

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**"DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL
EMPLEO DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS
TERRESTRES DE CORTO ALCANCE, DEL CONJUNTO
ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE CONOCOTO"**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**ESPÍN PUCHAICELA MARÍA ALEJANDRA
GUANO ROJAS FAUSTO ALEJANDRO**

SANGOLQUÍ, ENERO DE 2013

RESUMEN

En la actualidad el progreso tecnológico ha contribuido al desarrollo de nuevos enfoques en la arquitectura. Un caso particular se presenta, en el perfeccionamiento y especialización de equipos dedicados al modelado de objetos 3D e implementación de mundos virtuales. Generalmente, estas realidades compuestas principalmente de edificaciones u otros elementos como monumentos, cuentan con una gran diversidad de aplicaciones sobre todo para usos de difusión y presentación multimedia.

Aunque en muchos casos los productos del modelado 3D, son desarrollados por procesos exclusivamente informáticos, en los que su componente topográfica es muy limitada, existen técnicas como la fotogrametría, con la cual se elaboran modelos que representan fielmente la geometría y el texturizado de las estructuras.

En el presente proyecto, se describen las metodologías de dos técnicas fotogramétricas aplicadas a la captura de información tridimensional, la construcción de elementos en 3D y el desarrollo de ambientes virtuales, con la finalidad de informar al público en general acerca de los bienes patrimoniales que posee el conjunto arquitectónico de Conocoto.

SUMMARY

Today technological progress has contributed to the development of new approaches to architecture. A special case is presented in the development and specialization of equipment dedicated to 3D object modeling and implementation of virtual worlds. Generally, these realities are composed primarily of buildings or other monuments, have a wide range of applications especially for broadcast applications and multimedia presentation.

Although in many cases their products are exclusively developed for computer processes, in which the topographic component is very limited, there are techniques such as photogrammetry, with which to build models that accurately represent the structures geometry and texturing.

In this project describes the methodologies of two photogrammetric techniques applied to capture three-dimensional information, the construction of 3D elements and development of virtual environments, in order to inform the general public about the assets held by the Conocoto architectural buildings.

CERTIFICACIÓN

Ing. Pablo Pérez

Ing. Eduardo Kirby

Certifican:

Que el trabajo titulado “DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE PROCESOS FOTOGRAFÍCOS TERRESTRES DE CORTO ALCANCE DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE CONOCOTO”, realizado por la señorita María Alejandra Espín Puchaicela y el señor Fausto Alejandro Guano Rojas, ha sido guiado y revisado periódicamente, cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército. El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos los cuales contienen el documento en formato portátil de Acrobat (pdf).

Sangolquí, Enero de 2013

Ing. Pablo Pérez

DIRECTOR

Ing. Eduardo Kirby

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

María Alejandra Espín Puchaicela

Fausto Alejandro Guano Rojas

Declaramos que:

El proyecto de grado titulado “DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS TERRESTRES DE CORTO ALCANCE DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE CONOCOTO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Enero de 2013

María Alejandra Espín P.

Fausto Alejandro Guano R.

AUTORIZACIÓN

Nosotros, María Alejandra Espín Puchaicela y Fausto Alejandro Guano Rojas

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE PROCESOS FOTOGAMÉTRICOS TERRESTRES DE CORTO ALCANCE DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE CONOCOTO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Enero de 2013

María Alejandra Espín P.

Fausto Alejandro Guano R.

DEDICATORIA

A nuestro hijo Alejo.

Alejandra y Alejandro

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres.

Alejandra y Alejandro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1

| | |
|--|----------|
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 5 |
| 1.3.1 Datos Generales de la Parroquia Conocoto | 5 |
| 1.3.2 Características del Centro Histórico de Conocoto | 6 |
| 1.3.3 Reseña histórica de la Iglesia de Conocoto | 8 |
| 1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 10 |
| 1.5 OBJETIVOS | 11 |
| 1.5.1 Objetivo General | 11 |
| 1.5.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 1.6 METAS | 12 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---|-----------|
| FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 13 |
| 2.1 LA FOTOGRAMETRÍA..... | 13 |
| 2.1.1 Generalidades | 13 |
| 2.1.2. Antecedentes Históricos de la Fotogrametría | 14 |
| 2.1.3 Etapas de la Fotogrametría..... | 17 |
| a. La fotogrametría analógica..... | 17 |
| b. La fotogrametría analítica..... | 17 |
| c. La fotogrametría digital | 18 |
| 2.1.4. Fundamento de la Fotogrametría..... | 19 |
| 2.1.5. Procesos de la fotogrametría | 19 |
| a. Orientación interna | 20 |
| b. Orientación relativa | 21 |
| c. Orientación absoluta..... | 28 |
| 2.1.6. Técnicas Fotogramétricas | 29 |
| a. Fotogrametría Aérea | 29 |
| b. Fotogrametría Terrestre | 29 |
| c. Fotogrametría de corto alcance (objetos cercanos)..... | 30 |
| 2.2 LAS CÁMARAS | 31 |
| 2.2.1 Partes de la cámara fotográfica | 31 |
| 2.2.2 Tipos de Cámaras fotográficas | 34 |
| a. Cámara fotográfica analógica | 34 |
| b. Cámara fotográfica digital | 35 |
| c. Cámara métrica | 36 |
| d. Cámara semimétrica | 36 |
| e. Cámara no métrica..... | 37 |
| 2.2.3 La película fotográfica | 37 |
| 2.2.4 La imagen digital | 38 |
| 2.3 MODELADO 3D | 40 |
| 2.3.1 Software PhotoModeler Pro 6 | 41 |
| a. Interfaz de usuario de PhotoModeler | 42 |
| b. Herramientas de PhotoModeler Pro 6..... | 44 |
| c. Calibración de la cámara..... | 46 |
| d. Planificación de la toma | 47 |
| e. Toma de fotografías | 47 |
| f. Marcado de puntos..... | 47 |
| g. Referenciado puntos | 48 |
| h. Procesamiento 3D..... | 48 |
| i. Escalado y rotación del modelo..... | 49 |
| j. Exportación de modelos | 50 |
| 2.3.2 Software SketchUp 8 Pro | 50 |
| a. Entidades de SketchUp..... | 51 |
| b. Interfaz de usuario de SketchUp..... | 52 |

| | |
|--|------------|
| c. Herramientas de SketchUp | 55 |
| d. Situar textura | 58 |
| e. Adaptar fotografía..... | 59 |
| f. Exportación de modelos..... | 60 |
| 2.4 AMBIENTES VIRTUALES 3D..... | 61 |
| 2.4.1 Lenguaje VRML..... | 62 |
| 2.4.2 Complemento Cosmo Player | 62 |
| CAPÍTULO 3 | |
| PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO..... | 64 |
| 3.1 INFORMACIÓN BASE Y RECONOCIMIENTO DE EDIFICACIONES..... | 65 |
| 3.1.1 Reconocimiento de las Edificaciones..... | 65 |
| 3.1.2 Recopilación de información base | 72 |
| 3.1.3 Generación de información base | 74 |
| a. Instrumentos de Medición | 74 |
| 3.2 RESTITUCIÓN Y RECTIFICACIÓN DE FOTOGRAFÍAS | 76 |
| 3.2.1 Restitución de fotografías de fachadas en PhotoModeler Pro 6..... | 76 |
| a. Cámara..... | 77 |
| b. Calibración de la cámara (orientación interna) | 78 |
| c. Toma de Fotografías | 88 |
| d. Importación y uso de fotografías en PhotoModeler Pro 6..... | 91 |
| e. Marcado puntos homólogos en las fotografías | 92 |
| f. Referenciado de puntos homólogos marcados..... | 93 |
| g. Procesamiento para la obtención de coordenadas 3D | 96 |
| h. Escalado y rotación de datos restituidos..... | 98 |
| i. Exportación de datos restituidos | 99 |
| 3.2.2 Rectificación de fotografías de edificaciones esquineras con Google SketchUp 8 Pro | 99 |
| a. Cámara..... | 100 |
| b. Toma de fotografías | 101 |
| c. Calibración de la cámara de SketchUp 8 Pro | 103 |
| 3.3 MODELADO 3D | 105 |
| 3.3.1 Trazado de modelos 3D..... | 106 |
| a. Trazado de modelos 3D a partir de puntos generados en la restitución de fachadas con PhotoModeler Pro 6. | 106 |
| b. Trazado de modelos 3D a partir de fotografías adaptadas (rectificadas) con SketchUp 8 Pro..... | 107 |
| c. Trazado de modelos 3D a partir de técnicas de medición directa y planos arquitectónicos. | 108 |
| 3.3.2 Texturizado de modelos 3D | 110 |
| a. Situar textura fotográfica | 110 |
| b. Usar texturas incluidas en el Google SketchUp..... | 111 |
| 3.3.3 Implantación de modelos 3D..... | 112 |
| a. Adquisición del modelo de elevación de Google Maps | 113 |
| b. Generación del modelo digital de elevación (MDE) | 115 |
| 3.4 GENERACIÓN DEL AMBIENTE VIRTUAL | 118 |
| 3.4.1. Generación de ambientes virtuales en lenguaje de modelado virtual (VRML)..... | 119 |
| 3.4.2. Generación de ambientes virtuales en archivos de formato de documento portátil (PDF) | 122 |
| 3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | 123 |
| 3.5.1. Resultados del control de calidad de los modelos 3D | 123 |
| 3.5.2. Productos finales obtenidos | 129 |
| CAPÍTULO 4 | |
| DIVULGACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS..... | 132 |
| 4.1 DIVULGACIÓN DEL PROYECTO A LAS PARTES INVOLUCRADAS..... | 132 |
| 4.2 DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS | 134 |
| CAPÍTULO 5 | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 136 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 136 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 138 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 140 |
| ANEXOS | 144 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1.1. Proyectos fotogramétricos de corto alcance a nivel internacional..... | 3 |
| Tabla 1.2. Reseña histórica de la construcción de la Iglesia Parroquial de Conocoto..... | 9 |
| Tabla 2.1. Cronología Histórica de la Fotogrametría..... | 14 |
| Tabla 2.2. Principales Aplicaciones de la Fotogrametría..... | 30 |
| Tabla 2.3. Partes de la cámara fotográfica digital y analógica..... | 32 |
| Tabla 2.4. Principales herramientas de PhotoModeler..... | 44 |
| Tabla 2.5. Elementos exportables a los principales programas de modelado 3D..... | 50 |
| Tabla 2.6. Lista de entidades disponibles en Google SketchUp 8..... | 51 |
| Tabla 2.7. Herramientas Principales de SketchUp..... | 55 |
| Tabla 2.8. Formatos de exportación disponibles en SketchUp..... | 61 |
| Tabla 3.1. Edificaciones levantadas..... | 65 |
| Tabla 3.2. Elementos levantados en la Iglesia Parroquial de Conocoto..... | 71 |
| Tabla 3.3. Lista, contenido y escala de los planos proporcionados por el Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural de Quito..... | 73 |
| Tabla 3.4. Información recopilada de la Dirección Metropolitana de Catastro..... | 74 |
| Tabla 3.5. Características técnicas de la cámara Panasonic LUMIX DMC-LS80..... | 78 |
| Tabla 3.6. Tolerancias recomendadas por PhotoModeler Pro 6..... | 86 |
| Tabla 3.7. Características técnicas de la cámara KODAK EASYSHARE M575..... | 101 |
| Tabla 3.8. Muestras para el control de calidad de los modelos 3D..... | 124 |
| Tabla 3.9. Estadísticos descriptivos de las muestras, calculados en SPSS..... | 125 |
| Tabla 3.10. Prueba de Kolmogorov-Smirnov realizada en SPSS para las muestras..... | 126 |
| Tabla 3.11. Correlación de muestras relacionadas ejecutada en SPSS..... | 128 |
| Tabla 3.12. Prueba t para muestras relacionadas realizada en SPSS..... | 129 |
| Tabla 3.13. Productos obtenidos en el proyecto..... | 129 |
| Tabla 4.1. Proceso de elaboración del plan de divulgación..... | 133 |
| Tabla 4.2. Ejecución del Plan de Divulgación..... | 134 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Zona de estudio - Parroquia Conocoto..... | 6 |
| Figura 1.2. Tenencia Política de Conocoto..... | 7 |
| Figura 1.3. Despacho Parroquial..... | 8 |
| Figura 2.1. Distribución de los puntos de Von Gruber..... | 21 |
| Figura 2.2. Condición de Coplanaridad..... | 22 |
| Figura 2.3. Condición de Colinealidad..... | 25 |
| Figura 2.4. Partes fundamentales de una cámara fotográfica..... | 32 |
| Figura 2.5. Proceso de adquisición de fotografías para la restitución con una cámara analógica.. | 35 |
| Figura 2.6. Esquema de una cámara digital..... | 35 |
| Figura 2.7. Proceso de Modelado 3D..... | 41 |
| Figura 2.8. Pantalla de inicio de PhotoModeler Pro 6..... | 42 |
| Figura 2.9. Interfaz de usuario de PhotoModeler Pro 6..... | 43 |
| Figura 2.10. Dialogo de entrada de Google SketchUp 8 Pro..... | 51 |
| Figura 2.11. Interfaz de usuario de Google SketchUp 8 Pro..... | 53 |
| Figura 2.12. Sistema de ejes coordenados de Google SketchUp 8 Pro..... | 54 |
| Figura 2.13. Principales deducciones del motor de inferencias de Google SketchUp..... | 54 |
| Figura 2.14. Alfileres para situar una textura..... | 59 |
| Figura 2.15. Fotografía adaptada..... | 60 |
| Figura 2.16. Interfaz de usuario de Cosmo Player..... | 63 |
| Figura 3.1. Etapas del proyecto fotogramétrico..... | 64 |
| Figura 3.2. Mapa de ubicación de las edificaciones levantadas..... | 72 |
| Figura 3.3. Distanciómetro láser Trimble Spectra Presicion Laser HD 150..... | 75 |
| Figura 3.4. Flexómetro marca KYOTO de 5m..... | 75 |
| Figura 3.5. Cinta métrica marca STANDARD de 20m..... | 76 |
| Figura 3.6. Etapas que intervienen en el proceso de restitución de fotografías de fachadas..... | 77 |
| Figura 3.7. Cámara digital Panasonic LUMIX DC VARIO..... | 78 |
| Figura 3.8. Malla de Calibración..... | 79 |
| Figura 3.9. Trípode..... | 80 |
| Figura 3.10. Efectos de la inestabilidad (a y b) e iluminación (c y d) en la toma..... | 80 |
| Figura 3.11. Malla en el piso..... | 81 |
| Figura 3.12. Primera posición de la cámara..... | 82 |
| Figura 3.13. Segunda posición de la cámara..... | 82 |
| Figura 3.14. Tercera posición de la cámara..... | 83 |
| Figura 3.15. Fotografías tomadas en el proyecto..... | 83 |
| Figura 3.16. Ventana de Inicio de Photomodeler Pro 6..... | 84 |
| Figura 3.17. Selección de fotos..... | 84 |
| Figura 3.18. Ejecución de la Calibración..... | 85 |
| Figura 3.19. Reconocimiento de puntos durante la Calibración..... | 85 |
| Figura 3.20. Cálculo y ajuste de parámetros de orientación interna..... | 86 |
| Figura 3.21. Reporte Final..... | 87 |
| Figura 3.22. Características de la cámara calibrada..... | 88 |
| Figura 3.23. Fotografías convergentes de la estructura Este 02..... | 89 |
| Figura 3.24. Estaciones para fotografiar una fachada..... | 90 |
| Figura 3.25. Obstáculos en la fotografía..... | 90 |
| Figura 3.26. Proyecto basado en puntos..... | 91 |
| Figura 3.27. Selección de fotografías a restituirse..... | 92 |
| Figura 3.28. Tríada de fotos abiertas en PhotoModeler Pro 6..... | 92 |
| Figura 3.29. Punto marcado en las tres fotografías..... | 93 |
| Figura 3.30. Referenciar puntos..... | 94 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.31. Puntos marcados y referenciados. | 94 |
| Figura 3.32. Máximo residual de un punto referenciado..... | 95 |
| Figura 3.33. Coordenadas y residuales de los puntos referenciados..... | 95 |
| Figura 3.34. Pre procesamiento para la obtención de coordenadas 3D..... | 96 |
| Figura 3.35. Informe de pre procesamiento con PhotoModeler Pro 6..... | 96 |
| Figura 3.36. Reporte de procesamiento 3D..... | 97 |
| Figura 3.37. Vista 3D de los puntos restituidos. | 97 |
| Figura 3.38. Rotación para definir los ejes coordenados de la fachada..... | 98 |
| Figura 3.39. Escalado de la fachada..... | 98 |
| Figura 3.40. Exportación a formato .dxf..... | 99 |
| Figura 3.41. Etapas que intervienen en el proceso de rectificación de fotografías de edificaciones esquineras. | 100 |
| Figura 3.42. Ángulo de toma (45° aproximadamente) para estructuras esquineras. | 101 |
| Figura 3.43. Comparación de la pérdida de geometría por recorte en la imagen. | 102 |
| Figura 3.44. Ejemplo de una fotografía con obstáculos..... | 103 |
| Figura 3.45. Importación de una fotografía seleccionando "Match Photo"..... | 103 |
| Figura 3.46. Comparación entre fotografía no adaptada (a) y adaptada (b). | 104 |
| Figura 3.47. Etapas que comprenden el proceso de modelado 3D..... | 105 |
| Figura 3.48. Importación de puntos 3D en formato DXF (a) y trazado de fachada con herramientas de dibujo de SketchUp 8 Pro (b). | 107 |
| Figura 3.49. Ejemplo de la elaboración de un modelo 3D de una edificación a partir de una imagen adaptada (rectificada)..... | 108 |
| Figura 3.50. Modelos 3D del campanario y reloj de la iglesia creados a partir de planos arquitectónicos. | 109 |
| Figura 3.51. Modelos 3D de los altares menores creados a partir de mediciones alternativas a la fotogrametría. | 110 |
| Figura 3.52. Proceso para usar una foto como textura..... | 110 |
| Figura 3.53. Uso de colores y materiales texturizados de SketchUp en un modelo 3D..... | 111 |
| Figura 3.54. Ejemplo del uso de texturas fotográficas, colores y materiales texturizados en un modelo 3D. | 112 |
| Figura 3.55. Implantación de modelos 3D en imagen satelital y MDE de Google Maps..... | 114 |
| Figura 3.56. MDE de la parroquia de Conocoto generado a partir de curvas de nivel y cotas. | 116 |
| Figura 3.57. Interfaz de SAS.Planet y herramientas usadas para descargar una imagen satelital de la parroquia Conocoto desde el servidor de ESRI..... | 117 |
| Figura 3.58. Visualización 3D del MDE, con una imagen satelital de la parroquia de Conocoto, descargada desde el servidor de ESRI..... | 118 |
| Figura 3.59. Exportación de un modelos 3D a VRML desde Google SketchUp 8 Pro..... | 119 |
| Figura 3.60. Exportación de Modelos 3D a VRML..... | 120 |
| Figura 3.61. Edición de Archivos VRML en Bloc de Notas..... | 121 |
| Figura 3.62. Visualización de modelo 3D de una edificación en Cosmo Player..... | 121 |
| Figura 3.63. Visualización de modelo 3D de una edificación incorporado a un archivo PDF. | 123 |
| Figura 3.64. Histogramas de las muestras efectuados en SPSS..... | 127 |
| Figura 4.1. Etapas del Plan de Divulgación. | 132 |
| Figura 4.2. Tiro (a) y contratiro (b) del tríptico con plantilla para elaborar anaglifos (c). | 135 |

GLOSARIO

Ambiente virtual. Es una tecnología de interface avanzada entre un usuario y un sistema computacional. El objetivo de esta tecnología es recrear al máximo la sensación de realidad para un individuo llevándolo a adoptar esta interacción como una de sus realidades temporales. Se realiza en un tiempo real con el uso de técnicas y de equipamientos computacionales que ayudan en la ampliación del sentimiento de presencia del usuario. La misma permite la comprensión de la realidad virtual como simulación de la realidad a través de la tecnología. Se extiende a la apreciación de un universo no real (de íconos y símbolos).

Anaglifo. Es un par estereoscópico correctamente orientado y montado donde las imágenes se superponen. Para que cada ojo vea su respectiva fotografía, las mismas son impresas en colores complementarios (rojo y verde, o rojo y azul) y son observadas a través de filtros de un color complementario al usado en la impresión. Con esto se consigue que cada ojo observe su respectiva imagen ya que el filtro delante del ojo deja pasar la luz proveniente de la imagen correspondiente haciendo negra la otra. La desventaja principal es la pérdida de calidad en la coloración.

Cámara métrica. Es una cámara fotográfica, ya sea tradicional o digital, cuyas características ópticas son conocidas a la perfección. Se utilizan en fotogrametría aérea y terrestre.

Escala. Es la relación constante entre longitudes de un objeto en el terreno y su homólogo en el mapa, plano o fotografía.

Espectro electromagnético. El espectro electromagnético es la catalogación en regiones, de toda la radiación electromagnética que puede ser

medida. El tipo de radiación designado en las regiones del espectro corresponde a las formas de la radiación cuya detección puede hacerse por un método determinado. De esta manera, las ondas de radio, el calor, los rayos X, el ultravioleta, el visible, el infrarrojo, son regiones conocidas del espectro electromagnético. La estrecha porción del visible en el espectro es aquella a la cual el ojo humano es sensible. Su rango varía desde una longitud de onda de 0,4 micras, cuya respuesta en nuestro sentido de la visión correspondiente a azul, hasta la onda de 0,7 micras, a la cual le damos el atributo de rojo.

Fotograma. Es una vista fotográfica, puede llamarse fotograma si se conocen los elementos de su orientación interior.

Fotogrametría. La fotogrametría es la ciencia y conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales se puede deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones reales del mismo. Básicamente, la fotogrametría es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

Fotogrametría de corto alcance o de objetos cercanos. En forma general, agrupa aquellas aplicaciones que no tienen carácter geodésico o topográfico. Se aplica para resolver problemas singulares, muy específicos. Por ello se puede decir que son soluciones a la medida del problema a resolver. Esta división es la que abarca la mayor amplitud de técnicas para la toma de fotografías y su posterior restitución.

Fotogrametría Terrestre. Es aquella que utiliza fotografías tomadas sobre un soporte terrestre; debido a esto, la posición y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos de antemano. Actualmente se usa en labores

de apoyo a la arquitectura, arqueología, ingeniería estructural y en levantamientos topográficos de terrenos muy escarpados.

Imagen digital. La imagen digital posee una estructura ráster 2D establecida por una malla rectangular de celdas cuadradas. Estas celdas, denominadas píxeles, constituyen la unidad básica de información de la imagen, y su posición queda definida según la fila y la columna en la que se encuentren. Además, cada celda estará caracterizada por la intensidad de tono de gris que posea, según un valor cuantificable entre 0 y 255 (negro y blanco). Si la imagen es en color natural, vendrá definida por la combinación de las tres bandas del espectro visible (RGB), rojo, verde y azul, con una intensidad para cada una valorada igualmente entre 0 y 255.

JPEG. El JPEG (Joint Photographic Experts Group) es el formato que se utiliza comúnmente para almacenar fotografías y otras imágenes de tono continuo, y también se utiliza en documentos HTML para Internet. A diferencia del formato GIF, JPEG guarda toda la información referente al color en RGB. JPEG también utiliza un sistema de compresión, que de forma eficiente reduce el tamaño de los archivos mediante la identificación y el descarte de los datos redundantes que no esenciales para mostrar la imagen.

Levantamiento fotogramétrico. Es la aplicación de la fotogrametría a la Topografía, es decir, consiste en obtener información métrica bidimensional y tridimensional a partir de imágenes fotográficas. Consiguientemente, esta área estudia las tareas relacionadas con la medición de magnitudes puntuales, lineales y superficiales, así como la reconstrucción espacial de objetos y/o superficies.

Marcas fiduciales. Son cuatro marcas indicadoras unidas rígidamente con el lente de la cámara a través del cuerpo de la misma, que forman imágenes sobre el negativo. Están situadas de manera que la intersección de las líneas

trazadas entre las marcas fiduciales opuestas definen el punto principal de la fotografía.

Medición directa. Son los más económicos y sencillos en su manejo. Aunque son los que exigen mayor planificación previa. Se tratan de herramientas que permiten realizar medidas directamente sobre el objeto, por lo que es condición necesaria para su utilización el poder acceder manualmente a los puntos que se desea medir, y no tener obstáculos entre puntos de medición.

Monumento. Obra conmemorativa. Objeto o documento histórico. La palabra monumento aplicada a las obras de arquitectura, designa un edificio construido para eternizar los recuerdos de cosas memorables. Concebido, erguido o dispuesto de modo que se torne un hecho de embelesamiento y de magnificencia en las ciudades. La idea del monumento está más ligada al efecto producido por el edificio que a su fin o destinación y esto se aplica a todos los tipos de edificaciones

Ortofoto. Es una fotografía o un conjunto de fotografías cuyas imágenes de los objetos se encuentran en su verdadera posición planimétrica. Esto se logra mediante un proceso denominado rectificación diferencial, en el cual se eliminan los efectos de la inclinación y del desplazamiento por relieve, propios a las fotografías. Las ortofotos son equivalentes a los mapas de líneas en lo referente a su precisión geométrica. Para la realización de la ortofoto es necesario crear el modelo estereoscópico del terreno, para de esta forma, proyectar en forma ortogonal, mediante el uso de la rectificación diferencial.

Patrimonio. Son aquellos bienes de distinto tipo, producto del esfuerzo propio y de la educación recibida. Sentimiento inexplicable que el objeto, la edificación, la costumbre o la belleza del local transmite, ya sea por la valiosa cantidad de informaciones y acontecimientos contenidos, o por cargar consigo

una historia. La noción del patrimonio se fundamenta en una versión de la historia que pretende tener la capacidad de reportar los hechos que realmente acontecieron, transformándolos en marcos que se imponen en el presente. Estos marcos instauran una temporalidad que organiza la historia tal como se cuenta. El acervo patrimonial seleccionado materializa un punto de vista social particular sobre determinado tema o hecho.

Puntos de control. Son las coordenadas espaciales (X, Y, Z) de puntos sobre el terreno, que sirven para densificar los puntos conocidos, los cuales son obtenidos por medios topográficos.

Renderizado. Consiste en generar una imagen 2D o animación a partir de la escena creada. Este proceso necesita una gran capacidad de cálculo.

Resolución Espacial. Indica la capacidad del sistema para distinguir el objeto más pequeño sobre una imagen. Depende de la distancia de captura al objeto y del tamaño del píxel (número de píxeles por pulgada). Cuanto mayor sea la resolución de la imagen (más pequeño el tamaño del píxel) mayor será el nivel de detalle que ofrezca y mayor será su tamaño en disco.

Resolución Espectral. Se trata del número y rango de longitud de onda del espectro electromagnético registrado en cada banda de la imagen. En el caso de los sistemas fotográficos podemos encontrar películas pancromáticas, color natural (RGB), infrarrojo b/n o infrarrojo color. Las imágenes que poseen más de una banda proporcionan mejores resultados, aunque, el volumen de datos del archivo es mayor.

Resolución Radiométrica. Conocida también como profundidad o contraste radiométrico, indica el número de niveles de gris que son recogidos por cada banda. En imágenes digitales lo más habitual es que contengan 256 niveles por píxel (de 0 a 255).

Sensor CCD. *Charge -Coupled Device* (dispositivo de carga acoplada) es un circuito integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados. El término CCD es conocido como la designación de uno de los elementos principales de las cámaras fotográficas y de video digitales. El CCD es el sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen. Desde allí la imagen es procesada por la cámara y registrada en la tarjeta de memoria.

Sensores CMOS. *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (semiconductor de metal óxido complementario) Se basa en el efecto fotoeléctrico. Está formado por numerosos fotositos, uno para cada píxel, que producen una corriente eléctrica que varía en función de la intensidad de luz recibida. En el CMOS se incorpora un amplificador de la señal eléctrica en cada fotosito y es común incluir el convertor digital en el propio chip.

VRML (Virtual Reality Modeling Language). "Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual" - formato de archivo normalizado que tiene como objetivo la representación de gráficos interactivos tridimensionales; diseñado particularmente para su empleo en la web. Consiste en un formato de fichero de texto en el que se especifican los vértices y las aristas de cada polígono tridimensional, además del color de su superficie. Es posible asociar direcciones web a los componentes gráficos así definidos, de manera que el usuario pueda acceder a una página. Aunque en muchos casos sus productos son desarrollados por procesos exclusivamente informáticos, en los que su componente topográfica es muy limitada, existen técnicas como la fotogrametría, con la cual se elaboran modelos que representan fielmente la geometría y el texturizado de las estructuras.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El uso de un sistema de representación de dos dimensiones llamado plano, ha sido empleado tradicionalmente en arquitectura e ingeniería; esta abstracción del espacio real en un elemento tan limitado ha sido la técnica más empleada, pero en la actualidad, existen métodos más eficaces de lograr representar la realidad, como es el modelado 3D.

La Constitución de la República del Ecuador en el Capítulo 4 "De los derechos económicos, sociales y culturales", Sección séptima "De la Cultura", Art. 62, establece como política de Estado la "conservación, restauración, protección del patrimonio tangible de la riqueza artística, histórica del Ecuador" , para lo cual el Ministerio Coordinador de Patrimonio, ha emprendido acciones concernientes al rescate del patrimonio cultural inmueble, constituido por los monumentos y centros históricos del país. Una manera para cumplir con lo que manda éste texto, es obtener un registro fiel de las características de los objetos patrimoniales para que en un futuro se los puedan restaurar o reproducir.

La fotogrametría es la técnica de medición indirecta, que a partir de imágenes y principios matemáticos establecidos obtiene las características geométricas tridimensionales de elementos en el terreno. Una de las aplicaciones prácticas de este conjunto de procesos, en particular de la fotogrametría terrestre de corto alcance utilizando fotografías con una plataforma terrena a distancias cortas, se da en la arquitectura, para la generación de planos e incluso modelos tridimensionales que permiten la visualización de edificios de valor histórico - cultural y monumentación con mucho detalle.

Se han realizado levantamientos 3D a nivel nacional, utilizando técnicas similares a las que se emplean en este proyecto, como es el caso del proyecto de tesis "Diseño e Implementación de un Sistema Fotogramétrico Digital de Corto Alcance 3D", elaborado por los Ingenieros Geógrafos Edison Collaguazo y Miguel Domínguez, en el año 2011, donde se utilizó, un sensor aerotransportado, para fotografiar el Campus de la Escuela Politécnica del Ejército y posteriormente elaborar el modelo en tres dimensiones. Por otro lado, en el proyecto de tesis de la Ing. Verónica Acosta titulado: "Diseño de un Ambiente Virtual Mediante el Empleo de Procesos Fotogramétricos Terrestres de Corto Alcance, del Conjunto Arquitectónico Monasterio - Iglesia de la Merced ", ejecutado en el año 2011, tuvo por objeto crear una realidad digital de tres dimensiones empleando herramientas accesibles y didácticas desde el terreno.

En el ámbito internacional, el uso de técnicas fotogramétricas para elaborar modelos tridimensionales de estructuras de valor histórico - cultural, han sido expuestas en congresos y ejecutadas como proyectos de tesis, tales son los casos que se muestran de la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Proyectos fotogramétricos de corto alcance a nivel internacional.

| AUTOR/ES | TEMA | AÑO DE PUBLICACIÓN |
|--|--|---------------------------|
| Feito FR., Jiménez JJ., Ogayar C., Robles MD., Segura RJ., Castro M. | Nuevas Tecnologías para Museos Ibéricos Virtuales y Reales. | 2006 |
| Santa Cruz Astorqui J. | La fotogrametría digital su aplicación en el levantamiento de planos de edificios. | 2007 |
| Mora García RT., Céspedes López MF., Louis M. | Aplicación de la fotogrametría en el levantamiento gráfico en la Iglesia de San José en Elche. | 2009 |
| Alonso Rodríguez MA. & Calvo López J. | Sobre el levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multimagen. | 2010 |
| Santana J., Camargo S. | Estudio y diseño de metodología con técnicas GPS para la actualización de la cartografía catastral del municipio Palavecino (Venezuela). | 2011 |

Recopilado por: Espín M. & Guano F., 2012.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Tal como establece la Constitución de la República del Ecuador 2008, en el Título VII, Capítulo primero, Sección quinta Cultura, Artículo 279, literal 2, son parte del patrimonio cultural tangible e intangible "Las edificaciones, espacios y conjuntos urbanos, ... que constituyan referentes de identidad para los pueblos o que tengan valor histórico, artístico, arqueológico, etnográfico o paleontológico.", así mismo en el Artículo 380, literal 1, establece como responsabilidad del Estado "Velar, mediante políticas permanentes, por la identificación, protección, defensa, conservación, restauración, difusión y acrecentamiento del patrimonio cultural tangible e intangible, de la riqueza histórica, artística ... del Ecuador."

Adicionalmente el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) en el Objetivo 5, Política 5.2, literal c), establece "Identificar amenazas, prevenir riesgos y reducir vulnerabilidades, para proteger a las personas, al patrimonio nacional y a los recursos estratégicos del Estado." (SENPLADES, 2009); por otro lado, la Ley

Orgánica de Educación Superior del 2010, establece en el Título IX, CAPÍTULO 1, Art. 160, que "Corresponde a las universidades y escuelas politécnicas producir propuestas y planteamientos para buscar la solución de los problemas del país, en colaboración con los organismos del Estado y la sociedad."

En el presente proyecto, se busca contribuir al desarrollo de la cultura nacional, mediante la intervención en centros históricos, donde existe gran cantidad de bienes muebles e inmuebles patrimoniales, empleando los más modernos equipos y técnicas fotogramétricas.

Los adelantos científicos de los últimos años referentes a la disponibilidad de hardware y software, así como el empleo de tecnología de información y comunicación, han generado una revolución en la fotogrametría, tanto desde el punto de vista del conocimiento como desde la perspectiva económica, por lo que se han ampliado sus posibilidades de aplicación en campos no tradicionales. La introducción de cámaras digitales de alta resolución, la disponibilidad de computadores personales de gran capacidad de procesamiento y almacenamiento, además de la obtención de software aplicativo en áreas no habituales, han permitido el desarrollo nuevos procesos como: modelamiento 3D, procesamiento de imágenes, simulación, realidad virtual, entre otros.

El presente proyecto, pretende intervenir con procesos de fotogrametría digital terrestre el centro histórico de la ciudad de Conocoto, para generar información geoespacial tridimensional plasmada en un ambiente virtual 3D, que alimente la base de datos del patrimonio nacional edificado del Ecuador y provea al Ministerio Coordinador de Patrimonio y al Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto, de un documento técnico, cuya difusión pueda lograr la puesta en valor del patrimonio como base fundamental para el desarrollo de la región.

En general, la metodología arquitectónica para el levantamiento de fachadas y edificaciones de valor cultural, consiste en la aplicación de métodos directos de medición, los cuales requieren de habilidad y demandan mucho tiempo, lo que resulta en el incremento de los costos de ejecución del proyecto. Sin embargo, los métodos indirectos, propios de las ciencias geográficas, apoyados en instrumentación digital, reducen significativamente los períodos de trabajo y los gastos.

Actualmente, la existencia de técnicas y tecnologías accesibles para realizar levantamientos tridimensionales, posibilitan la generación de los modelos digitales de las edificaciones patrimoniales, para su visualización en un ambiente virtual disponible en una página web, satisfaciendo así la necesidad de la comunidad por conocer y preservar su patrimonio arquitectónico.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto abarca al centro histórico de Conocoto, conformado por su iglesia parroquial y edificaciones con valor histórico ubicadas alrededor del parque central, como se muestra en la Figura 1.1.

1.3.1 Datos Generales de la Parroquia Conocoto

La parroquia San Pedro de Conocoto, se encuentra ubicada al Sureste del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), a una altura de 2525 msnm; cuenta con una superficie aproximada de 56,20 Km² y una temperatura promedio de 17°C.

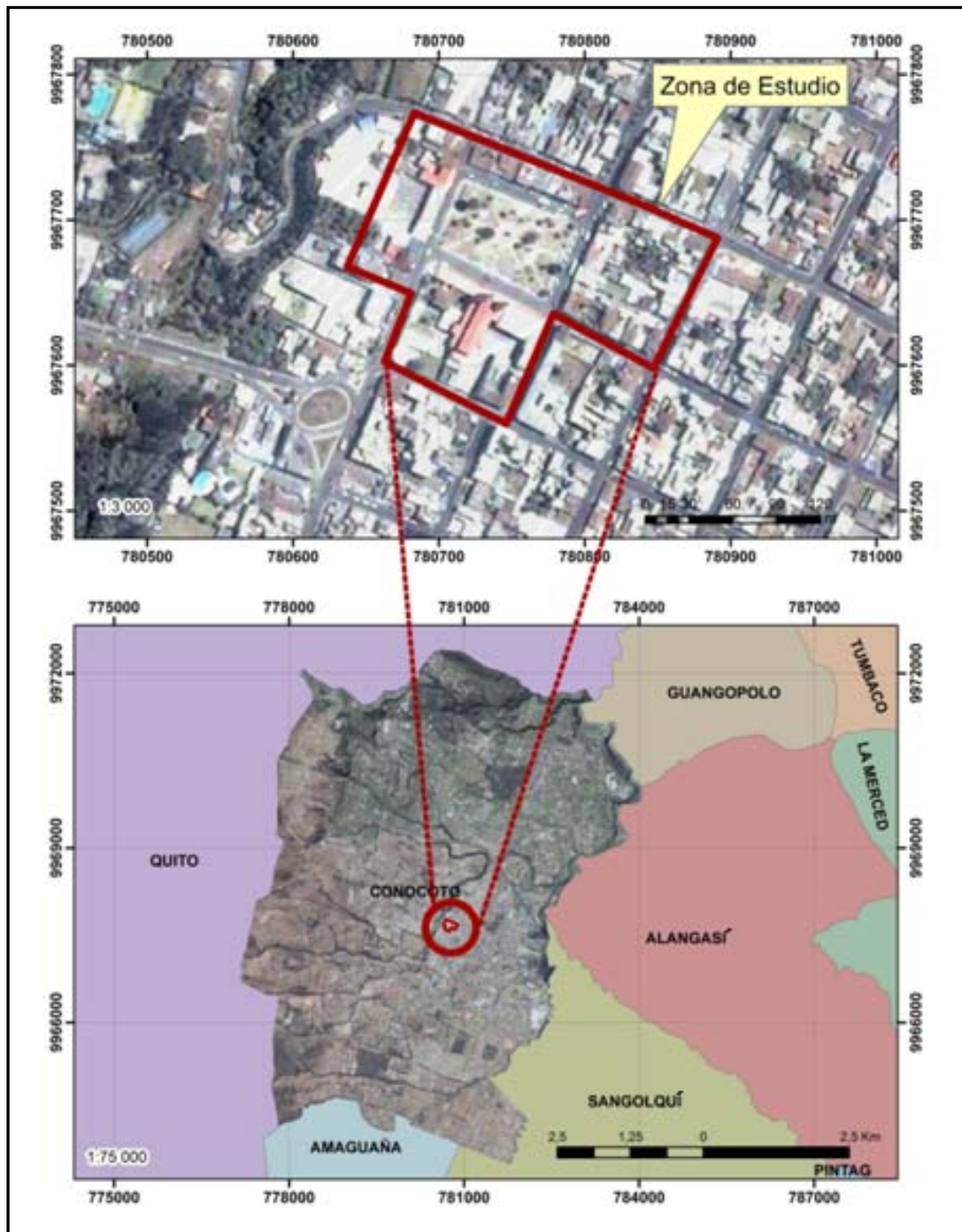


Figura 1.1. Zona de estudio - Parroquia Conocoto.

Fuente: División política INEC 2012 & imagen satelital ESRI, 2012.

Elaborado por: Espín M. & Guano F., 2012.

1.3.2 Características del Centro Histórico de Conocoto

El complejo arquitectónico histórico de Conocoto incluye principalmente a su iglesia parroquial y las edificaciones circundantes dispuestas alrededor del

parque. Está compuesto principalmente, por viviendas antiguas de adobe, ladrillo y techos de teja, aunque también existen estructuras más actuales, de cemento y loza.

Alrededor del parque central existen aproximadamente 30 edificaciones, algunas de ellas poseen un legado histórico importante, ya sea por las personas que las habitaron o por el uso que se les dio en épocas anteriores, un claro ejemplo de esto se observa en la actual Tenencia Política, que antiguamente fungía como cárcel (ver Figura 1.2).



Figura 1.2. Tenencia Política de Conocoto.

Espín M. & Guano F., 2012.

Por otro parte, la manzana en donde se ubica la iglesia, posee construcciones que destacan por su belleza arquitectónica, una de ellas es la "Unidad Educativa Mercedes de Jesús Molina N°2" que conserva un estilo de construcción antiguo en la parte frontal de su estructura. Asimismo, en este espacio se ubica el complejo arquitectónico de la Iglesia Parroquial de Conocoto, compuesto por la iglesia, el despacho parroquial (ver Figura 1.3.), la casa del sacristán, la residencia del párroco, dos estructuras de uso múltiple, baños, garaje y una bodega.



Figura 1.3. Despacho Parroquial.

Espín M. & Guano F., 2012.

Con respecto al uso del suelo, la categoría predominante es la residencial - comercial, por lo que en el área se encuentran negocios pequeños como restaurantes de comidas típicas y comercios varios (papelerías, panaderías, tiendas), que comparten las edificaciones con unidades habitacionales.

Cabe mencionar, que en el sitio se encuentran instituciones públicas importantes, como: la Empresa Eléctrica, el Área de Salud N°24, el Gobierno Parroquial, la Tenencia Política.

1.3.3 Reseña histórica de la Iglesia de Conocoto

A continuación se describe en la tabla 1.2 una breve cronología de la construcción de la iglesia.

Tabla 1.2. Reseña histórica de la construcción de la Iglesia Parroquial de Conocoto.

| Año | Responsables | Acontecimiento | Imagen |
|------|--|--|---|
| 1922 | Dr. Eliécer Ron (Párroco de Conocoto en esa época) y moradores de la zona. | Planifican levantar una nueva iglesia. |  |
| | Arq. Bruning (Padre alemán). | Elaboró los planos de la iglesia, los cuales fueron aprobados por la Curia Metropolitana. La nueva estructura en forma de cruz, constaría de tres naves de siete arcos y de cinco altares con mesas de piedra elaborada. | |
| 1937 | | Se colocaron las campanas y se construyeron los altares de piedra conjuntamente con el altar mayor. |  |
| 1940 | | Se pintó la estructura y se edificaron los altares de madera faltantes, concluyendo de esta manera la construcción del templo. |  |

| | | | |
|------|--|--|--|
| 1970 | | Se colocó el reloj en la torre izquierda de la iglesia. |  |
| 1972 | | Se instaló la infraestructura eléctrica y se colocaron las bancas. |  |

Fuente: El Cronista, 2012

Fotografías por Espín M. & Guano F., 2012.

1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Decreto de Emergencia del Patrimonio, emitido por el Presidente de la República, para la recuperación, inventariación y valoración de los Bienes Patrimoniales, es una muestra de los riesgos a los que se exponen estos elementos y la necesidad de aportar con soluciones tecnológicamente innovadoras para levantar el inventario nacional.

La ciudad de Conocoto, cuenta con un rico e importante patrimonio inmueble constituido por su centro histórico, que corresponde a casas de construcción antigua e iglesia, la misma que en varias ocasiones ha sido sujeta a intervenciones y restauraciones por el ex FONSAL (Fondo de Salvamento del Patrimonio Histórico); la zona dispone de varias edificaciones con historia e importancia cultural, siendo indispensable su protección, ya que las mismas son el canal que vincula a la gente con sus tradiciones e identidad.

La conservación de estas estructuras no solo se basa en la restauración, sino también en el registro, protección y promoción de las mismas, para asegurar su permanencia en condiciones originales para las futuras generaciones. El plano, que era antiguamente el único documento (registro) de respaldo que contenía las características originales de diseño de una construcción, al ser un insumo físico generalmente dibujado en papel, era muy difícil salvaguardar, almacenar y consultar; los problemas que tiene el uso del plano son el rápido deterioro, el robo y la pérdida, lo que provoca dificultades para la reconstrucción física de cualquier sección del inmueble en caso de destrucción o deterioro.

Por otro lado, la debilidad de los materiales de antaño, como el adobe, carrizo, madera, entre otros, terminó por complicar la resistencia de los edificios ante los desastres naturales y/o condiciones climáticas extremas, siendo prioridad tener un método seguro que recopile fielmente, con precisión y seguridad las particularidades y belleza del legado arquitectónico de las ciudades, como lo es un acceso vía web que simule una realidad virtual.

1.5 OBJETIVOS

A continuación se describe el objetivo general y los objetivos específicos del presente proyecto.

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar un ambiente virtual mediante el empleo de procesos fotogramétricos terrestres de corto alcance del conjunto arquitectónico de la ciudad de Conocoto.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento fotogramétrico de las edificaciones del centro Histórico de Conocoto.
- Relevar interna y externamente la Iglesia de Conocoto.
- Publicar los trabajos realizados en la página web del Gobierno Parroquial de Conocoto y en el Geoportal de la ESPE para su consulta.
- Difundir en diferentes niveles y grupos de interés la información obtenida.

1.6 METAS

- Generar un Modelo Digital del Terreno MDT de la zona de intervención.
- Realizar 20 modelos 3D texturizados del exterior de los inmuebles pertenecientes al Conjunto Arquitectónico Patrimonial del área de estudio.
- Crear un modelo 3D texturizado del interior y exterior de la Iglesia de Conocoto.
- Implementar un recorrido virtual disponible en el portal web de la ESPE con los modelos elaborados.
- Desarrollar un manual de usuario para la visualización de los modelos vía internet.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 LA FOTOGRAMETRÍA

2.1.1 Generalidades

Aunque en el pasado el uso de la fotogrametría como técnica para obtener información estaba íntimamente relacionado al ámbito geoespacial, en la actualidad se han diversificado las aplicaciones en diferentes áreas de estudio.

Existen varias definiciones propuestas, entre las cuales se destaca la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) que la describe como *"La ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado."* (Jauregui L., 2006).

Por otro lado, con una definición más completa, la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) la define como *"El arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a*

través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.” (Jauregui L., 2006).

Se puede describir a la fotogrametría como la técnica de medición indirecta, que a partir de imágenes (digitales o fotogramas) y principios matemáticos establecidos obtiene las características geométricas tridimensionales de elementos en el terreno.

2.1.2. Antecedentes Históricos de la Fotogrametría

Si bien los principios aplicados en la fotogrametría han sido estudiados desde la antigüedad, no fue sino hasta mediados del siglo veinte cuando esta técnica empezó a aplicarse de manera práctica y efectiva en diversas aéreas del conocimiento.

La Tabla 2.1 ilustra una cronología de los acontecimientos que se han destacado y han contribuido al desarrollo de la fotogrametría.

Tabla 2.1. Cronología Histórica de la Fotogrametría.

| Etapa | Año | Personaje/Institución | Acontecimiento |
|---------|----------|-------------------------|--|
| Inicial | 350 a.C. | Aristóteles | Referencia al proceso de proyección óptica de imágenes. |
| | 1636 | Girad Desargues | Publicación de libro donde se trata la geometría proyectiva. |
| | 1759 | Johann Heinrich Lambert | Publicación del libro "Perspectiva Libre", en el cual se proponía que los fundamentos de la perspectiva podrían emplearse para crear planos y mapas. |
| | 1839 | Louis Daguerre | Inicio del proceso fotográfico actual. |

| | | | |
|-----------|----------------|--|---|
| | 1840 | Aragó | Exposición del uso de fotografías para la creación de mapas topográficos. |
| | 1849 | Cuerpo de Ingenieros de la Armada Francesa | Realización del primer experimento para producir mapas topográficos. |
| | 1859 | Laussedat | Anuncio del primer fototeodolito para topografía y del procedimiento para calcular coordenadas por medio de la intersección espacial de rayos a partir de un par fotográfico. |
| | 1867 | Laussedat | Presentación del primer fototeodolito para fotogrametría aplicada a la arquitectura. |
| | 1867 | Albrecht Meydenbauer | Primer registro fotogramétrico de un monumento. |
| | 1893 | Albrecht Meydenbauer | Primera definición y registro de uso de la palabra fotogrametría. |
| | 1894 | National Geodetic Survey | Uso de la fotogrametría para cartografiar la frontera entre Canadá y Alaska. |
| | Década de 1890 | Ing. Thiele | Invencción del disparador que se activaba cuando el eje de la cámara estaba en posición vertical. |
| Analógica | 1892 | F. Stolze | Invencción de la marca flotante. |
| | 1901 | C. Pulfrich | Creación de la fotogrametría estereoscópica. |
| | 1902 | Los Hermanos Wright | Invencción del Avión |
| | 1903 | Scheimpflug | Posibilidad de crear ortofotos a partir de perspectivas. |
| | 1909 | Von Ore E. | Concepción del primer restituidor estereoscópico con digitalización tridimensional, el estereoautógrafo. |
| | 1913 | Varios | Uso del avión con fines topográficos y de reconocimiento. |
| | 1915 | Gasser | Patente del estereroprojector, el cual usaba anaglifos. |
| | 1918 | C. Pulfrich | Diseño del primer restituidor de rayos X. |
| | 1923 | W. Bauersfeld | Ampliación del principio del estereoautógrafo para la producción de |

| | | | |
|-----------|----------------------|---------------------------------------|--|
| | | | mapas usando como materia prima fotografías aéreas. |
| | 1930 | R. Feber | Creación del restituidor Gallus - Ferber, el cual posibilita la restitución estereoscópica y la creación de ortofotos de manera directa a través de fotogramas. |
| | 1925 - 1930 | Varios | Uso de película de rollo continuo. |
| | 1930 | Varios | Uso de emulsiones que permitieron la toma de fotografía aérea a nuevas alturas. |
| | 1950 | Russell Bean (U.S. Geological Survey) | Inicia con la creación del Orthophotoscope, instrumento que generaba ortofotos. |
| Analítica | 1957 | U. V. Helava | Invencción del primer restituidor analítico. |
| | 1959 | G. L. Hobrough | Descripción del Stereomat para la automatización de la fotogrametría. |
| | 1964 | U. V. Helava | Comercialización del restituidor analítico. |
| | 1976 en adelante | Varios | Comercialización de varios modelos que mejoraban en función de los avances informáticos y tecnológicos. |
| Digital | 1957 | URSS | Lanzamiento del satélite Sputnik |
| | 1980 | USA | Primeras pruebas con GPS situados en un avión. |
| | 1990 a la actualidad | Varios | <ul style="list-style-type: none"> • Expansión comercial en la fotogrametría digital. • Uso de cámaras analógicas y/o digitales aerotransportadas. • Uso de cámaras digitales multiespectrales. • La combinación de procedimientos fotogramétricos digitales y láser en la modelización tridimensional de objetos y superficies. • Sistemas digitales automatizados multitarea y multipropósito, de fácil |

| | | | |
|---|--|--|--|
| | | | <p>manejo, compatibles y abiertos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La integración de datos (alfanuméricos, gráficos y audiovisuales) en Sistemas de Información Geográfica (SIG), de diseño asistido por computador (CAD), base de datos (BD) e internet. • Las múltiples posibilidades que Internet está aportando en el mundo de la fotogrametría, como suministradores de datos espaciales y de sistemas de metainformación. |
| <p>La fotogrametría ha incursionado últimamente en la electrónica y la movilidad, lo que se denomina como: fotogrametría electrónica y fotogrametría móvil.</p> | | | |

Recopilado por Espín M. & Guano F., 2012.

2.1.3 Etapas de la Fotogrametría

Desde su invención la fotogrametría se ha llevado a cabo por técnicas características de cada época, que conjuntamente con invenciones mencionadas en el punto 2.1.2., incluyen las siguientes etapas:

a. La fotogrametría analógica

Surgió en la década de 1930, apoyada en los aparatos de restitución y es la responsable de la realización de la mayoría de la cartografía mundial. En ella, un par de fotografías son colocadas en un aparato restituidor de tipo óptico mecánico. El operador realiza en forma manual la orientación interior y exterior para crear el modelo estereoscópico debidamente escalado y nivelado. El levantamiento de la información planimétrica y altimétrica del modelo se realiza en forma manual, mediante el seguimiento de los detalles de la superficie del modelo con la marca flotante. Esta información es ploteada en una cartulina colocada sobre una mesa trazadora, la misma que se encuentra relacionada con el modelo por medios mecánicos o eléctricos (Jauregui L., 2006).

b. La fotogrametría analítica

Aparece en 1957 con el surgimiento de la computación y su interrelación con los aparatos restituidores analógicos. En este caso la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un monocomparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas (x, y) de los puntos en las fotografías, las cuales son procesadas por el software del sistema. Este realiza el procesamiento de la orientación interior y exterior en forma analítica y procesa el levantamiento de la información del modelo que realiza el operador, para llevarla a su correcta posición ortogonal, y finalmente almacenarla en una base de datos tipo CAD (Jauregui L., 2005).

c. La fotogrametría digital

Surge como consecuencia del gran desarrollo de la informática en los últimos años, que permitió realizar procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. Con la creación de la fotogrametría digital, los avances en la tecnología han incrementado las posibilidades de aprovechamiento de imágenes y han simplificado los procesos. El desarrollo tecnológico ha permitido la generación automática y la visualización de modelos tridimensionales, ortoimágenes y estereortoimágenes (Jauregui L., 2005).

La fotogrametría digital comienza a desarrollarse a partir del lanzamiento de los primeros satélites, que enviaban imágenes con píxeles de 80 metros sobre el terreno. Actualmente, los satélites KVR-1000, Ikonos y Quickbird, con resoluciones mejores que 1 metro, abren las puertas a las escalas grandes. Son cuatro décadas dedicadas a la conquista operativa de la resolución. El gran desarrollo de soportes multimedia, de algoritmos que permiten alcanzar precisión subpíxel y de algoritmos de compresión de imagen, permitieron que en el Congreso de la ISPRS de 1996 se declare definitivamente abierta la era digital (Gómez J., 2008).

Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes son ingresadas en un computador y mediante visualización el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes. Las salidas de este proceso pueden ser productos en formato ráster o vectorial (Jauregui L., 2006).

Actualmente, la fotogrametría digital enfrenta uno de los mayores retos de su historia, el cual es: automatizar las tareas fotogramétricas convencionales (medición, interpretación y reconstrucción de objetos o de superficies), realizadas por un operador experimentado. Sin embargo, la automatización total, no es un hecho real; de momento sólo es posible automatizar parcialmente ciertas partes del proceso fotogramétrico (Lerma J.L., 2002).

2.1.4. Fundamento de la Fotogrametría

La fotogrametría se basa en proyectar ortogonalmente, sobre un plano de referencia, una imagen de proyección central (Jauregui L., 2006). Esto se lleva a cabo, reconstruyendo (mediante intersección) los rayos homólogos de dos o más imágenes de perspectivas distintas (Sánchez J.A., 2007).

La fotogrametría asume una proyección central ideal, lo cual implica aceptar que la imagen es proyectada sobre una superficie perfectamente plana y tomar como cierta la inexistencia de desviación en los rayos de luz al momento de atravesar las lentes de la cámara (Jauregui L., 2006).

2.1.5. Procesos de la fotogrametría.

El método general de la fotogrametría está constituido por tres procesos, la orientación interna, la orientación relativa y la orientación absoluta, los mismos que se detallan a continuación:

a. Orientación interna

La orientación interna recrea matemáticamente la geometría que existía en la cámara en el momento de obtención de una imagen fotográfica (Lerma J.L., 2002).

En este proceso de orientación, se determinan las coordenadas del punto principal (x_0, y_0) respecto al centro fiducial determinado por la intersección de las marcas fiduciales. Para lo cual, se miden las coordenadas fotográficas de las marcas fiduciales y se comparan con las dadas en el certificado de calibración de la cámara (Sánchez J.A., 2007).

Además de proveer las coordenadas del punto principal, el certificado de calibración proporciona la distancia focal y la distorsión de las lentes del objetivo.

Mientras la distancia focal es un parámetro constante; la función de distorsión tiene principalmente un comportamiento radial, de tal forma que se puede comprobar que las alteraciones geométricas en la fotografía dependen fundamentalmente de la distancia al centro de proyección. Así, la función de distorsión dada por el certificado de calibración de la cámara consiste en una tabla que muestra el incremento en la distancia radial al centro de proyección (Sánchez J.A., 2007).

Asimismo, existen otras fuentes de error que deben considerarse, entre las cuales cabe mencionar la curvatura de la tierra, la refracción atmosférica y la deformación de la película (Pérez J.A., 2001).

b. Orientación relativa

Consiste en determinar en un par fotogramétrico las orientaciones angulares (3 giros) y la posición relativa (3 translaciones) en el momento de la toma, para asegurar que los rayos homólogos se intersequen (Sánchez J.A., 2007).

Según Vön Grüber, para lograr la formación del modelo se requieren un mínimo de cinco puntos de intersección (Pérez J.A., 2001), distribuidos como se muestra en la Figura 2.1.

En la resolución analítica para la obtención de coordenadas de un punto en el terreno a través de coordenadas fotográficas, pasa por la aplicación de métodos basados en las condiciones de colinearidad y coplanaridad (Buill F. et al, 2007).

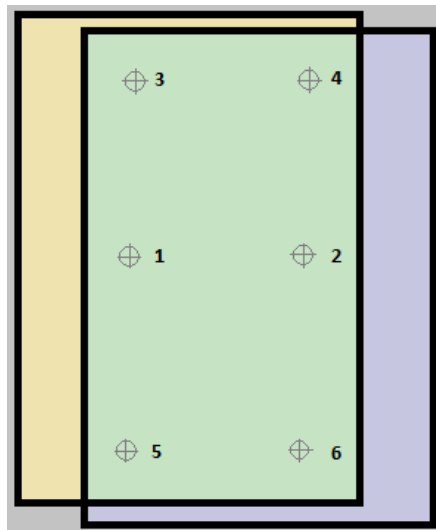


Figura 2.1. Distribución de los puntos de Von Grüber.

Espín M. & Guano F., 2012.

Como se muestra en la figura 2.2, la condición de coplanaridad establece que los centros de proyección (O_1 y O_2), puntos homólogos de las imágenes (a_1 y a_2) y punto en el terreno (A) están en el mismo plano (Pérez J. A., 2001).

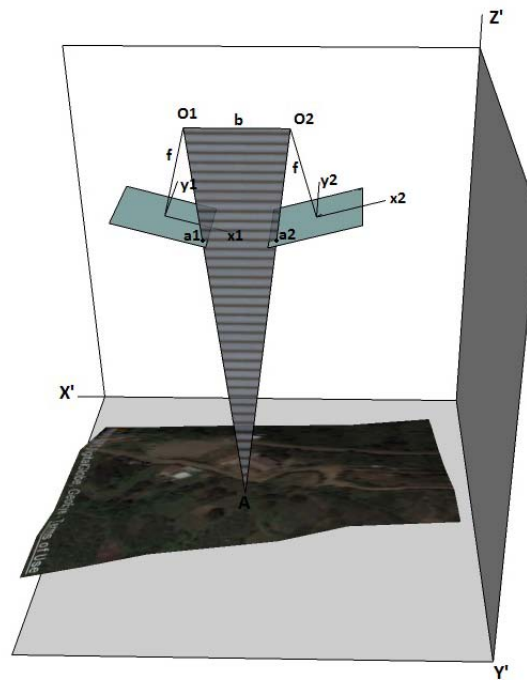


Figura 2.2. Condición de Coplanaridad.

Espín M. & Guano F., 2012.

Esta condición implica que el producto vectorial mixto de la base estereoscópica y los dos rayos homólogos sea 0 (Sánchez J.A., 2007), como se muestra en la ecuación 2.1.

$$\overrightarrow{O_1O_2} \cdot (\overrightarrow{O_1a_1} \times \overrightarrow{O_2a_2}) = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ x'_2 & y'_2 & z'_2 \end{vmatrix} = 0 \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

Aplicando una matriz de rotación R a los vectores $\overrightarrow{O_1a_1}$ y $\overrightarrow{O_2a_2}$ para referenciar las fotografías a un mismo sistema se tiene que:

$$\overrightarrow{O_1a_1} = \begin{pmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ z'_1 \end{pmatrix} = R_1 \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ f \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.2.}$$

$$\overrightarrow{O_2a_2} = \begin{pmatrix} x'_2 \\ y'_2 \\ z'_2 \end{pmatrix} = R_2 \cdot \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.3.}$$

Donde:

- x_1, y_1, x_2, y_2 son las coordenadas fotográficas de los a_1 y a_2 respectivamente.
- f es la distancia focal.
- R_1 y R_2 son matrices de rotación de ejes en función de los ángulos φ, κ, ω .

Para cada par de puntos homólogos se tiene una ecuación de coplanaridad (Ecuación 2.1.) que relaciona sus coordenadas fotográficas, x_1, y_1, x_2, y_2 , con los nueve parámetros $\omega_1, \varphi_1, \kappa_1, \omega_2, \varphi_2, \kappa_2, b_x, b_y, b_z$. En general, se fijan de antemano cuatro de los parámetros, por lo que se necesita un mínimo de cinco pares de puntos homólogos para poder determinar las incógnitas restantes. Usualmente se emplean más puntos de los estrictamente necesarios para obtener los parámetros mediante mínimos cuadrados con el fin de compensar errores en las foto coordenadas (Buill F. et al, 2003).

Según Gómez J. (2008), es importante considerar que el sistema cartesiano puede definirse arbitrariamente, lo que deriva en la existencia de tres métodos de resolución de la Orientación Relativa:

- El método del Proyector Derecho en el que el sistema de referencia coincide con el de la imagen izquierda, siendo necesario determinar la posición y orientación de la imagen derecha respecto de la izquierda.
- El método del Proyector Izquierdo en el que el sistema de referencia coincide con el de la imagen derecha, siendo necesario determinar la posición y orientación de la imagen izquierda respecto de la derecha.
- El método de la base, en el que el sistema de referencia coincide con la base, siendo necesario determinar la orientación de las imágenes derecha e izquierda respecto de la base.

En todo caso, se debe tomar en cuenta, que para cualquier método de resolución del sistema planteado, intervienen como incógnitas los ángulos de la matriz de rotación (ω , φ , κ) y los componentes del vector base (b_y , b_z), ya que la condición de coplanaridad implica la ausencia de paralaje vertical (Sánchez J.A., 2007).

Por otro lado, como se observa en la figura 2.3., la condición de colinealidad parte del principio básico de que el centro de proyección (O), el punto imagen en la fotografía (a) y el punto del terreno (A) se encuentran sobre la misma recta (Buill F. et al, 2007).

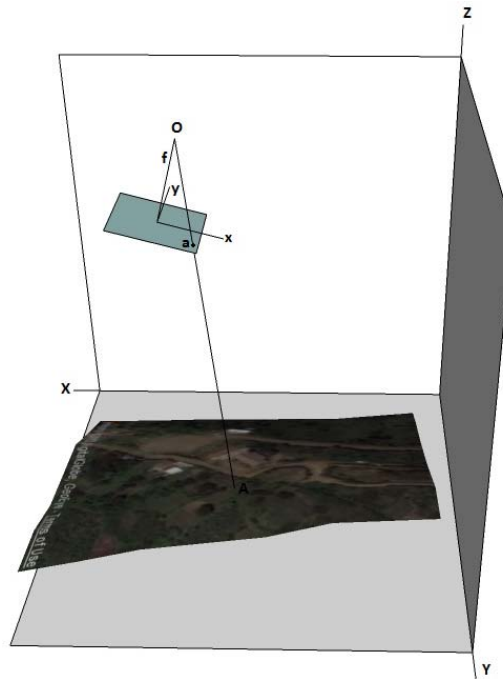


Figura 2.3. Condición de Colinealidad.

Espín M. & Guano F., 2012.

Si se tienen los puntos:

- $A(X, Y, Z)$ de coordenadas en el terreno.
- $O(X_0, Y_0, Z_0)$ de coordenadas en el terreno.
- $a(x, y, 0)$ de coordenadas fotográficas.
- $O(x_0, y_0, f)$ de coordenadas fotográficas.

Entonces:

$$\vec{Oa} = \lambda \cdot \vec{OA} \quad \text{Ecuación 2.4.}$$

Donde:

- λ es un factor de escala.

Escribiendo los vectores que componen la ecuación 2.4 en función de sus coordenadas se tiene:

$$\overrightarrow{Oa} = \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.5.}$$

$$\overrightarrow{OA} = \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.6.}$$

Para poder trasportar un sistema hacia otro y establecer la condición de colinealidad de ambos vectores, es necesario aplicar una transformación, haciendo que ambos sistemas sean paralelos a través de una matriz de rotación de elementos a_{ij} (Sánchez J. A. 2007):

$$\begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{pmatrix} = \lambda \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.7.}$$

Escribiendo la ecuación 2.7 en tres expresiones se tiene:

$$x - x_0 = \lambda \cdot [a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)] \quad \text{Ecuación 2.8.}$$

$$y - y_0 = \lambda \cdot [a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)] \quad \text{Ecuación 2.9.}$$

$$-f = \lambda \cdot [a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)] \quad \text{Ecuación 2.10.}$$

Dividiendo la ecuación 2.8 y 2.9 para 2.10 se tiene:

$$x - x_0 = -f \cdot \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad \text{Ecuación 2.11.}$$

$$y - y_0 = -f \cdot \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad \text{Ecuación 2.12.}$$

Las ecuaciones 2.11 y 2.12 son conocidas como ecuaciones de colinealidad, donde los elementos a_{ij} de la matriz de rotación R vienen dados por tres rotaciones sucesivas alrededor de los ejes principales (Sánchez J. A., 2007), como se muestra en la ecuación 2.13.

$$R = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{pmatrix}$$

Ecuación 2.13.

Ya que el sistema compuesto por las ecuaciones 2.11 y 2.12 no es lineal, se puede aplicar un desarrollo de Taylor de primer orden para linealizarlo y a partir de valores aproximados de los parámetros, para cada punto de control se tienen dos ecuaciones 2.14 y 2.15.

$$x = x_0 + \frac{\partial x}{\partial \omega} \Delta\omega + \frac{\partial x}{\partial \varphi} \Delta\varphi + \frac{\partial x}{\partial \kappa} \Delta\kappa + \frac{\partial x}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial x}{\partial Y_0} \Delta Y_0 + \frac{\partial x}{\partial Z_0} \Delta Z_0 \quad \text{Ecuación 2.14.}$$

$$y = y_0 + \frac{\partial y}{\partial \omega} \Delta\omega + \frac{\partial y}{\partial \varphi} \Delta\varphi + \frac{\partial y}{\partial \kappa} \Delta\kappa + \frac{\partial y}{\partial X_0} \Delta X_0 + \frac{\partial y}{\partial Y_0} \Delta Y_0 + \frac{\partial y}{\partial Z_0} \Delta Z_0 \quad \text{Ecuación 2.15.}$$

En forma de matriz las ecuaciones 2.14 y 2.15 se escriben como se muestra en la ecuación 2.16:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial \omega} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} & \frac{\partial x}{\partial \kappa} & \frac{\partial x}{\partial X_0} & \frac{\partial x}{\partial Y_0} & \frac{\partial x}{\partial Z_0} \\ \frac{\partial y}{\partial \omega} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} & \frac{\partial y}{\partial \kappa} & \frac{\partial y}{\partial X_0} & \frac{\partial y}{\partial Y_0} & \frac{\partial y}{\partial Z_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\varphi \\ \Delta\kappa \\ \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.16.}$$

Posteriormente se efectuará la estimación paramétrica mediante iteración del método de mínimos cuadrados para la resolución del sistema (Buill F. et al, 2007).

c. Orientación absoluta

Es el posicionamiento, nivelación y orientación del modelo con respecto al sistema de referencia terrestre. Para resolver las 7 incógnitas que plantea este problema se necesitan al menos 3 puntos de control o puntos de apoyo medidos en el terreno (X, Y, Z) e identificables en los fotogramas. Con las coordenadas terreno se puede llevar el modelo a su posición absoluta en el espacio (3 traslaciones) y fijar la orientación del modelo respecto al sistema de coordenadas (3 giros) (Sánchez J. A., 2007).

Matemáticamente, el problema se reduce a resolver un sistema de ecuaciones por medio de una transformación de semejanza tridimensional (Pérez J. A., 2001), como se observa en la ecuación 2.17:

$$\begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{pmatrix} = \lambda \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2.17.}$$

Donde:

- t hace referencia a coordenadas en el terreno (datos).
- m se refiera a coordenadas en el modelo (datos).
- λ es factor de escala (incógnita).
- R es la matriz de rotaciones en función ω , κ , ϕ (incógnitas).
- T_x , T_y , T_z con las traslaciones (incógnitas).

Cada punto de control forma 3 ecuaciones, por lo que, para cada modelo estereoscópico se necesitan al menos tres puntos de apoyo para la resolución del sistema (Sánchez J. A., 2007).

Efectuadas todas las fases de orientación (orientación interna, relativa y orientación absoluta) y ya que se conocen todos los parámetros que permiten pasar de un sistema a otro, se podrá obtener directamente las coordenadas terreno para cualquier punto que se mida en el sistema del comparador (Pérez J. A., 2001).

2.1.6. Técnicas Fotogramétricas

Según Jauregui L. (2006), a lo largo del tiempo se han desarrollado varios métodos fotogramétricos que se han ajustados a los diferentes campos de aplicación. Consecuentemente esto llevó a la creación de equipos específicos capaces de aplicar todas estas técnicas especializadas. Agrupando estas técnicas y equipos en torno a sus campos de aplicación (ver tabla 2.2), se obtienen tres grandes grupos dentro de la fotogrametría, los cuales se exponen a continuación:

a. Fotogrametría Aérea

Es aquella que utiliza fotografías tomadas desde una cámara aerotransportada, lo que implica que la toma casi siempre es vertical. Generalmente, las cámaras usadas son de formato 23×23 cm, ya que son las más apropiadas para los trabajos cartográficos a los cuales está destinada. Actualmente la importancia de la fotografía aérea de pequeño formato va en ascenso debido a las ventajas económicas y de accesibilidad que ofrece. Otra aplicación que gana importancia es la fotogrametría espacial, que utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites de observación que se encuentran en órbita (Jauregui L., 2006).

b. Fotogrametría Terrestre

Es la técnica que utiliza fotografías tomadas sobre un soporte terrestre; debido a esto, la posición geográfica y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos de antemano. Fue la primera aplicación práctica de la

fotogrametría y hoy en día se usa principalmente en labores de apoyo a la arquitectura, arqueología, ingeniería estructural y en levantamientos topográficos de terrenos muy escarpados. Se suelen incluir a las aplicaciones arquitectónicas y arqueológicas dentro de la fotogrametría de corto alcance (objetos cercanos); no obstante, cuando los objetos levantados se relacionan con su posición sobre el terreno, se habla de una actividad de carácter terrestre o topográfica (Jauregui L., 2006).

c. Fotogrametría de corto alcance (objetos cercanos)

En general, agrupa a aquellas aplicaciones que no tienen carácter geodésico o topográfico (ver tabla 2.2); se aplica para resolver problemas singulares y muy específicos. Esta división es la que abarca la mayor amplitud de técnicas para la toma de fotografías y su posterior restitución (Jauregui L., 2006).

Tabla 2.2. Principales Aplicaciones de la Fotogrametría.

| Campo de aplicación | Aplicación | Técnica |
|---------------------|---|--|
| Cartografía | <ul style="list-style-type: none"> • Generación de cartografía base • Generación de cartografía temática como mapas de usos del suelo, tipos de suelo, geomorfológicos y geológicos. • Generación de cartografía catastral. | Fotogrametría aérea |
| Topografía | <ul style="list-style-type: none"> • Levantamientos topográficos a través de fototeodolitos. | Fotogrametría terrestre |
| SIG | <ul style="list-style-type: none"> • Integración de productos fotogramétricos a bases de datos digitales. | Fotogrametría área, terrestre y de corto alcance |
| Arquitectura | <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento de monumentos. • Levantamiento edificaciones de importancia arquitectónica. (En esta categoría se incluyen las aplicaciones arquitectónicas a ser desarrolladas en la presente tesis). | Fotogrametría terrestre y de corto alcance |

| | | |
|----------------|--|--|
| Arqueología | <ul style="list-style-type: none"> Levantamiento de sitios arqueológicos. Construcción de modelos digitales tridimensionales de objetos de importancia arqueológica. | Fotogrametría terrestre y de corto alcance |
| Criminalística | <ul style="list-style-type: none"> Reconstrucción de escenas del crimen y choques. | Fotogrametría de corto alcance |
| Zoología | <ul style="list-style-type: none"> Construcción de modelos digitales tridimensionales de seres vivos. | Fotogrametría de corto alcance |
| Medicina | <ul style="list-style-type: none"> Elaboración de modelos digitales de la anatomía humana. | Fotogrametría de corto alcance |
| Mecánica | <ul style="list-style-type: none"> Generación de modelos para aplicaciones automotrices, aeronáuticas, navales e industriales. | Fotogrametría de corto alcance |

Recopilado por Espín M. & Guano F., 2012.

2.2 LAS CÁMARAS

La fotogrametría se basa en la restitución de un objeto a través de fotografías obtenidas por una cámara. Según Tarrés F. (2002), este dispositivo constituye uno de los elementos más importantes en cualquier sistema de captura de información visual; su función básica es convertir una escena tridimensional en una señal temporal, analógica o digital, que pueda ser tratada, almacenada en soporte óptico o magnético, o modulada para transmitirse a un receptor remoto.

2.2.1 Partes de la cámara fotográfica

En la figura 2.4 se observan los componentes básicos de una cámara fotográfica.

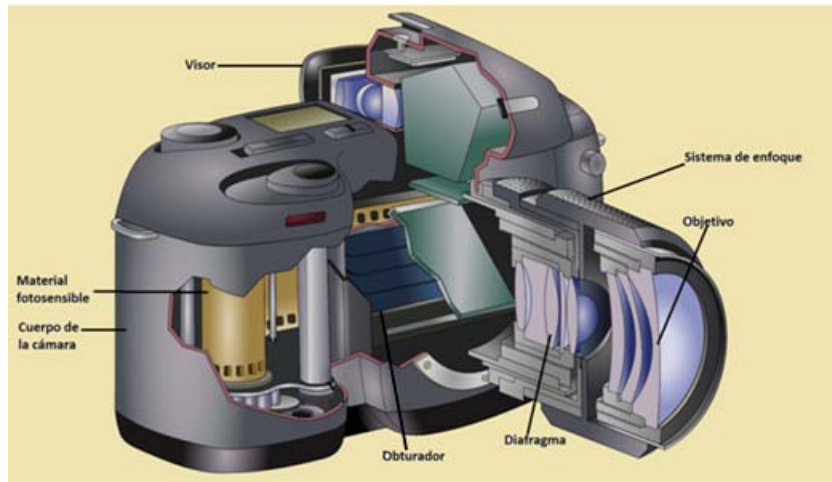


Figura 2.4. Partes fundamentales de una cámara fotográfica.

Fuente: Wikipedia, 2011

Adaptado por Espín M. & Guano F., 2012.

Asimismo, en la tabla 2.3 se detallan los componentes generales y específicos de los dispositivos fotográficos digitales y analógicos.

Tabla 2.3. Partes de la cámara fotográfica digital y analógica.

| Parte de la cámara | Descripción | Tipo de cámara |
|----------------------|---|-------------------|
| Cuerpo de la cámara | Es una caja hermética y completamente aislada a la luz donde se aloja la película fotográfica o el sensor de imagen. | Todas las Cámaras |
| Objetivo | Es una lente de vidrio que genera la imagen del sujeto sobre el plano de la película. | Todas las Cámaras |
| Abertura o diafragma | Es un disco de diámetro variable que controla la cantidad de luz que entra al cuerpo. Está alojado en el objetivo. | Todas las Cámaras |
| Obturador | Es un dispositivo que interfiere el paso de la luz hacia la película o sensor de manera que se controle el tiempo de exposición. | Todas las Cámaras |
| Sistema de enfoque | Es el mecanismo que permite variar la distancia entre el objetivo y plano focal o de la película para conseguir la nitidez en una imagen. | Todas las Cámaras |

| | | |
|---|---|-------------------|
| Visor | Es la ventana a través de la cual el operador encuadra y compone la imagen. En las cámaras digitales se presentan en forma de pantallas. | Todas las Cámaras |
| Película | Es un material fotosensible que sufre una reacción química cuando se expone a la luz. | Cámara analógica |
| Anillo de velocidades | Es un elemento de forma circular, que selecciona la velocidad de obturación en la cámara. | Cámara analógica |
| Manija de rebobinado | Rebobina la película cuando ya ha sido utilizada. | Cámara analógica |
| Palanca de arrastre | Desplaza los cuadros ya expuestos. | Cámara analógica |
| Anillo de enfoque | Enfoca educadamente la imagen a fotografiarse. | Cámara analógica |
| Anillo de aberturas | Ajusta y selecciona la abertura del diafragma. | Cámara analógica |
| Sensor de imagen | Es un elemento compuesto por varios semiconductores de silicio que captan fotones para transformarlos en una serie de valores (números digitales) almacenados en celdas llamadas píxeles. Los sensores más usados son los CCD (dispositivo de carga acoplada) Y CMOS (Semiconductores de óxido de metal). | Cámara Digital |
| Dispositivo ADC (Convertidor Analógico-Digital) | Convierte en código binario los impulsos eléctricos captados por los sensores de imagen. | Cámara Digital |
| Dispositivo DSP (Procesador de Señal Digital) | Controla el sistema electrónico de la cámara y procesa las imágenes para enviarlas al dispositivo de almacenamiento. | Cámara Digital |
| Circuitos electrónicos | Todo elemento electrónico ligado al funcionamiento de la cámara. | Cámara Digital |
| Dispositivo de almacenamiento | Dispositivo removible (tarjetas de memoria) o interno en el cual se guardan las imágenes tomadas. | Cámara Digital |

Recopilado por Espín M. & Guano F., 2012.

2.2.2 Tipos de Cámaras fotográficas

Las cámaras pueden clasificarse según ciertas variables, como por ejemplo la precisión y modo de captura. Considerando el criterio de precisión se tienen cámaras métricas, semimétricas y no métricas. Por otro lado según el modo de captura los dispositivos pueden ser digitales y analógicos.

a. Cámara fotográfica analógica

Según Santa Cruz J. (2005), la gran ventaja de este tipo de dispositivos es su bajo costo; potencialmente son las más precisas, excluyendo a las métricas, debidos a la gran resolución que se obtiene con la película fotosensible; en la práctica estas cámaras son menos aconsejables que las digitales, ya que las fotografías obtenidas tendrán que digitalizarse con un escáner. Además, en el proceso de revelado y digitalización, incorporan errores importantes al proceso debido a deformaciones que inciden en la precisión de la restitución.

Algunos programas informáticos dedicados a la restitución incluyen una placa transparente con marcas fiduciales que se incorpora al cuerpo de la cámara (las cámaras métricas tienen incorporada esta placa). Una vez calibrada la cámara, las imágenes se orientan respecto a las marcas fiduciales que quedan sobreimpresas en cada fotografía, lo que aumenta la precisión final del proceso, ya que permiten corregir los desplazamientos y distorsiones que se producen en el revelado, positivado y digitalización, así como la distorsión propia de la construcción de los lentes y sistema óptico.

La desventaja de este tipo de aparatos, reside en el costo que tiene cada fotografía en comparación a las obtenidas por dispositivos digitales; además, el tiempo entre la toma de la imagen y su utilización en el ordenador es mayor.

A continuación, la figura 2.5, muestra en resumen el proceso de adquisición de fotos para la restitución con cámaras analógicas.

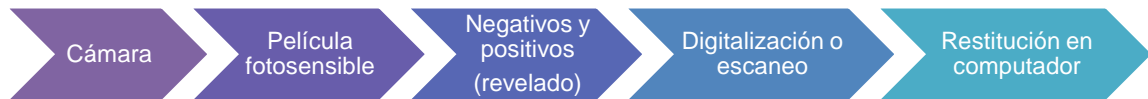


Figura 2.5. Proceso de adquisición de fotografías para la restitución con una cámara analógica.

Espín M. & Guano F., 2012.

b. Cámara fotográfica digital

La cámara digital difiere de su equivalente analógica, en que ésta sustituye el plano focal de la película por un sensor electrónico (Pérez J. A., 2001). Entre los sensores de mayor uso se encuentran los dispositivos de carga acoplada (CCD) y los dispositivos de semiconductores de óxido de metal (CMOS).

En la figura 2.6 se aprecian los componentes que intervienen en el proceso de obtención de una imagen digital:

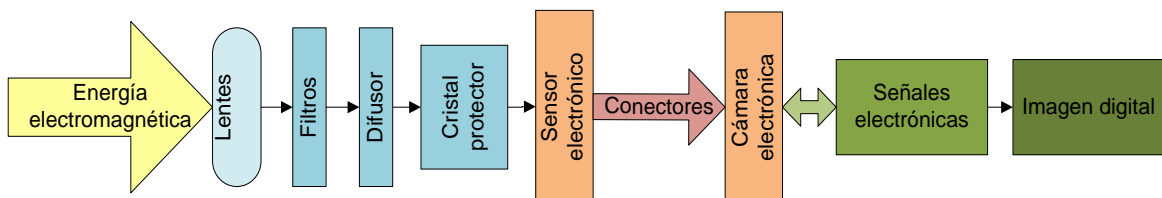


Figura 2.6. Esquema de una cámara digital.

Espín M. & Guano F., 2012.

Entre las ventajas de este tipo de cámaras están:

- La disponibilidad inmediata de los datos, pudiendo estos analizarse y evaluarse inclusive durante la toma.
- El bajo costo de cada fotografía.
- El aumento progresivo de resolución espacial, debido a los crecientes avances tecnológicos.
- La mayor precisión en la calibración cámaras al no tener que digitalizarla para su lectura en un ordenador.

En la actualidad han surgido nuevos campos de aplicación para estos dispositivos, dado que llevan sensores (CCD o CMOS) que cubren un mayor rango del espectro electromagnético. Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta es la resolución de la cámara, ya que mientras más alta sea, se podrá conseguir una mejor precisión en la restitución de los puntos, por lo que sí es posible, se deberá trabajar con la máxima disponible (Santa Cruz J. 2005).

c. Cámara métrica

La cámara métrica, llamada también cámara fotogramétrica, es una cámara fotográfica cuyos elementos de orientación interior son conocidos y cuya calidad geométrica es tal, que se puede considerar como una proyección central ideal. Como consecuencia de esta calidad geométrica, este tipo de cámaras debe tener foco fijo, ya que cualquier variación en el enfoque haría variar el ángulo de apertura (Jauregui L., 2006).

d. Cámara semimétrica

Son cámaras fotográficas ordinarias ajustadas para usos fotogramétricos. Son dispositivos más sólidos, debido a la colocación de una retícula de calibración la cual permite eliminar hasta cierto punto la distorsión y la deformación. Esta red

de puntos puede ser introducida por medio de una placa en el plano focal (Lerma J.L., 2002).

e. Cámara no métrica

Son cámaras en las que se prioriza la calidad de gráfica sobre la calidad geométrica; en estos dispositivos no existen marcas fiduciales o retículas de graduadas, por lo que se requiere una calibración previa para usos fotogramétricos. La utilización de estos instrumentos es muy amplia en aplicaciones de fotogrametría terrestre y de corto alcance, generalmente en proyectos de precisiones y presupuestos bajos (Silva L., 1999) (Rodríguez A. L. et al, 2012).

2.2.3 La película fotográfica

De acuerdo a Sánchez J. A. (2007), la calidad de una imagen está en función del poder de resolución (número de líneas por milímetro), respuesta a la energía radiante y propiedades de la película fotográfica (granularidad y concentración de la emulsión).

La película está formada por un soporte o base de vidrio, celulosa o de poliéster, sobre el cual se distribuye una emulsión compuesta de cristales de yoduro y bromuro de plata suspendidos en gelatina; a continuación del soporte, se encuentra un respaldo llamado anti halo que impide la formación de zonas brillantes por efecto de reflexiones en la base (Jauregui L., 2006).

Por otra parte, la emulsión se deposita en forma de un material particulado llamado grano, el cual caracteriza a la película en función de su tamaño. Las películas rápidas (períodos de exposición cortos) poseen granos gruesos y tienen una resolución baja; al contrario, las películas lentas (períodos de exposición largos) están compuestas de granos finos y muestran una gran resolución. Esta

relación entre el tamaño de las partículas y la resolución requerida, produce una disyuntiva en el momento de la toma, ya que se precisan tiempos de exposición bajos, para evitar desplazamientos de imagen debido al movimiento, y simultáneamente se requiere obtener la mayor resolución posible, por lo que es necesario equilibrar estos dos factores (Sánchez J. A., 2007).

La forma habitual de medir las propiedades fotosensibles de una emulsión es con su curva característica, la cual representa la variación de densidad en función del logaritmo en base diez de la exposición (Martínez M. et al, 1998). Las películas poseen desde su fabricación una determinada curva característica, la cuales, usan para su denominación escalas de la American Standard Association (ASA) o de la International Standard Office (ISO) (Lynn G. et al, 2007).

En cuanto a la reacción que tiene la emulsión ante las diferentes longitudes de onda, podemos clasificar las películas en ortocromáticas (hasta 0.6 micras de longitud de onda), en pancromáticas (todo el espectro visible) y en infrarrojas (hasta 1,5 micras de longitud de onda) (Jauregui L., 2006).

Habitualmente se manejan emulsiones en blanco y negro, ya que tienen mayor contraste, aunque los fotogramas en color ofrecen más ventajas en cuanto a fotointerpretación de elementos. Por otra parte la combinación de filtros y película brindan mejores opciones para fotointerpretar fenómenos propios de una determinada zona espectral (Sánchez J. A., 2007).

2.2.4 La imagen digital

De acuerdo a Sánchez J. A. (2007), actualmente, la fotogrametría analógica y analítica han dado paso a la fotogrametría digital, por lo que todas las operaciones y procesos se realizan sobre imágenes digitales en estaciones fotogramétricas instaladas en un computador.

Una imagen digital es una matriz, en la cual, cada celda (píxel) con coordenadas x e y, tiene atribuido un valor numérico correspondiente a la energía electromagnética captada por un sensor. Esta matriz de píxeles puede ser unidimensional (una banda), como en las imágenes pancromáticas, o multidimensional como en las imágenes a color. Las matrices que poseen varias bandas están formadas por la superposición de tres o más capas que cubren una parte del espectro electromagnético (Vozmediano D., 2006). Las imágenes de satélite suelen tener múltiples dimensiones o bandas donde almacenan información de diferentes intervalos del espectro (ultravioleta, visible, infrarrojo próximo, medio, lejano). Incluso las imágenes multispectrales almacenan la información de pequeños intervalos del espectro y pueden llegar a poseer más de 100 capas (Sánchez J. A. ,2007).

Aunque algunas imágenes son digitales, su adquisición puede ser analógica, la razón de esto radica en que la adquisición de cámaras métricas digitales es muy costosa, por lo que, para usar fotografías convencionales en un ordenador, estas deben ser escaneadas mediante dispositivos de alta resolución. Conforme indica Sánchez J. A. (2007), es importante no perder resolución en la digitalización, por ello se suele utilizar la relación entre pares de líneas por mm y el tamaño de píxel (ver ecuación 2.18).

$$\text{Tamaño de píxel (mm)} \llcorner \frac{0,7}{2(\text{Pares de líneas por mm})} \quad \text{Ecuación 2.18.}$$

Según Lerma J. L. (2002), las imágenes digitales muestran diferentes tipos de resolución de acuerdo al parámetro de medición como se muestra a continuación:

- La resolución espacial está dada por el tamaño de los píxeles que componen la imagen; de modo que, un píxel de gran tamaño ocasiona pérdida de información, mientras que, un píxel pequeño se traduce en un mayor nivel de detalle (Pérez J. A., 2001).

- La resolución radiométrica es el número de niveles digitales que puede tomar cada píxel y depende del número de bits que se utilicen para la codificación. Si la imagen se codifica en 8 bits, se tendrán 2^8 o 256 posibles valores a almacenar en cada elemento de la matriz. En una imagen en blanco y negro se tendrá desde el negro (0) hasta el blanco (255) (Sánchez J. A., 2007).
- La resolución espectral indica el rango de longitudes de onda del espectro electromagnético registrado en la imagen digital. Mientras mayor es el número de bandas espectrales, mayor es la precisión alcanzada en la creación de patrones de respuesta espectral (Lerma J. L., 2002).

2.3 MODELADO 3D

Un modelo, es la interpretación de una realidad o fenómeno que se desarrolla en una aérea determinada (Maldonado C. & Gómez N., 2010).

En general, el modelado en tres dimensiones se refiere tanto a la creación tridimensional de objetos, como a la generación imágenes y animaciones 3D (Solórzano J. L., 2009). En la actualidad, existen varios programas que se adaptan a necesidades concretas en diferentes áreas de estudio; cada software posee diversas opciones para obtener modelos de la realidad, una de éstas técnicas es la fotogrametría.

De acuerdo a Solórzano J. L. (2009), se puede seguir el siguiente proceso, el cual se ilustra en la figura 2.7:

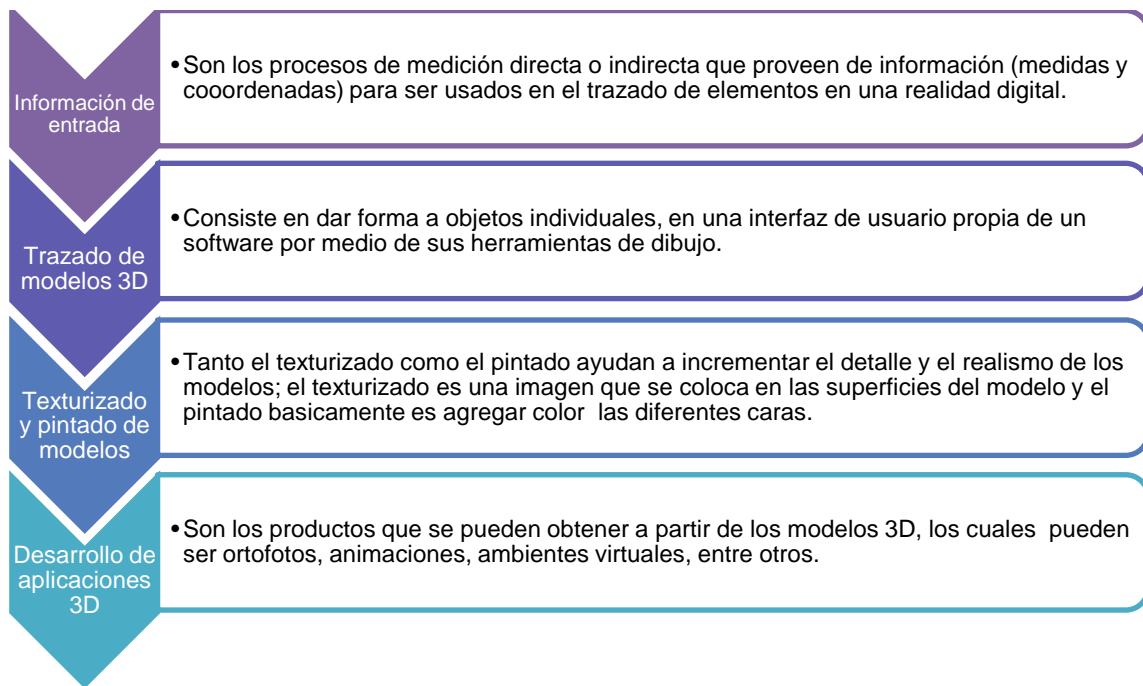


Figura 2.7. Proceso de Modelado 3D.

Adaptado por Espín M. & Guano F., 2012.

2.3.1 Software PhotoModeler Pro 6

PhotoModeler, es un programa que permite obtener modelos tridimensionales a partir de fotografías tomadas desde distintos ángulos, valiéndose de una cámara calibrada como mecanismo de entrada; además, el software permite capturar detalles precisos en un periodo de tiempo corto. En la figura 2.8, se observa la pantalla de inicio de PhotoModeler Pro versión 6.

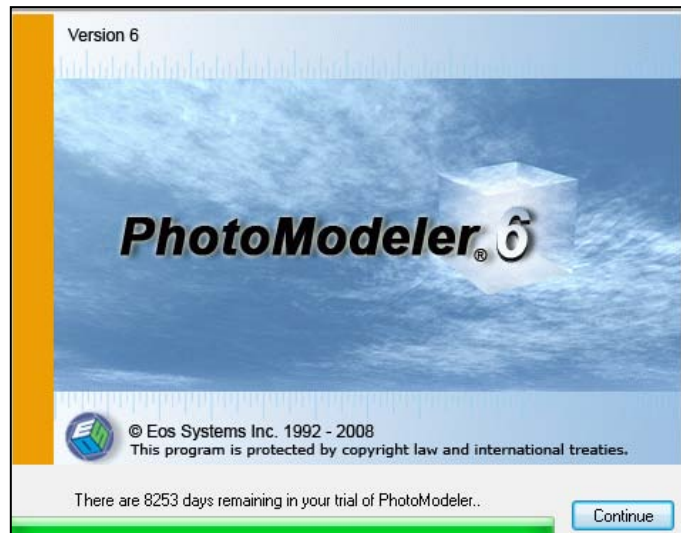


Figura 2.8. Pantalla de inicio de PhotoModeler Pro 6.

Espín M. & Guano F., 2012.

Para la elaboración de un modelo 3D, se toman una o varias fotografías, las mismas que se observan en el visualizador del software para que el operador señale los puntos de interés a restituirse. Las marcas se transforman en puntos, líneas, curvas, cilindros o polígonos, consolidados en el espacio. El resultado es un modelo 3D que puede exportarse a cualquier software de modelado compatible con el formato de diseño asistido por computadora (CAD).

a. Interfaz de usuario de PhotoModeler

PhotoModeler es un programa que funciona bajo el sistema operativo Microsoft Windows. Su ambiente básicamente sigue un diseño compuesto por barras de herramientas, menús y ventanas. En la figura 2.9 se muestra la interfaz de usuario de PhotoModeler Pro 6.

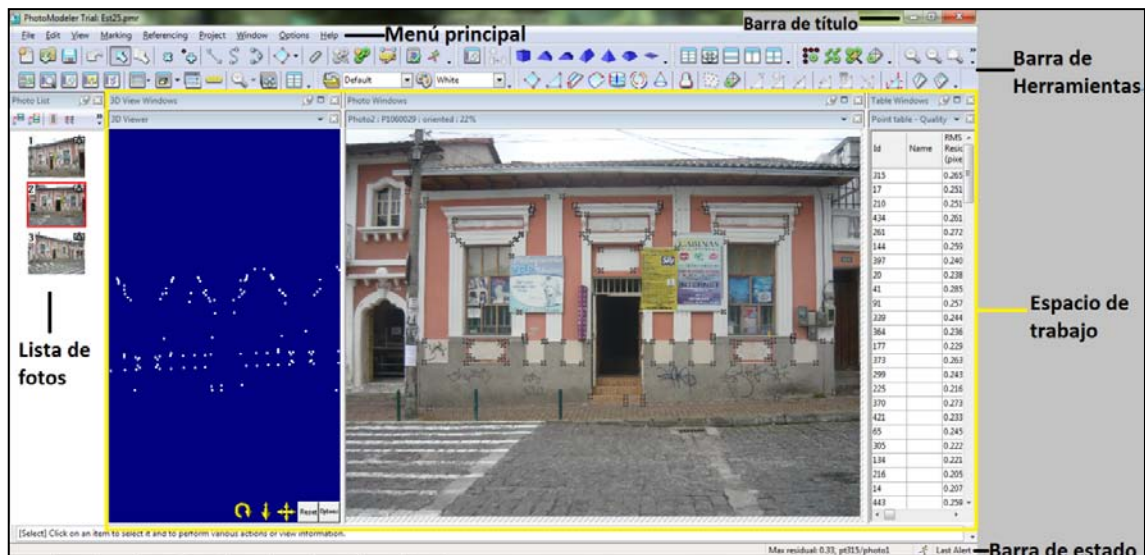


Figura 2.9. Interfaz de usuario de PhotoModeler Pro 6.

Espín M. & Guano F., 2012.

Los elementos de pantalla de PhotoModeler son:









- **Barra de título:** es el espacio situado en la parte superior de la pantalla, contiene 3 botones (maximizar, minimizar, cerrar) y el título del archivo en uso.
- **Menú principal:** se ubica debajo de la barra de título. Las entidades en este menú despliegan sub menús específicos del programa; seleccionando cualquiera de éstos con el botón izquierdo del ratón, se habilitará la orden elegida.
- **Barra de herramientas:** se sitúa debajo del menú principal; esta barra contiene dos filas de botones, los cuales ejecutan las herramientas más usadas en el software. Siendo algunos de los acceso herramientas y otros acciones inmediatas; los tres primeros botones son usados para crear, abrir y salvar proyectos de medición.
- **Espacio de trabajo:** es el área donde se abren las fotografías, perspectivas 3D y tablas; inicialmente se encuentra vacío cuando se carga el programa.




















- **Listado de fotos:** en esta ventana se despliegan todas las fotografías que formen parte del proyecto, las mismas que se visualizan como pequeñas imágenes a la izquierda de la interfaz. Esta ventana puede cambiar de tamaño y moverse para dejar más espacio de trabajo.
- **Barra de estado:** es el espacio reservado en la parte inferior de la pantalla donde se despliega información sobre la herramienta o botón que se señale con el cursor, además muestra errores y residuales de los procesos ejecutados.




b. Herramientas de PhotoModeler Pro 6

El software posee varias herramientas para la creación de modelos 3D, entre las principales, se encuentran las descritas en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Principales herramientas de PhotoModeler.

| Herramienta | Descripción | Ícono |
|-----------------------|--|---|
| Getting Started | Abre el panel de inicio, para la creación de un nuevo proyecto, abrir un proyecto existente o acceder a la ayuda de el Software. |  |
| Open Project | Abre un proyecto existente previamente guardado. |  |
| Save Project | Salva el proyecto en uso. |  |
| Undo | Deshace una acción ejecutada. |  |
| Select Items Mode | Selecciona elementos en fotos, tablas, vistas 3D. Al usar esta herramienta en un elemento, la barra de información muestra información acerca del mismo. |  |
| Region Select | Define temporalmente una región alrededor de los ítems seleccionados. |  |
| Mark Point Mode | Marca en la foto los objetivos o elementos a restituirse. Estos puntos deben referenciarse para obtener una posición 3D. |  |
| Sub pixel Target Mode | Marca un punto en una región seleccionada. |  |

| | | |
|--------------------------|---|---|
| Mark Lines Mode | Marca una línea entre dos puntos marcados. |  |
| Mark Curves Mode | Marca una curva entre dos puntos marcados. |  |
| Curves Through Points | Dibuja una curva a través de puntos 3D seleccionados. |  |
| Path Mode | Dibuja una superficie seleccionando varios puntos. |  |
| Mark Cylinders Mode | Marca un cilindro en la fotografía seleccionada. |  |
| Quick Reference Selected | Referencia dos o más elementos seleccionados del mismo tipo. |  |
| Referencing Mode | Referencia ítems seleccionados un elemento de partida en una vista y referenciándolo con sus homólogos en otras imágenes. |  |
| Scale/Rotate | Agrega unidades y un sistema de coordenadas escalando, rotando y/o trasladando el modelo. |  |
| Project Status Report | Despliega el reporte de estado del proyecto en una vista. |  |
| Process | Procesa el proyecto para crear el modelo 3D y recrear las posiciones de toma de la cámara usada. |  |
| Photo List | Muestra el listado de fotos en una vista, lo cual permite abrir las imágenes en el proyecto y conocer sus propiedades. |  |
| Visibility on Photos | Despliega un panel que permite ver y manipular las opciones de visualización de las fotografías. |  |
| Shapes Explorer | Permite visualizar el explorador de superficies. |  |
| Imports Explorer | Ejecuta el explorador de elementos importados al proyecto. |  |
| Properties | Abre una ventana que muestra todas las propiedades de los elementos seleccionados. |  |
| Table Windows | Genera, organiza y abre las diferentes tablas que componen el proyecto. |  |
| Open 3D View | Muestra una vista 3D del proyecto. |  |
| Enhance View | Despliega un panel que permite manipular las opciones de visualización de una fotografía seleccionada. |  |
| Measurements | Abre un panel que muestra las medidas asociadas a un objeto seleccionado. |  |

| | | |
|------------------|--|---|
| Zoom In Mode | Permite alejar, acercar y mover una imagen seleccionada. |  |
| Zoom To Fit All | Ordena todas las fotografías abiertas para que se visualicen en su totalidad en la vista que las contiene. |  |
| Tile Active Pane | Ordena todas las ventanas contenidas en una vista seleccionada. |  |

Fuente: Eos System Inc., 2008

Recopilado por Espín M. & Guano F., 2012.

c. Calibración de la cámara

La calibración es el proceso que determina los parámetros de la cámara para que esta pueda ser usada como instrumento de medición. PhotoModeler requiere una descripción de la cámara a utilizarse en la toma de fotografías. Cada cámara necesita su propia calibración y se utilizará para todas las secuencias y pasos del proyecto. La descripción contiene información de la focal, la resolución, centro de proyección y distorsión de las lentes. El software utiliza esta información para crear una relación geométrica entre los puntos de la fotografía y los puntos en el espacio tridimensional. El archivo de calibración, detalla los parámetros del dispositivo y de las lentes. Es importante considerar, que si alguno de estos elementos no cumple con los requerimientos establecidos por el programa, se efectuará una nueva calibración (Eos System Inc., 2008).

De acuerdo a la función "Automatic Camera Calibrator" disponible en el programa, la calibración de la cámara, es un proceso de dos etapas. Primero, el calibrador utiliza técnicas de análisis de imágenes para localizar puntos de control en cada fotografía de la rejilla de calibración provista por el software. Después las posiciones de estos puntos usan para calcular numéricamente los parámetros de la cámara. Estas etapas se denominan:

- Etapa 1 o de automarcado de puntos.
- Etapa 2 o procesado de cámara.

d. Planificación de la toma

Este proceso consiste en determinar la posición de las tomas de manera anticipada; ya que, los proyectos están compuestos por varias fotos que deben cumplir con las condiciones geométricas requeridas por el software; adicionalmente, al planificar las fotografías, se deberá tener especial cuidado en asegurarse de que todos los puntos y detalles sean capturados en las mismas. Por ejemplo, si se necesita toda la forma y dimensión de la fachada de un edificio, pero también se necesitan los detalles y ornamentos, entonces se sacaran fotografías más cercanas a la fachada. Las fotografías cercanas capturan los detalles y las fotografías más alejadas capturan la fachada (Eos System Inc., 2008).

e. Toma de fotografías

La toma de fotografías consiste en obtener imágenes de los objetos a restituirse, por medio de una cámara previamente calibrada. Las características de los modelos generados a través de PhotoModeler, dependen en gran medida de la naturaleza y calidad de las fotografías utilizadas en el proyecto, por lo cual, es necesario asegurar una buena exposición y un buen enfoque durante la toma, garantizando de esta manera una buena restitución (Eos System Inc., 2008).

f. Marcado de puntos

El marcaje o pinchado consiste en crear y posicionar objetos homólogos en las fotografías usadas en el proyecto, estos elementos pueden ser puntos, líneas, curvas y cilindros. Una vez que los puntos, límites y curvas están creados se pueden añadir líneas y superficies entre ellos. Las líneas y las superficies se pueden crear en la ventana de fotografías, en la 3D o en la tabla de Puntos (Eos System Inc., 2008).

Los puntos pinchados deben distribuirse cubriendo la mayor superficie posible, tomando en cuenta que el espacio cercano a los bordes está fuera del área de calibración.

g. Referenciado puntos

Referenciar es expresar que una marca presente en dos o más fotos, represente el mismo objeto físico en el espacio. El usuario debe referenciar cada objeto (punto, línea, curva, cilindro) en cada foto, para esto el objeto necesita aparecer en todas las imágenes. En un proyecto el referenciado es el paso clave para asegurar un correctamente procesamiento 3D.

PhotoModeler utiliza puntos homólogos presentes en por lo menos dos fotografías para determinar las tres coordenadas de un elemento, es decir que cuando un objeto es referenciado, se requiere marcar su homólogo en todas las fotografías (Eos System Inc., 2008).

h. Procesamiento 3D

Es un proceso iterativo que determina la localización espacial de elementos referenciados. En ese sentido, PhotoModeler utiliza un algoritmo numérico, para crear modelos 3D a partir del marcado de información en fotografías. Este algoritmo utiliza técnicas matemáticas avanzadas para ajustar los datos entrantes, crear puntos tridimensionales y minimizar errores.

Según Eos System Inc. (2008), el procesamiento 3D se ejecuta a través de dos fases:

- **La verificación:** es el proceso de revisión de los datos importantes para la generación del modelo tridimensional. Esta fase proporciona al usuario una retroalimentación antes de que proceda el ajuste.

- **El ajuste:** es el proceso donde el modelador realiza una serie de algoritmos para construir el modelo 3D. Este proceso a su vez se divide en tres partes:
 - **La Orientación:** determina las posiciones relativas en el espacio 3D y los ángulos de rotación relativos de las cámaras que tomarán las fotos.
 - **La Optimización global:** minimiza los errores en todos los puntos marcados, puntos 3D, posiciones de la estación de cámara y ángulos.
 - **La Autocalibración:** optimiza los resultados realizando pequeños ajustes en los parámetros de la cámara en cada foto.

i. Escalado y rotación del modelo

Photomodeler escala un modelo ingresando longitudes conocidas entre dos puntos seleccionados marcados en una foto.

Por otro lado, la rotación y el sistema de coordenadas pueden ser definidos usando las características presentes en el objeto modelado y los requerimientos del usuario.

Eos System Inc. (2008), detalla que existen 2 formas para especificar por completo el sistema de coordenadas:

- **Utilizando puntos de control:** sitúa un modelo por medio de tres puntos en sistema de referencia conocido.
- **Utilizando la rotación de ejes:** emplaza el modelo identificando y definido los ejes coordenados (X, Y, Z) por medio de detalles identificables en la fotografía.

j. Exportación de modelos

El comando exportar consiste en guardar los modelos tridimensionales con la finalidad de abrirlos con otro programa; el modelo puede ser leído por cualquier software que soporte formatos DXF, 3DS, OBJ o VRML (ver tabla 2.5).

Tabla 2.5. Elementos exportables a los principales programas de modelado 3D

| Elemento | DXF | 3DS | OBJ | VRML |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| Puntos | Si | No | Si | No |
| ID. Puntos | Texto | No | No | No |
| Bordes | Líneas | No | Líneas | Líneas |
| Líneas | Si | No | Si | Si |
| Superficies | Si | Si | Si | Si |
| Texturas fotográficas | No | Si | Si | Si |
| Modelos de Superficies | Si | No | Si | Si |
| Curvas | Poliilíneas | No | Si | Poliilíneas |
| Cilindros | Superficies cilíndricas | Superficies cilíndricas | Superficies cilíndricas | Si |

Fuente: Eos System Inc., 2008.

2.3.2 Software SketchUp 8 Pro

Generalmente, los programas de modelado 3D requieren un nivel básico de conocimientos de dibujo; no obstante, Google SketchUp está diseñado para que cualquier persona pueda usarlo, ya que es una herramienta muy intuitiva y amigable (ver figura 2.10).

SketchUp, permite crear edificios, vehículos, personas o cualquier otro elemento en tres dimensiones; los edificios elaborados pueden georeferenciarse por medio de imágenes de Google Maps; así mismo, los modelos pueden subirse a la red y almacenarse en Google 3D Warehouse (Biblioteca de modelos 3D online) (Trimble, 2010).



Figura 2.10. Dialogo de entrada de Google SketchUp 8 Pro.

Espín M. & Guano F., 2012.

a. Entidades de SketchUp

En SketchUp, las líneas se combinan para crear caras, estas dos entidades sólo son dos de los muchos elementos de construcción que utiliza el programa para la creación de modelos. En la tabla 2.6 se detalla la lista de las entidades disponibles en el software:

Tabla 2.6. Lista de entidades disponibles en Google SketchUp 8

| Nombre | Descripción |
|------------|--|
| Línea | Las líneas o rectas (aristas), son los elementos básicos de construcción de modelos. |
| Cara | Las caras se crean de forma automática cuando tres o más aristas coplanarias forman un circuito cerrado; las caras poseen un lado frontal y un lado posterior. |
| Círculo | Los círculos, arcos y curvas se componen de varias líneas. |
| Arco | |
| Polígono | |
| Curva | |
| Grupos | Se usan grupos para combinar dos o más entidades en el modelo y con ello realizar operaciones con mayor rapidez. |
| Componente | Los componentes son similares a los grupos pero su diferencia radica en que se pueden reutilizar en cualquier otro modelo de SketchUp; es decir los |

| | |
|------------------|---|
| | componentes son modelos que se usan dentro de otros modelos. |
| Línea guía | Una línea guía es una línea temporal que se utiliza como ayuda o referencia. |
| Acotación | Texto que señala longitudes o áreas. |
| Superficie | Las entidades de superficie resultan de combinar varias caras para crear una falsa uniformidad. |
| Plano de sección | Son los cortes realizados al modelo. |
| Imagen | Un archivo ráster. |
| Texto | Texto que puede estar vinculado o no a una entidad utilizando una línea de guía. |

Fuente: Trimble, 2010

b. Interfaz de usuario de SketchUp

La interfaz de usuario de SketchUp (ver figura 2.11.) tiene un diseño sencillo para facilitar su uso; los elementos principales de la interfaz son:

- **La barra de título:** contiene los botones cerrar, minimizar y maximizar; además, en su parte derecha despliega el nombre del archivo abierto.
- **Barra de menú:** aparece bajo la barra de título; la mayoría de herramientas, comandos y ajustes están disponibles en esta barra.
- **La barra de herramientas:** aparece bajo la barra de menú, contienen un conjunto de herramientas y controles definidos por el usuario.
- **El área de dibujo:** es el lugar donde se construye el modelo; el espacio 3D del área de dibujo se visualiza mediante los ejes de dibujo.
- **La barra de estado:** es el área gris rectangular posicionada en la parte inferior del área de dibujo. La parte izquierda de la barra muestra información sobre las herramientas de dibujo utilizadas.
- **El cuadro de control de valores:** está ubicado en la parte derecha de la barra de estado; en este espacio se muestran las dimensiones

mientras se dibuja un objeto. Asimismo, se pueden introducir valores y manipular las entidades seleccionadas.

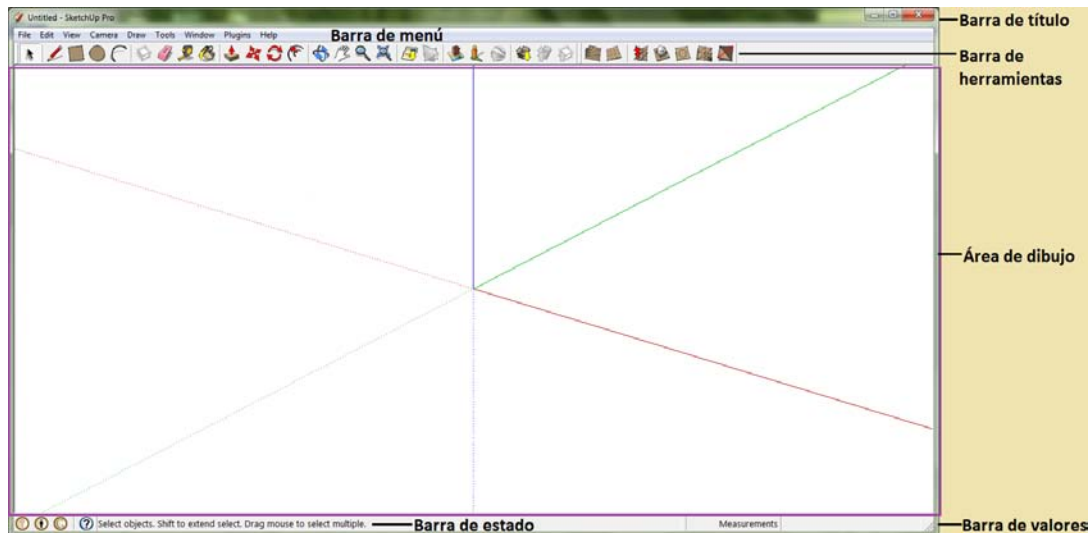


Figura 2.11. Interfaz de usuario de Google SketchUp 8 Pro.

Espín M. & Guano F., 2012.

La interfaz de SketchUp utiliza un sistema de coordenadas 3D, en el cual se identifican los objetos modelados en un espacio de tres ejes:

- El eje X representado en color rojo.
- El eje Y representado en un tono verde.
- El eje Z representado en color azul.

Por otro lado, los valores positivos y negativos se simbolizan con líneas continuas o entrecortadas respectivamente. Por último, el origen de coordenadas se emplea para definir el lugar donde se inician todas las líneas de eje (ver figura 2.12).

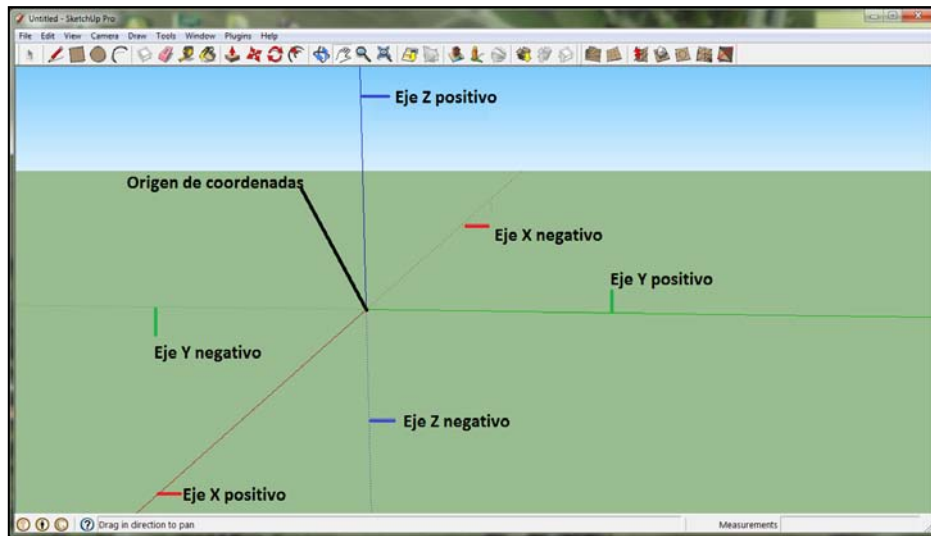


Figura 2.12. Sistema de ejes coordenados de Google SketchUp 8 Pro.

Espín M. & Guano F., 2012.

Adicionalmente, el software incorpora un motor de inferencias; el cual proporciona asistencia para la generación de modelos precisos y realistas; el motor de inferencias deduce la posición de puntos a partir de otros presentes en el modelo. SketchUp marca estos puntos con indicadores de color y notas de ayuda como se observa en la figura 2.13.

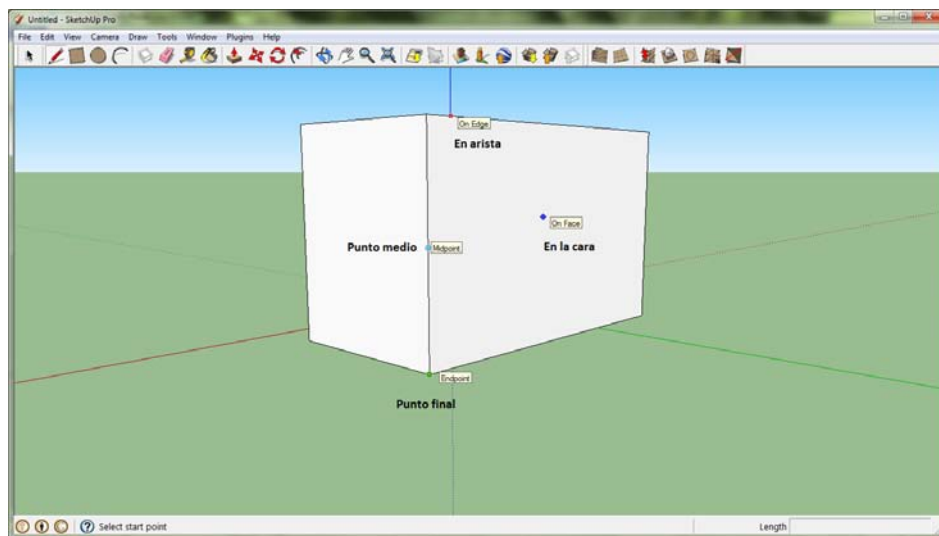


Figura 2.13. Principales deducciones del motor de inferencias de Google SketchUp.

Espín M. & Guano F., 2012.

c. Herramientas de SketchUp












SketchUp brinda una gran variedad herramientas para asistir al usuario durante el dibujo; algunas de éstas sirven para crear entidades simples y otras permiten dibujar modelos complejos; las mismas que se dividen en cinco categorías generales que a continuación se señalan (ver tabla 2.7):





- **Herramientas principales:** son de uso cotidiano. Son utilizadas para seleccionar y modificar la geometría.
- **Herramientas de dibujo:** poseen funciones para la creación de geometrías.
- **Herramientas de modificación:** retocan y alteran geometrías existentes.
- **Herramientas auxiliares:** crean líneas o puntos de apoyo y documentan el desarrollo del modelo.
- **Herramientas de cámara:** brindan opciones para la visualización de geometrías.

Tabla 2.7. Herramientas Principales de SketchUp.

| Herramienta | Ícono | Descripción | Tipo |
|-------------|---|---|--------------------------|
| Seleccionar |  | Se utiliza para especificar las entidades que se modificarán al utilizar otras herramientas o comandos. | Herramientas principales |
| Borrar |  | Se usa para eliminar entidades; también puede usarse para ocultar y suavizar líneas. | |
| Pintar |  | Asigna materiales y colores a las entidades del modelo. | |
| Línea |  | Dibuja entidades de línea; además se utiliza para dividir o recuperar caras eliminadas. | Herramientas de dibujo |
| Arco |  | Traza entidades de arco, formadas por un gran número de segmentos (que se pueden editar como un solo arco). | |

| | | | |
|-----------------------|---|---|------------------------------|
| Mano Alzada |  | Crea líneas irregulares dibujadas a mano en forma de entidades de curva y entidades de polilínea 3D; las curvas están formadas por varios segmentos de línea conectados. | Herramientas de modificación |
| Rectángulo |  | Dibuja entidades de cara rectangular, que se definen haciendo clic en dos ángulos opuestos con la forma deseada. | |
| Círculo |  | Grafica entidades de tipo círculo. | |
| Polígono |  | Dibuja entidades de polígono regulares. | |
| Mover |  | Desplaza, alarga y copia geometrías. | |
| Rotar |  | Gira, alarga, distorsiona o copia entidades siguiendo un recorrido circular. | |
| Escala |  | Cambia de tamaño partes de la geometría con respecto a otras entidades del modelo. | |
| Empujar/tirar |  | Empuja entidades de caras o tira de ellas para añadir o reducir volumen en los modelos; esta función puede ser utilizada para dar volumen a cualquier tipo de cara, ya sea circular, rectangular o irregular. | |
| Sígueme |  | Duplica el perfil de una cara siguiendo un recorrido; además se puede extruir una cara siguiendo un recorrido manual o automáticamente | |
| Equidistancia |  | Crea copias de líneas y caras a una distancia uniforme de las originales; se pueden crear copias equidistantes hacia adentro o hacia afuera respecto a la cara original. Aplicar esta operación a una cara supone siempre crear una cara nueva. | |
| Intersecar con modelo | Menú edición | Crea formas geométricas complejas; esta herramienta permite intersecar dos elementos creando de forma automática líneas y caras nuevas donde los elementos se tocan. | |

| | | | |
|---------------------------|---|--|-------------------------|
| Situar textura | Clic derecho en una cara. | Esta herramienta se utiliza para ajustar un material sobre una superficie, cambiando su posición, tamaño o bien distorsionando el material. | Herramientas auxiliares |
| Medir |  | Mide distancias, crea líneas o puntos de apoyo o cambia la escala de un modelo. | |
| Transportador |  | Su función es medir ángulos y crear líneas auxiliares. | |
| Ejes |  | Mueve o reorientar los ejes de dibujo dentro del modelo; también se usa esta herramienta para permitir una reproducción a escala más precisa de los objetos que no estén orientados siguiendo los planos de coordenadas predeterminados. | |
| Acotación |  | Coloca entidades de acotación en el modelo. | |
| Texto |  | Inserta entidades de texto en el modelo. | |
| Texto 3D |  | Crea geometrías tridimensionales a partir de texto | |
| Plano de sección |  | Elabora cortes de sección que permiten visualizar la geometría del modelo. | |
| Anterior |  | Su función es volver a la vista anterior del modelo. | Herramientas de cámara |
| Siguiente |  | Se emplea para avanzar a la siguiente vista del modelo. | |
| Vistas estándar |  | Se utiliza para seleccionar varios puntos de vista estándar predefinidos; son de izquierda a derecha en la imagen siguiente: planta, frontal, derecha, izquierda, posterior, isométrico e inferior. | |
| Adaptación de fotografías | Menú Cámara | Crea un modelo 3D a partir de una fotografía o bien para adaptar un modelo 3D existente al contexto de una fotografía. | |
| Orbitar |  | Rotar la cámara alrededor del modelo. | |

| | | |
|---------------------------|---|---|
| Desplazar |  | Mueve la cámara (la vista) horizontal o verticalmente. |
| Zoom |  | Acerca o aleja la cámara (la vista). |
| Ventana de zoom |  | Amplia con el zoom una parte concreta del modelo. |
| Ver modelo centrado |  | Sitúa la cámara a una distancia que permita ver todo el modelo y que quede centrado en el área de dibujo. |
| Aplicar zoom a fotografía | Menú Cámara | Mueve la cámara (la vista) de manera que toda la fotografía se ajuste al área de dibujo. |

Fuente: Trimble, 2010

d. Situar textura

En SketchUp, los materiales extraídos de imágenes se sitúan en un patrón repetitivo horizontal y vertical hasta cubrir toda la entidad texturizada. La herramienta "Situar textura", ajusta un material sobre una cara cambiando su posición, tamaño, y distorsionando el material; cabe indicar que, sólo puede emplearse para modificar texturas aplicadas a superficies planas. Además, la herramienta utiliza alfileres digitales para manipular los materiales (Trimble, 2010).

Esta función posee cuatro tipos de alfileres que ejecutan diferentes operaciones:

- **Alfiler Mover:** cambia la posición de la textura.
- **Alfiler Escala/Rotación:** permite ajustar la escala del material y rotar el mismo a cualquier ángulo.
- **Alfiler Escala/Inclinación:** permite inclinar el material al mismo tiempo que se modifica la escala.
- **Alfiler Distorsionar:** efectúa una corrección de la perspectiva en el material.

En la figura 2.14 se ilustran los alfileres de SketchUp, para situar una textura en el modelo.

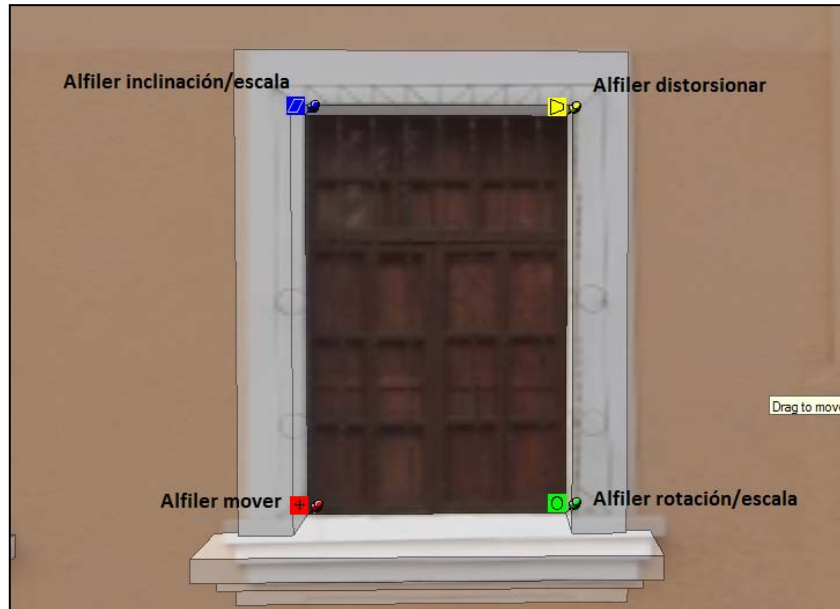


Figura 2.14. Alfileres para situar una textura.

Espín M. & Guano F., 2012.

e. Adaptar fotografía

La opción adaptar fotografía, crea un modelo 3D a partir de una fotografía. Para crear un modelo en tres dimensiones a partir de una imagen, se debe calibrar la cámara de SketchUp, de manera que se reconstruya la geometría de la cámara digital usada en la toma (Trimble, 2010); esta herramienta consta de 4 etapas:

- Tomar de las fotografías correspondientes al edificio o estructura.
- Adaptar la fotografía, proceso que abarca la importación de la imagen digital y la calibración de la cámara de SketchUp a la posición y longitud focal que tenía la cámara con la que se efectuó la toma. Adicionalmente, se ajusta la escala de la estructura siempre y cuando existan por lo menos dos medidas reales.

- Dibujar sobre la imagen o calcar la estructura a través del uso de las herramientas de dibujo.
- Repetir la primera y segunda etapa con otras fotos del edificio o estructura, si es necesario.

En la figura 2.15, se aprecia una fotografía digital adaptada, sobre la cual se encuentra calcado el modelo 3D texturizado de una edificación.

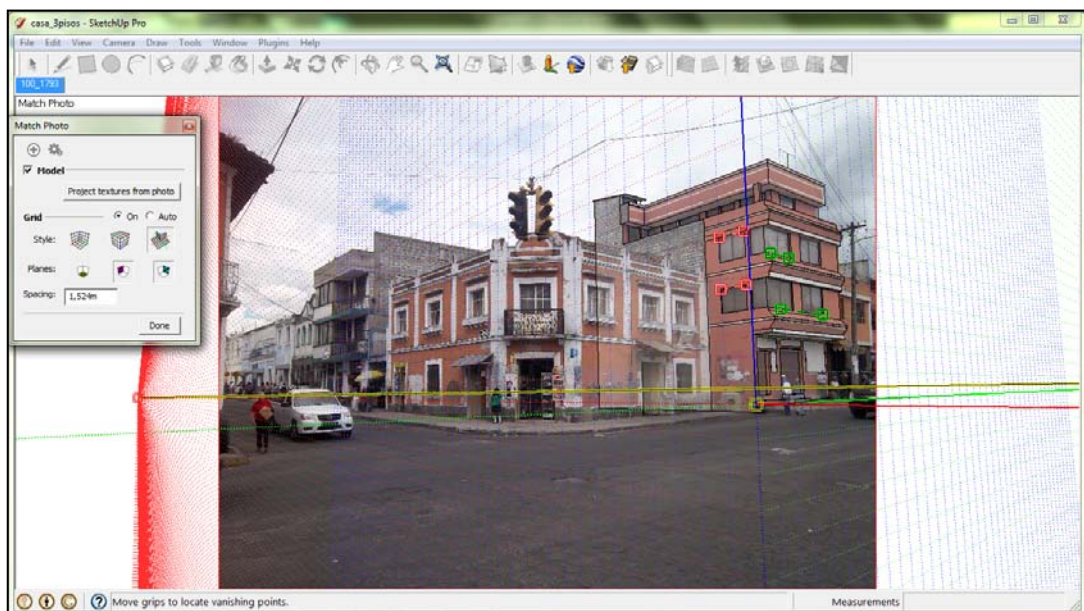


Figura 2.15. Fotografía adaptada.

Espín M. & Guano F., 2012.

f. Exportación de modelos

La exportación de archivos a otros formatos es muy útil, ya que facilita el intercambio de archivos, y su posterior uso con otros programas. Los modelos de SketchUp pueden ser exportados como modelo 3D, gráfico 2D y línea de sección o animación (Trimble, 2010). En la tabla 2.8 se detallan los formatos de exportación que dispone el programa con sus respectivas características de interoperabilidad.

Tabla 2.8. Formatos de exportación disponibles en SketchUp.

| Tipo | Extensión | Descripción |
|-----------|---------------------------|---|
| 3D | KMZ | Cobertura de Google Earth. Almacena superficies, líneas, caras y texturas fotográficas con información geoespacial. |
| | 3DS | Formato nativo del programa de modelado 3D estudio. |
| | DWG y DXF | Formato propio de los sistemas CAD. |
| | FBX | Formato de archivo 3D independiente de la plataforma. |
| | OBJ | Formato de archivo desarrollado por Wavefront Technologies para su paquete de animación Advanced Visualizer. En la actualidad es un formato abierto usado por muchos programas. |
| | VRML | Lenguaje de Modelado para Realidad Virtual. Formato de archivo normalizado que representa escenas y objetos interactivos tridimensionales |
| 2D | JPEG, PNG, BMP, TGA, TIFF | Archivos basados en píxeles. Se pueden manejar con cualquier software de edición de imágenes. |
| | PDF, EPS, DWG, DXF | Archivos con información vectorial. Se manipulan con programas como Acrobat o cualquier software CAD. |
| Animación | MOV, AVI | Se utiliza para exportar un archivo de animación que contiene una secuencia de escenas creadas por el usuario. |

Fuente: Trimble, 2010

2.4 AMBIENTES VIRTUALES 3D

Según Andrade L. & Narea P. (2011), un ambiente virtual es una interfaz que permite la interacción y visualización, en tiempo real, de objetos creados en un ordenador. Sin embargo, no sólo deben considerarse como partes primordiales de estos ambientes a los elementos propios de su interfaz, (texto, gráficos, sonido, animaciones o hipervínculos), lo fundamental radica en los alcances educativos que se puedan obtener al instaurarlos. Las características más importantes que poseen un ambiente virtual son:

- Expresión en un lenguaje gráfico tridimensional.
- Comportamiento dinámico y operación en tiempo real.

- Funcionamiento basado en la incorporación del usuario en el medio digital.
- Capacidad de reaccionar ante el usuario, ofreciendo, en su modo más complejo, una experiencia inmersiva, interactiva y multisensorial.

2.4.1 Lenguaje VRML

Ante la necesidad de disponer de herramientas para la visualización de un modelo de la realidad vía internet, se desarrolló VRML (Virtual Reality Modeling Language), que es un estándar para la creación de objetos tridimensionales, el cual permite combinar entidades en escenas, para la construcción de mundos virtuales; su uso principal se da en la representación de simulaciones interactivas que incorporan animaciones, contenidos multimedia y la participación de usuarios en tiempo real. A estos mundos se puede acceder a través de la Web, mediante un navegador dotado de un plug-in o complemento, como por ejemplo:

- **Cosmo Player:** es un complemento (plug-in) gratuito compatible con Windows, fue creado para la comunidad Web 3D, por Computer Associates y Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías de los Estados Unidos (NIST); funciona con los navegadores Internet Explorer, Opera, Mozilla Firefox y Google Chrome (Computer Associates, 1998).
- **Cortona 3D viewer:** es un visor desarrollado por Parallel Graphics disponible para la plataforma Windows; funciona como un plug-in VRML para Internet Explorer, Netscape, Mozilla Firefox y Google Chrome (Parallel Graphics, 2012).

2.4.2 Complemento Cosmo Player

Cosmo, es un complemento interactivo usado para visualizar mundos virtuales 3D en la web; el cual es compatible con diversas tecnologías de modelado y con todos los formatos VRML. Adicionalmente, el programa posee

herramientas simples y propias de visores que permiten un desplazamiento en el espacio. Entre las funciones de uso habitual se pueden mencionar:

- Selección de distintas vistas.
- Movimiento en primera persona.
- Apreciación de las características geométricas de los objetos.
- Visualización de gráficos de buena calidad y agradables a la vista.
- Manipulación de los valores de velocidad e iluminación.

En la figura 2.16, se muestra la interfaz del plug-in Cosmo Player con los principales botones de navegación.

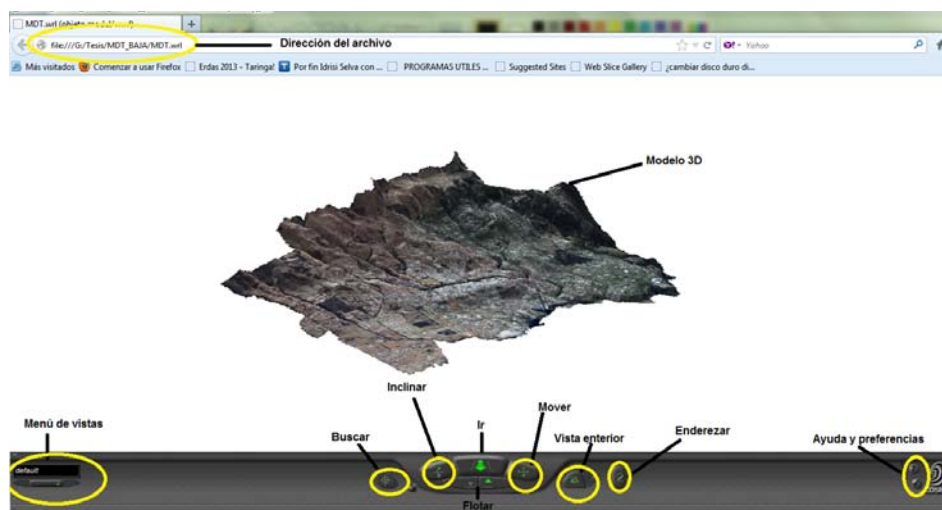


Figura 2.16. Interfaz de usuario de Cosmo Player.

Espín M. & Guano F., 2012.

El complemento se puede descargar e instalar en la página web <http://cic.nist.gov/vrml/cosmoplayer.html> del Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías de los Estados Unidos (NIST), de forma gratuita; además, el sitio brinda acceso a ejemplos y tutoriales acerca de funcionamiento de proyectos VRML.

CAPÍTULO 3

PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO

Para la ejecución del presente proyecto fotogramétrico, se siguieron las etapas expuestas en la figura 3.1.

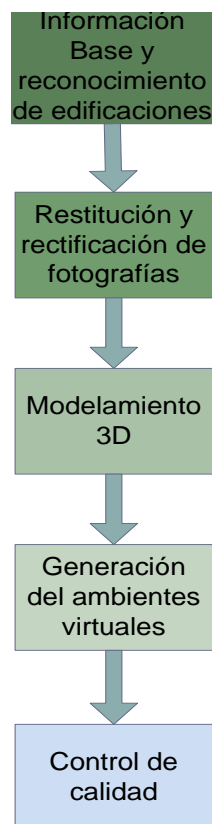


Figura 3.1. Etapas del proyecto fotogramétrico.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.1 INFORMACIÓN BASE Y RECONOCIMIENTO DE EDIFICACIONES

La información base y el reconocimiento de las edificaciones son etapas muy importantes para planificar la ejecución del proyecto.

La obtención de información base, comprende esencialmente la recolección de todos los datos espaciales, insumos y experiencias anteriores relacionadas con el tema. Por otro lado, el reconocimiento de las edificaciones implica el recorrer la zona de estudio, en donde se identificaron y definieron las estructuras a levantarse.

3.1.1 Reconocimiento de las Edificaciones









Alrededor del parque central se concentran los edificios más antiguos de la zona, los cuales poseen diferentes tipologías de construcción; siendo la Iglesia Parroquial de Conocoto la obra más representativa. En la tabla 3.1 se ilustran las estructuras levantadas con sus características principales:

Tabla 3.1. Edificaciones levantadas

| ID Edificación | Tipología de construcción | | | Imagen de la Edificación |
|----------------|---------------------------|---------------------|----------------|---|
| | Pisos | Material Estructura | Material Techo | |
| Oeste 01 | 1 | Adobe | Teja |  |
| Oeste 02 | 2 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |

| | | | | |
|----------|---|-------------------|-----------|---|
| Oeste 03 | 2 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Oeste 04 | 2 | Adobe | Cubiertas |  |
| Oeste 05 | 2 | Adobe | Teja |  |
| Oeste 06 | 1 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Oeste 07 | 1 | Adobe | Teja |  |
| Oeste 08 | 2 | Adobe | Teja |  |
| Oeste 09 | 2 | Adobe | Cubiertas |  |
| Norte 01 | 1 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |

| | | | | |
|----------|---|-------------------|-----------|---|
| Norte 02 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Norte 03 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Norte 04 | 2 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Norte 05 | 2 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Norte 06 | 2 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Norte 07 | 1 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Norte 08 | 1 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Norte 09 | 2 | Adobe | Teja |  |

| | | | | |
|----------|---|-------------------|-----------|---|
| Norte 10 | 3 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Norte 11 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Norte 12 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Este 01 | 1 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Este 02 | 1 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Este 03 | 1 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Este 04 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Este 05 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |

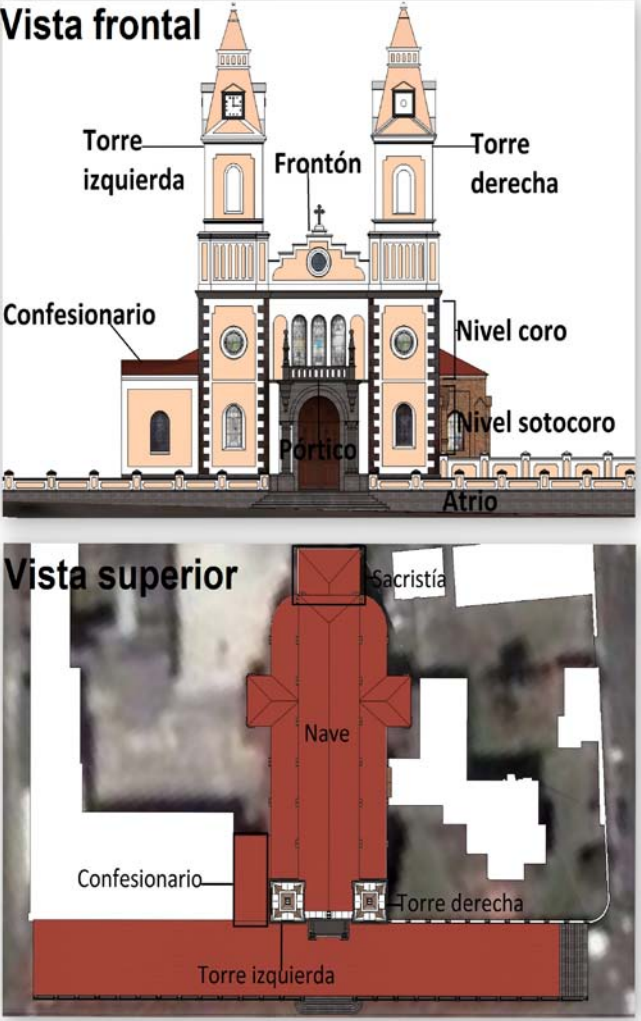
| | | | | |
|---------|---|-------------------|-----------|---|
| Este 06 | 2 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Este 07 | 2 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Este 08 | 4 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Este 09 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Sur 01 | 6 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Sur 02 | 2 | Ladrillo / Bloque | Teja |  |
| Sur 03 | 1 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Sur 04 | 1 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |

| | | | | |
|--------|---|-------------------|-------------|---|
| Sur 05 | 1 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Sur 06 | 1 | Ladrillo / Bloque | Losa |  |
| Sur 07 | 1 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Sur 08 | 1 | Ladrillo / Bloque | Cubiertas |  |
| Sur 09 | 4 | Ladrillo / Bloque | Teja / Losa |  |
| Sur 10 | 3 | Ladrillo / Bloque | Teja / Losa |  |

Espín M. & Guano F., 2012.

Adicionalmente, la Iglesia Parroquial de Conocoto, está compuesta por 9 elementos, los mismos que se expresan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Elementos levantados en la Iglesia Parroquial de Conocoto

| Edificación | Elemento | Ubicación de Elementos |
|-------------|-----------------|---|
| Sur 01 | Torre derecha |  |
| | Torre izquierda | |
| | Frontón | |
| | Atrio | |
| | Pórtico | |
| | Coro | |
| | Nave | |
| | Sotocoro | |
| | Sacristía | |
| | Confesionario | |

Espín M. & Guano F., 2012.

En total se verificaron y levantaron 40 edificaciones para la elaboración de los siguientes productos:

- 39 modelos digitales 3D de los inmuebles con texturizado externo.
- Un modelo digital 3D de la Iglesia Parroquial de Conocoto con texturizado interno y externo.

En la figura 3.2 se observan la ubicación geográfica de las 40 edificaciones que componen el presente proyecto con su respectivo ID.

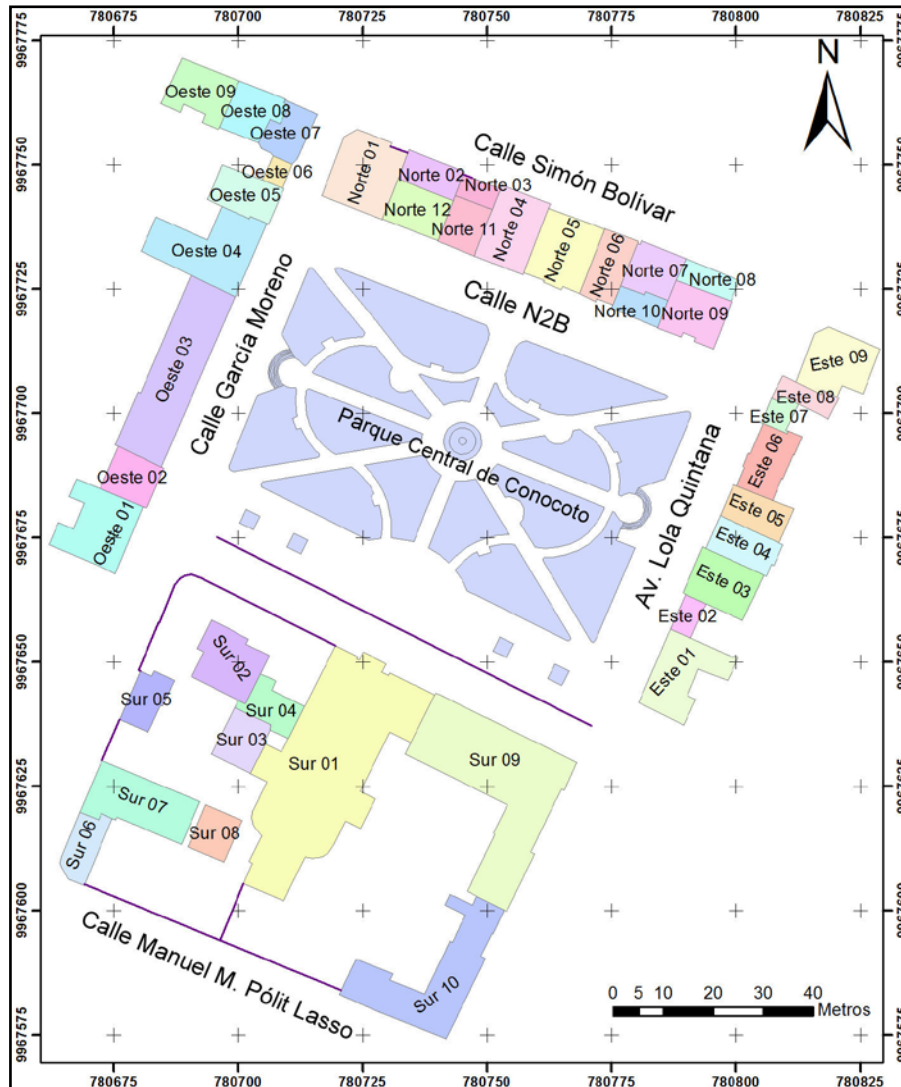


Figura 3.2. Mapa de ubicación de las edificaciones levantadas.

Fuente: DMAC, 2005.

Elaborado por: Espín M. & Guano F., 2012.

3.1.2 Recopilación de información base

Se consideraron dos tipos de información base: arquitectónica y geoespacial.

Se solicitó al Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural de Quito (IMPQ) todos los planos correspondientes a los bienes patrimoniales ubicados dentro de la zona de estudio; dicha institución proporcionó 11 documentos con información arquitectónica de la Iglesia Parroquial (ver tabla 3.3), los mismos que se utilizaron para el dibujo de detalles que estaban fuera del alcance de los métodos fotogramétricos.

Tabla 3.3. Lista, contenido y escala de los planos proporcionados por el Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural de Quito

| N° | Contiene | Escala |
|-----------|---|---------------|
| 1 | Implantación - Ubicación | 1:100 |
| 2 | Levantamiento: Planta Sotocoro, Planta Coro | 1:50 |
| 3 | Levantamiento: Planta Campanario, Planta Reloj | 1:50 |
| 4 | Corte Longitudinal Torre Izquierda | 1:50 |
| 5 | Corte transversal Torres, Sotocoro, Coro | 1:50 |
| 6 | Elevación Frontal | 1:50 |
| 7 | Torres Izquierda Elevación Frontal y Corte horizontal | 1:20 |
| 8 | Torres Izquierda Elevación Lateral Derecha, Detalles | 1:20 |
| 9 | Torre Derecha, Fachada Frontal, Detalles | 1:20 |
| 10 | Torre Derecha Elevación Lateral Izquierda, Detalles | 1:20 |
| 11 | Frontón, Elevación Sotocoro, Balcón, Detalles | 1:50 |

Fuente: IMPQ, 2012

En cuanto a la información geoespacial se solicitó a la Dirección Metropolitana de Catastro (DMAC) la restitución planimétrica y altimétrica para escala 1:1000 de la parroquia Conocoto, información que se utilizó como referencia geográfica en el levantamiento de las construcciones y para la elaboración de un Modelo Digital del Terreno (MDT) (ver tabla 3.4).

Tabla 3.4. Información recopilada de la Dirección Metropolitana de Catastro.

| Tipo | Año Adquisición | Escala | Proyección y Sist. de Ref. | Extensión |
|--------------|-----------------|------------|----------------------------|-----------|
| Planimétrica | 2005 | 1:1000 | TMQ 17S; WGS 84 | .DGN |
| Altimétrica | 2005 | 1:1000 | TMQ 17S; WGS 84 | .DGN |
| Ortofoto | 2005 | Píxel 0,5m | TMQ 17S; WGS 84 | .TIF |

Fuente: DMAC, 2005

3.1.3 Generación de información base

Se efectuaron varias mediciones in situ, que sirvieron para el escalamiento de las edificaciones, inclusión de detalles que no pudieron obtenerse con fotogrametría y comprobación de precisiones en los métodos utilizados.

En cuanto al registro de las mediciones, se diseñó una hoja de campo, que se ilustra en el Anexo A, la cual contiene información de las fotografías tomadas, la ubicación respecto a la zona de estudio, referencias y observaciones.

a. Instrumentos de Medición

- **Distanciómetro:** Es un instrumento electrónico de medición, que calcula la distancia existente entre el dispositivo y un punto; en este caso, se usó el distanciómetro láser Trimble Spectra Presicion Laser HD 150, que puede ser manejado por una sola persona alcanzando precisiones de ± 2 mm en distancias de 30 m; posee una pantalla digital que muestra valores en tiempo real, con diseño compacto y muy resistente; no útil para mediciones inferiores a 30cm (ver figura 3.3).

Se recurrió a este instrumentó para medir zonas no accesibles o de difícil acceso, como por ejemplo:

- Lugares donde no pueden realizarse mediciones directas.
- Lugares donde la resolución de la cámara no permite distinguir detalles para su restitución.



Figura 3.3. Distanciómetro láser Trimble Spectra Presicion Laser HD 150.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Flexómetro:** El flexómetro es un instrumento de medición de cortas distancias, fácil de usar y trasportar; para este estudio, se empleó un modelo de cinta metálica con 5m de capacidad, con la finalidad de levantar los detalles accesibles de pequeña extensión (ver figura 3.4).



Figura 3.4. Flexómetro marca KYOTO de 5m.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Cinta Métrica:** La cinta genérica de 20 m, se empleó para obtener medidas de estructuras circulares y curvas, como por ejemplo la circunferencia de una columna cilíndrica o la curvatura de un mesón. Para una correcta medición, se requieren dos operarios cuidando entre otras cosas que la cinta este debidamente tensa (ver 3.5).



Figura 3.5. Cinta métrica marca STANDARD de 20m.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.2 RESTITUCIÓN Y RECTIFICACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

La restitución y rectificación de las fotografías se llevó a cabo con técnicas fotogramétricas provistas en dos programas diferentes: Photomodeler Pro 6 y SketchUp 8 Pro, el primero se usó para la restitución de imágenes de fachadas (solo se observa el frente) y el segundo para la rectificación de fotografías de edificaciones esquineras (se identifican frente y fondo).

3.2.1 Restitución de fotografías de fachadas en PhotoModeler Pro 6

En la figura 3.6, se describen las etapas que forman parte del proceso de restitución de fotografías de fachadas en PhotoModeler Pro 6:

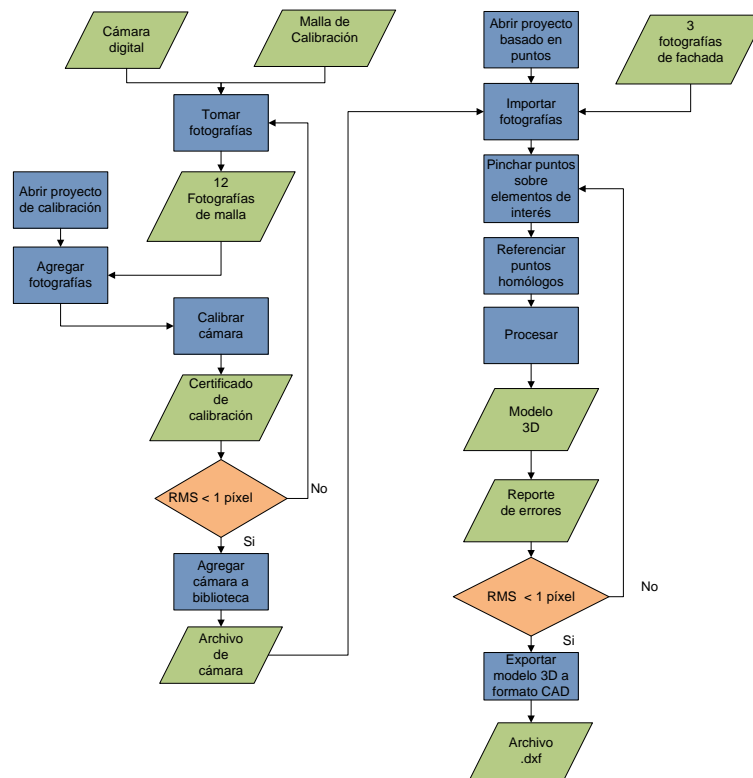


Figura 3.6. Etapas que intervienen en el proceso de restitución de fotografías de fachadas.

Espín M. & Guano F., 2012.

a. Cámara

Previo a la restitución de fachadas es necesario calibrar una cámara, la misma que debe cumplir con los requisitos que se detallan a continuación:

- Un mínimo de 5 mega píxeles de resolución. La capacidad de diferenciar un mayor número detalles en la imagen, es un factor importante para conseguir una buena precisión en el pinchado de los puntos.
- Un dispositivo con opciones de toma manual; si bien es cierto, la tecnología de las cámaras fotográficas ha mejorado mucho en los últimos años, brindando varias facilidades de manejo a los usuarios; este mismo avance tecnológico ha provocado la automatización en la captura de imágenes (enfoque automático, escenas predefinidas), lo cual dificulta la calibración al no mantener parámetros constantes en cada toma.

En virtud de estos requerimientos, se utilizó la cámara Panasonic LUMIX DMC-LS80 (ver figura 3.7).



Figura 3.7. Cámara digital Panasonic LUMIX DC VARIO.

Espín M. & Guano F., 2012.

A continuación en la tabla 3.5, se resumen las características principales de la cámara utilizada:

Tabla 3.5. Características técnicas de la cámara Panasonic LUMIX DMC-LS80

| | |
|-------------------------|---------------------|
| Resolución | 8.1 MP |
| Distancia Focal | 5.5 mm |
| Zoom óptico | 3x |
| Lente | LUMIX DC VARIO |
| Enfoque | Manual y Automático |
| Sensor de imagen | CCD |

Fuente: Panasonic, 2007

b. Calibración de la cámara (orientación interna)

Se efectuó el proceso de calibración para la cámara Panasonic LUMIX DMC-LS80 con PhotoModeler Pro 6, siguiendo las instrucciones provistas por el software, las cuales se detallan a continuación:

- **Impresión de la malla de calibración:** Se ploteó la malla de calibración (ver figura 3.8) incluida y suministrada en el programa

PhotoModeler 6 Pro, de las medidas 36' x 36', en material vinilo adherido a una plancha PVC, considerando de esta forma evitar deformaciones en el material y que facilite una superficie que no distorsione los puntos a ser calibrados.

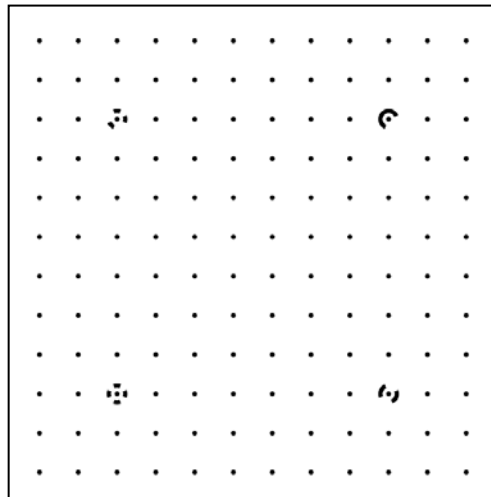


Figura 3.8. Malla de Calibración.

Fuente: Eos System Inc., 2008.

- **Configuración de los parámetros de toma de la cámara:** Se configuró la cámara en modo manual, sin flash y con enfoque al infinito, es importante indicar que posteriormente ésta configuración no debe ser cambiada, caso contrario es necesario nuevamente efectuar otra calibración con nuevos parámetros de toma.

Así mismo, para obtener mejor estabilidad durante la calibración y evitar imágenes borrosas, se utilizó un trípode que se incluye en la figura 3.9.



Figura 3.9. Trípode.

Espín M. & Guano F., 2012.

A continuación, en las figuras 3.10, se ejemplifican mejoras y limitaciones presentadas cuando se usa un trípode y se adecua el equipo en función de su iluminación.

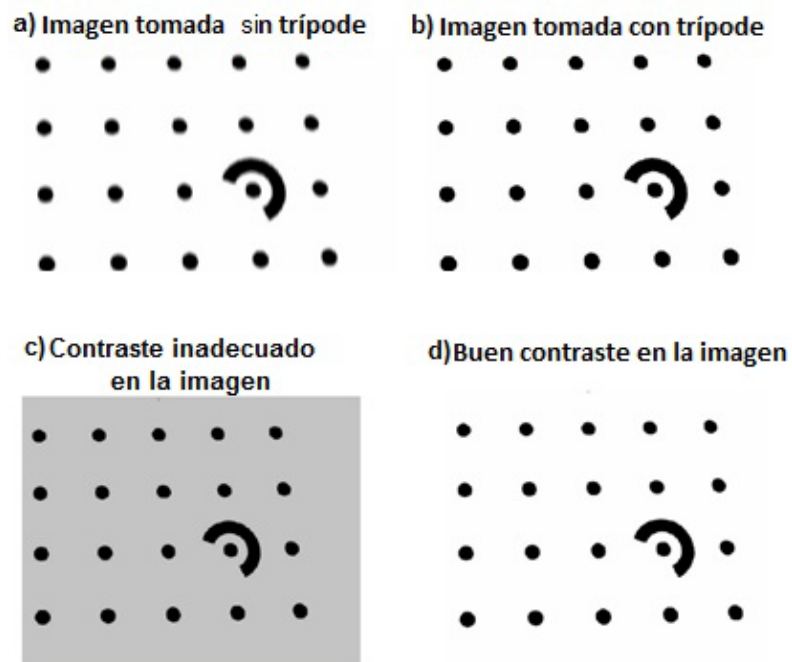


Figura 3.10. Efectos de la inestabilidad (a y b) e iluminación (c y d) en la toma.

Fuente: Eos System Inc., 2008.

- **Ubicación de la malla de calibración:** En cuando a la ubicación de la malla se colocó en el piso procurando que en la superficie no se hallen objetos que puedan interferir en el proceso de calibración (Ej. se confunde un punto de calibración con un clavo). Para evitar el reconocimiento de patrones ajenos a la malla en lugar de puntos, se adhirieron cartulinas blancas debajo y alrededor, tal como se observa en la figura 3.11.

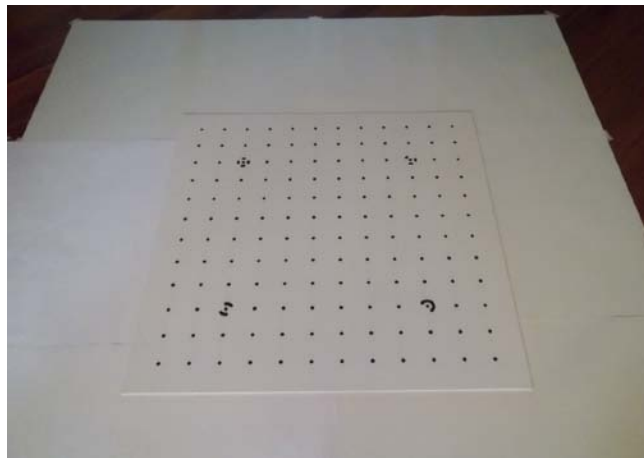


Figura 3.11. Malla en el piso.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Toma de fotografías para la calibración:** para la toma de las fotografías, se ubicó la cámara sobre un trípode en tres posiciones diferentes y en cada posición se tomaron 4 imágenes, dando un total de 12 fotos. En ese sentido, se debe considerar en cada toma, la visualización de los 4 puntos de control principales, los 144 puntos adicionales y que el patrón de la malla llene al máximo el encuadre, prosiguiendo de la siguiente manera:
 - La primera posición consiste en colocar la cámara de modo horizontal, tomando en cada lado de la malla una fotografía; es decir, se capturaron cuatro. En la figura 3.12 se aprecia la posición y toma del primer lado de la malla de calibración.



Figura 3.12. Primera posición de la cámara.

Espín M. & Guano F., 2012.

- La segunda posición consiste en colocar la cámara de manera vertical, dando un giro de 90° a la izquierda respecto a la primera posición; se procedió a tomar 4 imágenes, cada una correspondiente a un lado de la malla (ver figura 3.13).



Figura 3.13. Segunda posición de la cámara.

Espín M. & Guano F., 2012.

- La tercera posición de la cámara, también consiste en colocar la cámara de forma vertical, con un giro de 90° a la

derecha respecto a la primera posición. Se realizaron 4 tomas, una de cada lado de la malla (ver figura 3.14).

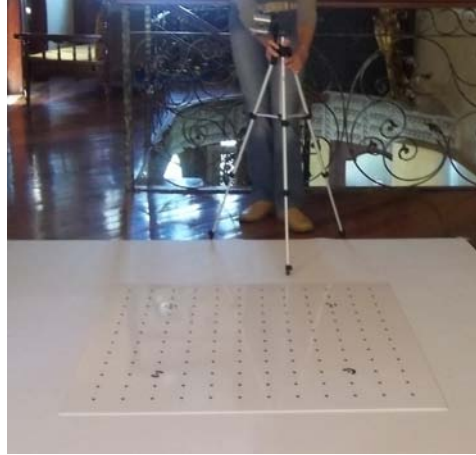


Figura 3.14. Tercera posición de la cámara.

Espín M. & Guano F., 2012.

En la figura 3.15, se aprecian las 12 capturas, las mismas que se transfirieron al computador destinado a realizar el proceso de calibración.

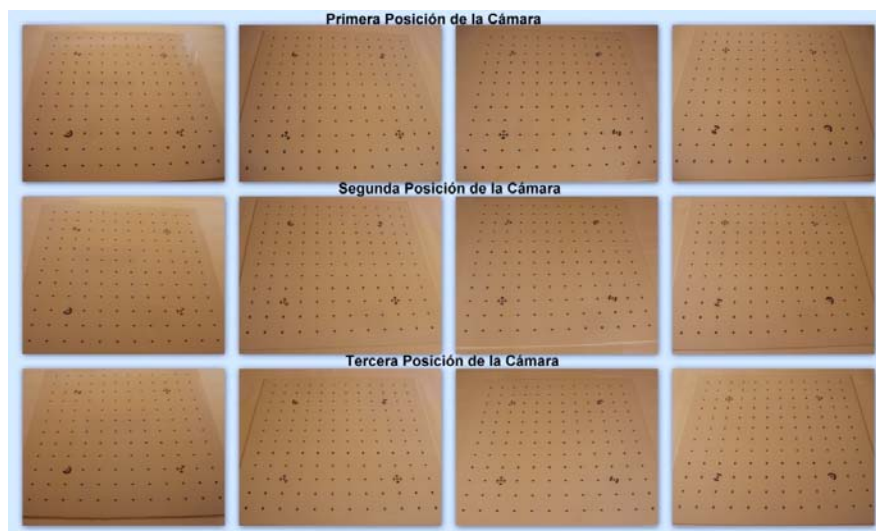


Figura 3.15. Fotografías tomadas en el proyecto.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Importación de las fotografías a PhotoModeler Pro 6:** la calibración se ejecutó en Photomodeler Pro 6 a través de la opción "Camera Calibration project" (ver figura 3.16).

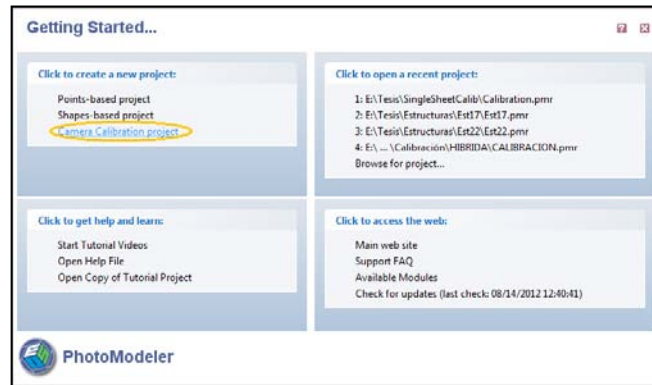


Figura 3.16. Ventana de Inicio de Photomodeler Pro 6.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Ejecución de la calibración:** el software brinda un asistente (wizard) que guía al usuario durante la calibración. Entonces, se define la carpeta que contiene las fotos tomadas para la calibración y se asignan aquellas que vamos a utilizar tal como se observa en el lado derecho de la figura 3.17.

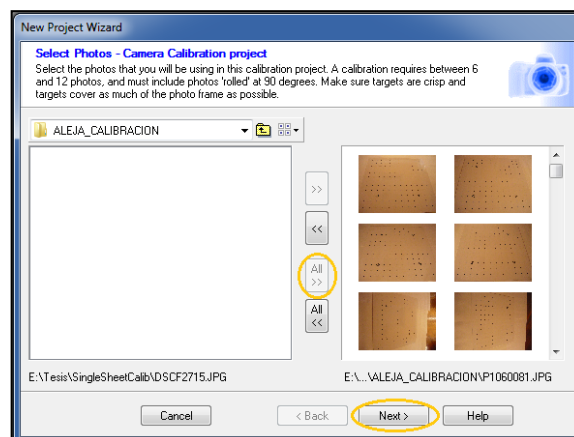


Figura 3.17. Selección de fotos

Espín M. & Guano F., 2012.

Se ejecutó la calibración automática de la cámara, "Execute Calibration", cuyos insumos de entrada son fotografías no orientadas obtenidas previamente, cuidando y tratando de que todos los puntos de control y puntos de la malla sean reconocidos por el software en todas las imágenes (ver figura 3.18).

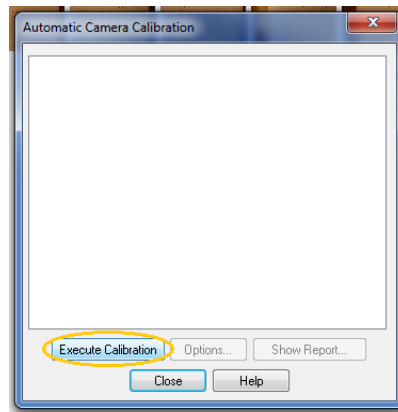


Figura 3.18. Ejecución de la Calibración.

Espín M. & Guano F., 2012.

Durante, a la ejecución de la calibración, se genera un informe de la cantidad de puntos aprobados, el mismo que se puede ver en la figura 3.19.

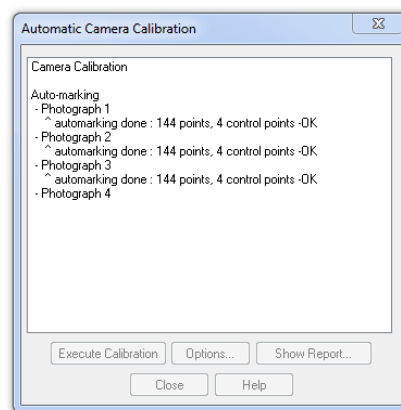


Figura 3.19. Reconocimiento de puntos durante la Calibración.

Espín M. & Guano F., 2012.

Se pueden revisar los parámetros de orientación interna mientras son calculados y ajustados, como también los errores del proceso (ver figura 3.20)

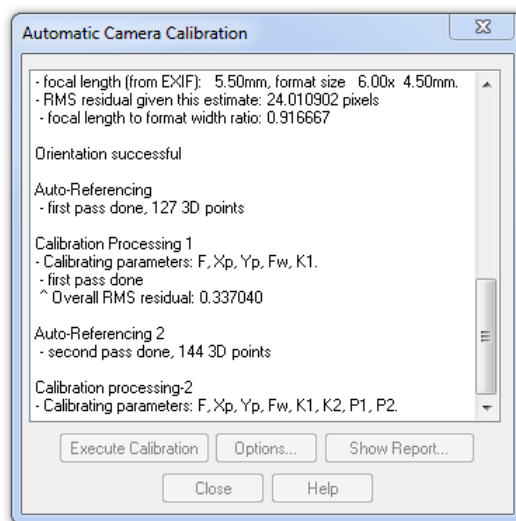


Figura 3.20. Cálculo y ajuste de parámetros de orientación interna.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Revisión de reporte de calibración:** Se revisó el reporte de los parámetros y errores, verificando que sus tolerancias sean concordantes a las recomendadas por PhotoModeler Pro 6 (ver tabla 3.6).

Tabla 3.6. Tolerancias recomendadas por PhotoModeler Pro 6

| Parámetro | Tolerancia recomendada |
|---|------------------------|
| Número de puntos principales/totales reconocidos por fotografía | 4/144 |
| Número de fotografías orientadas | 7 |
| Porcentaje promedio de cobertura de puntos en la foto | 80% |
| Máximo residual de los puntos | 1 pixel |
| RMS (media cuadrática) residuales de los puntos marcados | 1pixel |

Fuente: Eos System Inc., 2008.

Una vez comprobada y aceptada la calibración se exportó la información del reporte a un archivo de texto (ver figura 3.21), el mismo que se encuentra en el Anexo B.

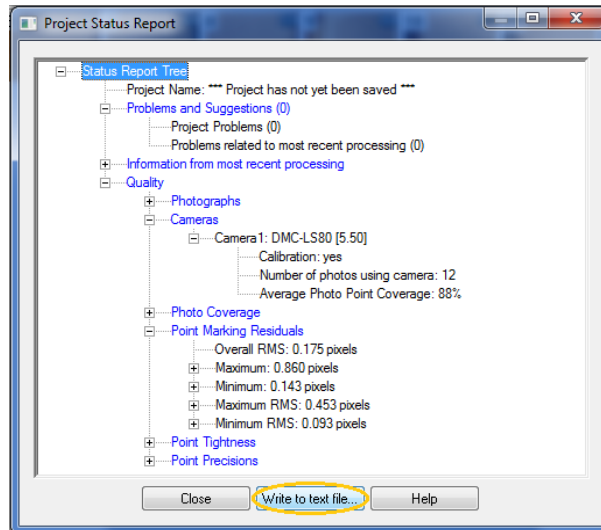


Figura 3.21. Reporte Final.

Espín M. & Guano F., 2012.

Una vez calibrada la cámara y reconocida en PhotoModeler, se incluye en el acceso "Camera Viewer" la marca del dispositivo con las características computadas, como son:

- La distancia focal
- Formato
- Distorsión de las lentes
- Coordenadas del punto principal

En la figura 3.22 se pueden observar todas las características calculadas de la cámara calibrada.

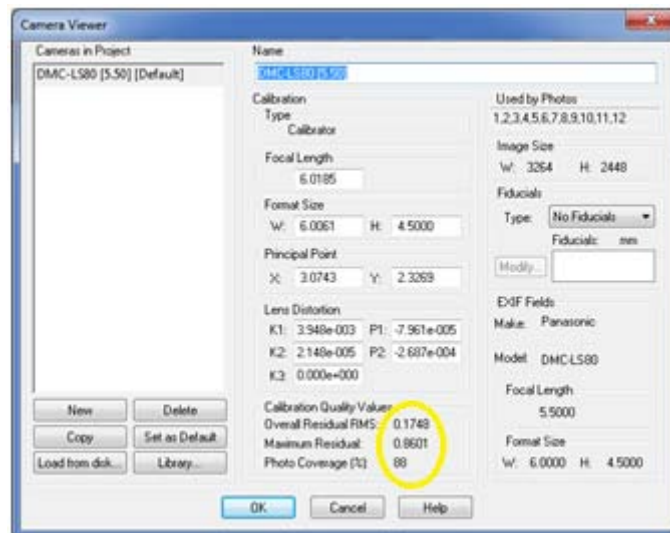


Figura 3.22. Características de la cámara calibrada.

Espín M. & Guano F., 2012.

Como se puede observar en la figura 3.22, los resultados de la calibración están dentro de los límites tolerables.

c. Toma de Fotografías

Previo a la toma en sí, es necesario un reconocimiento de la zona, por lo que, se planificaron las tomas previstas para cada campaña a las 6 am, los fines de semana, debido a que el centro histórico de Conocoto es muy transitado; capturando así la información correspondiente a las edificaciones, siguiendo las recomendaciones e instrucciones provistas en PhotoModeler Pro 6; como son:

- **No manipular la configuración de la cámara:** una vez calibrada la cámara, es importante no cambiar la configuración de ésta, ya que que el cambio de los parámetros establecidos para la toma causaría la modificación de la geometría y por ende, la nulidad de la calibración realizada.

- **Horario para la toma:** en un día soleado los detalles de la edificación se pueden perder en la fotografía debido al exceso de luz, por este motivo es recomendable realizar la toma en días y/o horarios adecuados, para este proyecto el horario óptimo fue el intervalo de 06:00 - 09:30 horas. Por otro lado, hay que cuidar que la fachada de la edificación fotografiada no se encuentre a contraluz, ya que se obtienen fotografías oscuras.
- **Fotografías convergentes:** la fachada debe encuadrar en tres o más fotografías, con un ángulo aproximado de 45° entre sí (ver figura 3.23).



Figura 3.23. Fotografías convergentes de la estructura Este 02.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Toma de fachadas:** es importante que las fotografías cubran toda la fachada, en el caso de que no exista esta posibilidad, como en lugares estrechos o fachadas muy grandes, se toma la triada fotográfica por partes; el software recomienda tres estaciones, manteniendo especial atención en que todos los puntos del objeto se encuentren enfocados en las 3 fotografías, como indica la figura 3.24:

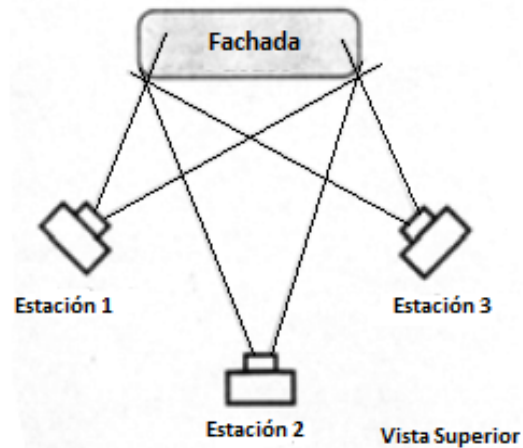


Figura 3.24. Estaciones para fotografiar una fachada.

Fuente: Eos System Inc., 2008.

- **Puntos en las fotografías:** todos los puntos que se deseen restituir, deben estar, por lo menos, en tres fotografías consecutivas tomadas desde posiciones diferentes; lo óptimo, es que todos los puntos de la fachada aparezcan en la triada fotográfica.
- **Obstáculos:** evitar obstáculos que pueden limitar la información en la fotografía, como por ejemplo: automóviles, postes, árboles, y demás objetos que puedan interferir con la restitución (ver figura 3.25).



Figura 3.25. Obstáculos en la fotografía.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Calidad de la fotografía:** para tener una buena calidad de fotografía, el contraste y la nitidez deben ser buenos, los detalles de cada fachada deben observarse nítidamente para identificar y marcar con suficiente precisión los puntos que se van a restituir; si se desea se puede utilizar programas de edición fotográfica que regulan y/o modifican el brillo, contraste y colores; nunca se debe modificar el tamaño de la fotografía o recortarla. Finalmente, como complemento indirecto, para no capturar fotografías borrosas o movidas, es importante el uso del trípode.

d. Importación y uso de fotografías en PhotoModeler Pro 6

Al momento de iniciar el programa, en el entorno de trabajo, se necesita decidir el método para la restitución, en este caso, se escogió el proyecto basado en puntos ("Points-based project"), en razón de que éste utiliza una orientación relativa para determinar las coordenadas 3D, tal como se ilustra en la figura 3.26.

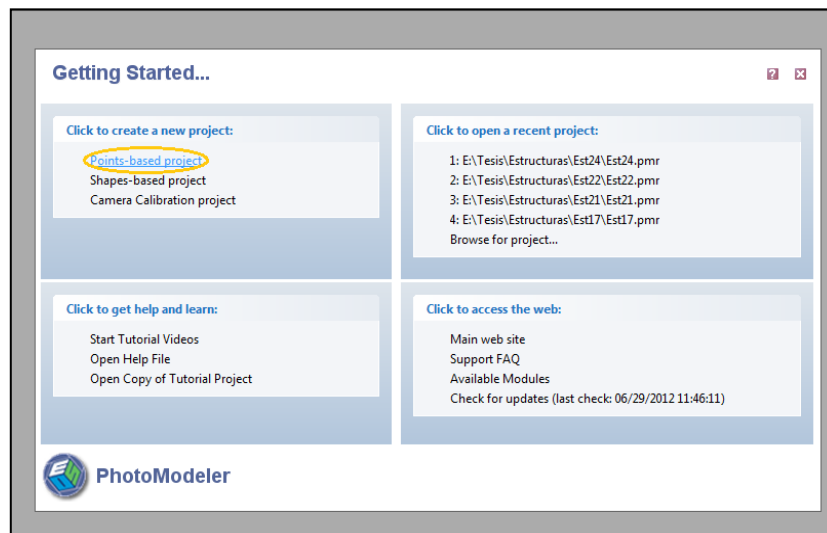


Figura 3.26. Proyecto basado en puntos.

Espín M. & Guano F., 2012.

Se seleccionaron las fotografías de la fachada a restituirse, este proceso se efectuó para cada una de las fachadas del proyecto fotogramétrico, como se aprecia en la figura 3.27

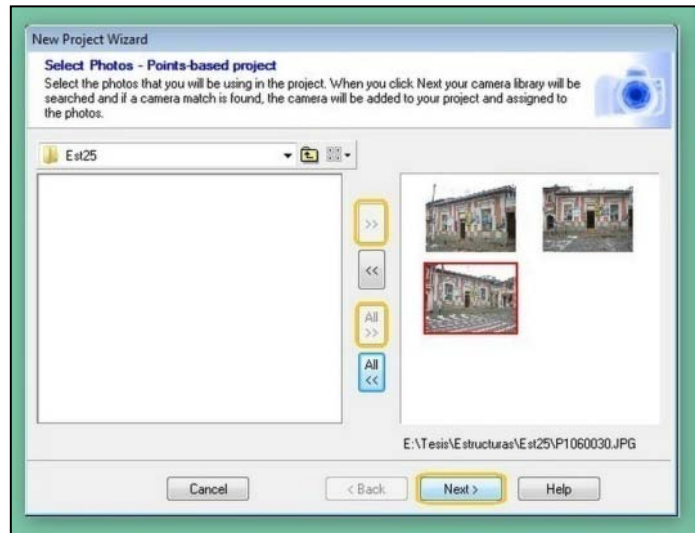


Figura 3.27. Selección de fotografías a restituirse.

Espín M. & Guano F., 2012.

e. Marcado puntos homólogos en las fotografías

Para empezar la restitución, se procedió a abrir la triada fotográfica mediante el acceso "Open Selected Photos" y se marcaron todos los puntos homólogos (ver figura 3.28).



Figura 3.28. Tríada de fotos abiertas en PhotoModeler Pro 6.

Espín M. & Guano F., 2012.

Posteriormente, se deben marcar los puntos homólogos (marcas iguales en las tres fotografías), haciendo una ampliación (zoom) para obtener una mejor visualización de los detalles y así alcanzar una buena precisión en el pinchado de dichos puntos.

En la figura 3.29, se observa por ejemplo, con un punto negro, en la parte superior derecha de la columna, un detalle común en la triada fotográfica, es decir, aquel es el punto homólogo.

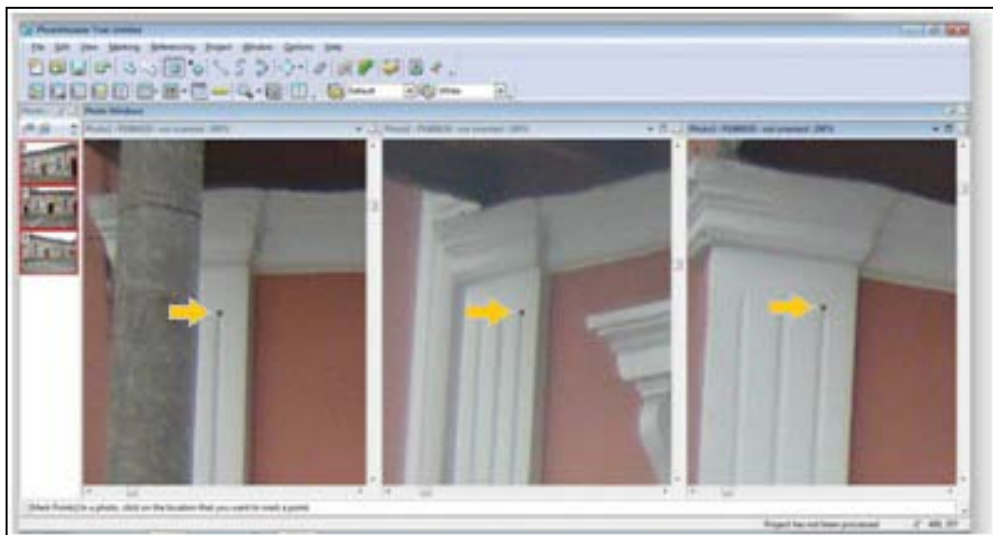


Figura 3.29. Punto marcado en las tres fotografías.

Espín M. & Guano F., 2012.

f. Referenciado de puntos homólogos marcados

Luego del marcado de los puntos se procedió a enlazar dichos puntos mediante la opción, "Referencing Mode", con la finalidad de indicar que puntos son homólogos entre sí, seleccionando el mismo punto marcado en las tres fotografías (ver figura 3.30).

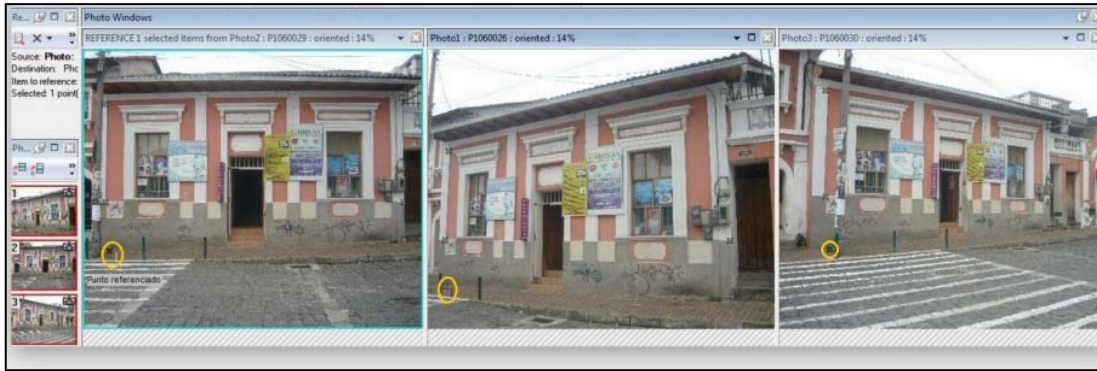


Figura 3.30. Referenciar puntos.

Espín M. & Guano F., 2012.

En la figura 3.31, se aprecia el resultado del marcado (pinchado) y enlazado de los elementos necesarios, que servirán para generar el modelo 3D.



Figura 3.31. Puntos marcados y referenciados.

Espín M. & Guano F., 2012.

Es importante visualizar y obtener un residual inferior a un pixel, el cual se aprecia en la esquina inferior derecha de la ventana del programa (ver figura 3.32), en caso de que se supere dicho valor, hay que mejorar el pinchado de puntos, cambiándolo o moviéndolo.

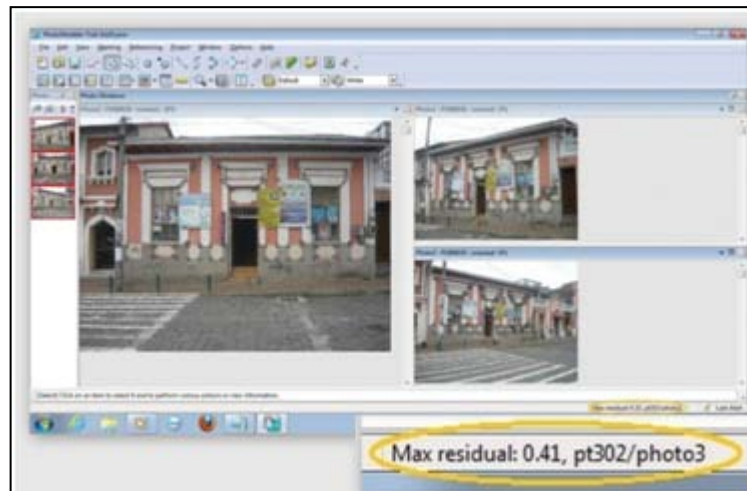


Figura 3.32. Máximo residual de un punto referenciado.

Espín M. & Guano F., 2012.

Para revisar y tener una certeza en cuanto al marcado e identificación en la foto, se habilita la ventana de residuales, cuya tabla se activa haciendo clic en la herramienta "Table Window". En la figura 3.33 se observan dichos residuales.

| Table Windows [Floating] | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|--------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Point table - All | | | | | | | | | | | | | | |
| Id | Name | Photos | X (m) | Y (m) | Z (m) | X Precisi... | Y Precisi... | Z Precisi... | Precisior Vector Length | Tightnes (perce... | Tightnes (m) | Angle (deg.) | Control Name | RMS Residua (pixels) |
| 1 | | 1,2,3 | -0.460... | 0.1386... | -1.167... | 3.9860... | 3.5736... | 7.0540... | 8.8554... | 0.0090... | 9.4169... | 64.004... | | 0.1733... |
| 7 | | 1,2,3 | -0.452... | -0.141... | -1.125... | 3.9022... | 3.4213... | 6.6893... | 8.4664... | 0.0109... | 0.0001... | 66.761... | | 0.1680... |
| 8 | | 1,2,3 | -0.444... | -0.278... | -1.101... | 3.9387... | 3.6625... | 6.4611... | 8.4068... | 0.0162... | 0.0001... | 66.707... | | 0.2240... |
| 11 | | 1,2,3 | 0.2626... | 0.2056... | -0.730... | 5.2901... | 3.6838... | 6.8962... | 9.4400... | 0.0028... | 2.9706... | 55.944... | | 0.0972... |
| 14 | | 1,2,3 | 0.2617... | -0.088... | -0.693... | 5.1073... | 3.0574... | 6.6384... | 8.9163... | 0.0127... | 0.0001... | 58.087... | | 0.2076... |
| 17 | | 1,2,3 | 0.2626... | -0.190... | -0.679... | 5.0128... | 3.3830... | 6.5203... | 8.8932... | 0.0222... | 0.0002... | 57.944... | | 0.2517... |
| 20 | | 1,2,3 | -0.400... | 0.0793... | -1.123... | 4.0208... | 3.4601... | 6.9474... | 8.7411... | 0.0119... | 0.0001... | 66.465... | | 0.2388... |
| 23 | | 1,2,3 | -0.391... | 0.0682... | -1.117... | 4.0319... | 3.4477... | 6.9404... | 8.7357... | 0.0069... | 7.2033... | 66.809... | | 0.0967... |
| 26 | | 1,2,3 | -0.383... | 0.0602... | -1.110... | 4.0359... | 3.4371... | 6.9242... | 8.7205... | 0.0035... | 3.6759... | 67.127... | | 0.0875... |
| 29 | | 1,2,3 | -0.278... | 0.0884... | -1.049... | 4.1993... | 3.4686... | 6.9476... | 8.8281... | 0.0079... | 8.3424... | 68.701... | | 0.1090... |
| 32 | | 1,2,3 | -0.280... | 0.0862... | -1.049... | 4.1945... | 3.4649... | 6.9425... | 8.8203... | 0.0173... | 0.0001... | 68.732... | | 0.2257... |
| 35 | | 1,2,3 | -0.287... | 0.0769... | -1.053... | 4.1812... | 3.4545... | 6.9365... | 8.8052... | 0.0094... | 9.8807... | 68.759... | | 0.1910... |
| 38 | | 1,2,3 | -0.289... | 0.0746... | -1.053... | 4.1770... | 3.4512... | 6.9319... | 8.7983... | 0.0130... | 0.0001... | 68.779... | | 0.1967... |
| 41 | | 1,2,3 | -0.296... | 0.0672... | -1.057... | 4.1654... | 3.4440... | 6.9275... | 8.7865... | 0.0115... | 0.0001... | 68.772... | | 0.2852... |
| 53 | | 1,2,3 | -0.397... | 0.1092... | -1.130... | 4.0607... | 3.5230... | 7.0259... | 8.8468... | 0.0155... | 0.0001... | 65.824... | | 0.2089... |

Figura 3.33. Coordenadas y residuales de los puntos referenciados

Espín M. & Guano F., 2012.

g. Procesamiento para la obtención de coordenadas 3D

Una vez revisados los residuales, se analiza y evalúa el reporte de pre procesamiento de los puntos, que se despliega al hacer clic en la herramienta "Process", para de esta forma obtener las coordenadas 3D (ver figura 3.34).

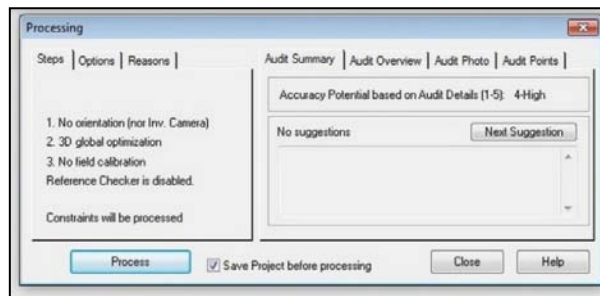


Figura 3.34. Pre procesamiento para la obtención de coordenadas 3D.

Espín M. & Guano F., 2012.

Para continuar con el análisis del reporte de pre procesamiento, se necesita revisar cada una de las pestañas: "Audit Summary", "Audit Overview", "Audit Photo" y "Audit Points"; en ese sentido éstas muestran un informe de calidad del proyecto, con sugerencias para mejorar los datos de ser necesario. A continuación, en la figura 3.35 se aprecian dichas consideraciones:



Figura 3.35. Informe de pre procesamiento con PhotoModeler Pro 6.

Espín M. & Guano F., 2012.

Revisados los informes, se procesan los datos accionando "Process", el cual, calcula los datos en 3D y visualiza la finalización del proceso. Si se quiere comprobar el error total obtenido, se acciona el botón "Show Report", en donde se constata que el error no sobrepase el valor de 1 pixel; tal como se ilustra en la figura 3.36 (ver anexo C).

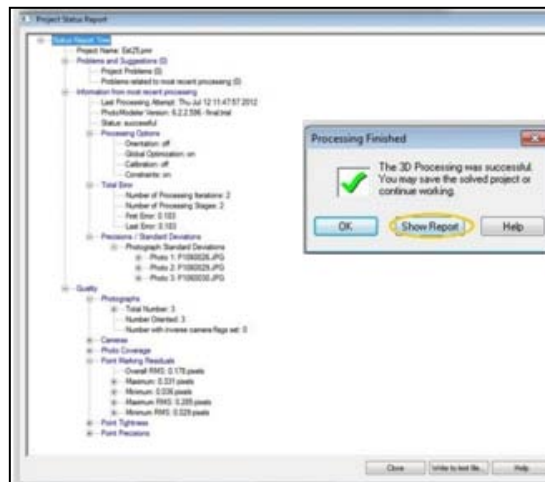


Figura3.36. Reporte de procesamiento 3D.

Espín M. & Guano F., 2012.

Finalmente, utilizando la herramienta "Open 3D View" se observan los puntos restituidos en tres dimensiones, como se ve en la figura 3.37.

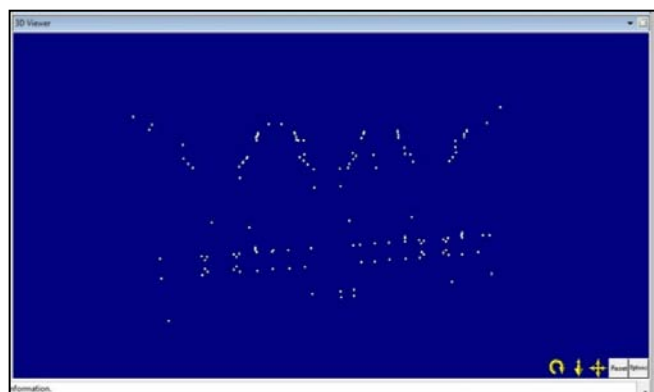


Figura3.37. Vista 3D de los puntos restituidos.

Espín M. & Guano F., 2012.

h. Escalado y rotación de datos restituidos

Escalar y rotar, permite dar a los datos su posición y orientación real; en ese sentido, se activa el botón "Scale/Rotate" del menú y se efectúa seleccionando dos puntos del proyecto que correspondan a cada eje coordenado, como se observa en la figura 3.38.



Figura 3.38. Rotación para definir los ejes coordenados de la fachada.

Espín M. & Guano F., 2012.

En cuanto al escalado, este se realiza seleccionando dos puntos del proyecto cuya longitud real se mide previamente en el terreno, luego se ingresa la longitud en la casilla de la pestaña "Scale", en las unidades correctas; se debe escalar por lo menos una longitud correspondiente a cada eje (ver figura 3.39).



Figura 3.39. Escalado de la fachada.

Espín M. & Guano F., 2012.

i. Exportación de datos restituidos

Exportar es una opción para trasladar los datos a un formato que sea compatible con otros programas. Considerando que el software con el que se trabaja en fases posteriores es Google SketchUp 8 Pro (el cual tiene buenas herramientas de edición y dibujo entre otras características), se optó por transformar los proyectos basados en puntos a un formato de intercambio compatible, en este caso el Drawing Exchange Format, formato que tiene por finalidad la interoperabilidad de los dibujos CAD, cuya extensión es dxf.

En la figura 3.40 se observa, el proceso de exportación y los parámetros que deben ser utilizados.

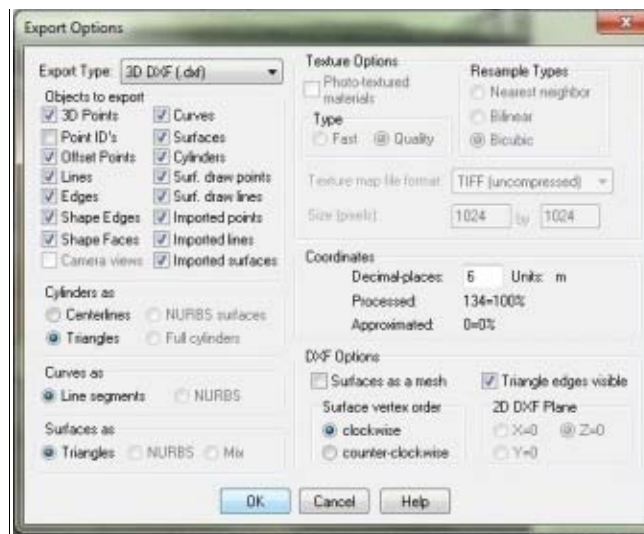


Figura3. 40. Exportación a formato .dxf.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.2.2 Rectificación de fotografías de edificaciones esquineras con Google SketchUp 8 Pro

En la figura 3.41, se describen las etapas que forman parte del proceso de rectificación de fotografías de edificaciones esquineras con SketchUp 8 Pro:

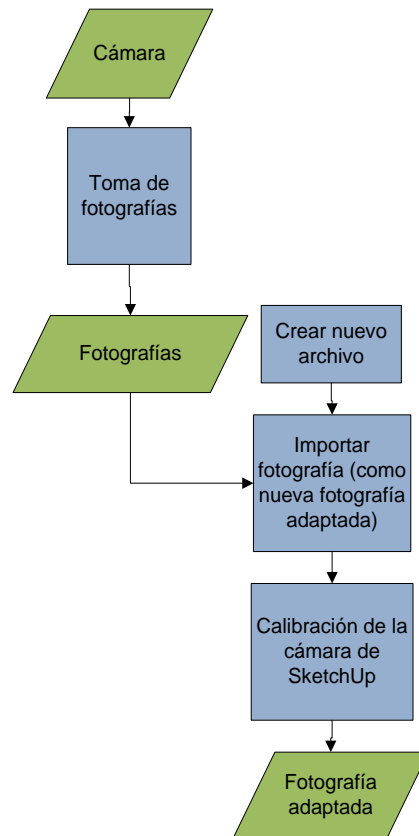


Figura 3.41. Etapas que intervienen en el proceso de rectificación de fotografías de edificaciones esquineras.

Espín M. & Guano F., 2012.

a. Cámara

Las características de la cámara utilizada para la creación de modelos por medio de adaptación de fotografías en SketchUp 8 Pro, son menos exigentes a las descritas para la restitución en PhotoModeler 6 Pro, ya que en este caso las funciones automáticas no son un obstáculo, pues mientras más alta sea la resolución espacial, se cubrirá mayor terreno y mayor detalle.

A continuación en la tabla 3.7 se listan las especificaciones principales de la cámara que se usó para esta etapa del proyecto.

Tabla 3.7. Características técnicas de la cámara KODAK EASYSHARE M575

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Resolución | 14 MP |
| Distancia Focal | 28 - 140 mm |
| Zoom óptico | 5x |
| Lente | SCHNEIDER-KREUZNACH VARIOGON |
| Enfoque | Automático |
| Sensor de imagen | CCD de 1/2,3 pulgadas. |

Fuente: Kodak, 2011

b. Toma de fotografías

Para asegurar la calidad del modelo por medio de la adaptación de una imagen con SketchUp, se tomaron fotografías siguiendo las sugerencias proporcionadas por Trimble (2011).

Considerando los lineamientos del fabricante, y que las estructuras son esquineras, se tomaron los fotogramas en un ángulo aproximado de 45 grados respecto a cada esquina de la estructura (ver figura 3.42).



Figura 3.42. Ángulo de toma (45° aproximadamente) para estructuras esquineras.

Espín M. & Guano F., 2012.

No se debe cortar, ni deformar las fotografías ya que se perderá la geometría original capturada.

En la figura 3.43 se encuentra un ejemplo con dos fotos, una modificada y otra original.



Figura 3.43. Comparación de la pérdida de geometría por recorte en la imagen.

Espín M. & Guano F., 2012.

Por otro lado, se descartó la toma de imágenes panorámicas, ya que suelen deformarse excesivamente y tienen varios puntos de fuga para cada eje. Se evitó sobrecargar el primer plano con demasiados elementos, ya que los obstáculos que bloquean la vista dificultan la identificación y trazado. A continuación en la figura 3.44, se observan las limitantes existentes con la presencia de obstáculos para la rectificación de fotografías de edificaciones esquineras.



Figura 3.44. Ejemplo de una fotografía con obstáculos

Espín M. & Guano F., 2012.

c. Calibración de la cámara de SketchUp 8 Pro

SketchUp incluye una cámara virtual, la cual permite la navegación por el espacio tridimensional del software; por tanto, la calibración es propicia para imágenes que contengan estructuras con líneas paralelas a los ejes coordenados, como por ejemplo: la parte superior de una puerta rectangular o la parte superior e inferior de ventanas cuadrangulares.

- Se importó una de las fotografías correspondientes a las diferentes vistas que componen la edificación seleccionando la opción "Match Photo" (ver figura 3.45).

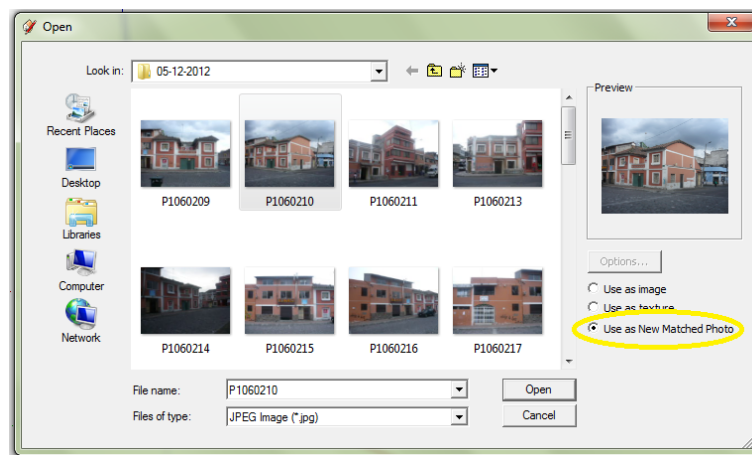


Figura 3.45. Importación de una fotografía seleccionando "Match Photo"

Espín M. & Guano F., 2012.

- Se procedió a replicar la posición y longitud focal de la cámara utilizada para la toma (ver figura 3.46).
 1. Se trasladó el punto de origen a un punto en la imagen donde coincidan los tres ejes, por ejemplo la esquina inferior de un edificio.
 2. Se movieron las cuatro barras de puntos de fuga (dos correspondientes al eje verde y dos al eje rojo) a posiciones de la fotografía que representen líneas paralelas a los ejes.
 3. Se dibujaron dos líneas de medidas conocidas en el origen (vertical y horizontal), para luego, escalar la foto estirando el eje azul hasta que los detalles dibujados coincidan con los de la fotografía.

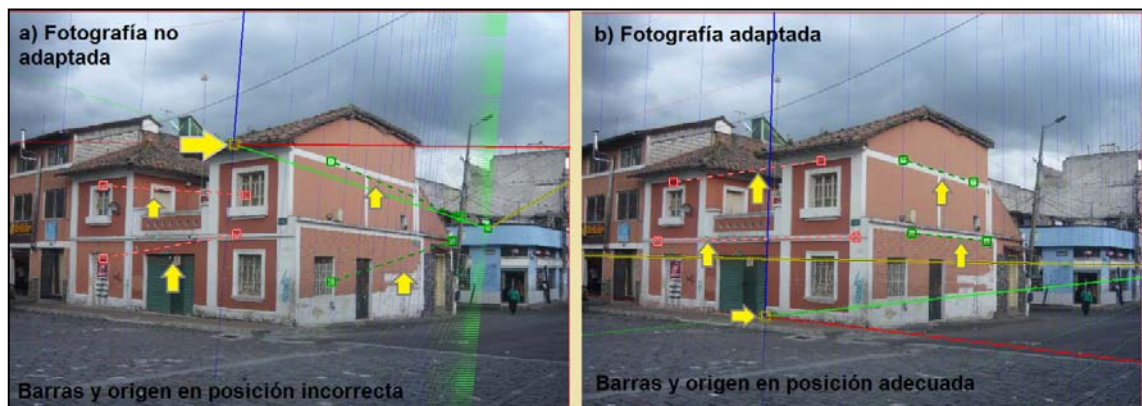


Figura 3.46. Comparación entre fotografía no adaptada (a) y adaptada (b).

Espín M. & Guano F., 2012.

En casos en los que se utilizaron dos o más fotos con vistas diferentes para la construcción de las estructuras, fue necesaria una nueva calibración para cada fotografía.

3.3 MODELADO 3D

En la figura 3.47, se muestran las etapas que constituyen parte del proceso de modelado 3D:

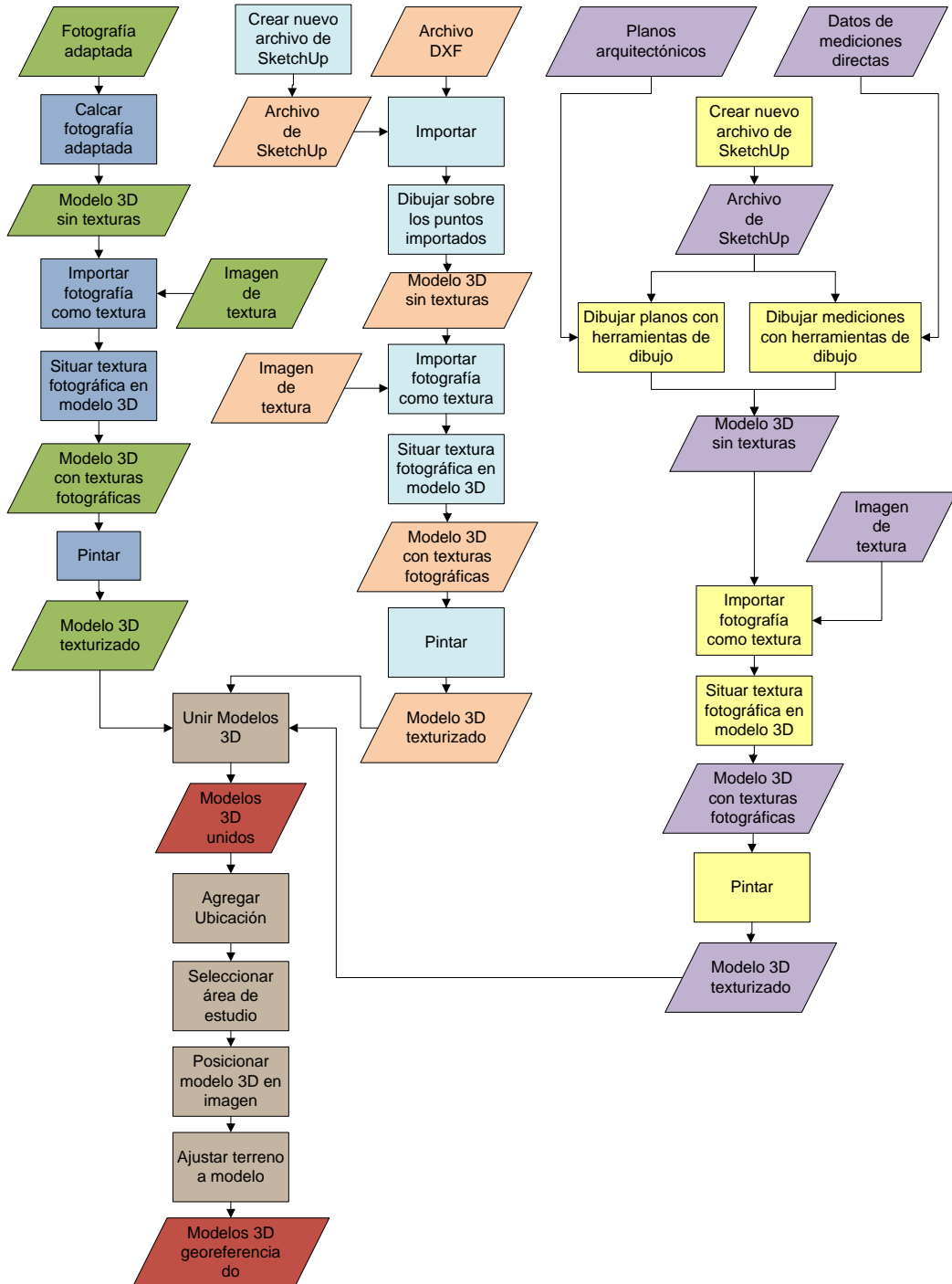


Figura 3.47. Etapas que comprenden el proceso de modelado 3D.

Espín M. & Guano F., 2012.

El modelado 3D incluye la ejecución de 3 etapas (ver figura 3.47):

- La primera dedicada al dibujo de las estructuras que conforman las diferentes edificaciones.
- La segunda que comprende la adición de texturas a los inmuebles previamente dibujados.
- La última etapa es la incorporación de los modelos texturizados en un modelo digital de elevación (MDE).

3.3.1 Trazado de modelos 3D

El trazado de un modelo 3D constituye esencialmente, el dibujo de líneas, arcos, áreas y volúmenes correspondientes a una edificación en un espacio tridimensional.

Para graficar las edificaciones, se usaron como insumo los puntos generados en la restitución de fachadas con PhotoModeler Pro 6 y las fotografías adaptadas (rectificadas) para el levantamiento de inmuebles esquineros con SketchUp 8 Pro.

a. Trazado de modelos 3D a partir de puntos generados en la restitución de fachadas con PhotoModeler Pro 6.

La información generada en el software PhotoModeler Pro 6, se exportó a formato DXF para incorporarla a Google SketchUp 8 Pro, ya que éste programa posee mayor número de herramientas de edición, dibujo y texturizado. Para el dibujo de las fachadas se importaron las nubes de puntos generadas en la restitución para posteriormente crear las diferentes formas de la estructura uniendo los puntos (ver figura 3.48).

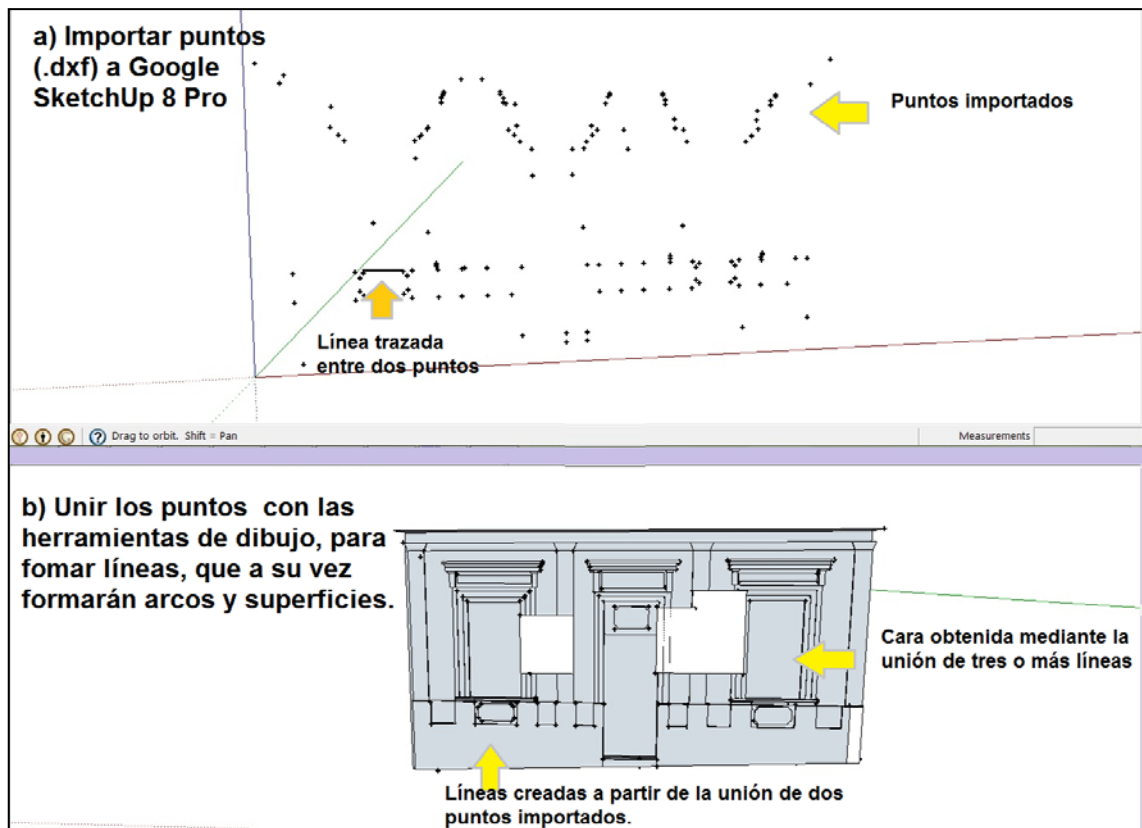


Figura 3.48. Importación de puntos 3D en formato DXF (a) y trazado de fachada con herramientas de dibujo de SketchUp 8 Pro (b).

Espín M. & Guano F., 2012.

b. Trazado de modelos 3D a partir de fotografías adaptadas (rectificadas) con SketchUp 8 Pro.

Para graficar las edificaciones esquineras se usaron las imágenes adaptadas, calcando las diferentes estructuras sobre la fotografía por medio de las herramientas de dibujo que posee el software.

En la figura 3.49, se ilustra un ejemplo de los procesos que componen la elaboración de modelos 3d a partir de fotografías adaptadas (rectificadas) en Google SketchUp 8 Pro.

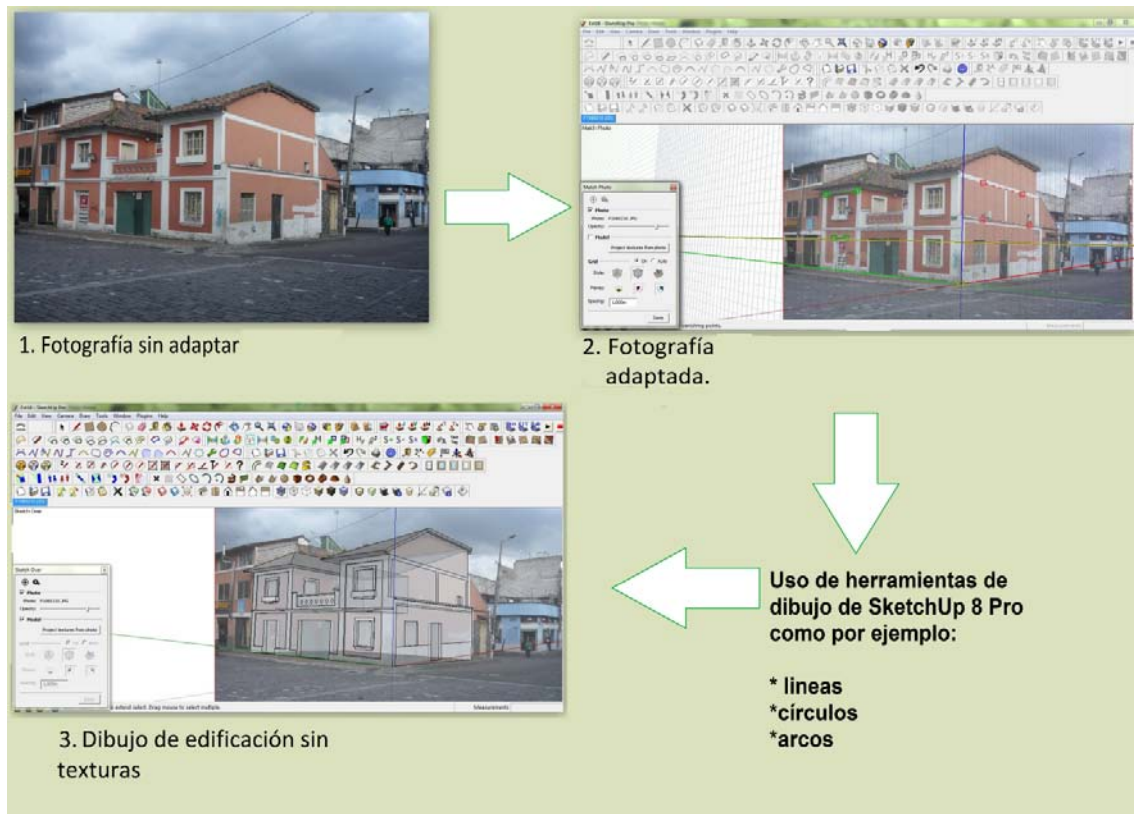


Figura 3.49. Ejemplo de la elaboración de un modelo 3D de una edificación a partir de una imagen adaptada (rectificada).

Espín M. & Guano F., 2012.

c. Trazado de modelos 3D a partir de técnicas de medición directa y planos arquitectónicos.

Para la elaboración de modelos 3d de detalles o estructuras que no pudieron ser obtenidas por técnicas fotogramétricas (caso iglesia), se utilizaron como insumos los datos proporcionados por los planos y medidas tomadas in situ.

- **Trazado de modelos 3D a partir de planos arquitectónicos suministrados por el Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural de Quito (IMPCQ):** la obtención de estos modelos consistió, en dibujar los detalles presentes en los planos, en un archivo digital de SketchUp, usando las herramientas de dibujo disponibles en el software.

Por ejemplo en la figura 3.50, se observan los modelos 3D del campanario y el reloj de la iglesia, contruidos a partir sus respectivos planos.

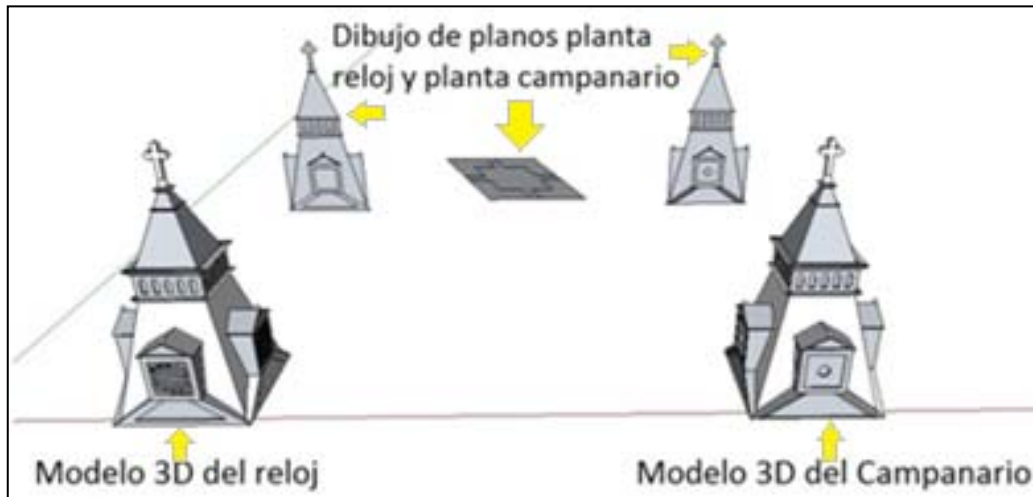


Figura 3.50. Modelos 3D del campanario y reloj de la iglesia creados a partir de planos arquitectónicos.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Trazado de modelos 3D a partir de mediciones directas in situ:** este tipo de modelos se elaboró, con datos adquiridos a través de instrumentos de medición directa, como son, el flexómetro y la cinta, para levantar estructuras con muchos detalles, situadas en espacios pequeños.

A continuación, se aprecia en la figura 3.51, ejemplos de estructuras levantadas (altares menores), con técnicas alternativas a las fotogramétricas.



Figura 3.51. Modelos 3D de los altares menores creados a partir de mediciones alternativas a la fotogrametría.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.3.2 Texturizado de modelos 3D

El texturizado, es básicamente, pintar el modelo 3D; para ello, se emplearon dos tipos de texturas, los materiales obtenidos a partir de fotografías y los propios de Google SketchUp.

a. Situar textura fotográfica

Se aplicó la opción "Usar imagen como textura", para ubicar la imagen en su correspondiente superficie a partir de la distorsión o manipulación de su posición y/o tamaño. En la figura 3.52, se observa una imagen utilizada como textura, con los elementos que modifican su forma, posición y tamaño.



Figura 3.52. Proceso para usar una foto como textura.

Espín M. & Guano F., 2012.

b. Usar texturas incluidas en el Google SketchUp

Es importante no sobrecargar el modelo, por tanto, siempre que se pueda, hay que usar las texturas incluidas en el software; en ese sentido se aplicó la opción pintar para proporcionar a los diferentes planos del modelo, color y materiales texturizados (ver figura 3.53).

- **Colores:** corresponden a pigmentos (tonalidades) generados por SketchUp, que mejoran la estética del modelo (ver figura 3.53).
- **Materiales texturizados:** son imágenes que proveen una sensación visual de realismo (agregan detalles a la superficie); están compuestas por capturas gráficas de los materiales que representan. Por ejemplo tejas, duelas, rocas (ver figura 3.53).



Figura 3.53. Uso de colores y materiales texturizados de SketchUp en un modelo 3D.

Espín M. & Guano F., 2012.

La combinación de las dos técnicas de texturizado (ver figura 3.54) da como resultado un modelo muy aproximado a la realidad ahorrando tamaño en el archivo de modelado y en consecuencia obteniendo una visualización más rápida del mismo.



Figura 3.54. Ejemplo del uso de texturas fotográficas, colores y materiales texturizados en un modelo 3D.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.3.3 Implantación de modelos 3D

Los modelos 3D, generalmente se colocan sobre un modelo digital de elevación para mostrar la topografía circundante a la edificación.

El software SketchUp 8 Pro, reconoce diferentes tipos de archivos con información altitudinal en los formatos DXF y DWG; además, se puede incorporar un MDE con su respectiva imagen satelital, a través de Google Maps y con ello situar las edificaciones modeladas en el terreno.

En ese sentido, a continuación se describirán tanto el proceso para la generación de un MDE, como el existente con Google Maps.

a. Adquisición del modelo de elevación de Google Maps

Google Sketch Up 8 Pro, posee la herramienta "Add Location" (agregar ubicación) que permite obtener un modelo digital de elevación de bajo detalle con su respectiva imagen satelital.

A continuación, se listan los pasos a seguir para la obtención de un MDE e imagen satelital de Google Maps:

1. Ejecutar el botón "Add Location" de la barra de herramientas.
2. Seleccionar el área de interés en la interfaz de imágenes satelitales.
3. Presionar en el botón "Grab" para desplegar la imagen y el MDE de la superficie seleccionada en el entorno del software.
4. Activar la opción "Toggle Terrain" de la barra de herramientas para visualizar las formas del terreno.

Por otro lado, la implantación las edificaciones levantadas al MDE, se realizó con la herramienta Sandbox, la misma que permite manipular las formas del terreno y acoplarlas a los inmuebles modelados.

La implantación de los modelos al MDE e imagen satelital de Google Maps se efectuó mediante el siguiente proceso:

1. Agrupar los modelos 3D
2. Desagrupar el MDE e imagen satelital
3. Girar y mover los modelos 3D a su posición correspondiente en la imagen satelital

4. Seleccionar el piso de los modelos 3D y presionar el botón "Drape" (barra de herramientas "Sand Box") para cortar la imagen y el MDE con la forma de dichas superficies.
5. Ejecutar la opción "Smove", disponible en la barra de herramientas "SandBox" para seleccionar los vértices del DEM y ajustarlos a los vértices de los modelos 3D.

En la figura 3.55, se ejemplifican los pasos a seguir para la implantación de modelos 3D en una imagen satelital y MDE de Google Maps.

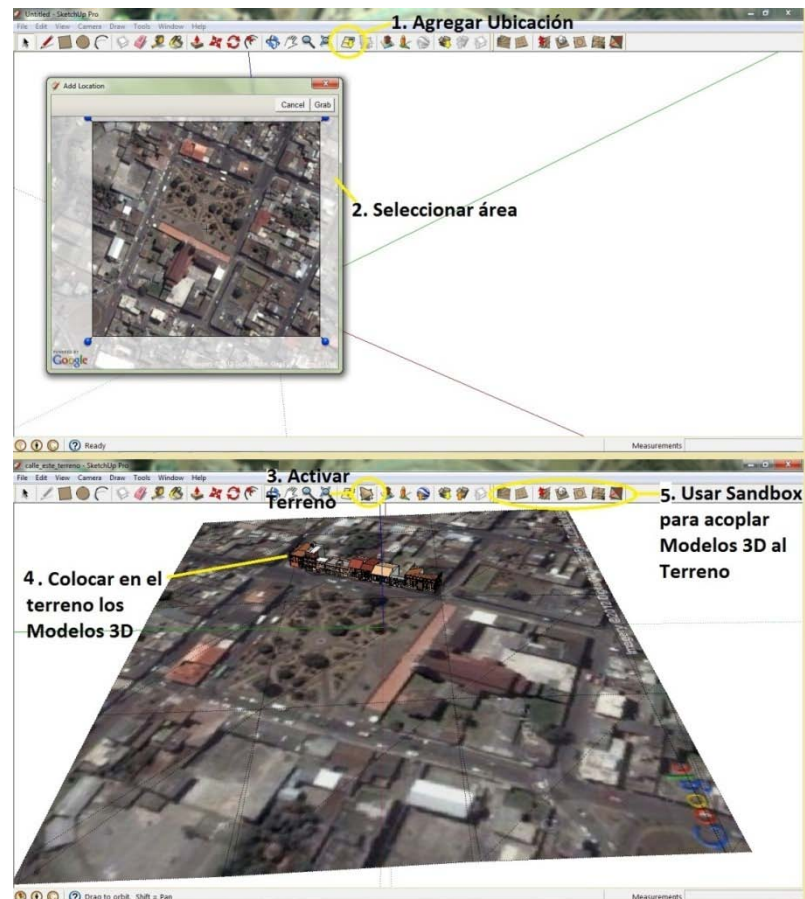


Figura 3.55. Implantación de modelos 3D en imagen satelital y MDE de Google Maps.

Espín M. & Guano F., 2012.

b. Generación del modelo digital de elevación (MDE)

Se elaboró el MDE de la parroquia de Conocoto, a partir de curvas de nivel y cotas 1:1000 proporcionadas por la Dirección Metropolitana de Catastros de Quito; como herramienta de generación se aplicó: "Create TIN from Features", del "3D Analyst" del programa ArcGis 9.3, cuyo proceso se muestra a continuación:

1. Ingresar a ArcScene
2. Agregar los archivos con información altimétrica (curvas de nivel, cotas) y límite parroquial.
3. Ejecutar "Create TIN from Features"
4. Marcar y configurar las capas que intervendrán en la elaboración de la Red irregular triangular (TIN), en este caso:
 - Cotas
 - "Height source": Elevation
 - "Triangulate as": mass point (vértices del TIN).
 - "Tag value field": none.
 - Curvas de nivel
 - "Height source": Elevation
 - "Triangulate as": soft line (suavizan el contorno del TIN).
 - "Tag value field": none.
 - Límite parroquial
 - "Height source": none
 - "Triangulate as": soft clip (suavizan el corte).
 - "Tag value field": none.

5. Elegir la ubicación de salida y el nombre del archivo TIN.
6. Presionar OK para iniciar el proceso.
7. Ejecutar la herramienta "TIN to Raster".
8. Seleccionar el archivo TIN generado.
9. Elegir la ubicación de salida y el nombre del archivo raster.
10. Presionar OK para iniciar la conversión.

En la figura 3.56, se aprecia el resultado del proceso para generar un MDE de la parroquia Conocoto.

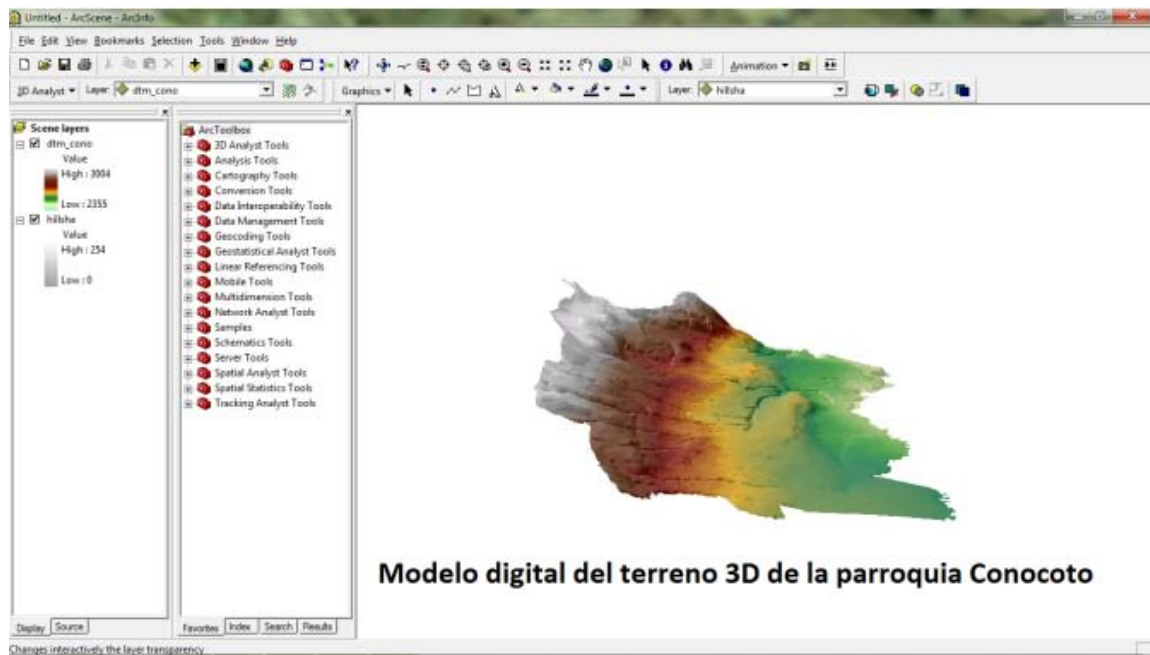


Figura 3.56. MDE de la parroquia de Conocoto generado a partir de curvas de nivel y cotas.

Espín M. & Guano F., 2012.

Para adquirir una imagen satelital que cubra el MDE de la parroquia Conocoto, se usó el software libre SAS.Planet, versión 121010, fabricado por el grupo ruso SASGIS, disponible en línea a través de la página <http://sasgis.ru>.

El proceso de descarga de la imagen satelital, está en función de la disponibilidad de la misma en los diferentes servidores. La obtención de un archivo raster por medio de SAS.Planet se realizó siguiendo el proceso descrito a continuación:

1. Abrir SAS.Planet
2. Seleccionar el servidor de imágenes que se ajuste a los requerimientos (resolución, visualización, uso) del proyecto, en este caso ESRI.
3. Seleccionar el área de interés con "Selection Manager".
4. Ejecutar "Save to", de la pestaña "Stitch", para guardar el archivo en el formato que se solicite.
5. Presionar el botón "Start" para comenzar la descarga.

La figura 3.57, muestra la interfaz de SAS.Planet, así como, las herramientas que intervienen en la descarga de una imagen satelital de la parroquia Conocoto.

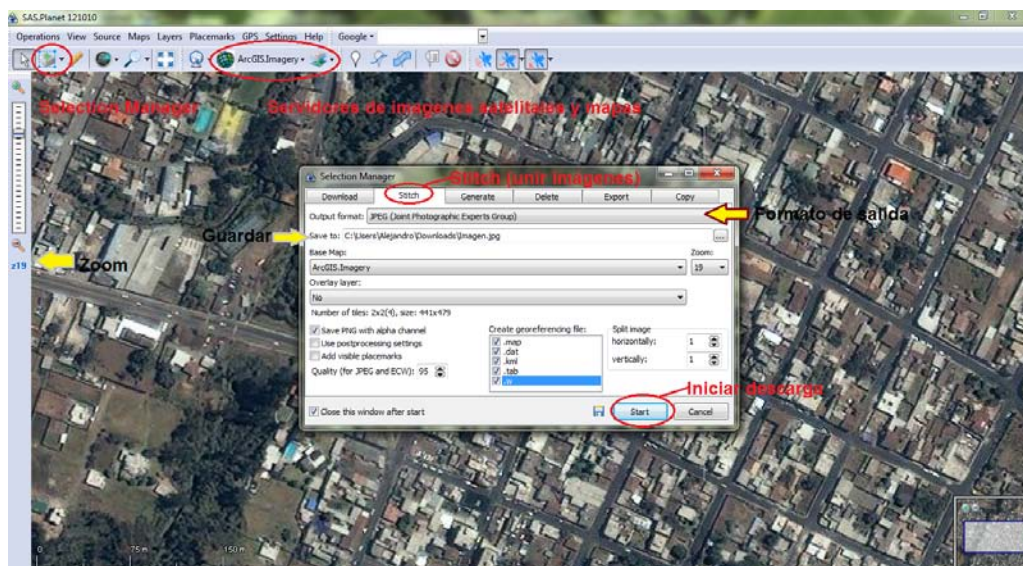


Figura 3.57. Interfaz de SAS.Planet y herramientas usadas para descargar una imagen satelital de la parroquia Conocoto desde el servidor de ESRI.

Espín M. & Guano F., 2012.

Finalmente, para mejorar la presentación del MDE, se procedió a añadir la imagen satelital descargada usando ArcScene (ver figura 3.58).

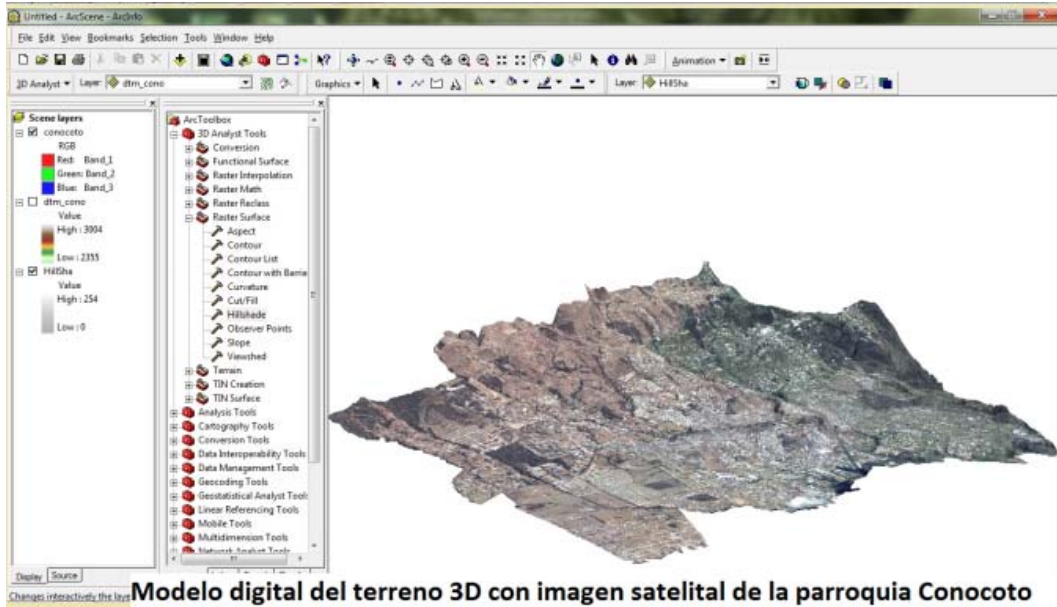


Figura 3.58. Visualización 3D del MDE, con una imagen satelital de la parroquia de Conocoto, descargada desde el servidor de ESRI.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.4 GENERACIÓN DEL AMBIENTE VIRTUAL

Un ambiente virtual es una interfaz que permite al usuario la visualización e interacción en tiempo real de entornos creados por computadora; el acceso a los ambientes virtuales se realiza por medio de plug-ins compatibles con los diferentes navegadores de internet y archivos en formato de documento portátil (PDF).

3.4.1. Generación de ambientes virtuales en lenguaje de modelado virtual (VRML)

Para la elaboración de las diferentes realidades virtuales se exportaron los modelos 3d texturizados a lenguaje de modelado virtual (VRML). A continuación, se detallan los pasos para efectuar dicha exportación, tanto para SketchUP 8 Pro como para ArcScene 9.3:

- **Exportar a VRML desde Google SketchUp 8 Pro.**

1. Abrir el archivo que contienen el modelo o los modelos 3D.
2. Ir al menú "File".
3. Elegir la opción "Export".
4. Seleccionar "3D" (ver figura 3.59).
5. En la ventana de "Export Model" definir el nombre, ubicación y formato de salida del archivo.
6. Presionar el botón "Export" para completar el proceso.



Figura 3.59. Exportación de un modelos 3D a VRML desde Google SketchUp 8 Pro.

Espín M. & Guano F., 2012.

- **Exportar a VRML desde ArcScene 9.3.**

1. Abrir el proyecto (.sdx) que contiene el MDE.
2. Ir al menú "File".
3. Elegir la opción "Export Scene".
4. Seleccionar "3D" (ver figura 3.60).
5. Definir el nombre y ubicación de salida del archivo.
6. Presionar el botón "Export" para finalizar.

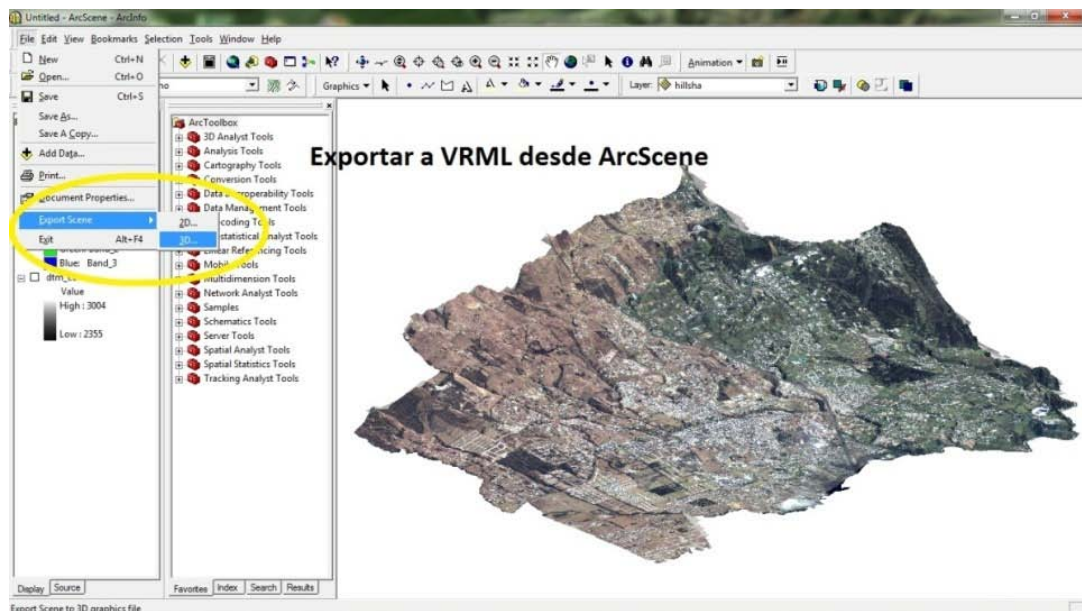


Figura 3.60. Exportación de Modelos 3D a VRML.

Espín M. & Guano F., 2012.

Posteriormente se abrieron los archivos en el bloc de notas y se agregaron los comandos de adición de desplazamiento e iluminación y de eliminación del efecto fantasma (traspasar los modelos). En la figura 3.61, se observan los comandos adicionados en el bloc de notas.

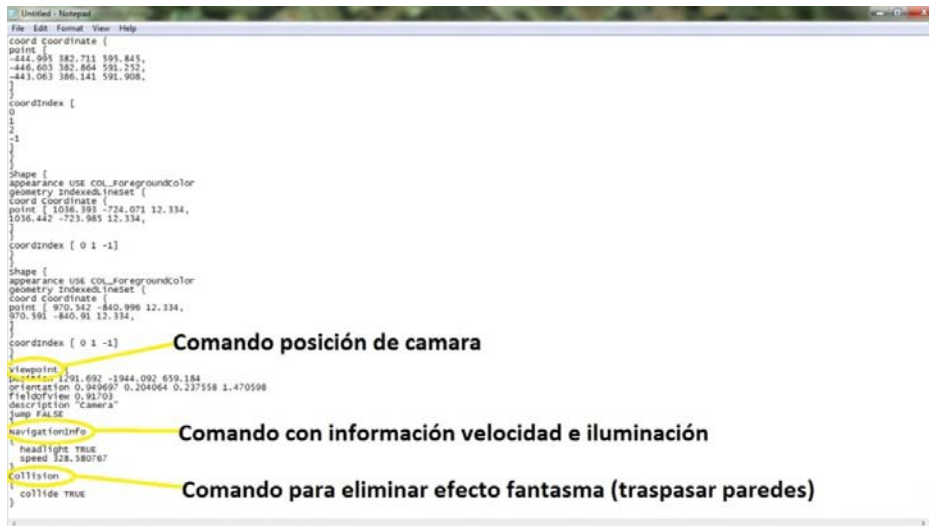


Figura 3.61. Edición de Archivos VRML en Bloc de Notas.

Espín M. & Guano F., 2012.

Una vez editados los archivos VRML, se procedió a subirlos al Geoportal IDEESPE y de esta manera, ponerlos a disposición del público en general. Además, junto con los archivos, se adjuntó un manual de usuario, el mismo que se detalla en el Anexo D. A continuación, en la figura 3.62, se observa el modelo 3D de una edificación, visualizado a través del plug-in Cosmo Player.

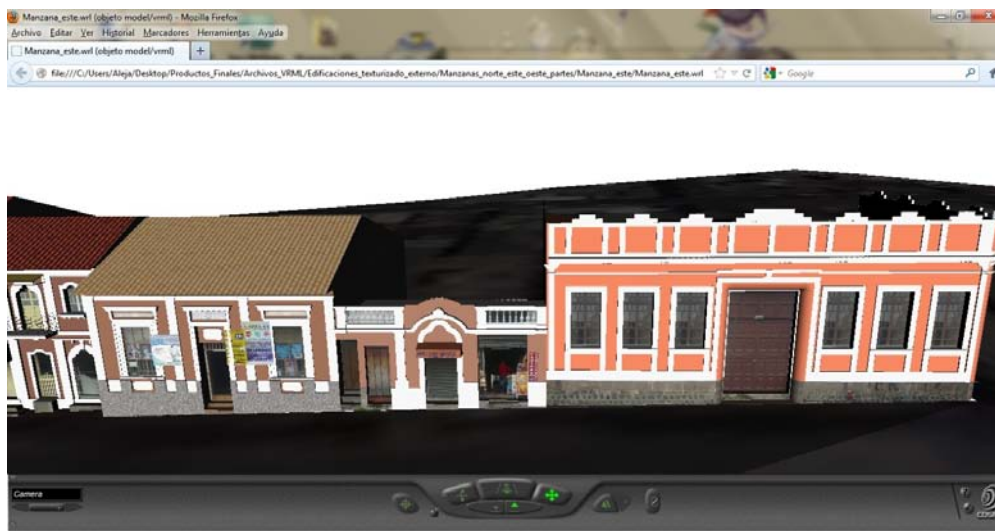


Figura 3.62. Visualización de modelo 3D de una edificación en Cosmo Player.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.4.2. Generación de ambientes virtuales en archivos de formato de documento portátil (PDF)

Las nuevas funcionalidades de PDF, lo hacen un formato ideal para compartir información; la posibilidad de incorporar animaciones, modelos 3D e imágenes a archivos de texto, lo convierten en una buena opción para generar ambientes virtuales.

A continuación, se detallan los pasos para obtener archivos PDF con contenido interactivo 3D usando Acrobat XI Pro:

1. Ir al menú "Herramientas".
2. Seleccionar "Objetos interactivos".
3. Elegir "Agregar 3D".
4. Trazar un rectángulo en la página que defina el área de ubicación del archivo 3D.
5. En el cuadro de diálogo "Insertar 3D", hacer clic en "Examinar" para seleccionar el archivo 3D, en este caso un archivos VRML previamente generado.
6. Presionar el botón "Abrir".
7. Crear un diseño de página agregando detalles por medio de las herramientas de edición de Acrobat PDF.

Los archivos PDF, se entregaron al Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto, con el fin de incorporarlos a su página web (<http://conocoto.gob.ec/>). Adicionalmente, con los archivos, se adjuntó un manual de usuario, el mismo que se detalla en el Anexo E.

La figura 3.63, muestra el modelo 3D de una edificación, incorporado a un archivo de formato PDF.

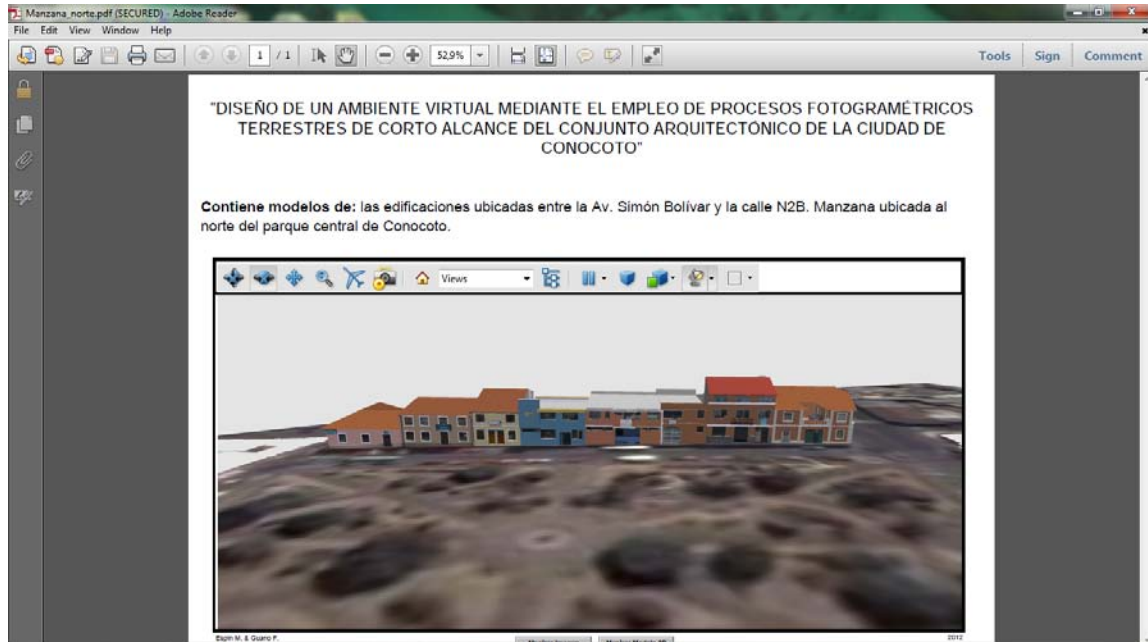


Figura 3.63. Visualización de modelo 3D de una edificación incorporado a un archivo PDF.

Espín M. & Guano F., 2012.

3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.5.1. Resultados del control de calidad de los modelos 3D

El control de calidad tiene como finalidad evaluar la precisión de los modelos generados y así demostrar la no existencia de diferencias significativas entre las medidas obtenidas en los levantamientos y sus homologas efectuadas en el terreno con un medidor laser.

Se determinó el tamaño de la muestra con parámetros definidos, para la ejecución de una prueba t de dos colas para medias de dos muestras

relacionadas, con un tamaño del efecto de 0,5, un α de 0,05 y un poder $(1-\beta)$ de 0,95.

Por medio del software libre GPower 3.1 se concluyó que la muestra debe estar comprendida de 54 elementos, los mismos que se listan en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Muestras para el control de calidad de los modelos 3D

| Id Edificación | Terreno (A) m | Modelo (B) m | Referencia | Tipo | C = (A-B) m |
|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------|--------------------|
| Oeste 01 | 0,46 | 0,47 | ventana pequeña | Horizontal | -0,01 |
| | 0,79 | 0,80 | ventana grande | Horizontal | -0,01 |
| | 3,10 | 3,11 | grada - viga de madera | Vertical | -0,01 |
| | 2,76 | 2,77 | columna - columna | Horizontal | -0,01 |
| | 0,42 | 0,40 | desnivel grada | Vertical | 0,02 |
| | 0,39 | 0,40 | desnivel grada | Vertical | -0,01 |
| | 0,32 | 0,29 | desnivel grada | Vertical | 0,03 |
| | 0,29 | 0,25 | desnivel grada | Vertical | 0,04 |
| Oeste 02 | 2,29 | 2,31 | Puerta | Vertical | -0,02 |
| | 0,41 | 0,40 | puerta - ventana | Horizontal | 0,01 |
| | 1,06 | 1,05 | Ventana | Horizontal | 0,01 |
| | 0,93 | 0,92 | Ventana | Vertical | 0,01 |
| | 0,13 | 0,17 | separación ventanas | Horizontal | -0,04 |
| | 0,28 | 0,28 | separación rejas | Horizontal | 0,00 |
| | 0,17 | 0,15 | ventana pequeña - grande | Horizontal | 0,02 |
| | 1,82 | 1,80 | ventana grande | Horizontal | 0,02 |
| | 0,50 | 0,52 | ventana grande - escuela | Horizontal | -0,02 |
| Oeste 04 | 7,30 | 7,31 | vereda - techo | Vertical | -0,01 |
| | 0,23 | 0,21 | Desnivel | Vertical | 0,02 |
| | 1,27 | 1,28 | tubería - puerta | Horizontal | -0,01 |
| | 2,00 | 2,01 | puerta 1 | Horizontal | -0,01 |
| | 2,28 | 2,28 | puerta 1 | Vertical | 0,00 |
| | 0,20 | 0,20 | borde puerta 1 | Horizontal | 0,01 |
| | 1,70 | 1,72 | puerta 1 - puerta 2 | Horizontal | -0,02 |
| | 2,60 | 2,60 | puerta 2 | Vertical | 0,00 |
| | 2,15 | 2,19 | puerta 2 | horizontal | -0,04 |
| | 2,49 | 2,47 | puerta 3 | vertical | 0,02 |
| | 2,00 | 2,01 | puerta 3 | horizontal | -0,01 |
| | 2,20 | 2,22 | puerta 3 - columna | horizontal | -0,02 |
| | 0,50 | 0,50 | desnivel estructura 05 | vertical | 0,00 |

| | | | | | |
|----------|------|------|------------------------------|------------|-------|
| Norte 02 | 0,60 | 0,59 | puerta - canaleta | horizontal | 0,01 |
| | 0,19 | 0,23 | vereda - puerta | vertical | -0,04 |
| Norte 03 | 5,40 | 5,43 | vereda - ventana 2do piso | vertical | -0,03 |
| | 1,57 | 1,56 | puerta - puerta garaje | horizontal | 0,01 |
| | 1,17 | 1,15 | Puerta | horizontal | 0,02 |
| | 2,13 | 2,12 | Puerta | vertical | 0,01 |
| | 1,00 | 1,01 | puerta garaje - Norte 02 | horizontal | -0,01 |
| Norte 04 | 0,90 | 0,89 | Puerta | horizontal | 0,01 |
| | 2,04 | 2,05 | Puerta | vertical | -0,01 |
| | 0,89 | 0,90 | ventana pequeña | horizontal | -0,01 |
| | 1,76 | 1,77 | Puerta | horizontal | -0,01 |
| | 1,44 | 1,42 | ventana grande | vertical | 0,02 |
| | 3,16 | 3,15 | vereda - primer piso | vertical | 0,01 |
| Este 02 | 0,70 | 0,71 | puerta tienda- estructura 23 | horizontal | -0,01 |
| | 0,89 | 0,85 | vereda - adorno blanco | vertical | 0,04 |
| | 0,56 | 0,54 | parte rosa puerta videos | horizontal | 0,02 |
| | 0,84 | 0,83 | puerta alta | horizontal | 0,01 |
| | 2,00 | 2,03 | parte blanca - techo | vertical | -0,03 |
| Este 03 | 1,20 | 1,19 | Puerta | horizontal | 0,01 |
| | 3,46 | 3,49 | Puerta | vertical | -0,03 |
| | 2,10 | 2,11 | Ventana | vertical | -0,01 |
| | 1,15 | 1,17 | Ventana | horizontal | -0,02 |
| | 0,93 | 0,94 | Adorno | horizontal | -0,01 |
| | 0,50 | 0,49 | Adorno | vertical | 0,01 |

Espín M. & Guano F., 2012.

En la tabla 3.9 se muestran los estadísticos descriptivos que ofrecen las características generales del conjunto de datos.

Tabla 3.9. Estadísticos descriptivos de las muestras, calculados en SPSS.

| $\alpha = 0,05$ | N | Media m | Desviación típica m | Mínimo m | Máximo m |
|------------------------|----|-----------|---------------------|----------|----------|
| A | 54 | 1,474444 | 1,3206254 | 0,1300 | 7,3000 |
| B | 54 | 1,475926 | 1,3265045 | 0,1500 | 7,3100 |
| C = (A - B) m | 54 | -0,001481 | 0,0189505 | -0,0400 | 0,0400 |

Espín M. & Guano F., 2012.

La distribución de Student es simétrica al igual que la normal, pero a diferencia de la segunda la primera posee curtosis negativa (aplanamiento). Cuando la muestra excede los 30 elementos, la t de Student se aproxima a la distribución gaussiana, consecuentemente es necesario realizar una prueba de normalidad como la de Kolmogorov-Smirnov (KS) y analizar los histogramas para comprobar en qué medida las distribuciones de las muestras se aproximan a la distribución de Gauss. Por otro lado en caso de apartarse de forma significativa de la normalidad, es recomendable realizar una prueba no paramétrica para la comparación de las medias.

En los resultados de la tabla 3.10 se observa que todas las muestras se distribuyen de manera normal, ya que la significación del estadístico de Kolmogorov –Smirnov es mayor al nivel de significancia de 0,05 establecido. Además sus respectivos estadísticos Z KS se encuentran dentro del rango de -1,96 a 1,96 correspondiente al estadístico Z para dos colas con un intervalo de confianza de 95 %.

Tabla 3.10. Prueba de Kolmogorov-Smirnov realizada en SPSS para las muestras.

| $\alpha = 0,05$ | | A | B | C = (A - B) |
|--|-------------------|-----------|-----------|---------------|
| N | | 54 | 54 | 54 |
| Parámetros normales m | Media | 1,474444 | 1,475926 | -0,001481 |
| | Desviación típica | 1,3206254 | 1,3265045 | 0,0189505 |
| Diferencias más extremas m | Absoluta | 0,154 | 0,159 | 0,173 |
| | Positiva | 0,138 | 0,141 | 0,173 |
| | Negativa | -0,154 | -0,159 | -0,135 |
| Z de Kolmogorov-Smirnov | | 1,134 | 1,167 | 1,275 |
| Significación asintótica (p bilateral) | | 0,153 | 0,131 | 0,078 |

Espín M. & Guano F., 2012.

Por otra parte en los histogramas se observa cierto nivel de simetría en la muestra C, en contraste las gráficas correspondientes a las muestra A y B manifiestan un desplazamiento de sus elementos hacia el lado izquierdo de la gráfica respecto de la media, lo que indica una alta asimetría positiva (ver figura 3.64).

A pesar de que las características observadas en los histogramas no son las ideales, se puede observar que las tres variables tienden a distribuirse de manera normal. Tomando en cuenta el análisis gráfico y dado que la prueba KS mostró que asumir la normalidad es aceptable, se concluyó que las muestras tienden a una distribución gaussiana.

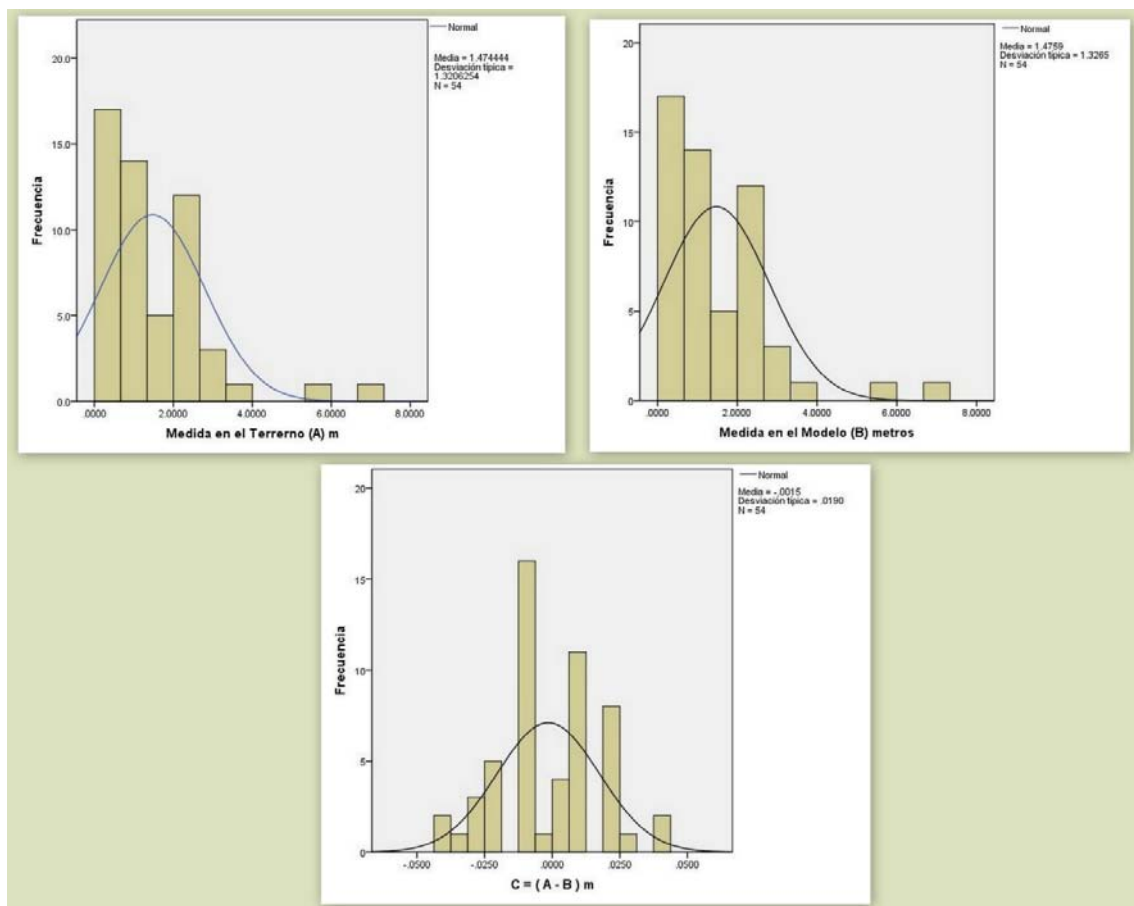


Figura 3.64. Histogramas de las muestras efectuados en SPSS.

Espín M. & Guano F., 2012.

Una vez verificadas las condiciones para la realización de la prueba t se procedió a plantear la prueba de hipótesis:

Ho: $\mu_A - \mu_A = 0$. No existe variación entre las medidas tomadas con distanciómetro y las medidas obtenidas por fotogrametría.

H1: $\mu_A - \mu_A \neq 0$. Existe variación entre las medidas tomadas con distanciómetro y las medidas obtenidas por fotogrametría.

La Tabla 3.11 muestra la correlación y la significación de la prueba t, ya que el valor del coeficiente es 1 y el valor de p es 0, lo cual indica correlación positiva perfecta, se concluyó que existe relación directa entre variables.

Tabla 3.11. Correlación de muestras relacionadas ejecutada en SPSS

| $\alpha = 0,05$ | N | Correlación | Sig. (p) |
|-----------------|----|-------------|----------|
| (A - B) m | 54 | 1,000 | 0,000 |

Espín M. & Guano F., 2012.

La tabla 3.12 muestra la prueba t con un nivel de significancia de 95%. Los resultados revelaron que la diferencia entre las medias es de -0,0014815. Asimismo el estadístico t de -0,574 se encuentra comprendido entre los valores críticos -2,0057 y 2,0057 para dos colas, lo que se traduce en la aceptación de la hipótesis nula de igualdad de medias, es decir que no existe variación entre las medidas tomadas con el distanciómetro y las medidas obtenidas por las diferentes técnicas fotogramétricas empleadas en el proyecto.

Tabla 3.12. Prueba t para muestras relacionadas realizada en SPSS

| $\alpha = 0,05$ | Diferencias relacionadas m | | | | | t | gl. | p bilateral |
|-----------------|----------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------|----------|--------|-----|----------------|
| | Media | σ | Error típico de la media | 95% IC de diferencia | | | | |
| | | | | Inferior | Superior | | | |
| (A - B) m | -0,0014815 | 0,0189505 | 0,0025788 | -0,006654 | 0,003691 | -0,574 | 53 | 0,568 |

Espín M. & Guano F., 2012.

Por otro lado, debido a errores aleatorios propios del proceso de medición, se obtuvieron (para el peor de los casos) diferencias máximas de +- 4 cm entre el conjunto de datos de referencia y el conjunto experimental, por lo que se optó usar la escala 1:200 cuya precisión de +- 6 cm absorberá estas variaciones.

3.5.2. Productos finales obtenidos

Se construyeron 40 modelos 3D texturizados correspondientes a cada una de las edificaciones levantadas, los mismos que se dividirán, debido al gran tamaño de los archivos, como se muestra en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Productos obtenidos en el proyecto.

| Nombre del archivo | Contenido y descripción | Extensión del archivo |
|---------------------------|---|-----------------------|
| Manzanas_norte_este_oeste | 30 modelos 3D con texturizado externo (Id Norte, Este y Oeste). | .skp |
| Manzana_sur | 10 modelos 3D con texturas exteriores (Id Sur) | |
| Iglesia | Un modelo 3D de la Iglesia Parroquial de Conocoto (Id Sur01) con texturizado interno y externo. | |

| | | |
|------------------------------|--|---------|
| MDE_Conocoto | Un proyecto de ArcScene que incorpora el modelo digital de elevación 3D de la parroquia Conocoto texturizado con una imagen satelital. | .sxd |
| Video_recorrido_iglesia | Un recorrido virtual (animación) de todos los modelos 3D levantados. | .avi |
| Manzana_este | 9 modelos 3D con texturizado externo (Id Esteo1 al Este09). | .wrml |
| | | .pdf |
| Manzana_oeste | 9 modelos 3D con texturizado externo (Id Oeste01 al Oeste09). | .wrml |
| | | .pdf |
| Manzana_norte | 12 modelos 3D con texturizado externo (Id Norte01 al Norte12). | .wrml |
| | | .pdf |
| Manzana_sur_complejo | 7 modelos 3D con texturizado externo (Id Oeste02 al Oeste08). | .wrml |
| | | .pdf |
| Manzana_sur_escuela | 2 modelos 3D con texturizado externo (Id Oeste09 y Oeste10). | .wrml |
| | | .pdf |
| Manzana_sur_iglesia | 1 modelo 3D con texturizado externo (Id Sur01). | .wrml |
| | | .pdf |
| Iglesia_confesionario | Un modelo 3D texturizado del confesionario de la Iglesia Parroquial de Conocoto (Id Sur01). | .wrml |
| | | .pdf |
| Iglesia_nave | Un modelo 3D texturizado de la nave de la Iglesia Parroquial de Conocoto (Id Sur01). | .wrml |
| | | .pdf |
| Iglesia_sacristia | Un modelo 3D texturizado de la sacristía de la Iglesia Parroquial de Conocoto (Id Sur01). | .wrml |
| | | .pdf |
| Iglesia_sotocoro | Un modelo 3D texturizado del sotocoro de la Iglesia Parroquial de Conocoto (Id Sur01). | .wrml |
| | | .pdf |
| MDE | Un modelo digital de elevación 3D de la parroquia Conocoto texturizado con una imagen satelital. | .wrml |
| | | .pdf |
| Manzana_sur_complejo_iglesia | 8 modelos 3D con texturizado externo (Id Sur 01 al Sur08). | .pdf |
| Manzana_sur_escuela_glesia | 3 modelos 3D con texturizado externo (Id Sur01 Sur09 y Sur10). | .pdf |
| Poster | Un poster con vistas, ilustraciones 3D | .layout |

| | interiores y exteriores de la Iglesia Parroquial de Conocoto. | .tiff .pdf |
|--|--|-------------------------|
| Triptico_tiro | Un tiro del tríptico destinado a la difusión del proyecto. | .layout .jpg .pdf |
| Triptico_contratiro | Un contratiro del tríptico destinado a la difusión del proyecto. | .layout .jpg .pdf |
| Manual_usuario_Cosmo_Player | Manual de usuario que contiene instrucciones para navegar a través de los modelos 3D en formato VRML usando el plug-in Cosmo Player, expuesto en el Anexo D. | .pdf |
| Manual_usuario_PDF3D | Manual de usuario que detalla las instrucciones para manipular de los modelos 3D incorporados en un archivo PDF, mostrado en el Anexo E. | .pdf |
| <p>Formato de archivos: es un grupo de letras o caracteres que acompañan al nombre del archivo; sirven para indicar al sistema operativo qué tipo de archivo es y la aplicación que lo ejecuta.</p> | | |
| Extensión | Software | |
| .skp | SketchUp 8 Pro o free | |
| .sxd | ArcScene 9.3 | |
| .wrl | Visor o plug-in VRML (Cosmo Player) | |
| .pdf | Adobe Reader 7 o superior | |
| .layout | Layout 3 (incluido en SketchUp 8 Pro) | |
| .jpg | Visor o editor de imágenes | |
| .tiff | | |
| .avi | Visor o editor de video | |

Espín M. & Guano F., 2012.

CAPÍTULO 4

DIVULGACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS

4.1 DIVULGACIÓN DEL PROYECTO A LAS PARTES INVOLUCRADAS

La divulgación es poner a disposición del público contenidos científicos y técnicos, la misma que en el presente proyecto, se realizó en dos etapas, que se encuentran resumidas en la figura 4.1.



Figura 4.1. Etapas del Plan de Divulgación.

Espín M. & Guano F., 2012.

La primera etapa del plan de divulgación, establece los ejes y los términos para armar la estrategia dinámica de información y comunicación a los usuarios, la misma que se describe a continuación en la tabla 4.1:

Tabla 4.1. Proceso de elaboración del plan de divulgación

| ELABORACIÓN DEL PLAN DE DIVULGACIÓN | |
|--|---|
| 1. | Definición de los propósitos, resultados y acciones |
| | Propósitos |
| 1.1 | Divulgar el proyecto “DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS TERRESTRES DE CORTO ALCANCE DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE CONOCOTO” a la comunidad de Conocoto. |
| | Concientizar a los habitantes de Conocoto acerca del Patrimonio Arquitectónico que poseen en su parroquia. |
| | Resultados esperados |
| 1.2 | Acceso de los habitantes de Conocoto al Geoportal IDEESPE para visualizar el Centro Histórico en 3 dimensiones. |
| | Se espera que la población de Conocoto y público en general conozcan el Patrimonio Arquitectónico de la Parroquia, para que de esta manera lo cuiden y se preserve a lo largo de los años. |
| | Acciones a tomar |
| 1.3 | Elaborar materiales escritos (trípticos con imágenes de los modelos) con el propósito de distribuirlos en la Parroquia Conocoto. |
| | En los materiales escritos se describen los pasos para que el usuario ingrese al Geoportal IDEESPE y observe los modelos tridimensionales. |
| 2. | Definición de los responsables |
| 2.1 | Ejecutores del proyecto: Alejandra Espín y Fausto Guano. |
| | Receptores: Habitantes del Centro Histórico de Conocoto y público en general. |
| 3. | Elaboración del Programa de Uso de Medios |
| 3.1 | Durante media jornada laboral (4 horas), los ejecutores del proyecto, distribuirán el material escrito a las personas que se encuentran en el Centro Histórico de Conocoto y aclararán dudas de los usuarios, en el caso de que existieran. |

Espín M. & Guano F., 2012.

Adicionalmente, la ejecución del plan de divulgación, permite brindar información sobre el proyecto realizado, a un mayor número de personas y consiguiendo menor costo, siguiendo la estrategia descrita a continuación en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Ejecución del Plan de Divulgación

| EJECUCIÓN DEL PLAN DE DIVULGACIÓN | |
|--|--|
| | Desarrollo de materiales escritos |
| 1. | Se diseñaron y elaboraron trípticos, que incluyen lentes anaglíficos (elaboración manual), para visualizar una imagen 3D impresa, y con ello, describir sencilla y didácticamente el proyecto (ver Anexo F). |
| | Desarrollo de materiales audiovisuales |
| 2. | Los archivos VRML se encuentran disponibles en el Geoportal IDEESPE, mientras que, los archivos PDF se localizan en la página del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto. |
| | Ejecución del Programa de uso de medios |
| 3. | Se repartirán trípticos y lentes anaglíficos para que los habitantes de Conocoto y el público en general conozcan el proyecto, durante el periodo programado de 4 horas. |

Espín M. & Guano F., 2012.

4.2 DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS

Cumpliendo el programa de uso de medios del plan de divulgación del proyecto, se ejecutará la distribución de productos escritos y audiovisuales en media jornada de un día, lo que corresponde a 4 horas. Se puede observar en la figura 4.2, el diseño del tríptico y los lentes anaglíficos.

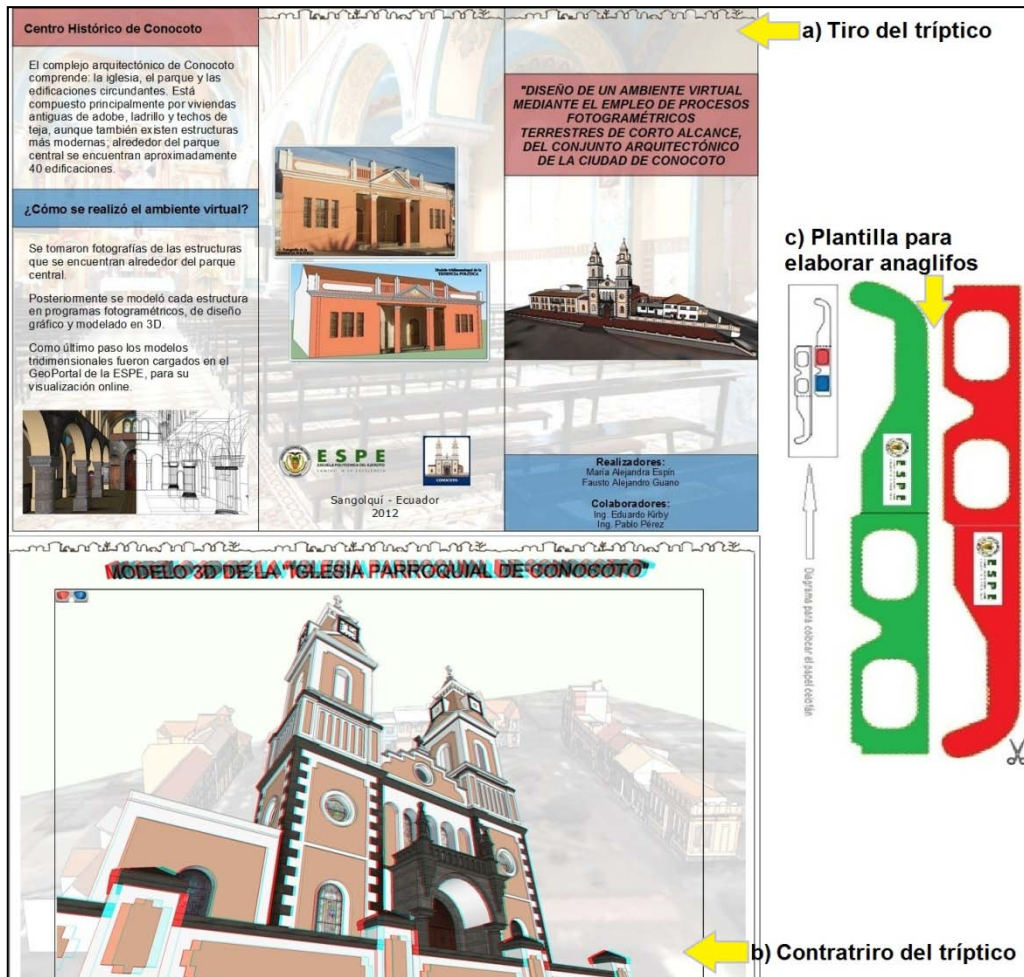


Figura 4.2. Tiro (a) y contratiro (b) del tríptico con plantilla para elaborar anaglifos (c).

Espín M. & Guano F., 2012.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se cumplieron todos los objetivos y metas planteados en el literal 1.5, plasmando con éxito la realidad en cada uno de los productos obtenidos, lo que comprueba la productividad del uso de procesos fotogramétricos terrestres de corto alcance, para el diseño de ambientes virtuales de estructuras de importancia patrimonial e histórica.
- El promedio del máximo residual de las estructuras restituidas con PhotoModeler fue de 0,3587 píxeles, lo que demuestra que el pinchado de puntos está dentro de los parámetros sugeridos por el software, menor a 1 píxel.
- Para el levantamiento de las edificaciones situadas en el centro histórico de Conocoto, se utilizaron técnicas de restitución y rectificación fotogramétrica, generando así 40 modelos digitales 3D, cuyo error es de +- 4cm, por lo que se optó usar la escala 1:200 (precisión +- 6cm), superando de esta manera los requerimientos de un levantamiento catastral.
- Por la falta de iluminación en el recinto, el reducido espacio para efectuar la toma y las limitaciones de la cámara para registrar objetos lejanos, no se

cumplió con los requisitos mínimos para la aplicación de procesos fotogramétricos, razón por la cual, el relevamiento de la estructura interna de la Iglesia Parroquial de Conocoto, se apoyó en planos arquitectónicos y técnicas de medición directa, obteniendo mayores detalles en el modelo tridimensional.

- La información patrimonial 3D disponible en línea a través del Geoportal IDEESPE y la página web del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto, brinda al usuario un nuevo método interactivo de visualización espacial, incrementando así, la posibilidad de estudiar de forma remota, las edificaciones modeladas usando herramientas informáticas.
- La divulgación de la información obtenida en este proyecto, para los diferentes grupos de interés (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto y la sociedad), por medio de documentos ilustrativos y material multimedia, permitirá al público en general, conocer la existencia de proyectos que describen el patrimonio arquitectónico tangible ubicado en esta zona de estudio.
- El visualizador Cosmo Player es un plug-in que brinda mejores opciones para la navegación en mundos 3D, con la ventaja de ofrecer un rendimiento superior en comparación a otros complementos o programas gratuitos; y la leve desventaja de no poseer una interfaz tan amigable con el usuario.
- Los modelos 3D incorporados a archivos PDF, constituyen una alternativa viable, sencilla y didáctica, para que sitios web sin infraestructura de datos espaciales, distribuyan, promuevan y difundan fácilmente el uso de la información geográfica.
- Los escenarios virtuales, constituyen una herramienta útil en la promoción turística de un lugar, ya que permiten a las personas, conocer el territorio a visitar.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es de vital importancia disponer de una malla de calibración, acoplada a una superficie sin rugosidades e impresa en un material mate, ya que la incidencia de la luz sobre una superficie brillante, produce imágenes con luminosidades que dificultan la visualización de los puntos de control, mermando la calidad del proceso.
- Durante la calibración de la cámara digital, es importante no variar la altura del trípode, ni cambiar las opciones de configuración del dispositivo fotográfico, ya que la calidad de los modelos menguará durante la restitución o en el peor de los casos la calibración no será posible.
- En la primera etapa del proceso de restitución, se recomienda el uso de fotografías con buen contraste, para identificar y marcar de manera correcta los detalles sobresalientes de una estructura, obteniéndose así, un buen ajuste en la orientación de la imagen.
- Una buena estrategia, para alcanzar la precisión requerida por el software durante el procesado 3D, es pinchar la mayor cantidad posible de puntos y distribuirlos en toda el área de la foto, con el fin de que el máximo residual sea inferior a un píxel.
- Debido a que el centro de Conocoto es muy dinámico durante los días laborables, se sugiere realizar la captura de imágenes, durante periodos matutinos del fin de semana, ya que en este horario existe poca aglomeración de personas y un bajo flujo en el tránsito vehicular, lo cual optimiza el proceso de toma y evita la aparición de obstáculos en las fotografías.
- Se recomienda el uso de texturas comprimidas o de resolución baja, puesto que la incorporación de las mismas al modelo, requiere de equipos con características específicas propias del diseño gráfico.
- Para que el computador se desempeñe de manera adecuada durante el proceso de modelado 3D, es aconsejable que el mismo disponga, de dos procesadores de Intel Xeon CPU E5-2665 de 2,4Ghz, memoria RAM de 32

GB, disco duro de 1TB y tarjeta de video Nvidia Quadro 6000. Adicionalmente, es aconsejable el uso de un monitor 3D LED de 24" con 1080 dpi full HD y 120Hz de refrescamiento.

- Se aconseja al Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto, la elaboración de un plan de educación patrimonial dirigido a la población, utilizando material de apoyo visual, con la finalidad, de valorar rescatar y preservar el patrimonio cultural presente en la parroquia.
- Es importante publicitar recorridos virtuales turísticos a través de la página web institucional del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Conocoto, consolidando de esta manera, a la iglesia como un ícono de valor artístico y cultural.
- Se sugiere a la ESPE crear una materia optativa, dentro de la malla curricular de Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente (CIGMA) que abarque temas de fotogrametría terrestre, restauración arquitectónica y diseño gráfico, como el modelado y animación 3D, con el fin de generar productos cartográficos más comerciales y dinámicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, V. (2011). *Diseño de un Ambiente Virtual Mediante el Empleo de Procesos Fotogramétricos Terrestres de Corto Alcance, del Conjunto Arquitectónico Monasterio - Iglesia de la Merced*. (Tesis de Pregrado). Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- Andrade L. & Narea P. (2011). *Análisis, Diseño e Implementación de un Ambiente Virtual 3D y Objetos de Información para la Regional Austro del Ministerio de Turismo*. (Tesis de Pregrado). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Capítulo 4: “De los derechos económicos, sociales y culturales”. Sección séptima: “De la Cultura”. Art. 62. Montecristi: Asamblea Nacional del Ecuador.
- Buill F. et al. (2003). *Fotogrametría Analítica*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Buill F. et al (2007). *Fotogrametría Arquitectónica*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Collaguazo, E. & Domínguez, M. (2011). *Diseño e Implementación de un Sistema Fotogramétrico Digital de Corto Alcance 3D*. (Tesis de Pregrado). Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- Computer Associates & National Institute of Standards and Technology. (1998). *Help File Cosmo Player 2.1.1*. Recuperado de <http://cic.nist.gov/vrml/cosmoplayer.html>. Consultado el 2 de Junio de 2012
- Dirección Metropolitana de Avalúos y Catastros (DMAC). (2005). *Restitución del Distrito Metropolitano de Quito*. (CD-ROM).1:1000. Quito: Dirección Metropolitana de Avalúos y Catastros

- El Cronista. (2012). *Historia de la Iglesia de Conocoto*. Recuperado de <http://www.conocototieso.com/web/turismo.html>. Consultado el 10 de Junio de 2012.
- Eos System Inc. (2008). *Help File PhotoModeler Pro 6*. Recuperado de <http://info.photomodeler.com/photomodeler-demo>. Consultado el 10 de Junio de 2012.
- ESRI (2012). *Imagen satelital de la parroquia Conocoto*. Tamaño pixel 2 metros. Recuperado de <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1>. Consultado el 15 de Julio de 2012.
- Gómez J. (2008). *Introducción a la Fotogrametría Digital: El Método General de la Fotogrametría Digital*. Recuperado de <http://212.128.130.23/eduCommons/enseñanzas-tecnicas/procesamiento-avanzado-de-imagenes-digitales/contenidos/Tema4.pdf>. Consultado 3 de Julio de 2012.
- Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural (IMPQ). (2012). *Planos de la Iglesia Parroquial de Conocoto*. (Planos). 1:50. Quito: Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2012). *División político administrativa por parroquias del Ecuador*. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=download&id=1368&chk=6422858559e038d0268b1f63bfc5e373&no_html=1&lang=es. Consultado el 26 de julio 2012.
- Jauregui L. (2005). *Nociones de Fotogrametría Digital*. Recuperado de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/FOTOGRAEMETRIA%20DIGITALparte1.pdf>. Consultado el 17 julio 2012.
- Jauregui L. (2006). *Introducción a la Fotogrametría*. Recuperado de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>. Consultado el 17 de julio 2012.
- Kodak. (2011). *Guía del de Usuario de la cámara digital KODAK EASYSHARE M575*. Recuperado de <http://resources.kodak.com/support>

/pdf/es/manuals/urg01115/M575_xUG_GLB_es.pdf. Consultado el 18 de julio 2012.

- Lerma, J.L. (2002). *Fotogrametría Analítica y Digital*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Lynn G. et al. (2007). *Fotografía: Manual Básico de Blanco y Negro*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maldonado C. & Gómez N. (2010). *Modelamiento y simulación de sistemas complejos*. Recuperado de http://www.carlosmaldonado.org/articulos/DI66_Admon__Modelamiento_web.pdf. Consultado el 23 de julio 2012.
- Martínez M. et al. (1998). *Instrumentos ópticos y optométricos: Teoría y prácticas*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Panasonic. (2007). *Operating Instructions Digital Camera DMC-LS80*. Recuperado de <http://service.us.panasonic.com/OPERMANPDF/DMCLS80.PDF>. Consultado el 18 de julio 2012.
- Parallel Graphics. (2012). *Cortona3D Viewer Licensing Options*. Recuperado de <http://www.cortona3d.com/cortona3d/files/99/998f65b8-5ce4-47b9-a588-b45c7bb8134b.pdf>. Consultado el 5 de agosto 2012.
- Pérez J.A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría II*. Recuperado de http://www.cartesia.org/data/apuntes/fotogrametria_analitica/ApuntesFotogrametria2.pdf. Consultado el 30 de septiembre de 2012.
- Rodríguez A. L. et al. (2012). *La fotogrametría Arquitectural Digital y sus Aplicaciones*. Recuperado de <http://www.uazuay.edu.ec/redfadcd/download/Monograf%C3%ADa,%20La%20Fotogrametr%C3%ADa%20arquitectural%20digital%20y%20sus%20aplicaciones.pdf>. Consultado el 27 de septiembre de 2012.
- Sánchez J.A. (2007). *Introducción a la Fotogrametría*. Recuperado de http://delegacion.camino.upm.es/apuntes/ICCP/3_tercero/Topografia/Fotogrametria.pdf. Consultado el 2 de agosto de 2012.

- Santa Cruz, J. (2005). *Metodología para la toma de datos: La definición geométrica*. Recuperado de <http://www.euatm.upm.es/santacruz/Documentos/TomaDatos.pdf>. Consultado el 17 de junio de 2012.
- Santa Cruz, J. (2007). *La Fotogrametría digital su aplicación en el levantamiento de planos de edificios*. Recuperado de <http://www.euatm.upm.es/santacruz/Fotogrametria/LeccionFotogrametria.pdf>. Consultado el 17 de junio de 2012.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador SENPLADES (2009). *Plan Nacional para el Buen Vivir*. Recuperado de http://www.patrimonio.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Plan_Nacional_del_Buen_Vivir_-_Resumen.pdf. Consultado el 25 de abril de 2012.
- Solórzano J. L. (2009). *Herramientas de Modelado 3D*. Recuperado de <http://www.slideshare.net/gbgarcia/herramientas-de-modelado-3d-2455690>. Consultado el 15 de agosto de 2012.
- Tarrés F. (2002). *Sistemas audiovisuales 1 - Televisión analógica y digital*. Recuperado de <http://www.um.edu.ar/catedras/claroline/backends/download.php?url=L0NhcGI0dWxvX0kvVGVsZXZpc2lvbl9BbmFsb2dpYV95X0RpZ2l0YWwucGRm&cidReset=true&cidReq=1063>. Consultado el 15 de agosto de 2012.
- Trimble. (2010). *Ayuda de SketchUp*. Recuperado de <http://support.google.com/sketchup/?hl=es>. Consultado el 7 de julio de 2012.
- Vozmediano D. (2006). *Fotogrametría Digital Aplicada a la Obtención de Ortofotos y Modelos Digitales de Entidades Patrimoniales*. Recuperado de https://addi.ehu.es/bitstream/10810/8334/3/ldgp_pfc007_DiegoV.pdf. Consultado el 16 de agosto de 2012.
- Wikipedia, La enciclopedia libre. (2012). *Cámara Reflex*. Recuperado de http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_r%C3%A9flex&oldid=61862772. Consultado el 22 de septiembre de 2012.

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

María Alejandra Espín

Fausto Alejandro Guano

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

Ingeniero Francisco León

DELEGADO UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Doctor Marcelo Mejía

Lugar y fecha: Sangolquí, 08 de marzo de 2013