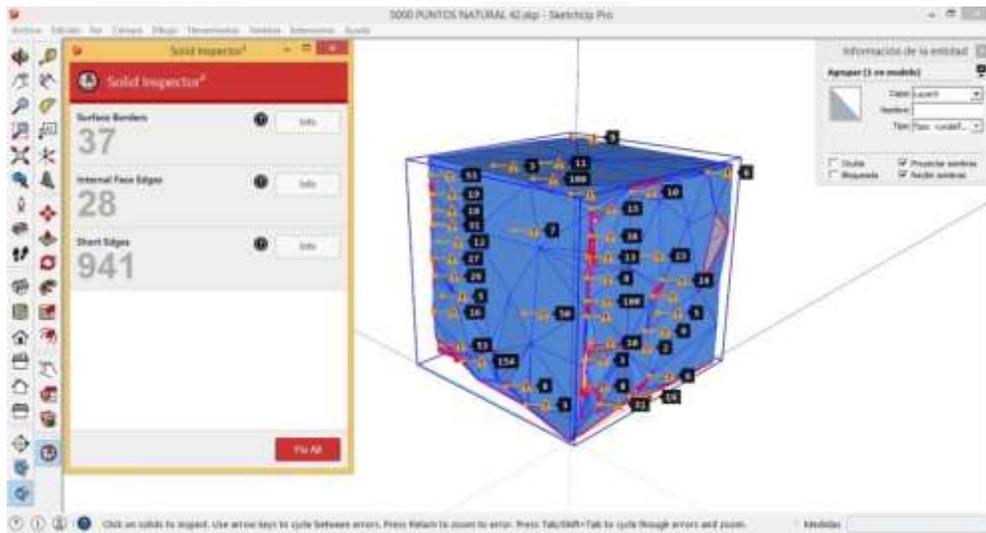


Imagen 100 Error, 5000 límite de puntos

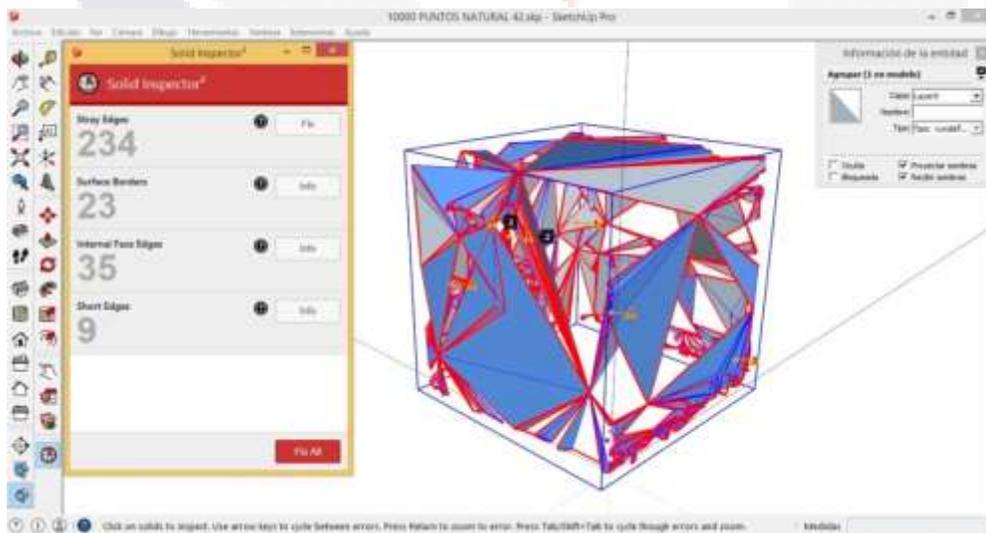


Imagen 101 Error, 10000 límite de puntos

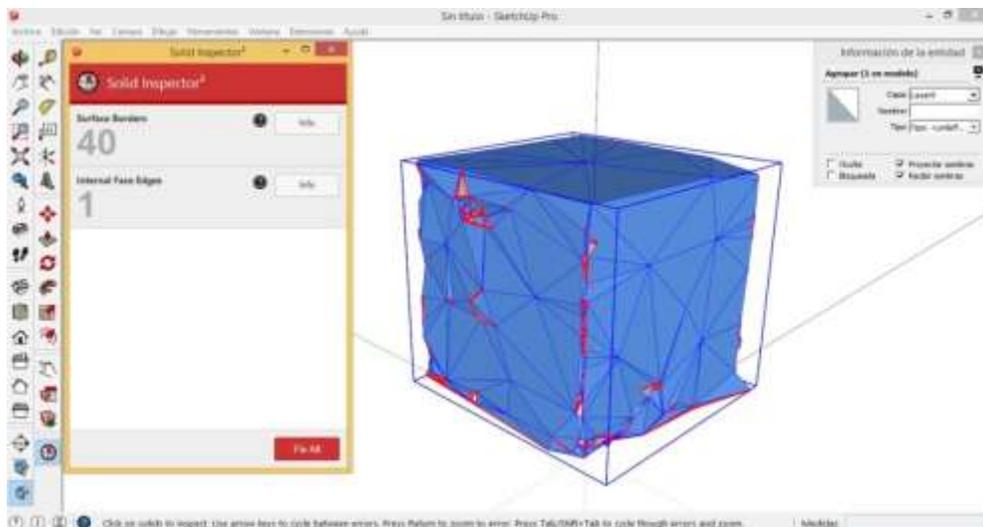


Imagen 102 Error, 20000 límite de puntos

Tabla 20 Referencia de error por comparación de resultados

COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
MODELO	TAMAÑO	ERROR
1	5000	65
2	10000	292
3	20000 (*) (**)	41

(*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión del cálculo de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

Se definió una mayor cantidad de puntos para los modelos de alta calidad, que origino la construcción certera de los mismos. Se entendió que la calidad de procesamiento va directamente relacionada con la calidad del modelo, a mayor capacidad de procesamiento menor cantidad de tiempo de construcción de modelos y mayor calidad en su construcción.

Volumen

Se determinó el factor de la malla, fue favorable el modelo de 20000 límite de puntos, los otros dos modelos no fueron punto de comparación por que la malla no se finalizó correctamente. No se pudo determinar el error y el volumen de los elementos de 5000 y 10000, el modelo no fue exitoso.

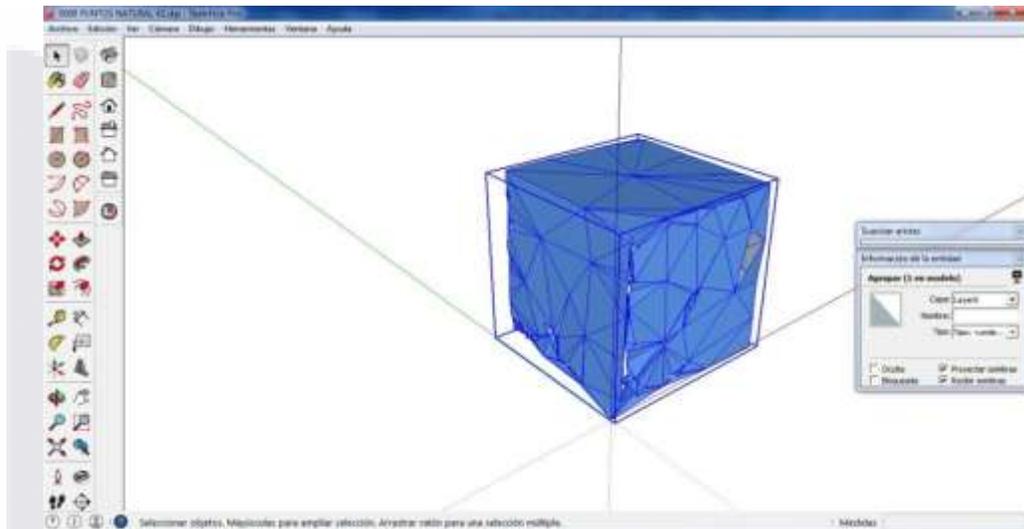


Imagen 103 Volumen, 5000 límite de puntos

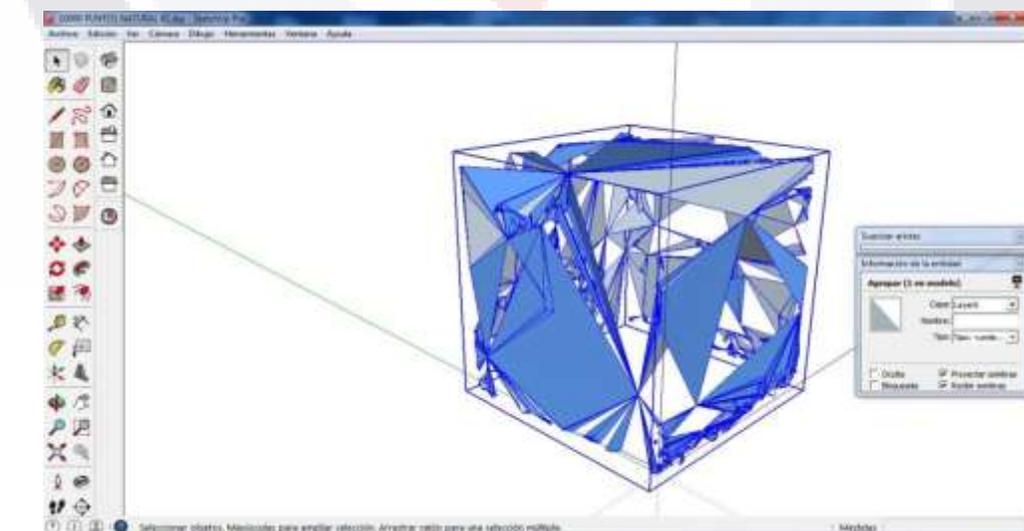


Imagen 104 Volumen, 10000 límite de puntos

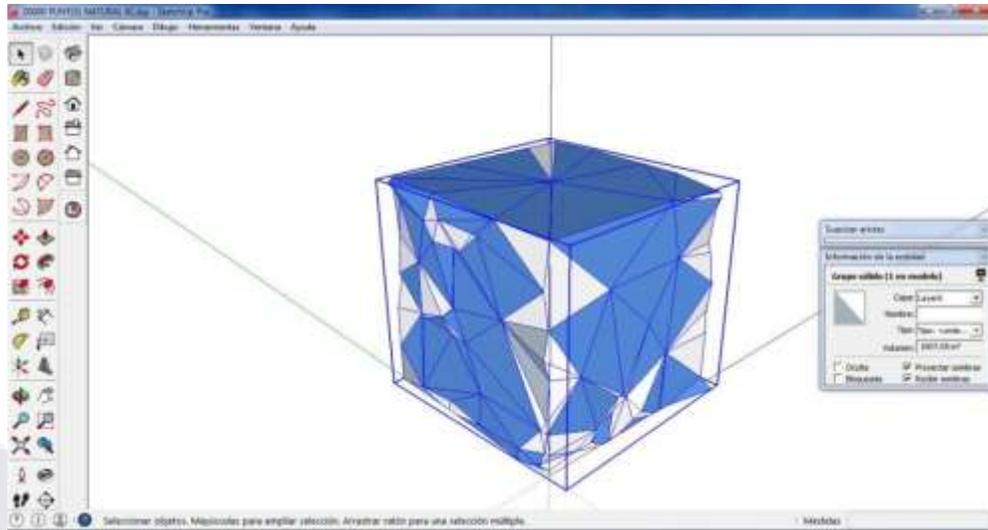


Imagen 105 Volumen, 20000 límite de puntos

Tabla 21 Referencia para valoración de volumen por tamaño

COMPARACION DE RESULTADOS VOLUMEN CUBO MADERA 10 X 10 X 10 CMS 1000 CM3			
MODELO	TAMAÑO	VOLUMEN M3	RANGO DE ERROR %
1	5000 (*) (**)	N/A	N/A
2	10000	N/A	N/A
3	20000	1007.05	0.705

(*) Numero de fotografías que reporta mayor precisión del cálculo de volumen

(**) Procesamiento de datos con HP PAVILION PROCESADOR AMD A8 5545M RAM 8.00 GB

(***) N/A Este modelo no se pudo generar por modificación de parámetros Agisoft Photoscan®

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados determinados dependieron de los parámetros y variables controlables, los puntos indispensables a seguir son comprobaciones de eliminación de errores en modelos de primera mano y cálculo de volúmenes, los modelos obtuvieron un rango de error del método.

Tabla 22 Referencia discusión de resultados

DETERMINACION DE CONFIGURACIONES Y RANGO DE ERROR DE LA TECNICA			
	OBJETIVOS	PARAMETRO	RANGO DE ERROR DEL OBJETIVO %
1	Método de captura	circular	1.247
2	Iluminación	artificial	1.201
3	Pixeles	13.5	0.475
4	Numero de fotografías	30	0.387
5	Color	negro	0.095
6	Tamaño	pequeño	0.458
7	Modelado	varios *	0.75

- Ver 6.7 comparación de resultados

Los objetivos del método fotogramétrico, constan de cálculos de volumetría delimitada por un elemento finito, un cubo de madera de 10 x 10 x 10 cms con una volumetría definida de 1000 cm³, la comparación de los objetivos con la muestra teórica, obtuvo un rango de error con cada objetivo. Estos determinaron el rango general de error del método a través del promedio.

Dicho proceso pretende implementar un método que cree condiciones favorables para la integración de modelos finitos numéricamente comprobables y analizables, implementando los objetivos se podrá obtener dichos modelos con el mínimo rango de error.

Esta técnica permite dar una solución de bajo costo a modelos de escalas pequeñas y medianas, los modelos de gran escala tendrían un mayor número en sus parámetros para respetar el rango de error y poder generar su volumen de manera exitosa.



CONCLUSIONES

Generales

Se comprobó una técnica que nos muestra resultados confiables, que permitió un estudio de elementos a varias escalas teniendo en cuenta un antecedente de bajo costo y paramétrica definida, para su estudio particular.

Se exploraron las propiedades de cada proceso para mejorar la calidad y fiabilidad del resultado.

Las exploraciones profundizaron en una técnica que permitió consolidar el proceso, herramientas y parámetros para la obtención de modelos numéricamente comprobables determinando su error y volumen, comprobándolos entre ellos.

A. Propiedades del modelo

Las propiedades del modelo determinaron la técnica de selección de iluminación, la implementación de color y el manejo de la escala; modelando y procesando las características del modelo para su medición y estudio.

Entre más pequeño sea el objeto de estudio mayor será la precisión en el cálculo de su área, así como la construcción de su modelo. La iluminación de mayor precisión es la artificial, sin embargo los objetos en parámetros fijos al exterior tendrán que ser en un entorno diurno con una iluminación constante en todo el elemento, las sombras provocan errores en el modelo al no detectar puntos de traslape. El color es un factor determinante, los colores claros el programa no los detecta como los oscuros, en estos encontró puntos de traslape más definidos por su color y textura de los modelos.

B. Propiedades de la secuencia fotográfica

Implementando el conocimiento previo de la escala y el manejo de la misma la técnica definió, que entre mayor sea el número de píxeles la calidad del modelo y la precisión del cálculo de su área tendrán mayor eficiencia.

El tipo de cámara y su iluminación artificial o natural fueron factores importantes porque estos definieron la calidad de la imagen y por lo tanto la malla del objeto, para determinar el error y volumen.

C. Modelación

En la técnica se definió para modelos de escala mediana un número entre 30 y 66 fotografías con una iluminación controlada, determinando una construcción del modelo con un rango mínimo de error así como un cálculo de área de un 99 % de exactitud. Los parámetros óptimos se observan en la tabla 19, tomando en cuenta su calidad, tiempo, error y volumen del modelo.

D. Comparación de modelos

El procesamiento de datos definió la capacidad de la técnica para la definición de modelos a diferentes escalas, sin embargo es importante señalar que si bien no es controlable la escala del modelo a estudiar si es modificable el número de fotografías, la capacidad de iluminación y los parámetros para obtener una mayor cantidad de puntos de estudio, haciendo más ágil la construcción del modelo a través del software.

E. Comprobación de resultados

El software utilizado permitió la comparación de los modelos generados por Agisoft PhotoScan Professional, la determinación del margen de error es un parámetro medible en base a un modelo previamente estudiado con características tales como volumetría, color, iluminación y posición en el espacio, mismas que permitieron contrastar los resultados obtenidos por el software con Sketch up y Solid Inspector, calculando las alteraciones en la construcción del modelo y su capacidad para definir la volumetría.

F. Conclusiones

Es imperante recalcar que el estudio realizado para definir la técnica a modelos de baja y mediana escala, tiene variantes y decisiones que definen el resultado del modelo y sus calculo; si las variables de tamaño, color e iluminación no son controlables, las cantidad de fotografías el pixelaje y el método de captura si son definidos y tendrán un papel determinante en la construcción de modelos futuros, así es importante recordar que los puntos definidos en la técnica compensaran las indeterminaciones antes mencionadas.

Nichos de investigación

Los modelos a gran escala representan un mayor reto, la toma de fotografías, para su procesamiento serían exponenciales en cantidad y calidad, sin embargo para los edificios (considerados de gran escala en nuestros parámetros de medición) es necesario tener herramientas que otorguen fotografías de mayor calidad (gran pixelaje) y tener acceso a un dron(vehículo no tripulado), así como computadoras (mayor capacidad RAM) que reduzcan tiempos de procesamiento.

Las aplicaciones son diversas desde la topografía, pequeña, mediana o levantamiento de edificios a gran escala, representa una oportunidad de hacer catálogos de objetos de manera digital para su estudio y análisis. Esta técnica explora las condicionantes para que los modelos a escalas baja y mediana sean procesados, resultantes en su levantamiento con el mínimo rango de error.

Sin embargo las limitantes en los entornos físicos podrían constituir un obstáculo para el investigador, en esta técnica se han sentado las bases para hacer el estudio y el balance entre fenómenos determinados tales como método de captura, numero de fotografías, pixeles y las variables en campo como iluminación, escala y color.

La técnica es de bajo costo y de fácil aplicación limitando las opciones de escala para la construcción certera de modelos y cálculos de volumetría.

Se determinó para objetos o modelos de gran escala, es necesario obtener herramientas especializadas que soporte las necesidades de la técnica tales como método de captura y mayor número de pixeles.

GLOSARIO

- Agisoft Photoscan** Software de escritorio para procesar imágenes digitales que mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computadora, genera una reconstrucción 3D del entorno.
- Solid Inspector2** Extensión de sketch up para inspeccionar y determinar los errores de los volúmenes.
- Sketch Up** Programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras. Para entornos de arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico, GIS, videojuegos o películas.
- Fotogrametría** Técnica para obtener mapas y planos de grandes extensiones de terreno por medio de la fotografía aérea.
- Técnica** Conjunto de procedimientos o recursos que se usan en un arte, en una ciencia o en una actividad determinada, en especial cuando se adquieren por medio de su práctica y requieren habilidad
- Calibración** Acción de calibrar.
- Estereoscopia** Cualquier técnica capaz de recoger información visual tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad mediante una imagen estereográfica, un estereograma, o una imagen 3D (tridimensional). La ilusión de la profundidad en una fotografía, película, u otra imagen bidimensional se crea presentando una imagen ligeramente diferente para cada ojo, como ocurre en nuestra forma habitual de ver. Muchas pantallas 3D usan este método para transmitir imágenes.
- Corto rango** Alcance limitado.

Precisión

Ajuste completo o fidelidad de un dato, cálculo, medida, expresión, etc.



BIBLIOGRAFÍA

American Society of Photogrammetry. (s.f.). Recuperado el 2 de Noviembre de 2015, de <http://www.asprs.org/>

APPLE. (s.f.). Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de <http://www.apple.com/mx/iphone-6/specs/>

Corral Medrano, L., Estrada E, J. M., & Echaverri Pérez, J. (1994). *Primer curso de fotogrametría.* México: Instituto Politécnico Nacional.

De topografía. (s.f.). Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de <http://4.bp.blogspot.com/-jEPpwc3U3xw/UK4KviBNb-I/AAAAAAAAAQ/42kO4DNbii4/s1600/fotogrametria.png>

Herrera, B. (1987). *Elementos de fotogrametría: uso de materiales aerofotograficos.* Mexico, D.F.: Limusa.

Iberica, G. (s.f.). *G.I.S Iberica.* Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de Equipos de precisión : http://www.gisiberica.com/estereoscopos/estereoscopos_de_espejos.htm

Jaen, U. d. (s.f.). *Universidad de Jaen, España.* Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de Grupo de investigación: Sistemas fotogrametricos y topometricos: <http://coello.ujaen.es/investigacion/websft/instrumental.html>

La peninsula. (s.f.). Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de <http://www.lapeninsula.es/363/la-lonja-de-la-seda-de-valencia/>

Lerma García, J. L. (2002). *Fotogrametría moderna: analítica y digital.* España: Universidad Politécnica de Valencia.

Lewis Falkingham, P. (2012). Acquisition of high resolution 3D models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontología electronica* , 15.

- NIKON. (s.f.). Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de <http://www.nikon.com.mx/nikon-products/product-archive/dslr-cameras/d3200.html#tab-ProductDetail-ProductTabs-TechSpecs>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez-Solano, R., Martín, L., & Bachiller, I. (s.f.). Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGAMETRIA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf
- Photoscan, A. (s.f.). Version estudiantil.
- Photoscan, A. (2012). Version estudiantil.
- SONY. (s.f.). Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de <http://www.sony.es/support/es/content/cnt-specs/DSC-W330/list>
- Soto, M. A. (Abril de 2016). Profesor investigador UAA / Doctorando en ciencias de los ambitos antropicos. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Ternryd, C.-O., & Eliz, L. (1971). *Topografía y fotogrametría en la practica moderna*. Estocolmo: Continental.
- Toro, J. (s.f.). *Blog de Geomática y Topografía* . Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de <https://interesportageomatica.com/2014/02/25/el-padre-de-la-fotogrametria-aime-laussedat/>
- Vizcaino, E. (Enero de 2015). Participación en el XXIV Verano de investigación científica en la UAA. El Grullo, Jalisco, Mexico.
- Vozmediano Montoya, D. (Abril de 2006). *Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales de entidades patrimoniales*. Recuperado el 14 de Marzo de 2015, de <https://addi.ehu.es/handle/10810/8334>

ANEXOS

Anexo A.

- Comparación variando número de fotografías
- Desde 24 hasta 84 fotografías en intervalos de 6

Comparación por color cubo 10 x 10 cm

- Natural
- Gris
- Negro

Comparación de resultados por diferentes variables

- Alinear fotografías
- Nube densa
- Malla
- Textura

Escenarios de captura

- Circular
- Cuadrado
- Paralelo

Comparación de iluminación natural, artificial y sin iluminación

- Nikon® semiprofesional D3200
- iPhone® 6
- Sony® Cyber-shot DSC-W330

Comparación megapíxeles

- 24.1 megapíxeles
- 13.5 megapíxeles
- 6 megapíxeles

Comprobación por tamaño

- Pequeño. Cubo 6 x 6 cm
- Mediano. Cubo 10 x 10 cm
- Grande. Edificio 213, UAA

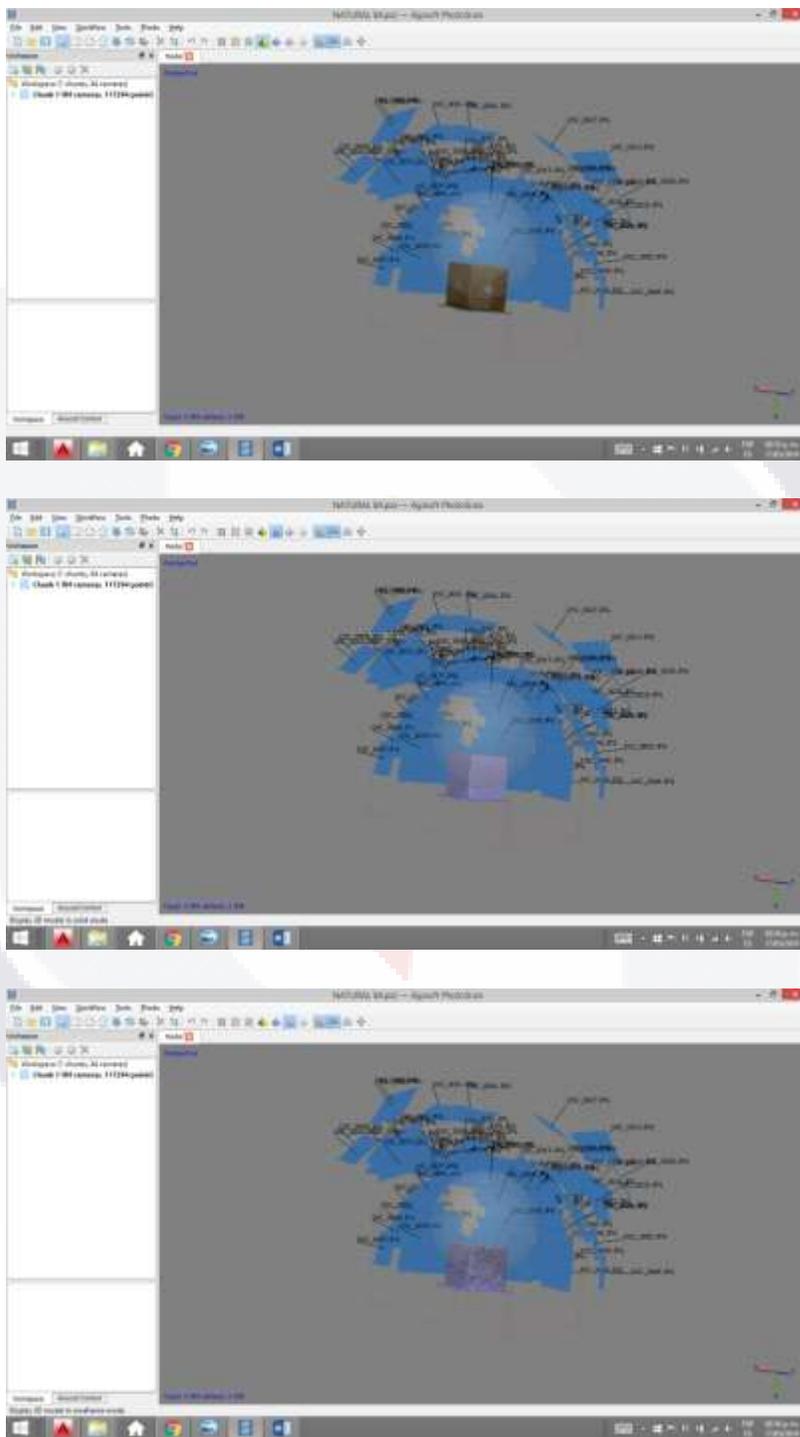
Anexo B.

Especificaciones cámaras fotográficas

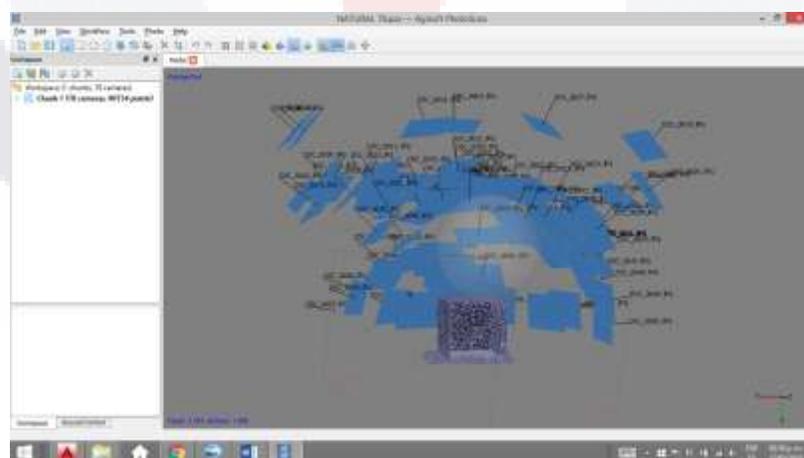
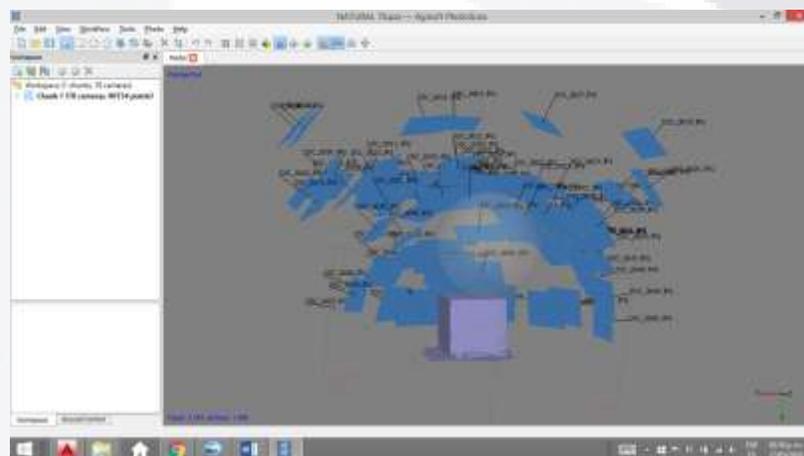
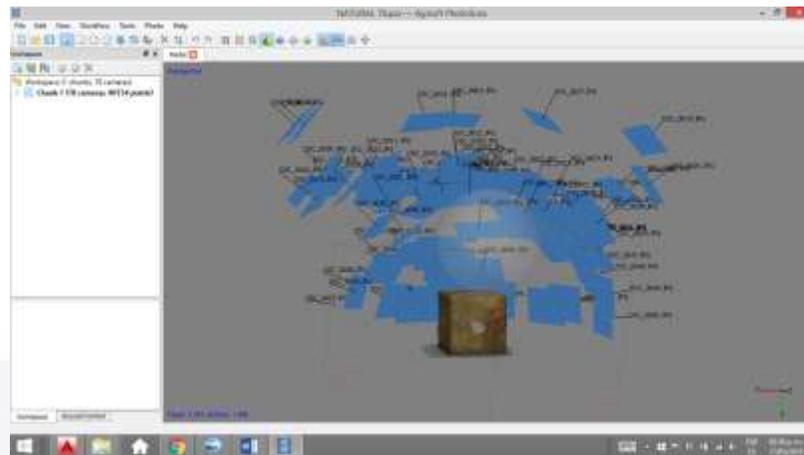
- iPhone® 6
- Sony® Cyber-shot
- Nikon® semiprofesional D3200

Anexo A. Comparación variando número de fotografías

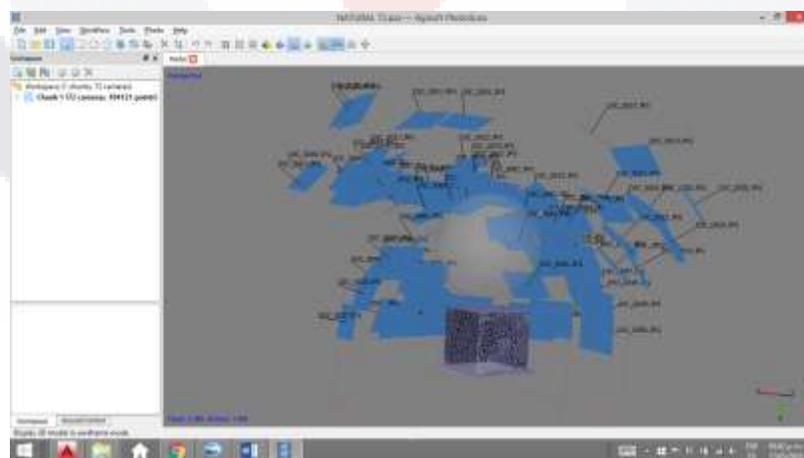
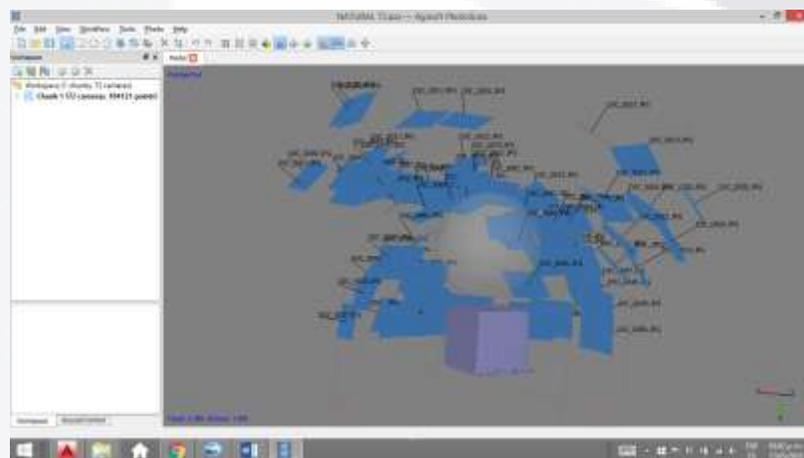
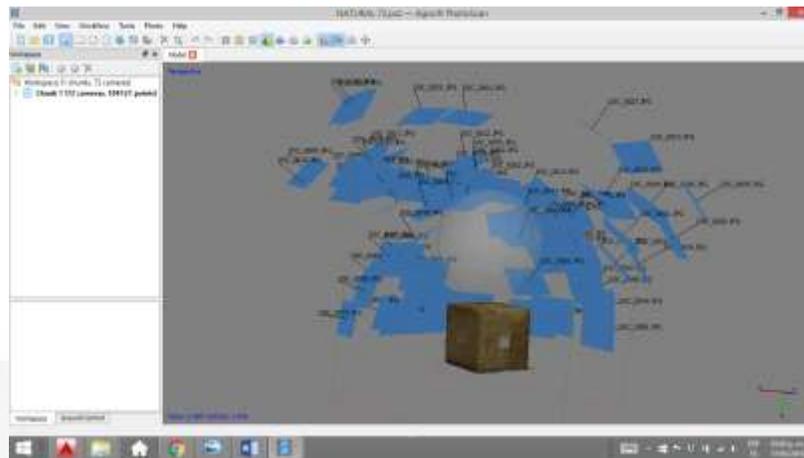
Natural 84



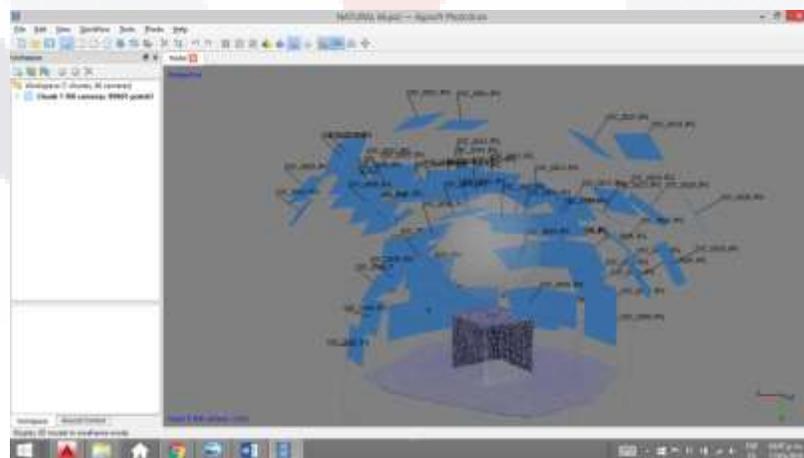
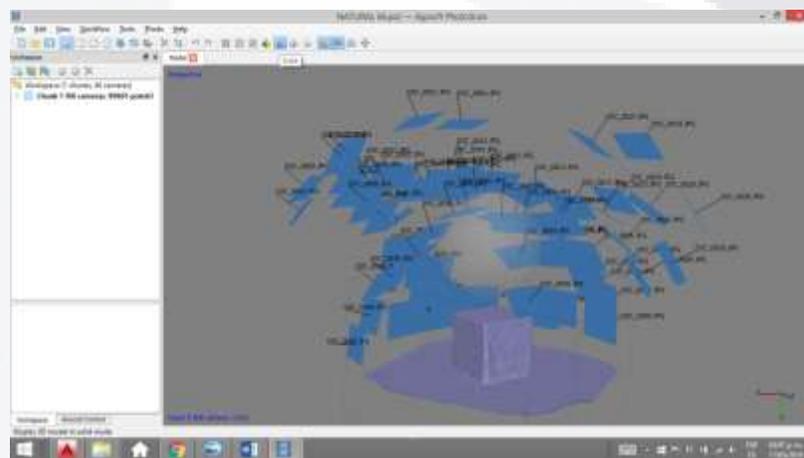
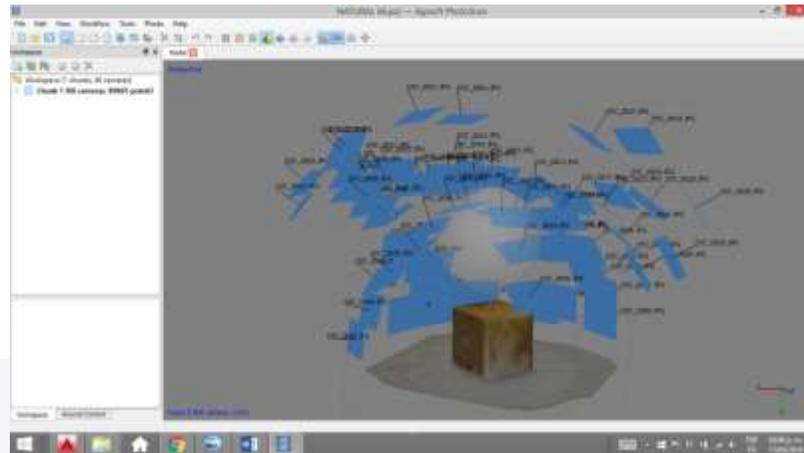
Natural 78



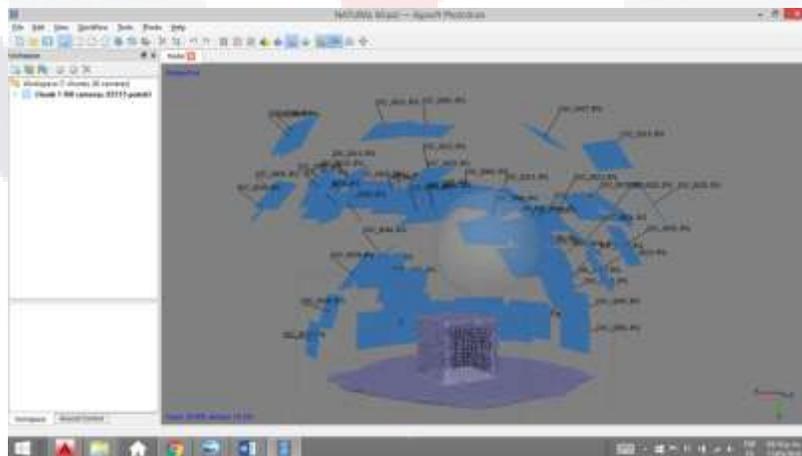
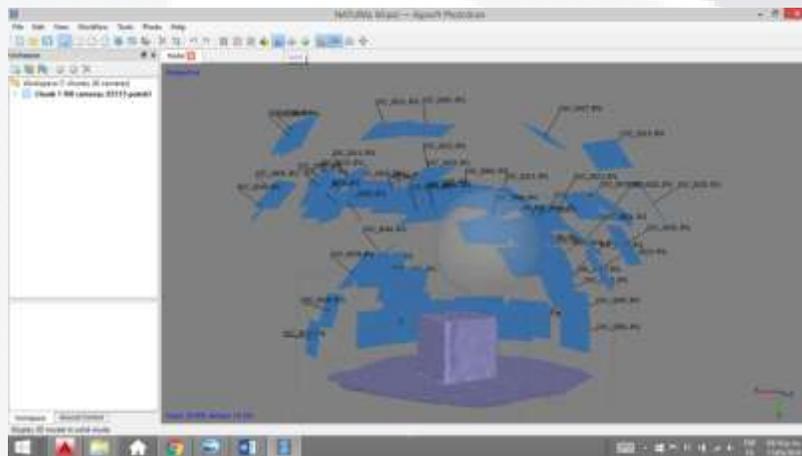
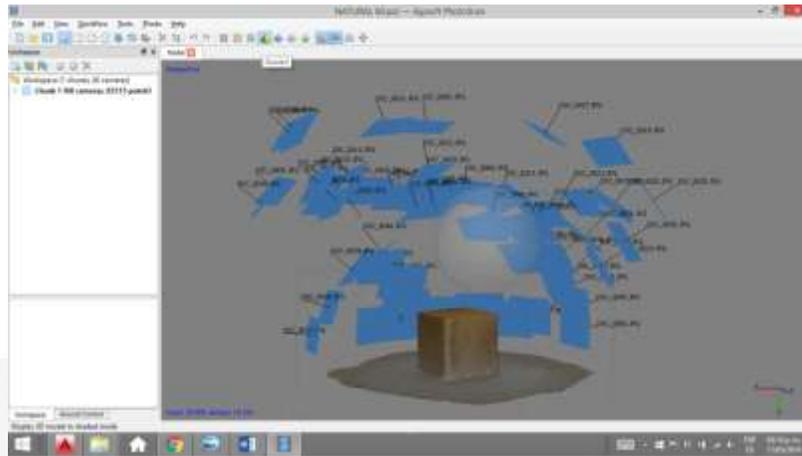
Natural 72



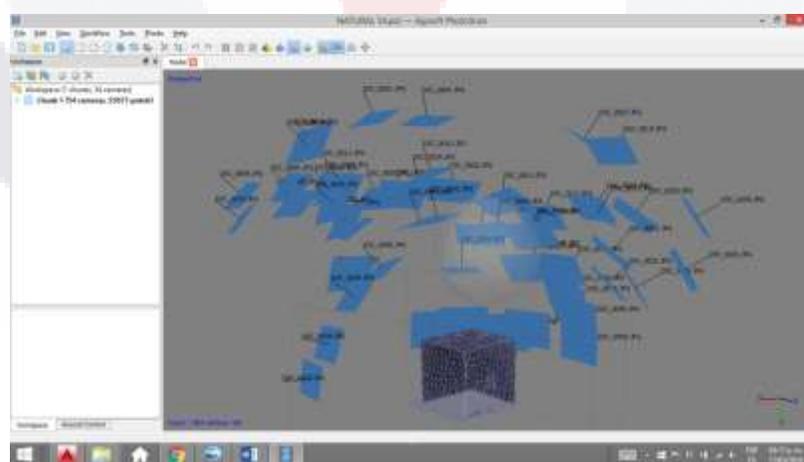
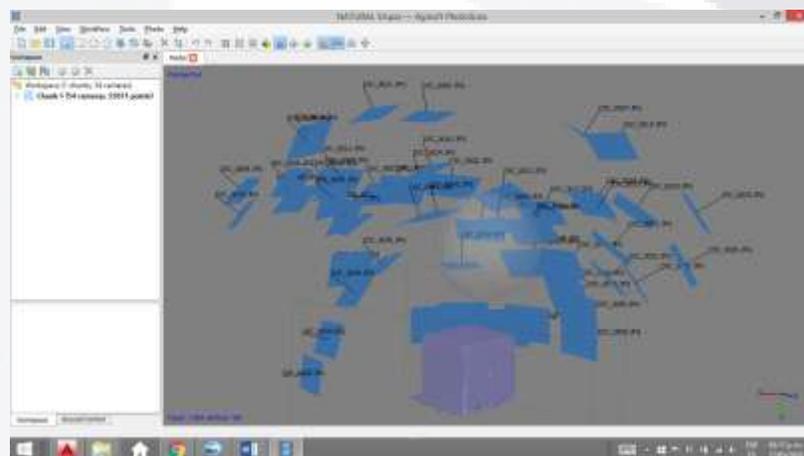
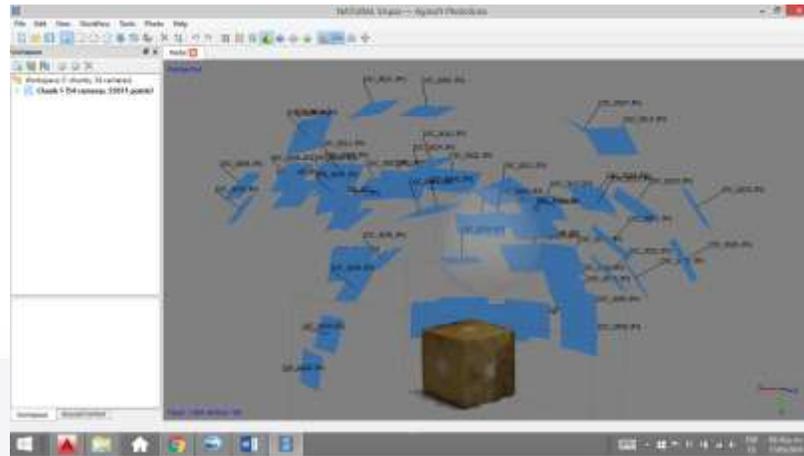
Natural 66



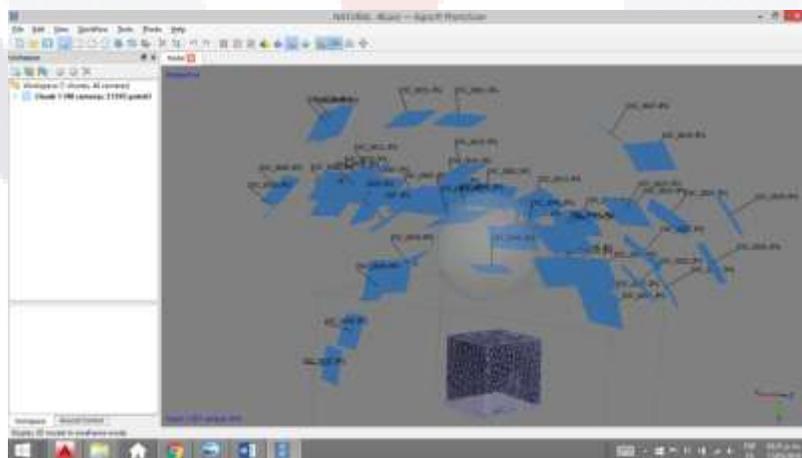
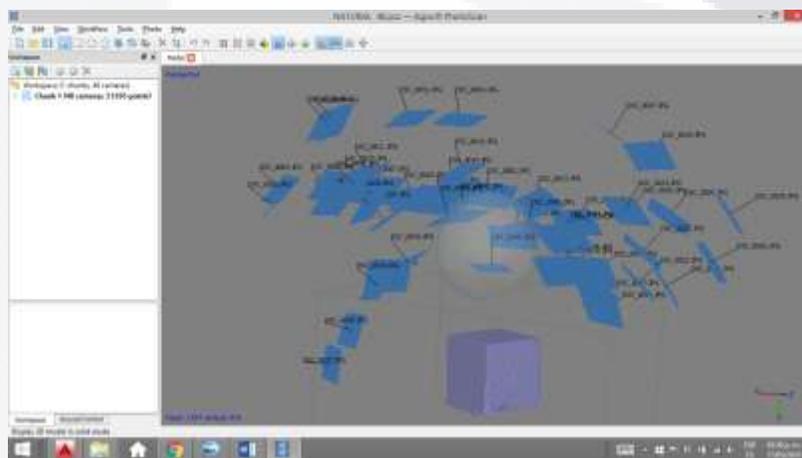
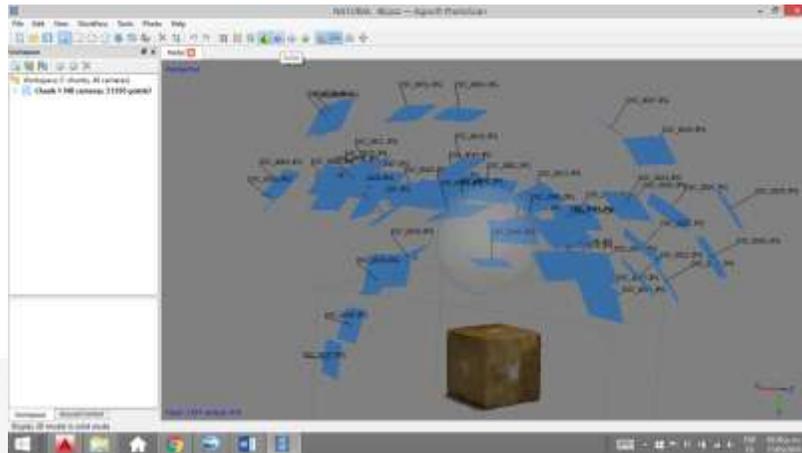
Natural 60



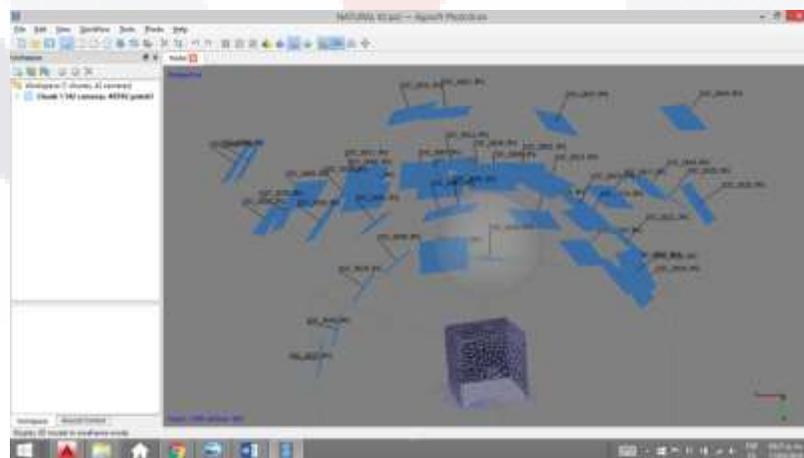
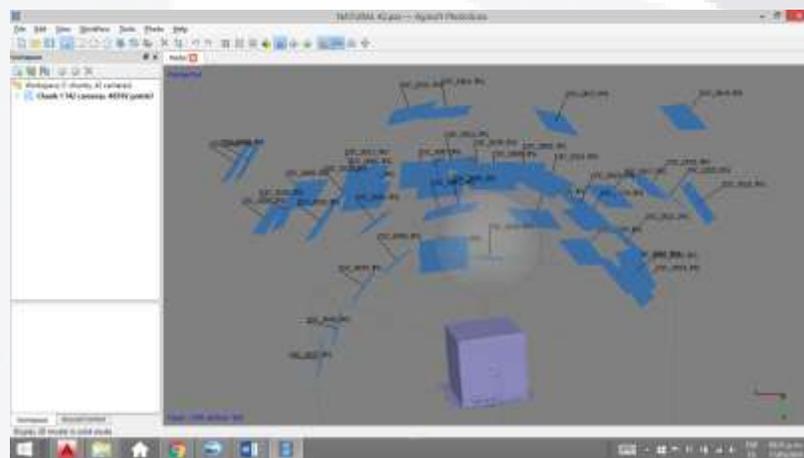
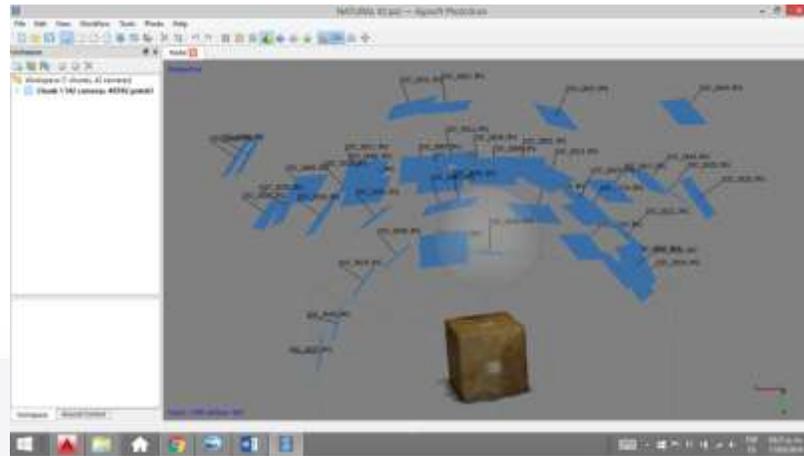
Natural 54



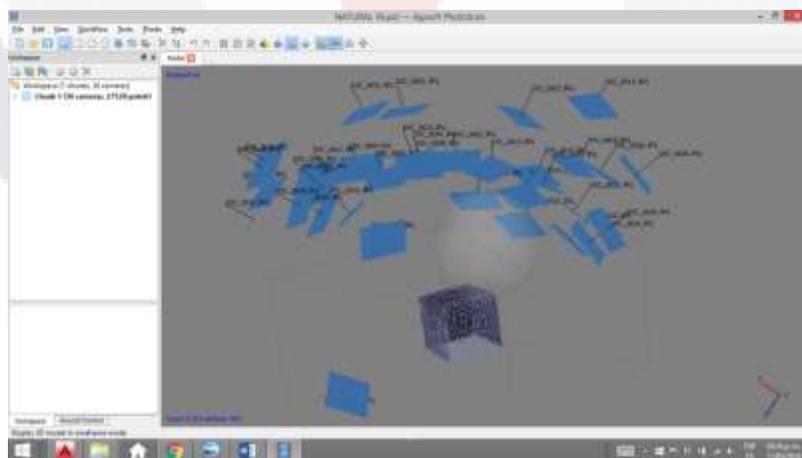
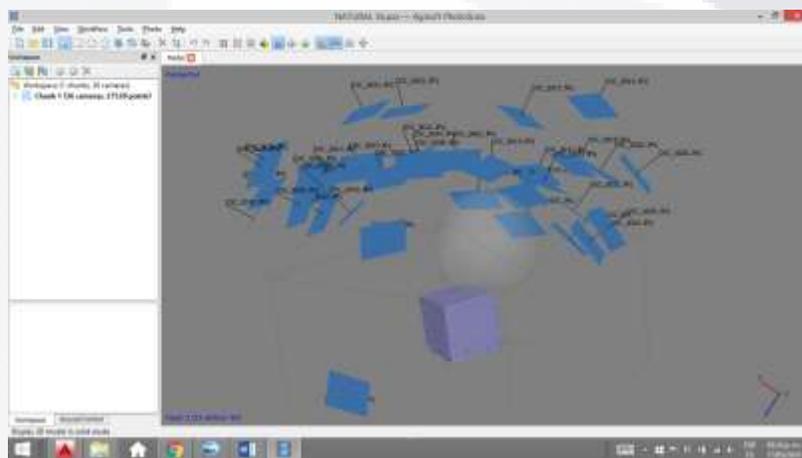
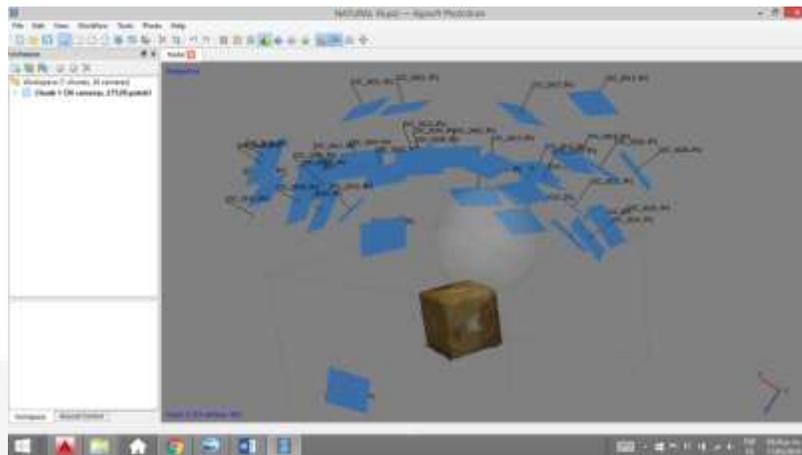
Natural 48



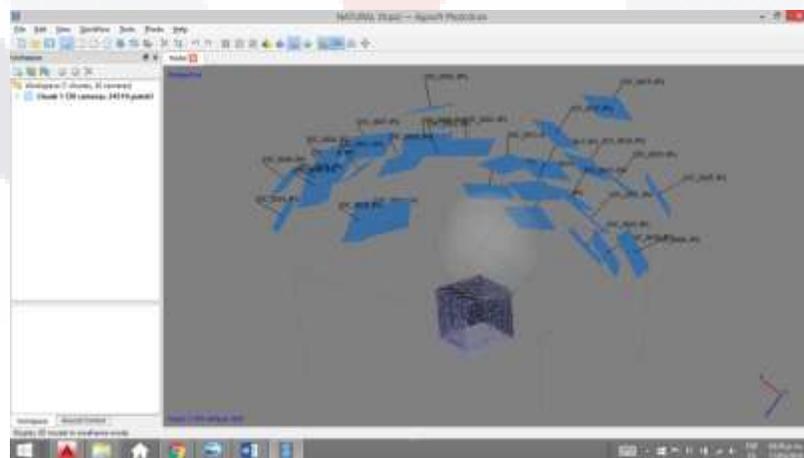
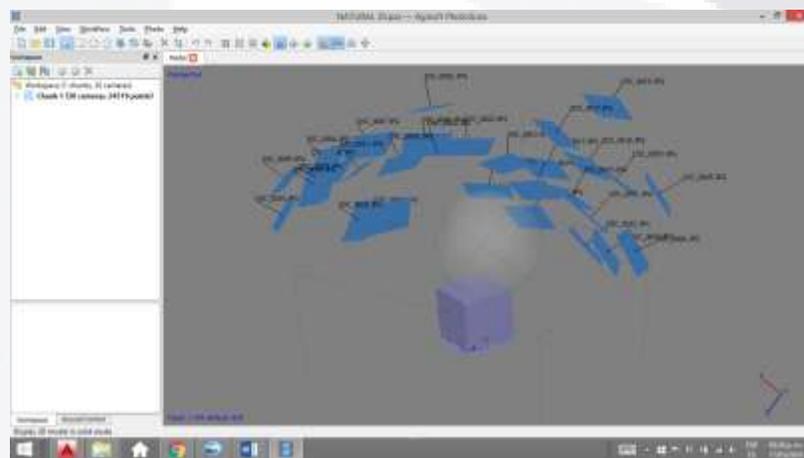
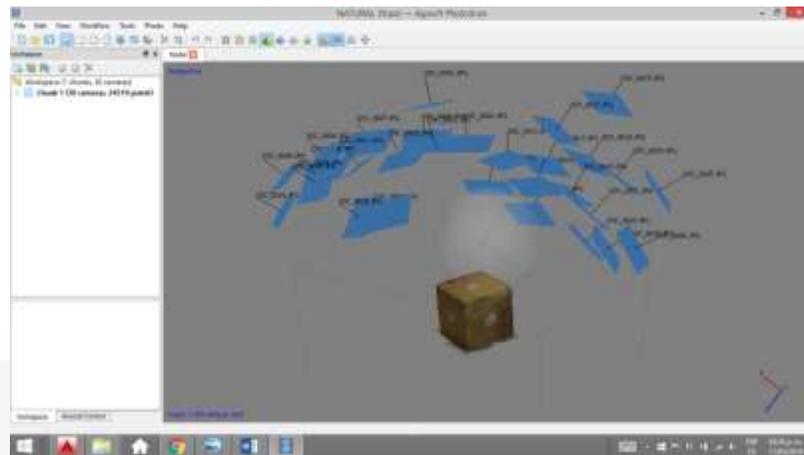
Natural 42



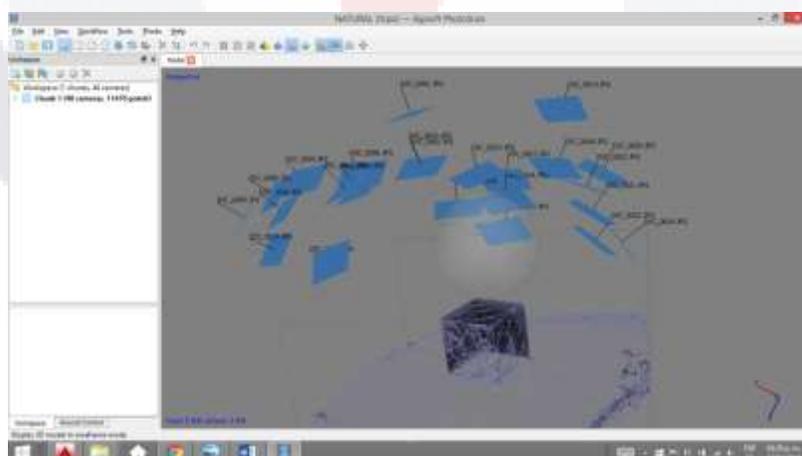
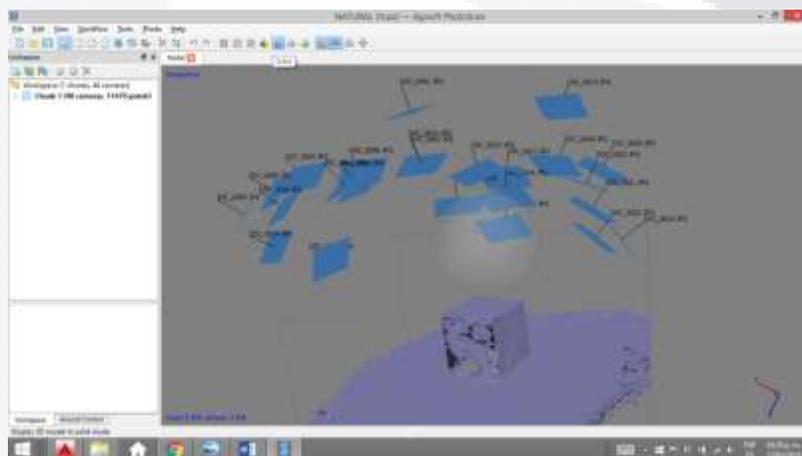
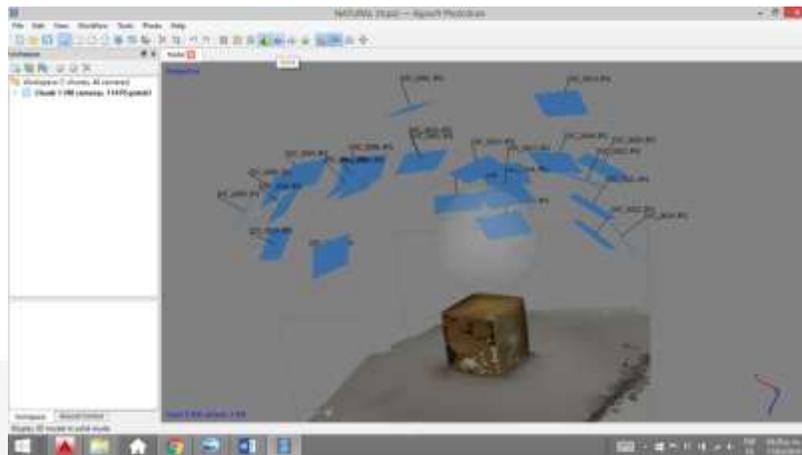
Natural 36



Natural 30

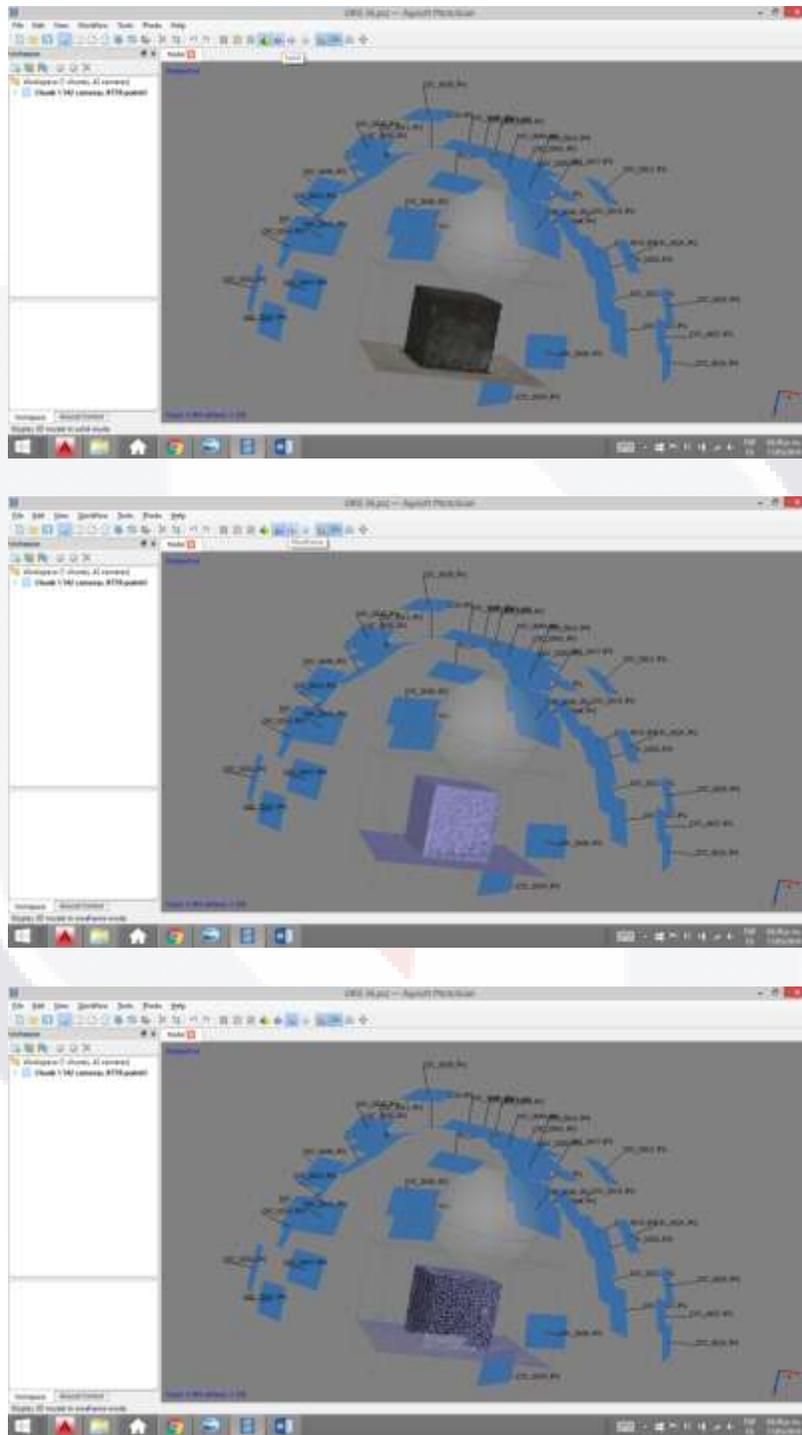


Natural 24

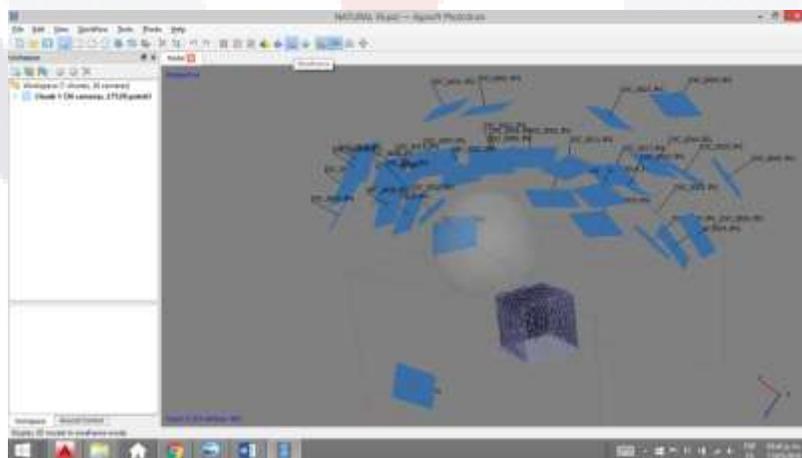
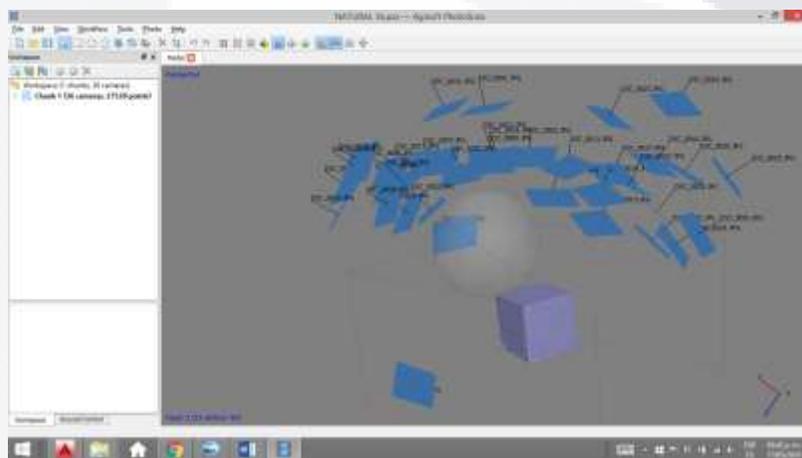
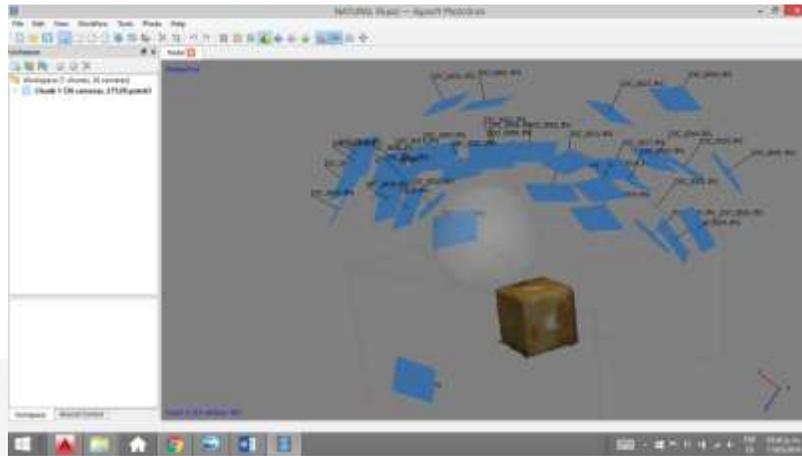


Comparación por color

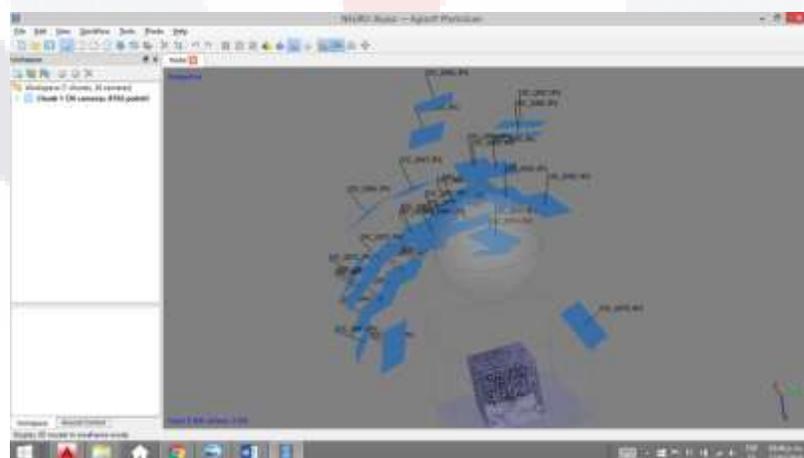
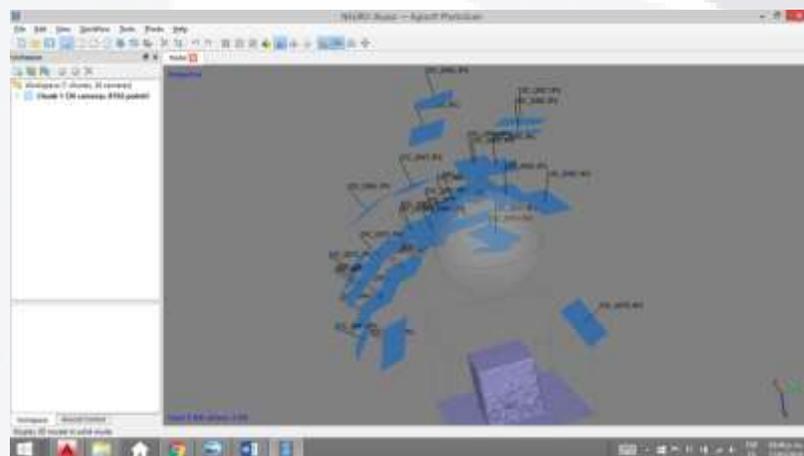
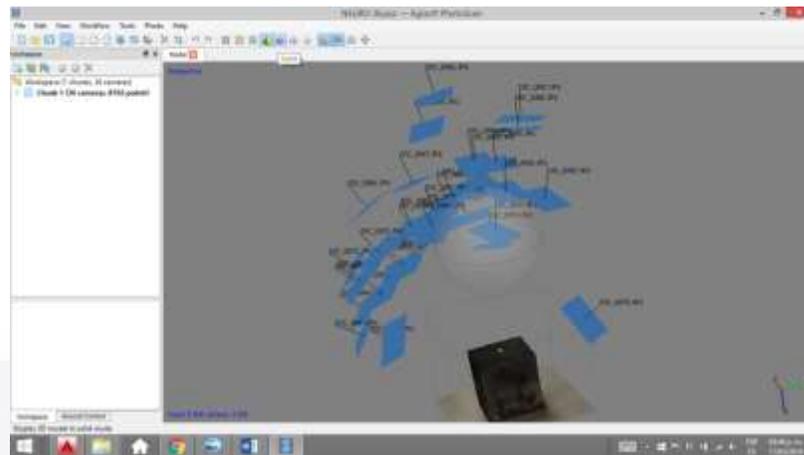
Gris 36



Natural 36

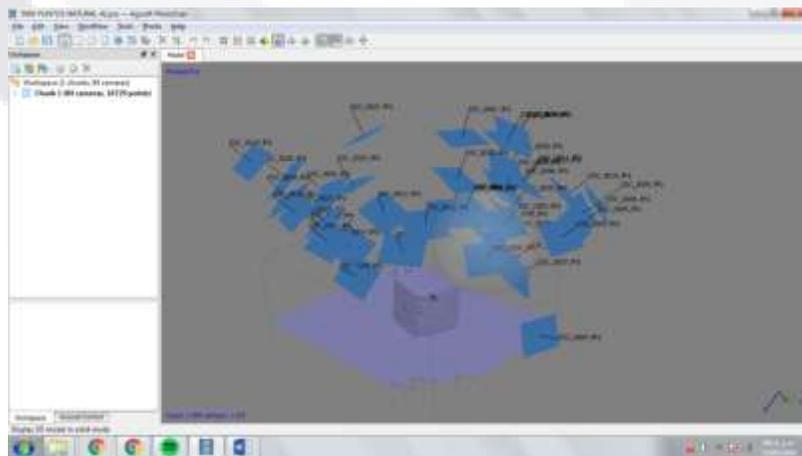
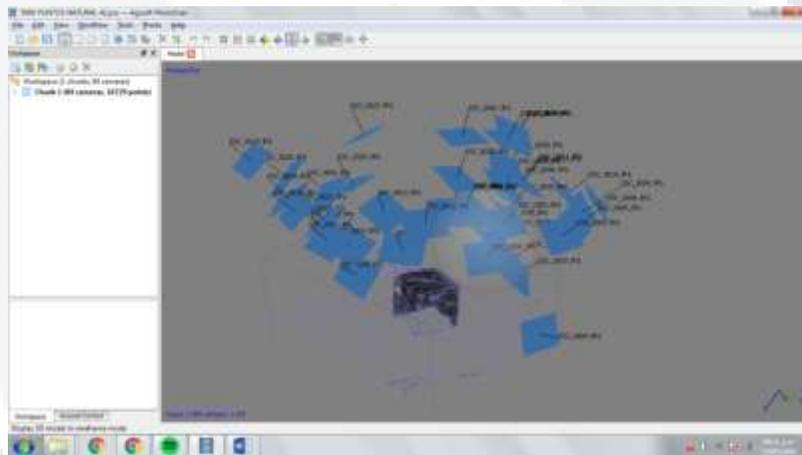
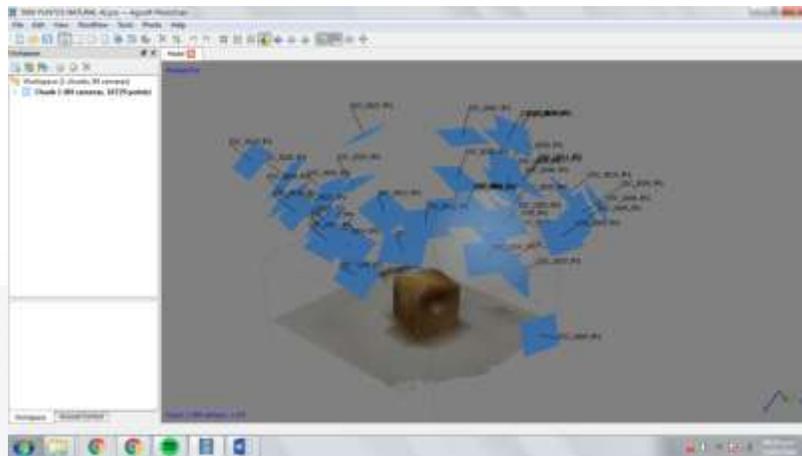


Negro 36

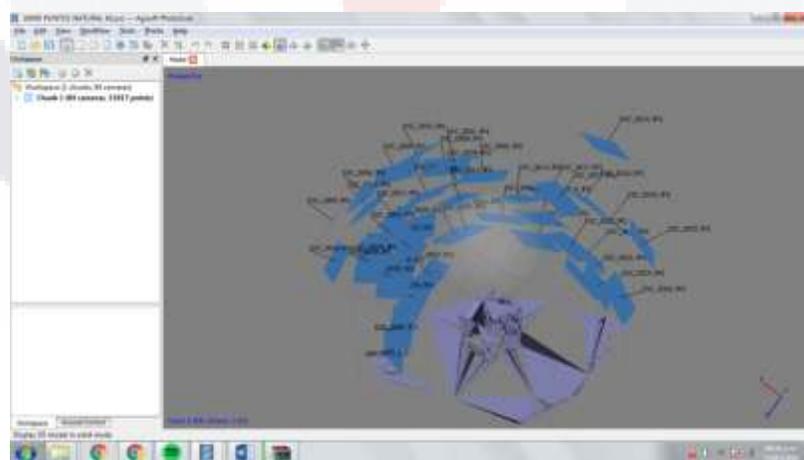
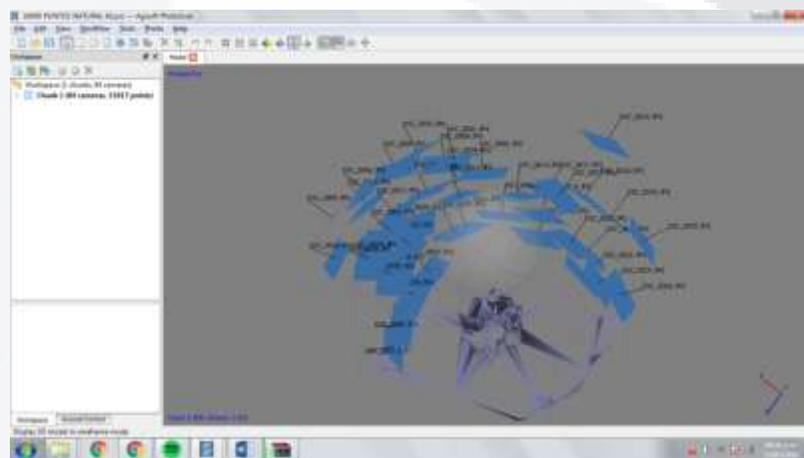
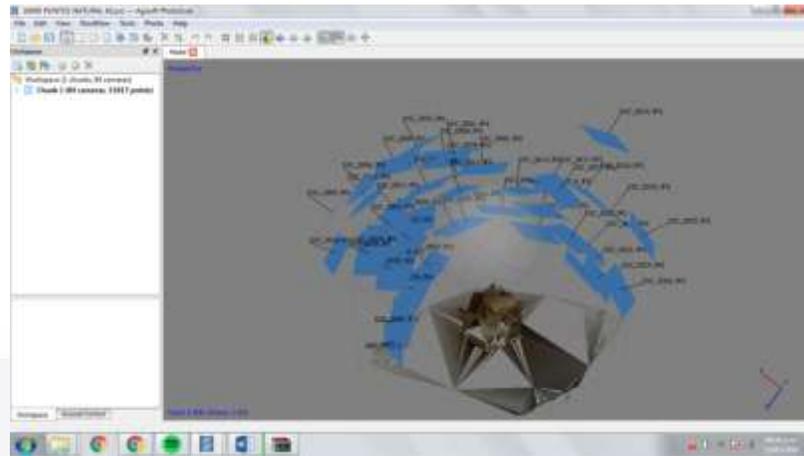


Comparación de resultados por diferentes variables

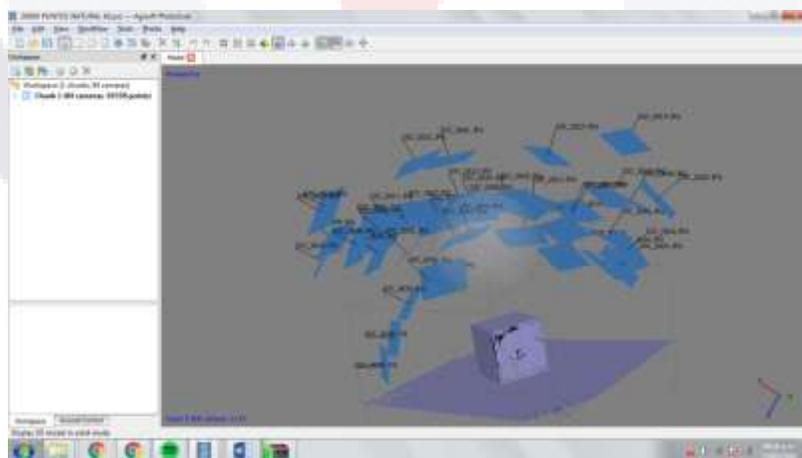
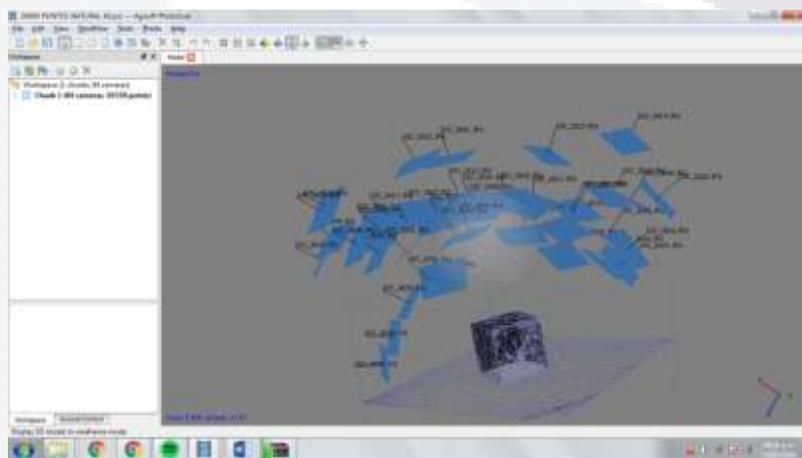
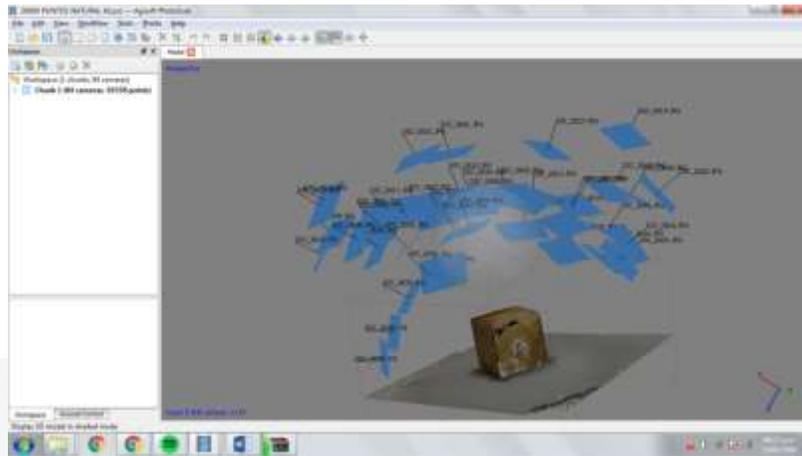
5000 puntos



10000 puntos

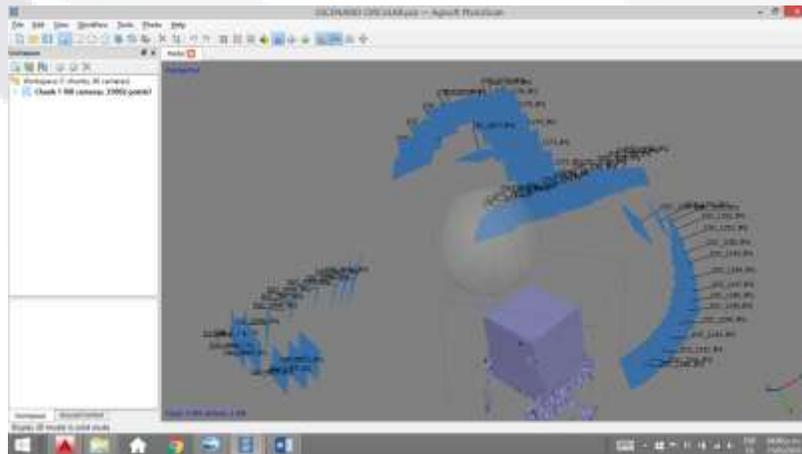
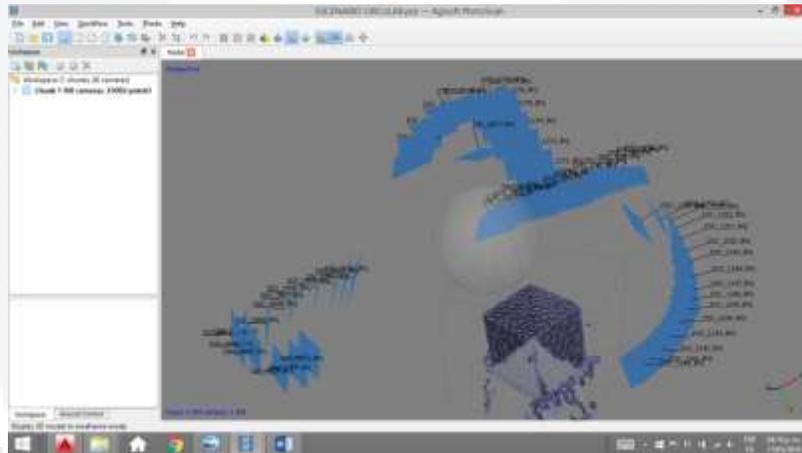
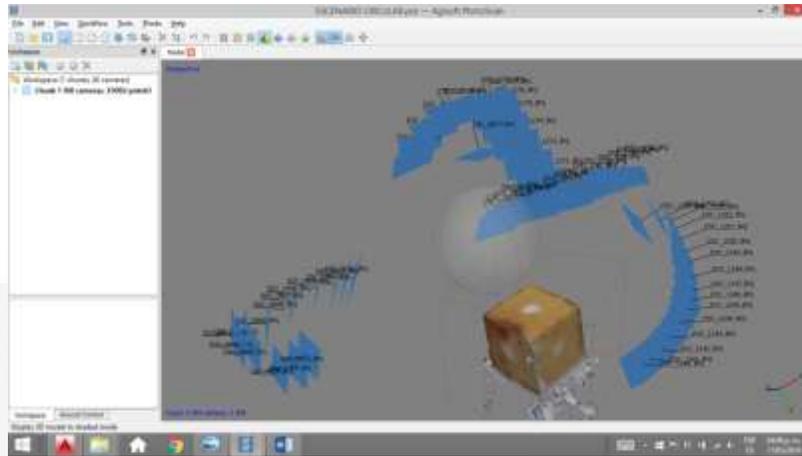


20000 puntos

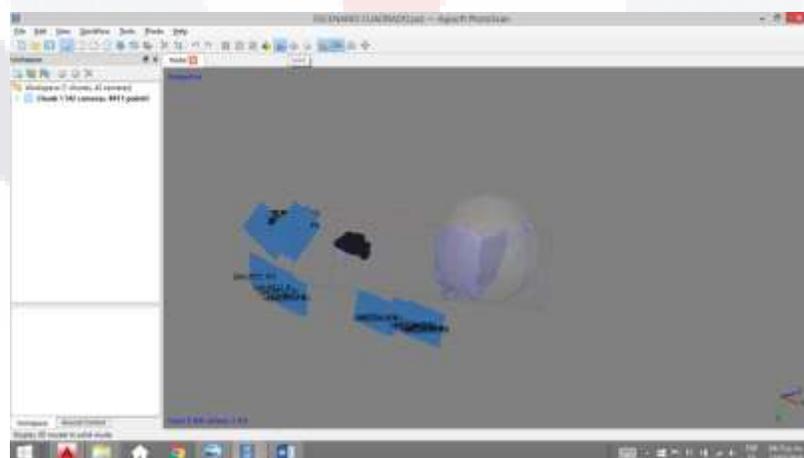
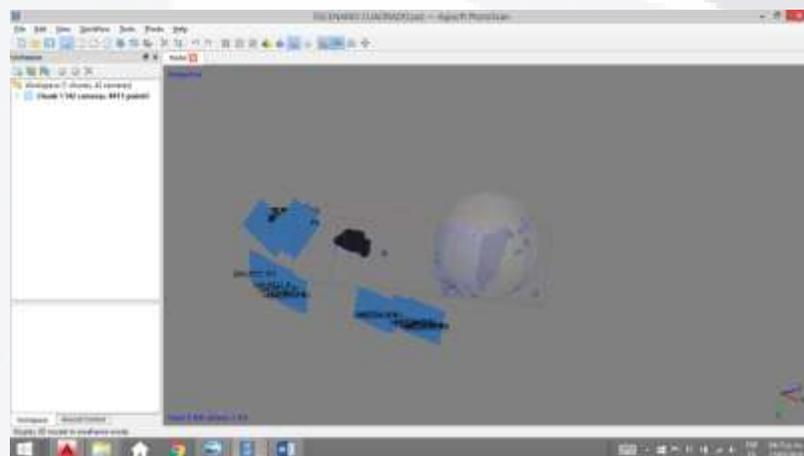
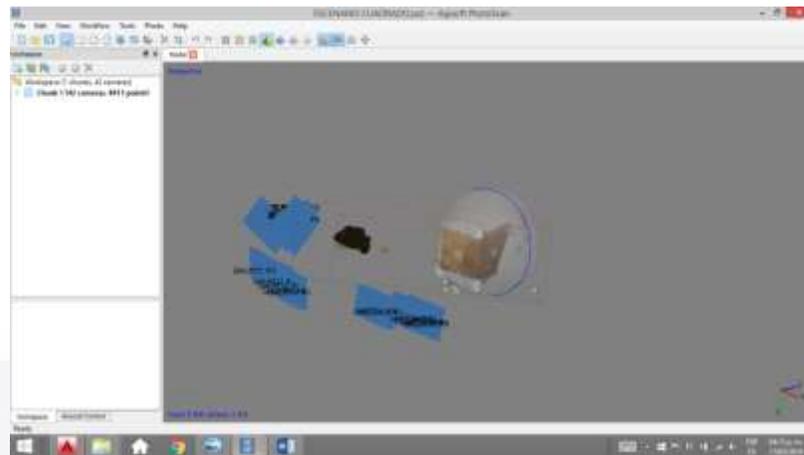


Escenario de captura

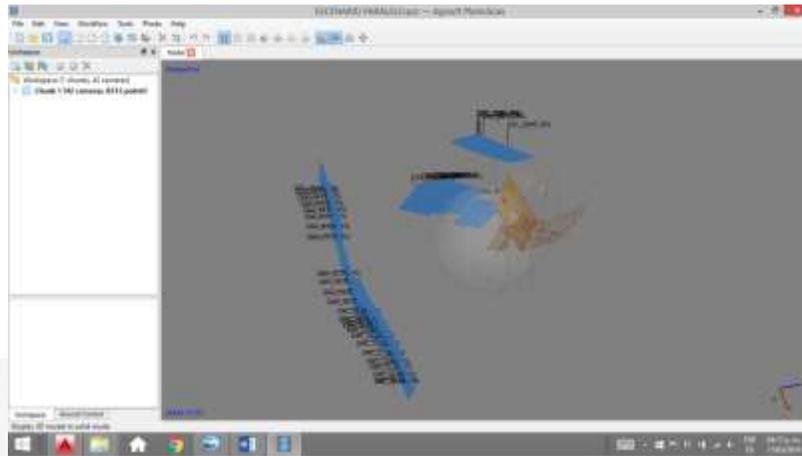
Circular



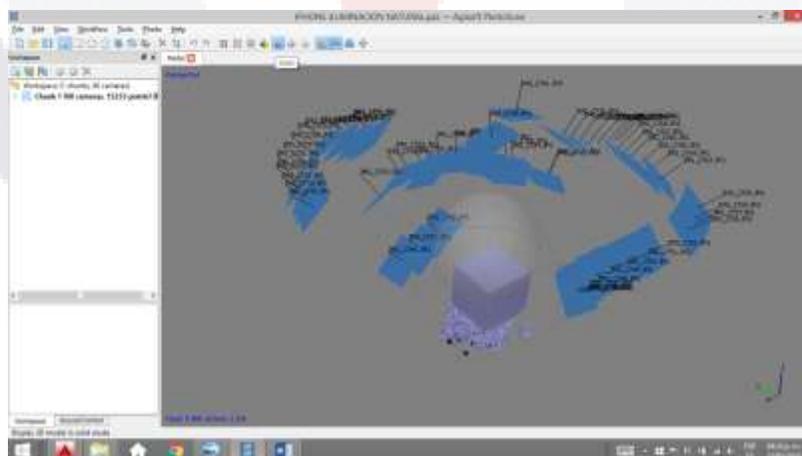
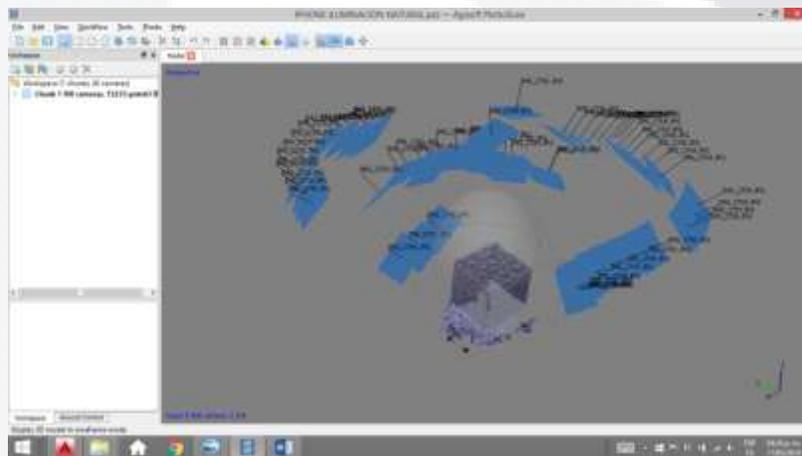
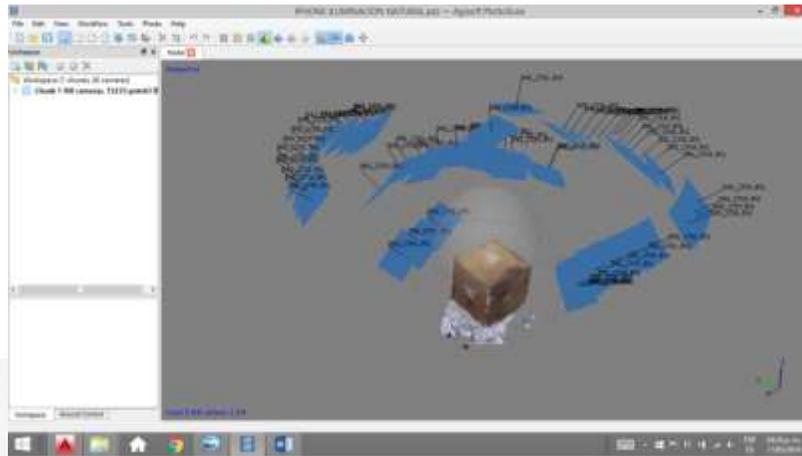
Escenario cuadrado



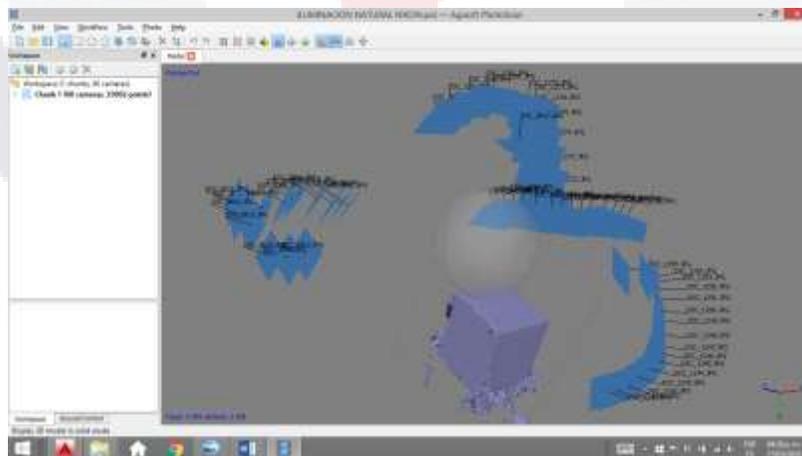
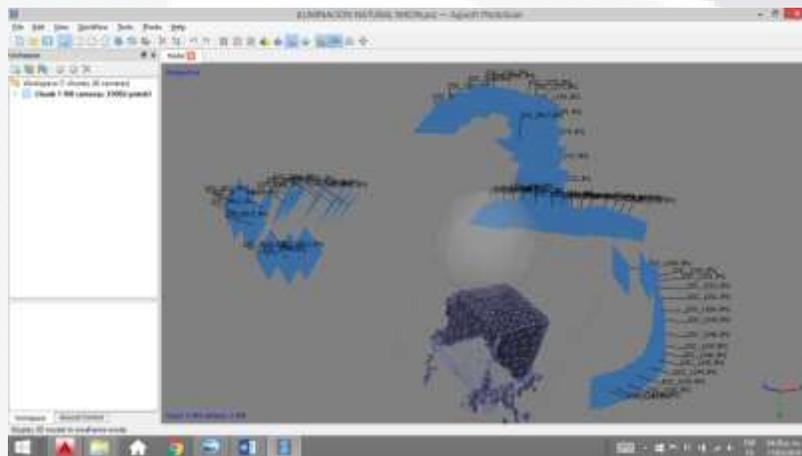
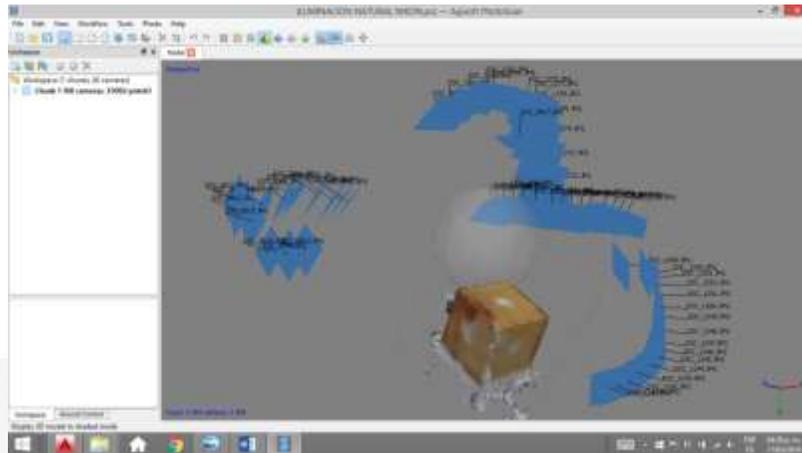
Escenario paralelo



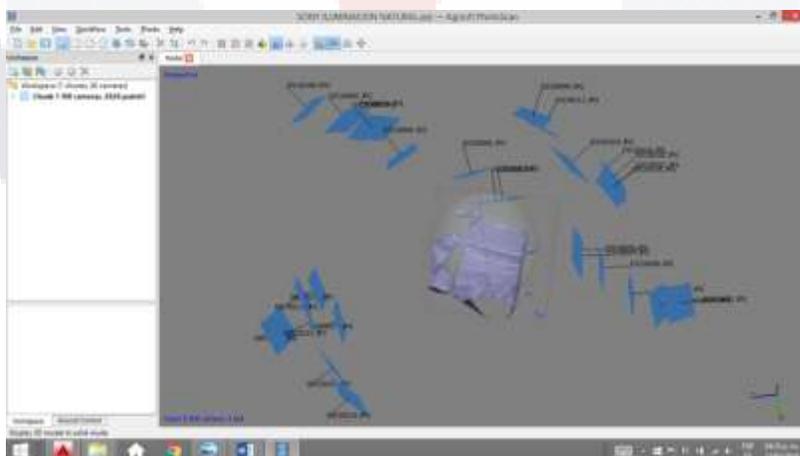
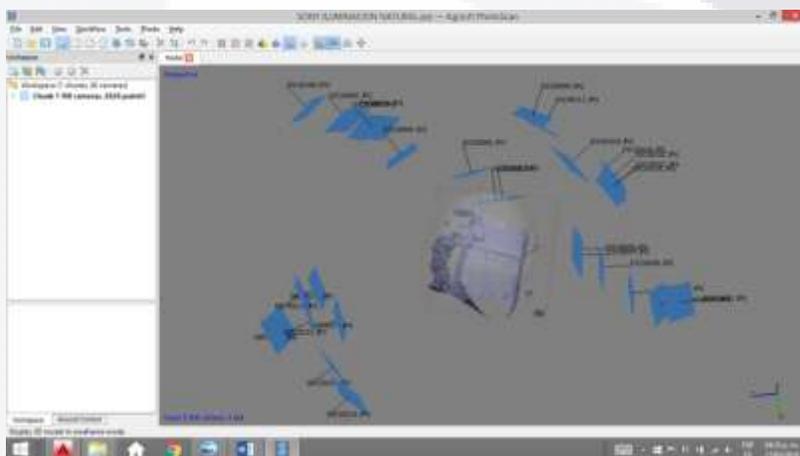
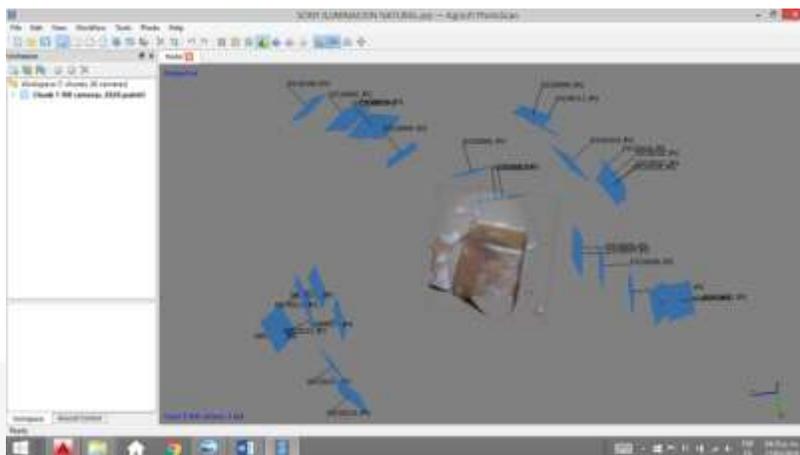
Comparación por iluminación / Natural iPhone® 6



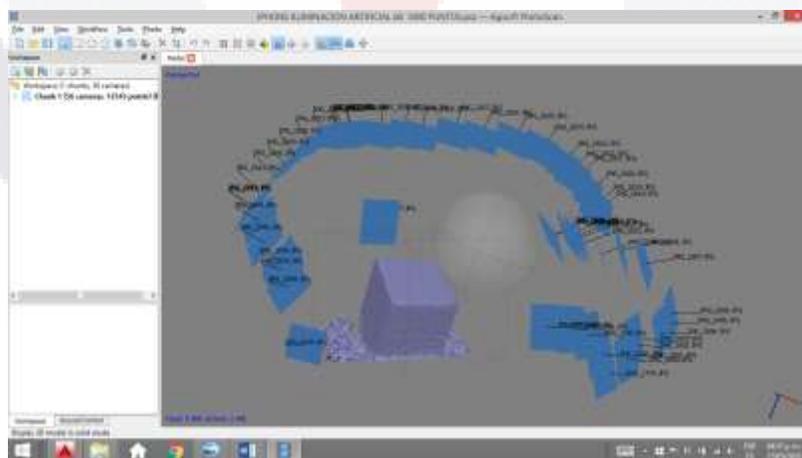
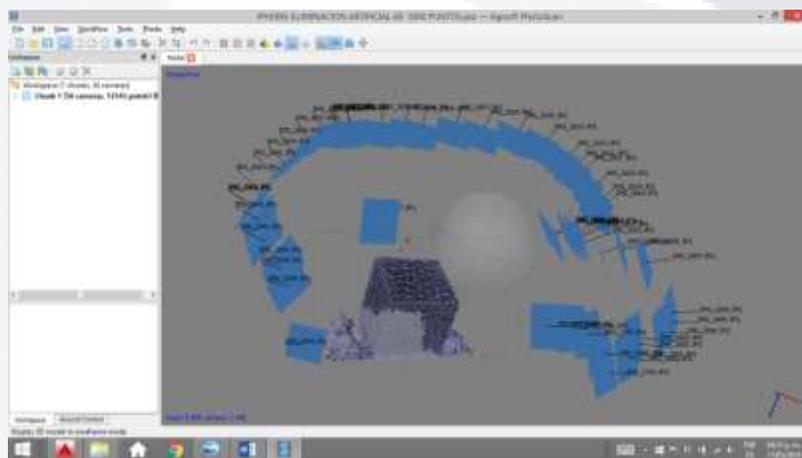
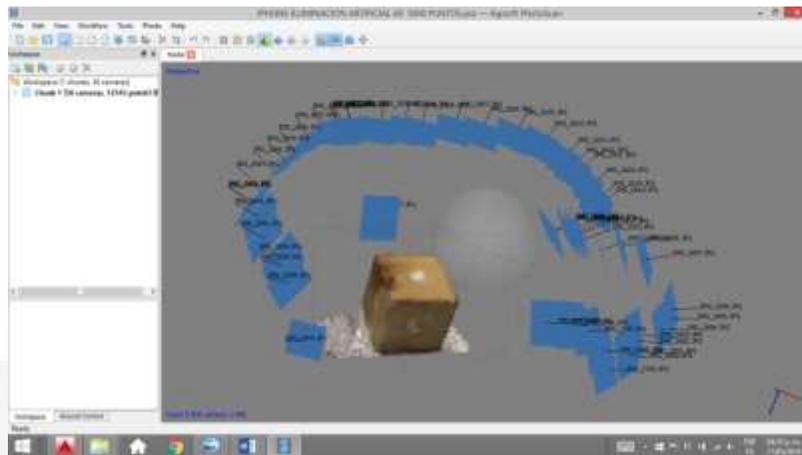
Natural NIKON® semi profesional



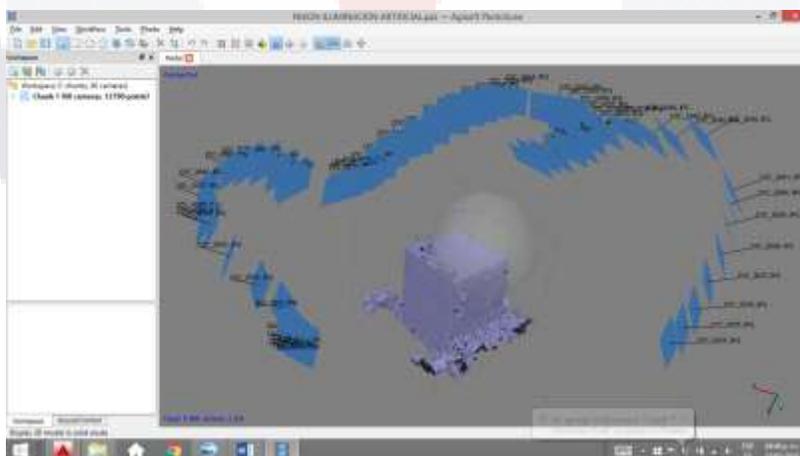
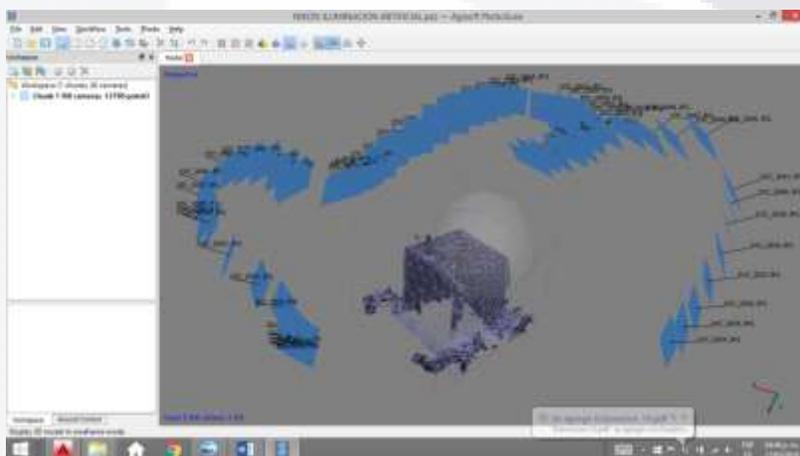
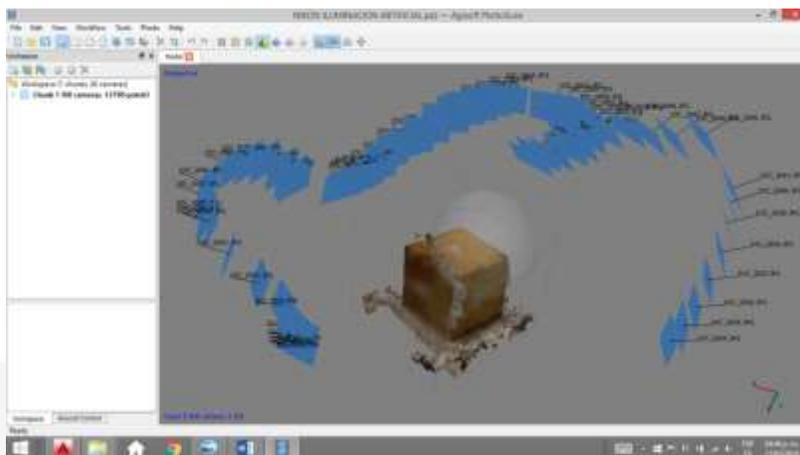
Natural SONY® Cyber shot



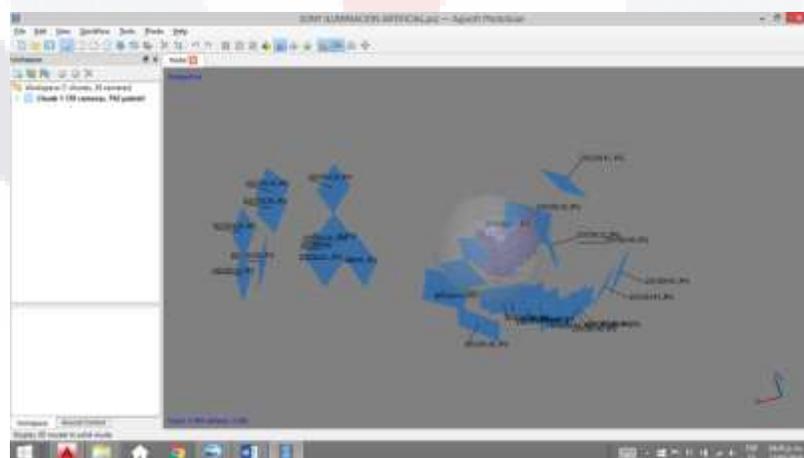
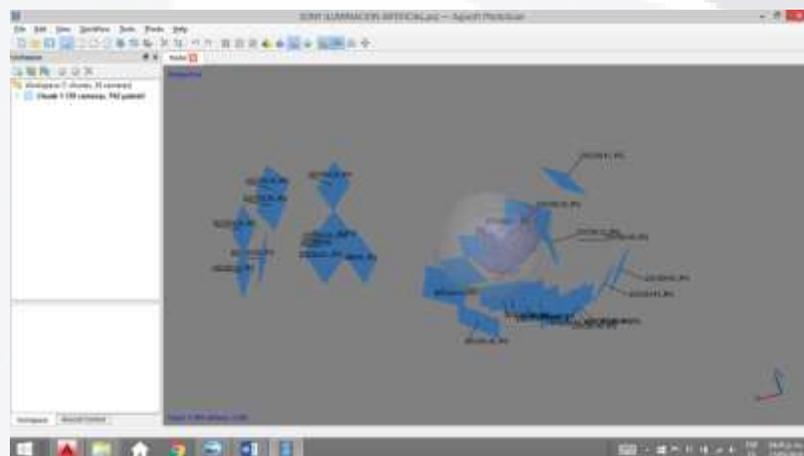
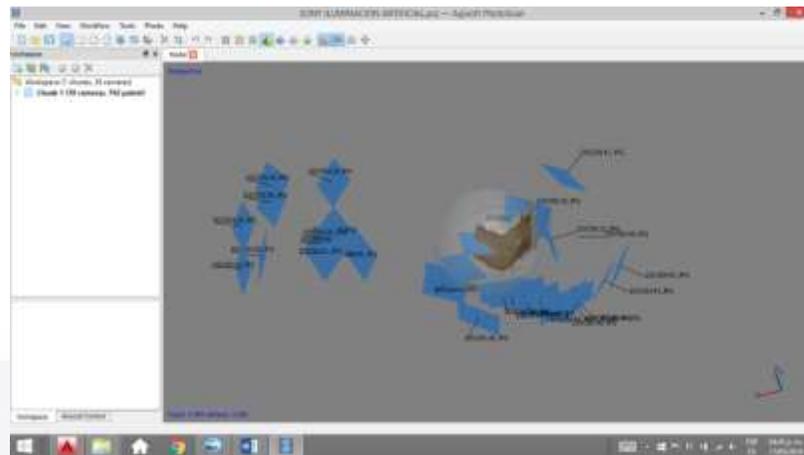
Artificial iPhone® 6



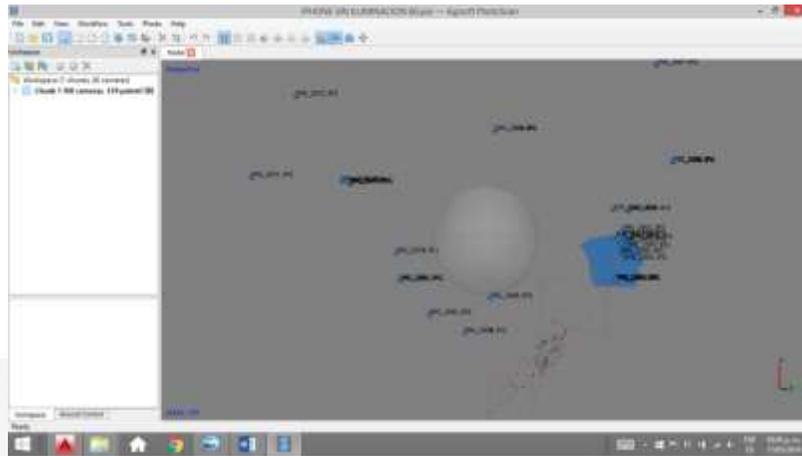
Artificial NIKON® semi profesional



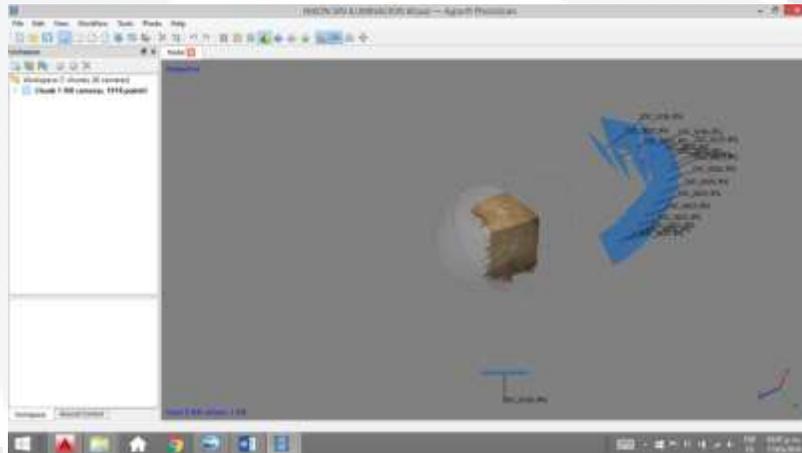
Artificial SONY® Cyber shot



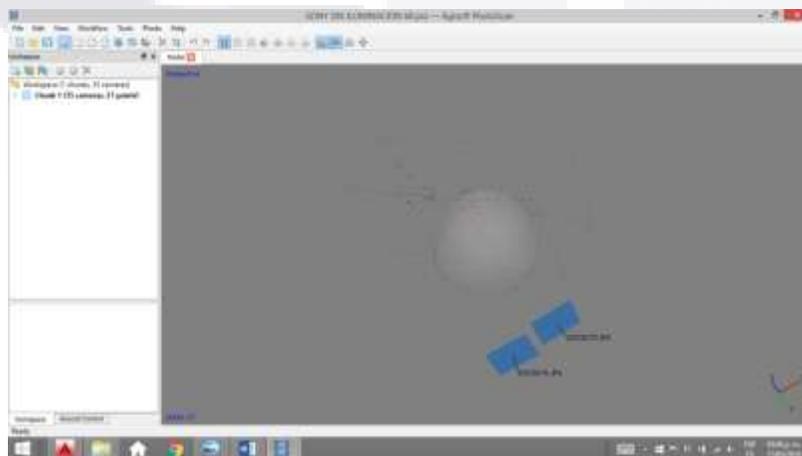
Sin iluminación iPhone® 6



Sin iluminación NIKON semi profesional

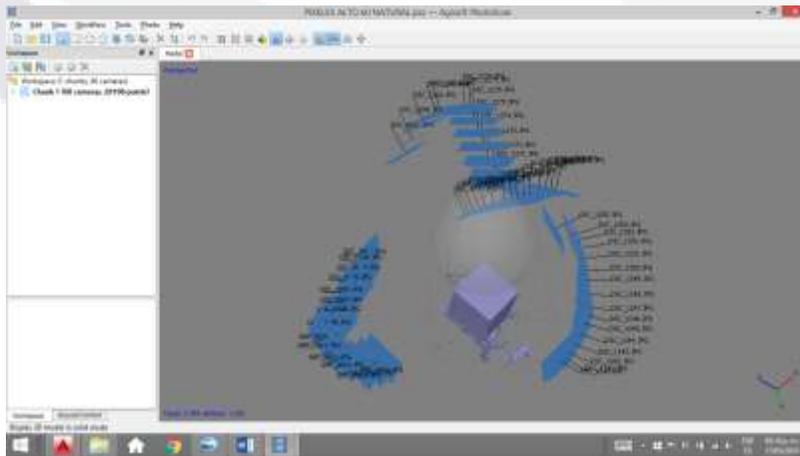
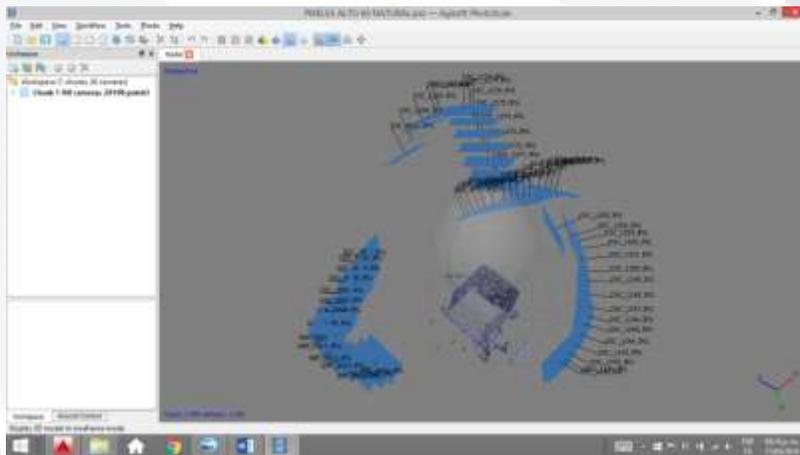
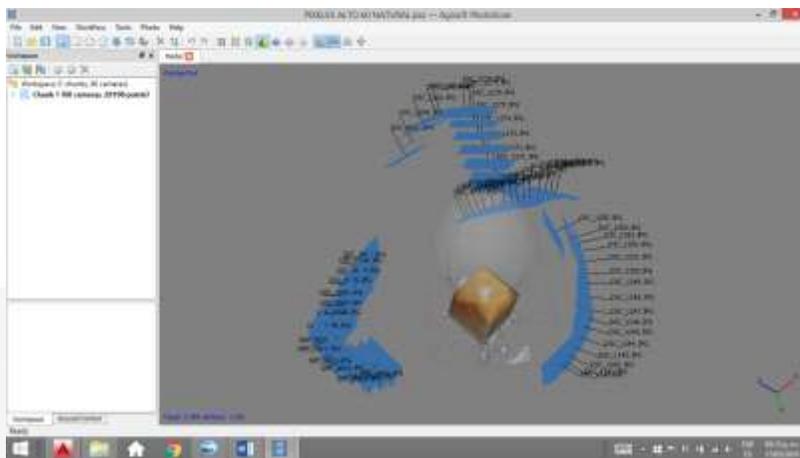


Sin iluminación SONY® Cybershot

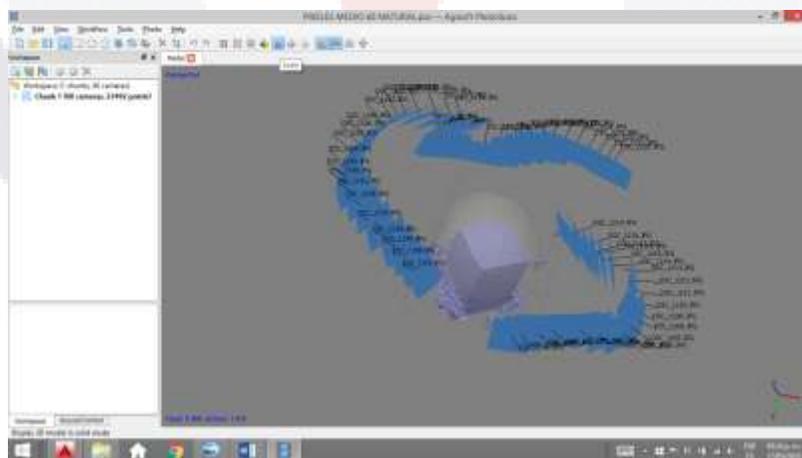
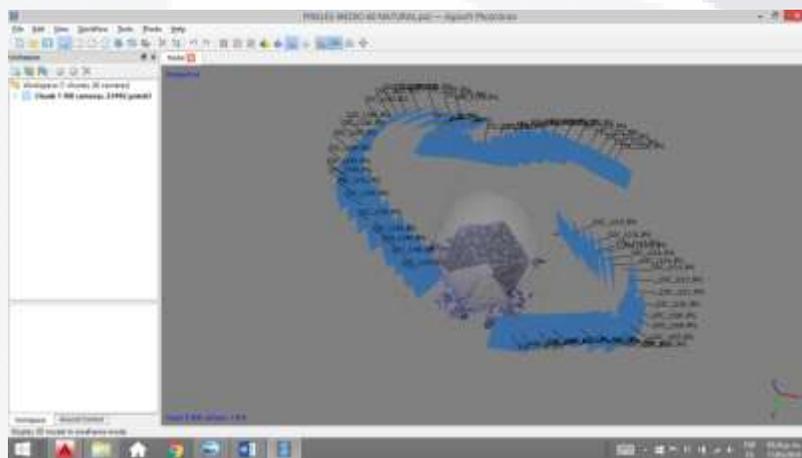
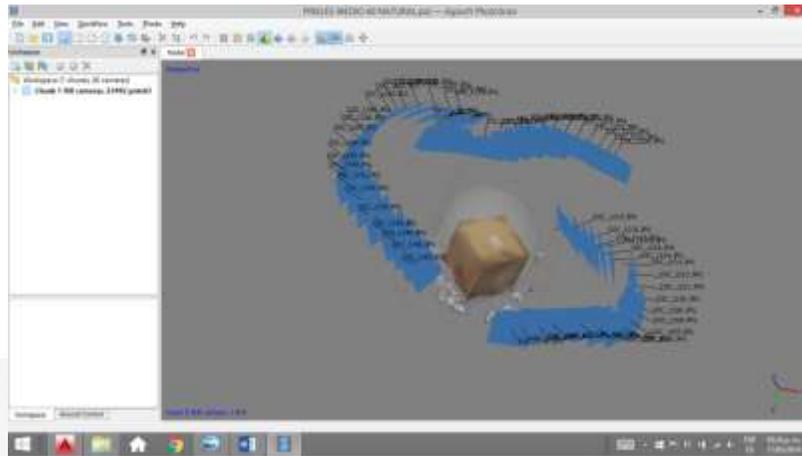


Comprobación de pixeles

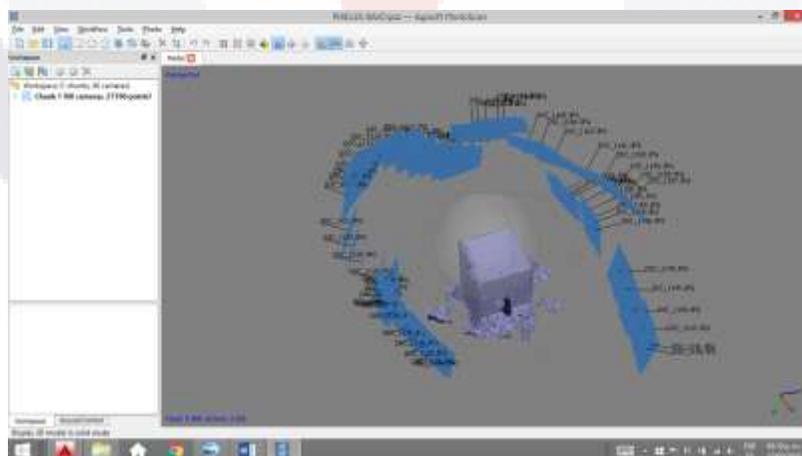
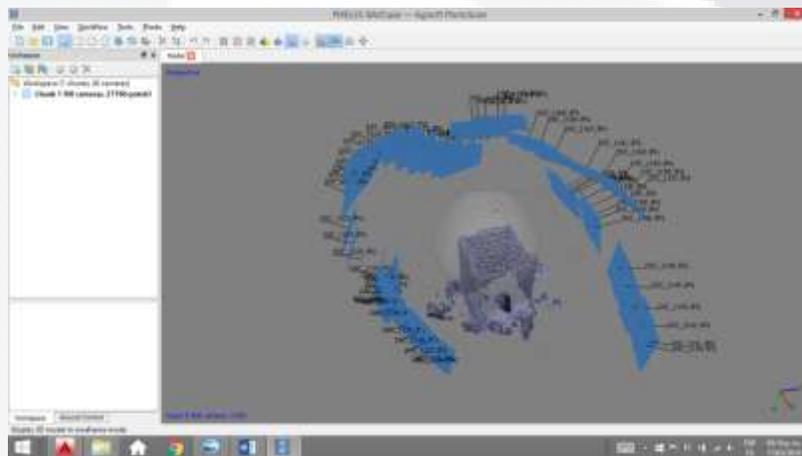
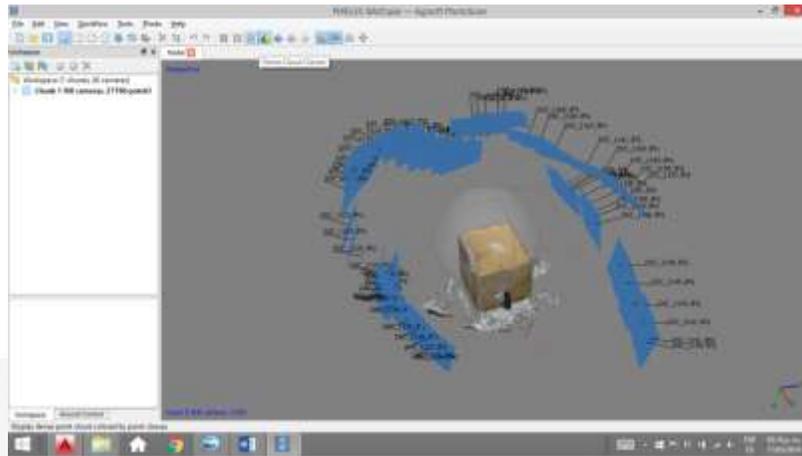
Alto



Pixeles medio

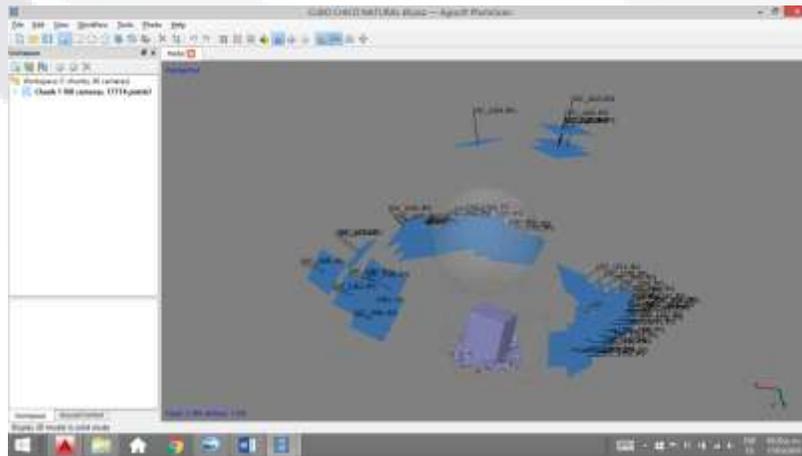
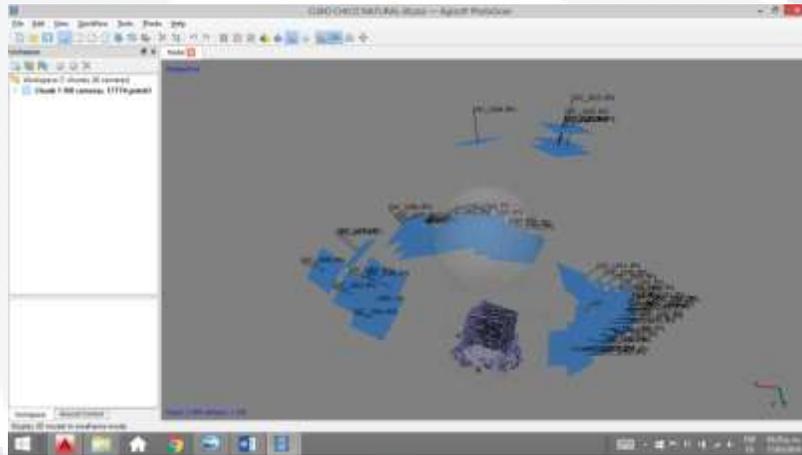
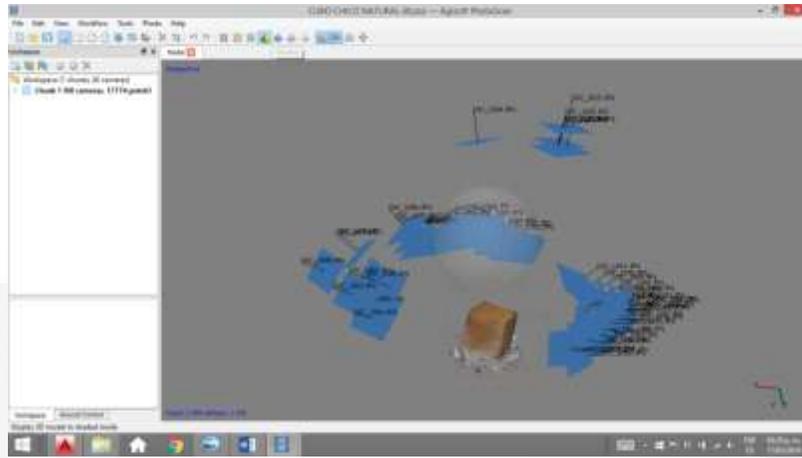


Pixeles bajo

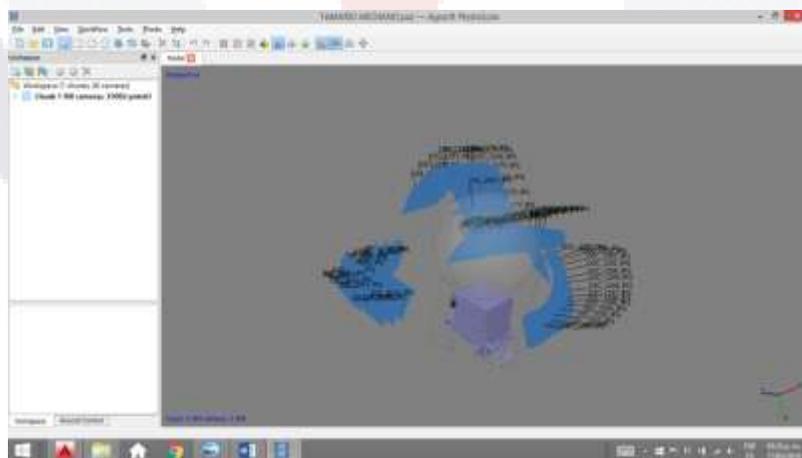
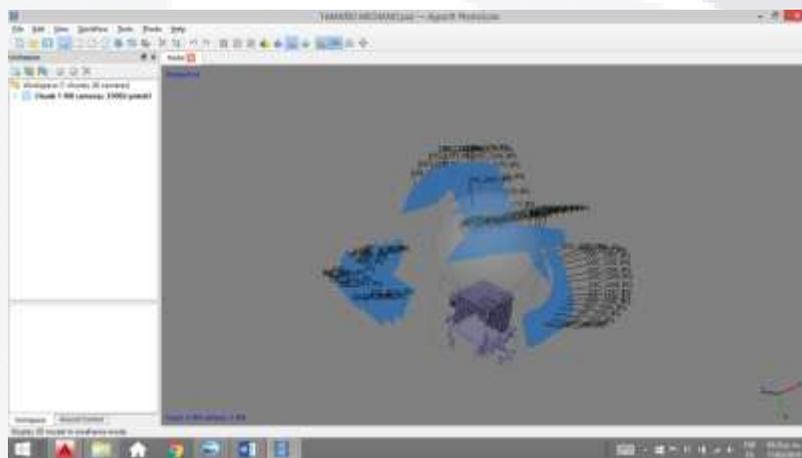
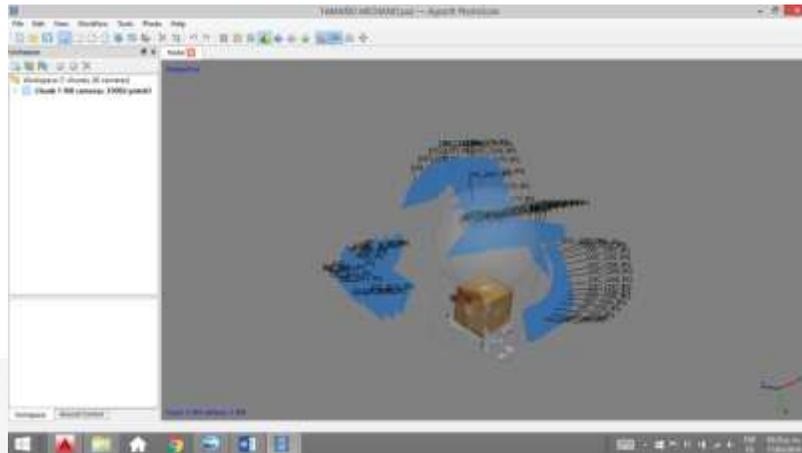


Comprobación por tamaño

Cubo chico 6x6



Tamaño cubo grande 10x10



Tamaño edificio UAA

