



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y
DEL MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA

“DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO
DE PROCESOS FOTOGRAFÍAS TERRESTRES DE CORTO
ALCANCE, DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO MONASTERIO
-IGLESIA DE LA MERCED”

ACOSTA JIMÉNEZ R. VERÓNICA

Sangolquí – Ecuador

Octubre 2011

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certificamos en calidad de Director y Codirector que a señorita Acosta Jiménez Rita Verónica ha concluido con el proyecto de grado titulado “DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE PROCESOS FOTOGRAFÉTRICOS TERRESTRES DE CORTO ALCANCE, DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO MONASTERIO -IGLESIA DE LA MERCED”; previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente.

Ing. Pablo Pérez Ing. Alexander Robayo DIRECTOR CODIRECTOR

RESUMEN

Entre las aplicaciones de la fotogrametría terrestre se puede destacar la fotogrametría arquitectónica y en ésta se presenta una forma más específica de obtención de información fidedigna para la recopilación y documentación de un reducido espacio de riqueza hereditaria histórica de nuestro país.

El objetivo principal en la realización de este proyecto fue concatenar multidisciplinas tanto técnicas como artísticas en donde se aplicaron procesos tecnológicos de fácil acceso que permitieron crear una realidad digital con el empleo de herramientas convencionales y precisas para la optimización de recursos.

El fundamento de la fotogrametría es la obtención de información espacial en un plano objeto – imagen en donde los procesos de modelado y texturización del Conjunto Arquitectónico Monasterio – Iglesia de la Merced dieron lugar a un alto y real nivel de detalle de aspectos arquitectónicos patrimoniales.

El avance de la tecnología permite en la actualidad simular ambientes virtuales con el propósito de estimular el uso digitalizado de recorridos turísticos, intervenciones arquitectónicas, cambios de uso y puesta en valor de las edificaciones.

SUMMARY

From the applications of terrestrial photogrammetry can highlight architectural photogrammetry and it presents a specific form to obtaining reliable information for de collection and documentation of a limited area of historical hereditary wealth of our contry.

The main objective in implementing this project was to concatenate both technical and artistic multidisciplinary, where technological processes were implemented that allowed easy access to create a digital reality with the use of conventional and precise tools for the optimization of resources.

The basis of photogrammetry is to obtain spatial information in an object plane image in which the processes of modeling and texturing of the Grouping Architectural Monastery -Church of the Merced resulted in a real high level of detail of architectural heritage aspects.

The advancement of technology now allows virtual environments to simulate the purpose of encouraging the use digitized tours, architectural interventions, changes of use and value of buildings.

DEDICATORIA

A mi familia, con la que siempre he contado;
Madre, Padre, Hermanas y Sobrinos, les dedico
todo mi esfuerzo en esta realización.

Al ser Supremo, que me ha acompañado
todos los días y me ha guiado paso a paso
hasta este final.

A ti y a mi.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente al ser Supremo que me dio la capacidad para alcanzar una meta de mi vida.

A mi Madre y Padre que se esfuerzan siempre por mi.

A mis hermanas porque no existe momento que no estén a mi lado.

A mis sobrinos porque me dan felicidad.

A mi director de tesis por toda la ayuda y confianza proporcionada.

A mi codirector por sus consejos y colaboración.

A ti y a mi.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO PÁG.

CAPÍTULO I -GENERALIDADES

1.1 TÍTULO	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
1.5 OBJETIVOS	3
1.5.1 Objetivo General	3
1.5.2 Objetivos Específicos	3
1.6 METAS	4

CAPÍTULO II -FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 FOTOGRAMETRÍA	5
2.1.1 Generalidades	5
2.1.2 Etapas de la Fotogrametría	7
2.1.3 Tipos de Fotogrametría	8
2.1.4 Fundamento de la Fotogrametría	9
Principio de colinealidad	9
2.2 PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS	10
2.2.1 Orientación Interior	10
2.2.2 Orientación Exterior	12
Orientación Relativa	14
Orientación Absoluta	16
2.3 FOTOGRAMETRÍA NO TOPOGRÁFICA	16
2.3.1 Fotogrametría Terrestre	17

Programas de fotogrametría terrestre	19
Sistema de Adquisición de Datos Fotogramétricos	20
normal	20
Paralelo inclinado	22
Convergencia de fotografías	23
Sistema de Reducción de Datos Fotogramétricos	26
Método Analítico	26
Determinación de la Ubicación de las Estaciones de la Cámara	27
Determinación de la Matriz de Orientación de cada Fotografía	30
Determinación de las Coordenadas Espaciales del Objeto	31
2.3.2 Fotogrametría Arquitectónica	32
Levantamiento Arquitectónico	33
Precisión del Levantamiento	35
2.4 CÁMARA FOTOGRÁFICA	36
2.4.1 Cámara Fotográfica Digital	37
Resolución de la Imagen	37
Calidad de la Imagen	38
Métodos para capturar las Imágenes	39
2.5 SOFTWARE LIBRE	40
2.5.1 Google SketchUp	40
Introducción a las entidades	41
Sistemas de coordenadas	43
Motor de inferencias	43
Herramientas	44
Adaptación de fotografías	47
Controles de la adaptación de fotografías	47
Fotografía como textura	51
Alfileres para situar materiales	53
Escenas y animaciones	55
Gestor de escenas	56
2.5.2 Photodeler Scanner	57

Calibración de la cámara	58
--------------------------------	----

CAPÍTULO III – EJECUCIÓN DEL PROYECTO

3.1 METODOLOGÍA	59
3.1.1 Planificación del Proyecto	60
Reconocimiento del Conjunto Arquitectónico	60
Selección de Equipos, Herramientas y Materiales	60
Formulación del Plan del Proceso Fotogramétrico	64
3.1.2 Identificación y Relevancia de Unidades Arquitectónicas	66
3.1.3 Recopilación y Generación de Información Base	71
Recopilación de Información Base Existente	71
Generación de Información Básica	74
3.1.4 Toma y Procesamiento de Fotografías	80
Calibración de la Cámara	80
Toma de Fotografías	83
Procesamiento de Fotografías	84
3.1.5 Modelamiento y Texturización de Estructuras	90
Modelamiento Estructural	90
Texturización de las Estructuras	104
3.1.6 Generación de Ambientes Virtuales	110

CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES	112
4.2 RECOMENDACIONES	113

ANEXOS 114 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 125

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA CONTENIDO PÁG.

CAPÍTULO II -FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Cámaras analógicas terrestres	18
2.2 Programas de fotogrametría terrestre	20
2.3 Entidades de SketchUp	42
2.4 Herramientas de SketchUp	46

CAPÍTULO III – EJECUCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Especificaciones técnicas cámara SONY DSC-H55	62
3.2 Beneficios del distanciómetro TRIMBLE Laser HD150	63
3.3 Determinación de escalas	65
Información de los planos proporcionados por el FONSAL	
3.4 (MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO FONDO DE SALVAMENTO)	71
Información de los planos proporcionados por el FONSAL	
3.5 (MUSEO DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN MONUMENTAL)	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA CONTENIDO PÁG.

CAPÍTULO I -GENERALIDADES

1.1 Imagen satelital Monasterio -Iglesia de la Merced	3
---	---

CAPÍTULO II – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Principio de Colinealidad	9
2.2 Orientación Interior	11
2.3 Orientación Exterior	14
2.4 Orientación Relativa	15
2.5 Catedral de Santa Ana Palmas de Gran Canaria	17
2.6 Caso normal	21
2.7 Caso paralelo inclinado	22
2.8 Fotogrametría estéreo – convergente	23
2.9 Convergencia de fotogrametría terrestre	24
Excentricidad en fototeodolitos	25
Geometría de triangulación	28
2.12 la valoración del Patrimonio Industrial español y la elaboración de una CARTA DE RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA	33
2.13 Filtro Bayer para captar el color en los sensores CCD y CMOS	39
2.14 Portada ketchUp	41
2.15 Sistema de Coordenadas de SketchUp	43
2.16 Motor de interferencias	44
2.17 Importación de fotografía	48
2.18 Adaptación de fotografía	48
2.19 Determinación de origen	49

2.20 Ubicación de origen	49
2.21 Ubicación de ejes	50
2.22 Fotografía rectificada	50
2.23 Importación de Fotografía	51
2.24 Ubicación de Fotografía	52
2.25 Situar textura	52
2.26 Manipulación de material	54
2.27 Ubicación de alfileres	54
2.28 Material situado (Textura)	55
2.29 Transición de escenas	56
2.30 Gestor de escenas	56
2.31 Compresor de archivos	57
2.32 Grilla de Calibración de la Cámara	58

CAPÍTULO III – EJECUCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Fachada Calle Chile -“Iglesia de la Merced”	60
3.2 Bóveda central -“Iglesia de la Merced”	61
3.3 Altar Mayor -“Iglesia de la Merced”	61
3.4 Cámara Digital DSC-H55	62
3.5 SpectraPrecision® Laser HD150 Handheld Distance Meter	63
3.6 Propiedades estándar de las fotografías	64
3.7 Retablo Principal -“Iglesia de la Merced”	66
3.8 El Sagrario -“Iglesia de la Merced”	67
3.9 Óleo de la Virgen de la Merced protegiendo a los habitantes de Quito	68
3.10 Torre – “Iglesia de la Merced”	69
3.11 Portadas de piedra Calle Chile – “Iglesia de la Merced”	70
3.12 Portadas de piedra Calle Cuenca – “Iglesia de la Merced”	70
3.13 Plano Planta baja -Basílica de la Merced	71
3.14 Plano Cortes transversales y longitudinales -Basílica de La Merced	71
3.15 Mediciones ingreso calle Cuenca	75

3.16 Mediciones de pilares centrales y paredes perimetrales	75
3.17 Corte transversal posterior	76
3.18 Corte longitudinal	76
3.19 Mediciones de la Cúpula Mayor y un tipo de ventana	77
3.20 Mediciones de las Cúpula Pequeña y sus detalles de columnas	77
3.21 Mediciones de planta de la Capilla	78
3.22 Corte trasversal y longitudinal de la Capilla	78
3.23 Corte del detalle inferior de los pilares centrales	79
3.24 Corte del detalle superior de los pilares centrales	79
3.25 Secuencia de toma de fotografías para calibrar la cámara	80
3.26 Proyecto de Calibración de Cámara	81
3.27 Importación de fotografías al software	81
3.28 Calibración automática del PhotoModeler	82
3.29 Resultados de calibración	82
3.30 Diferentes posiciones en la toma de un objeto	83
3.31 Estaciones de la cámara en la toma de fotografías	84
3.32 Conjunto de fotografías del Convento de la Merced	84
3.33 Editor ajuste de exposicion	85
3.34 Editor ajuste de color	86
3.35 Editor enderezamiento de fotografía	87
3.36 Editor ajuste de detalle	88
3.37 Recortar fotografía	89
3.38 Area recortada de la fotografía	89
3.39 Modelamiento de planta – “Iglesia de la Merced”	90
3.40 Pilares centrales – “Iglesia de la Merced”	91
3.41 Paredes perimetrales – “Iglesia de la Merced”	91
3.42 Arqueria inferior y superior – “Iglesia de la Merced”	92
3.43 Corte longitudinal arqueria – “Iglesia de la Merced”	92
3.44 Corte transversal arqueria superior – “Iglesia de la Merced”	93
3.45 Corte transversalarqueria inferior – “Iglesia de la Merced”	93
3.46 Cúpulas Pequeñas – “Iglesia de la Merced”	94

3.47 Ubicación Cúpulas Pequeñas – “Iglesia de la Merced”	94
3.48 Cúpula Mayor – “Iglesia de la Merced”	95
3.49 Ubicación Cúpula Mayor – “Iglesia de la Merced”	95
3.50 Estructura Capilla – “Iglesia de la Merced”	96
3.51 Corte longitudinal Capilla – “Iglesia de la Merced”	96
3.52 Corte transversal Sacristia – “Iglesia de la Merced”	97
3.53 Corte longitudinal Sacristia – “Iglesia de la Merced”	97
3.54 Torre – “Iglesia de la Merced”	98
3.55 Ubicación Torre – “Iglesia de la Merced”	98
3.56 Fachadas – “Iglesia de la Merced”	99
3.57 Cubiertas – “Iglesia de la Merced”	99
3.58 Detalle inferior pilares – “Iglesia de la Merced”	100
3.59 Detalle superiores pilares – “Iglesia de la Merced”	100
3.60 Detalle arquería – “Iglesia de la Merced”	101
3.61 Detalle de ventanas – “Iglesia de la Merced”	101
3.62 Detalles Torre – “Iglesia de la Merced”	102
3.63 Reloj Torre – “Iglesia de la Merced”	102
3.64 Detalle linternas – “Iglesia de la Merced”	103
3.65 Bancas Iglesia y Capilla – “Iglesia de la Merced”	103
3.66 Texturizado Conjunto Arquitectónico Monasterio – “Iglesia de la Merced”	104
3.67 Texturizado Pilares Centrales – “Iglesia de la Merced”	105
3.68 Texturizando Retablos y Paredes Perimetrales – “Iglesia de la Merced” ...	105
3.69 Texturizado arquería superior e inferior – “Iglesia de la Merced”	106
3.70 Texturizado Altar Mayor – “Iglesia de la Merced”	106
3.71 Texturizado Cúpulas Pequeñas – “Iglesia de la Merced”	107
3.72 Texturizado Cúpula Mayor – “Iglesia de la Merced”	107
3.73 Texturizado Coro – “Iglesia de la Merced”	108
3.74 Texturizado bancas – “Iglesia de la Merced”	108
3.75 Vista desde la parte posterior – “Iglesia de la Merced”	109
3.76 Vista desde el Altar Mayor – “Iglesia de la Merced”	109
3.77 Creación de escenas – Monasterio de la Merced	110

3.78 Gestor de escenas – Monasterio de la Merced	111
3.79 Exportación de Animacion – Monasterio de la Merced	111

GLOSARIO

Ángulo Acimutal. Es el ángulo que mide el desplazamiento del sol respecto al Sur. El ángulo acimutal para la hora de salida del sol varía cada día del año.

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.

Convergencia de Fotografías. Se obtiene por medio de dos o más estaciones de toma con casi el 100% de traslape entre 2 fotografías.

Esterautógrafo. Es el instrumento que permite el trazado continuo de los rasgos cartográficos, especialmente de las curvas de nivel, lo cual posibilita una representación del relieve mucho más fiel que la brindada por los anteriores procedimientos de interpolación.

Estereocomparador. Es un microscopio que superpone ópticamente dos placas fotográficas. Se procesan fotogramas terrestres tomados con los ejes de ambas cámaras paralelos entre sí y perpendiculares a la base o ejes paralelos entre sí y con una cierta desviación con respecto a la perpendicular a la base.

Estereofotogrametría. Se basa en la visión estereoscópica para recrear en la mente del observador un modelo estereoscópico a partir de un par de fotografías, tomadas cada una de ellas desde una posición diferente, para ser observadas en

forma separada por el ojo respectivo. De esta manera, cada ojo transmite al cerebro una imagen ligeramente diferente del otro, tal como lo hacen al observar los objetos tridimensionales. El cerebro interpretará entonces esas diferencias como diferencias en la profundidad, y formará un modelo estereoscópico en la mente del observador.

Fotograma. 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.

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.

Metrología Industrial. Esta rama de la topografía abarca ámbitos tan diversos que van desde la calibración de los rodillos de maquinaria industrial (grandes imprentas) hasta el montaje de piezas de la industria aeroespacial (satélites, antenas), pasando por el ensamblaje de barcos y aviones, camiones y cadenas de montajes,

reactores nucleares y turbinas eléctricas. Estos trabajos requieren alcanzar una precisión que nos asegure el milímetro como mínimo exigiendo en algunas cosas precisiones de centésimas de milímetro y en casos excepcionales de milésimas de milímetro.

Ortoimágenes. 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, la fotografía izquierda del modelo sobre película fotográfica, la cual, una vez revelada, es la ortofoto.

Punto Nodal. Es una pareja de puntos situados en el eje óptico de un objetivo compuesto que sirven de referencia para mediciones básicas como la longitud focal. La luz que llega a un objetivo según un ángulo específico suele salir de él a otro ángulo diferente. Pero hay dos puntos en el eje tales un rayo que entre por el primero de ellos saldrá por el otro según el mismo ángulo.

Rayos Homólogos. Son los rayos perspectivas de un punto en la superficie.

Restituidor Fotogramétrico. Proyector que crea una imagen tridimensional al combinar fotografías superpuestas del mismo terreno tomadas desde ángulos diferentes.

Restitución Perspectiva. Tiene por objeto la reconstrucción de una figura por medio de construcciones gráficas a partir de una perspectiva de ésta. Al considerar la fotografía como una perspectiva cónica, se denomina restitución fotográfica,

rectificación fotográfica o también fotogrametría elemental, a esta reconstrucción a partir de un solo fotograma.

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 – oxido 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 conversor digital en el propio chip.

CAPÍTULO I

GENERALIDADE

1.1 TÍTULO

S

DISEÑO DE UN AMBIENTE VIRTUAL MEDIANTE EL EMPLEO DE PROCESOS FOTOGAMÉTRICOS TERRESTRES DE CORTO ALCANCE, DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO MONASTERIO -IGLESIA DE LA MERCED.

1.2 ANTECEDENTES

Desde su aparición, la principal aplicación de la fotogrametría ha sido la generación de mapas topográficos y planos, obtenidos fundamentalmente de fotografías aéreas y terrestres.

La aplicación de esta técnica fuera del campo de la generación de mapas topográficos da lugar a lo que se conoce como *Fotogrametría no convencional*, que al igual de su similar aérea permite optimizar el empleo de los recursos dado su flexibilidad, precisión y bajo costo en su procesamiento. A pesar de su gran desarrollo, la fotogrametría aérea requiere grandes inversiones de capital para generar sus productos cartográficos, lo que ha limitado significativamente su uso, en especial en instituciones públicas y gobiernos seccionales quienes la emplean para sus trabajos de planificación territorial y catastro multifinalitario.

En la actualidad, el alto nivel de desarrollo del hardware y del software libre, ha facilitado significativamente la posibilidad de emplear las técnicas

fotogramétricas, tanto en las aplicaciones tradicionales cartográficas como en nuevas aplicaciones terrestres no convencionales.

Sobre la base de la investigación tanto en el empleo como en la aplicación de dicha tecnología, se podrán monitorear procesos complejos y dinámicos, así como, se podrán generar representaciones en tres dimensiones con altos niveles de detalle de objetos en ambientes virtuales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, una de las principales áreas de aplicación de la fotogrametría no topográfica es la arquitectura, la arqueología, metrología industrial, medicina e inclusive la cirugía; debido a la obtención de una rectificación fotográfica de elementos planos así como modelos tridimensionales que permiten visualizar, incluso interactivamente, los elementos y unidades relevantes generadas.

Las técnicas y métodos fotogramétricos alcanzan de modo eficaz y poco costoso, los objetivos de representación gráfica que se demanda en el mundo tecnológico. La aplicación y utilización continua de nuevos programas prometen a sus usuarios alternativas accesibles a información espacial y tridimensional en las cuales se apoyan proyectos de auge y desarrollo comunitario.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Monasterio de Nuestra Señora de la Merced es una edificación de gran valor histórico y arquitectónico de la ciudad de Quito, se encuentra ubicado en el centro histórico entre las calles Chile y Cuenca (Figura 1.1); y está constituido por conjuntos arquitectónicos con funcionalidades diferentes que demuestran la evolución del uso de la propiedad en áreas históricas:

- Convento de la Merced □
- Iglesia de la Merced* □ Colegio
- San Pedro Pascual

- Zona destinada para actividades comerciales



GoogleEarth 2010

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Diseñar un ambiente virtual mediante el empleo de procesos fotogramétricos terrestres de corto alcance, del Conjunto Arquitectónico Monasterio – Iglesia de la Merced.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ⑩ Realizar el levantamiento fotogramétrico del Conjunto Arquitectónico.
- ⑩ Relevar las unidades arquitectónicas de fachadas y cortes longitudinales y transversales del Conjunto Arquitectónico.

- ⑩ Modelar tridimensionalmente el Conjunto Arquitectónico en el Software libre Sketchup.
- ⑩ Simular los ambientes virtuales del Conjunto Arquitectónico, para: recorridos turísticos, intervenciones arquitectónicas, cambios de uso y puesta en valor de las edificaciones.

1.6 METAS

- Un (1) plano a escala 1:250 del Conjunto Arquitectónico Monasterio -Iglesia de la Merced.
- Diez (10) planos digitales tridimensionales a escala 1:250 de las unidades Arquitectónicas conteniendo: Fachadas (4), Plantas (2), Cortes Longitudinales y Transversales (4).
- Una Base de datos gráfica conteniendo los registros fotográficos de todo el Conjunto.
- Un (1) Modelo Texturizado a escala 1:1 de todo el Conjunto Arquitectónico.
- Un (1) Recorrido virtual del interior y exterior del Monasterio -Iglesia de la Merced.
- Un (1) archivo digital del manual de usuario del software empleado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 FOTOGRAMETRÍA

“... arte, ciencia y tecnología de obtener información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de grabación, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”.

Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección -ASPRS

“... técnica para estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando medidas realizadas sobre una o varias fotografías...”

H. Bonneval

2.1.1 Generalidades

La palabra fotogrametría se deriva del vocablo "fotograma" ("phos" o "photós" = luz; "gramma" = trazado o dibujo; "metrón" = medir), de algo listo y disponible = foto, entonces, fotogrametría = medir sobre fotos. 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.

Las aplicaciones de la fotogrametría tienen campo en diferentes disciplinas como son por ejemplo, cartografía a diferentes escalas, ortofotografía, en meteorología, astronomía, geología, arqueología, hidráulica, documentación de obras públicas, control de deformaciones, mediciones industriales, en medicina

legal y criminalista, investigaciones policíacas, en escultura y arquitectura que se valen de ella para la reproducción y medida de cuerpos y objetos diversos.

El levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la fotogrametría a la Topografía. La fotogrametría no es una ciencia nueva, ya que los principios matemáticos en que se basa son conocidos desde hace más de un siglo, sin embargo sus aplicaciones topográficas son mucho más recientes.

La fotogrametría se encuentra hoy en día totalmente ligada a disciplinas, entornos y sistemas digitales que permiten la máxima automatización de las tareas que tradicionalmente utilizaba el operador fotogramétrico.

Con la aplicación de la fotogrametría digital, las posibilidades de explotación de las imágenes se amplían y se simplifican permitiendo, por ejemplo, la generación automática de modelos digitales del terreno (MDT), de modelos digitales de superficie (MDS), de ortoimágenes, la generación y visualización de fotomodelos tridimensionales, la extracción automática de entidades y elementos cartográficos (carreteras, edificios, ...), la captura y visualización de fenómenos dinámicos, etc.

Si se trabaja con una foto se obtiene información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de traslape), se tiene una visión estereoscópica; o dicho de otro modo, información tridimensional. 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.

Las distorsiones de las fotografías se corrigen utilizando un restituidor fotogramétrico, siendo este un proyector que crea una imagen tridimensional al

combinar fotografías superpuestas del mismo terreno tomadas desde ángulos diferentes. Los límites, las carreteras y otros elementos se trazan a partir de esta imagen para obtener una base sobre la cual se realizará el mapa.

En las fotografías deben estar las medidas horizontales y verticales del terreno. Estas fotografías se restituyen en modelos tridimensionales para preparar la realización de un mapa a escala. Se requieren cámaras adecuadas y equipos de trazado de mapas muy precisos para representar la verdadera posición de los elementos naturales y humanos, y para mostrar las alturas exactas de todos los puntos del área que abarcará el mapa.

2.1.2 Etapas de la Fotogrametría

En la historia de la fotogrametría se pueden distinguir tres etapas: la fotogrametría ordinaria, la estereofotogrametría analítica y la estereofotogrametría automática.

Ya antes del invento de la fotografía, Lambert, matemático, físico y filósofo de origen suizo, estableció en 1759 los fundamentos para resolver el problema de la restitución en perspectiva. A partir de 1858 el francés Laussedat, consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno a partir de la fotografía, siendo este el inicio de la fotogrametría, que en su día se conoció con el nombre de fotogrametría ordinaria. Este método tuvo vigor hasta el principio del presente siglo; el inconveniente más grande que tenía este sistema era la identificación de un mismo punto en dos fotografías tomadas desde distintos ángulos de visión.

Aunque se continuaba trabajando con la fotogrametría, se tropezaba con dificultades de importancia, ya que la restitución de un punto implicaba una gran cantidad de cálculos, hasta que en 1901 Pulfrich aplicó el principio de la visión en relieve para efectuar medidas estereoscópicas por medio de un aparato de su invención que se denominó estereocomparador, y con el cual se deducían las

coordinadas. En fotogrametría analógica se continúa con el mismo modo de trabajo que se utilizó en el estereofotogrametría analítica.

Fotogrametría analítica: Se encarga de aplicar los modelos matemáticos a objetos físicos.

- **Fotogrametría digital:** Con la aparición de los ordenadores, se sustituye la imagen analógica por la imagen digital, del mismo modo que se empiezan a utilizar programas informáticos. En la actualidad la fotogrametría digital convive con la analítica.

En 1909 se dio el paso definitivo para la consagración de la fotogrametría terrestre, gracias al teniente Austríaco Von Orel, al inventar y fabricar un equipo denominado estereoautógrafo, siendo este el primer equipo utilizado para la construcción y dibujo automático de planos, en el caso de ejes ópticos horizontales.

La tercera etapa, estereofotogrametría automática, comienza con el desarrollo de la aviación y la necesidad de los beligerantes de ambos bandos de la primera guerra mundial de obtener fotografías aéreas del campamento contrario. En la fotogrametría aérea la cámara está en movimiento, y para poder efectuar la restitución, es preciso conocer el punto exacto en que se impresiono el fotograma. Para solucionar este obstáculo después de diversos ensayos, se tuvo que volver al antiguo teorema de Terrero-Hauck, el cual permitió conseguir la orientación relativa de cada dos fotografías consecutivas por método exclusivamente óptico y mecánico.

2.1.3 Tipos de Fotogrametría

Existen varias formas de hacer fotogrametría:

- ⑩ **Fotogrametría aérea:** Es cuando las estaciones se encuentran en el aire y el punto de vista está en movimiento; son desconocidas sus coordenadas

así como la dirección del eje de la cámara. Se aplica para la elaboración de planos y/o mapas para el desarrollo de proyectos de ingeniería. Fotogrametría terrestre: En este caso las estaciones se encuentran a nivel del suelo y el punto de vista es fijo. Se determina sus coordenadas así como la orientación del eje de la cámara.

2.1.4 Fundamento de la Fotogrametría

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es la usada por las lentes.

En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

- No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara.
- La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana.
- La relación matemática entre el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

⑩ Principio de colinealidad

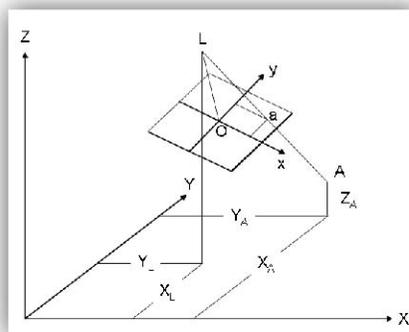


Figura 2.1 Principio de Colinealidad

Jauregui, Luis - Fotogrametría digital
Jauregui, Luis -Fotogrametria digital

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} = kM \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

E 2.1

La matriz M puede ser expresada en términos de sus elementos:

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

E 2.2

Al eliminar el factor de escala mediante división de las dos primeras ecuaciones por la tercera obtenemos la expresión clásica de la colinealidad:

$$x - x_0 = -f \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 = -f \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

E 2.3

2.2 PROCESOS FOTOGRAFÉTRICOS

2.2.1 Orientación Interior

Prescindiendo de la deformación producida por el objetivo fotográfico, puede decirse que las imágenes fotográficas son proyecciones centrales del terreno sobre el plano -imagen de la cámara, siendo el centro de proyección el punto nodal posterior del objetivo. Estando la placa en posición vertical (proyección central), y sea O el centro de proyección o punto de vista; los rayos principales procedentes de dos puntos cualquiera P_1 y P_2 del terreno, cortan al plano imagen en p_1 y p_2 de modo que estas son respectivamente las imágenes de aquellos.

Para la interpretación de la imagen hay que conocer la proyección del punto O sobre el plano -imagen, es decir, el punto principal H , así como la distancia focal principal OH . La intersección AB del plano horizontal que pasa por O con el plano -imagen tiene el nombre de línea de horizonte.

Proyectando los dos puntos p_1 y p_2 , sobre la línea de horizonte, se tiene que el ángulo α es el ángulo acimutal correspondiente a los dos puntos del terreno P_1 y P_2 , y los ángulos β_1 y β_2 son respectivamente los ángulos de altura de P_1 y P_2 (de signo contrario). Es decir, que con una fotografía a la vista se pueden determinar, conociendo el punto principal, la línea de horizonte y la distancia focal principal, los ángulos acimutales entre puntos cualesquiera del terreno, y también los ángulos de altura que corresponden a estos mismos puntos.

Con un fotografía de esta clase se tiene el acimut y los ángulos de inclinación de todos los puntos del terreno representados en aquella y correspondientes al punto O como estación.

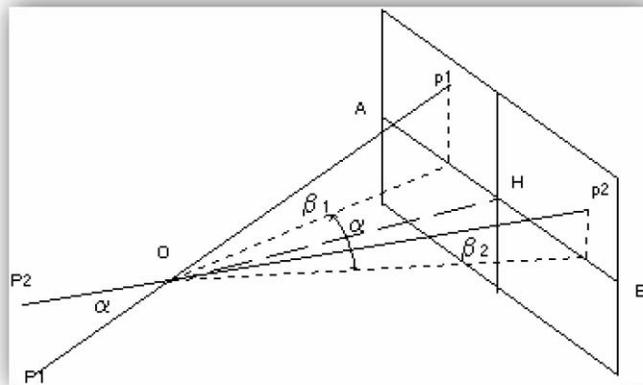


Figura 2.2 Orientación interior

<http://www.efn.uncor.edu>
<http://www.etn.uncor.edu>

En conclusión una vista fotográfica puede llamarse fotograma si se conocen los elementos de su orientación interior.

Como en los trabajos fotogramétricos siempre se trata de distancias grandes, no hay que variar la posición de la placa para lograr el enfoque, y por consiguiente, se pueden emplear cámaras rígidas, cuya distancia focal principal será igual a la distancia focal del objetivo. El chasis que lleva la placa sensible, y que constituye el fondo de la cámara, también lleva unos dispositivos que permiten en el momento de la toma imprimir las marcas fiduciales. Las rectas que unen estas marcas dan en su intersección el centro del fotograma y por consiguiente el punto principal (sí H coincide con esa intersección). A la recta de unión de este punto principal H con el centro de perspectiva, que es el punto nodal posterior del objetivo, tiene el nombre de eje de la cámara.

Si la cámara fotogramétrica está debidamente ajustada el centro del fotograma y el punto principal deben coincidir. Además cuando el objetivo de la cámara no ha sufrido golpes o deformaciones la distancia focal indicada por el fabricante en el cuerpo de la cámara es casi igual a la verdadera que tiene este.

2.2.2 Orientación Exterior

Para lograr una buena reconstrucción tridimensional de un objeto en el espacio se emplean dos fotografías del objeto tomadas desde puntos de vista diferente (estereofotogrametría). Se trata entonces de un problema de intersección en el espacio donde cada punto del objeto está determinado por un par de rayos que salen desde los centros de proyección y se cortan en dicho punto.

Con la orientación interior de un fotograma se puede conocer perfectamente la posición del centro de proyección con respecto a un sistema de coordenadas situado en la misma placa:

$$f = OH$$

$$OI \rightarrow O \rightarrow H(x, z) \text{ o } (x, y)$$

En este caso se refiere a tres grados de libertad.

Para poder reconstruir un objeto situado en el espacio a partir de su perspectiva fotográfica también se necesita conocer la posición de ese fotograma en el espacio esto es la *Orientación Exterior*.

Como todo cuerpo en el espacio tiene seis grados de libertad la cámara fotográfica y por ende su centro de proyección y plano focal también tendrán seis grados de libertad. Se considera todos los puntos del terreno y también la cámara referido a un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal de tres ejes: X, Y, Z .

Posición del centro de toma en el espacio:

$$O = (X_o, Y_o, Z_o)$$

Posición del eje óptico en el espacio:

$\epsilon, \theta, \sigma_1$ Definida por dos parámetros angulares (ϵ, θ) , en el sistema X, Y, Z ϵ Inclinación del eje de toma (o', O, o_1) , con respecto al plano XY θ Ángulo de dirección que forma la proyección del eje de toma (o', O, o_1) , sobre el plano XY , con respecto a uno de los ejes X_o o Y_o .

Rotación de la cámara alrededor del eje de toma: ϕ

El giro ϕ , es el ángulo que forma la recta i intersección de un plano p paralelo al plano XY de referencia con el plano de la placa y el eje x , perteneciente al sistema local de referencia de la placa (x, z) .

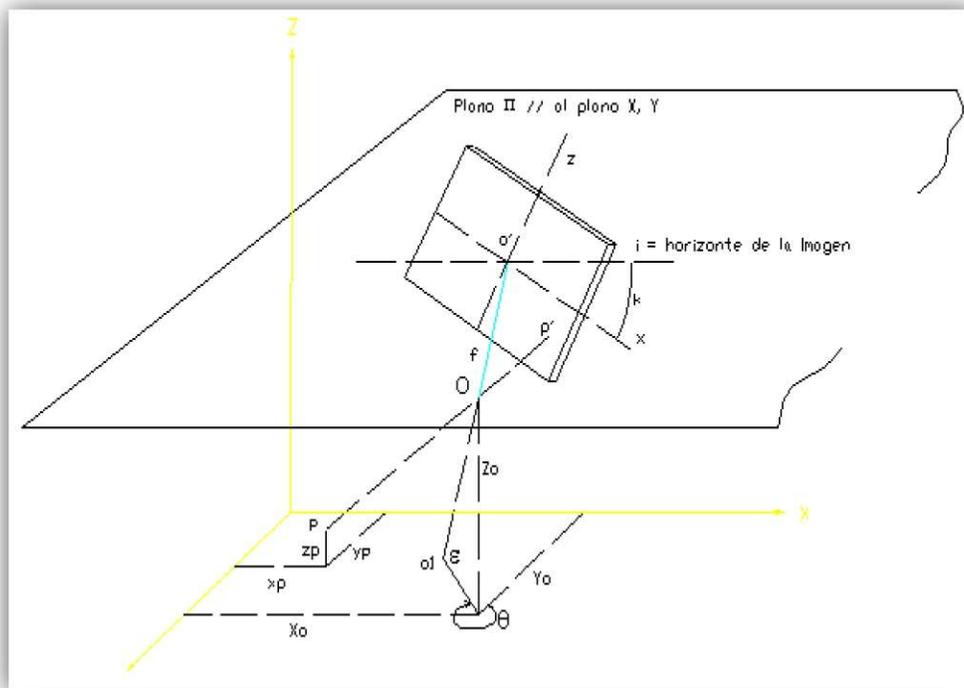


Figura 2.3 Orientación Exterior

<http://www.efn.uncor.edu>

Entonces, se tiene seis parámetros para definir la Orientación Exterior de una perspectiva, tres traslaciones y tres giros y para determinar completamente una perspectiva serán necesarios nueve parámetros puesto que hay que considerar los tres parámetros de la Orientación Interior. Como para definir correctamente un punto en el espacio se necesita realizar un proceso de intersección de perspectivas (dos fotogramas), serán necesarios entonces doce parámetros de Orientación Exterior. Los doce parámetros de Orientación Exterior se dividen en cinco parámetros de Orientación Relativa y Siete de Orientación Absoluta.

⑩ Orientación Relativa

Se trata que los rayos homólogos de los haces espaciales de ambos fotogramas se corten dos a dos. La geometría proyectiva demuestra que si cinco pares de rayos homólogos (de dos fotogramas), se cortan dos a dos, se cortaran

también los infinitos pares de rayos de los puntos homólogos que determinan un objeto en el espacio.

El teorema de Terrero-Hauck establece cuáles serán los cinco elementos que resolverán la Orientación Relativa.

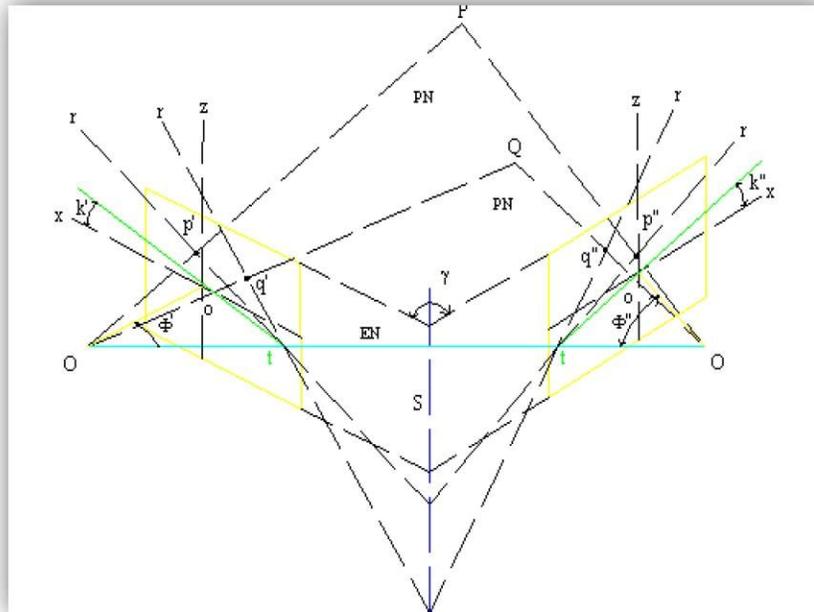


Figura 2.4 Orientación Relativa

<http://www.efn.uncor.edu>
<http://www.ern.uncor.edu>

PN Plano nuclear

EN Eje nuclear r

Rayo nuclear t

Punto nuclear

Elementos de la Orientación Relativa:

ϕ' , ϕ'' Ángulos de oblicuidad entre los ejes ópticos y el eje nuclear k' ,

k'' Ángulos de rotación marginal γ Ángulos entre las placas

Todo haz de rayos nucleares generados por puntos del terreno pasará por el punto nuclear y se cortarán dos a dos en la recta S.

⑩ Orientación Absoluta

Se trata de la posición del modelo con respecto al sistema de coordenadas XY. Se tiene entonces un parámetro factor de escala y seis parámetros definidos por tres traslaciones y tres rotaciones.

Estos parámetros se obtienen de las coordenadas planimétrica y altimétrica de dos puntos del terreno y la coordenada altimétrica de un tercer punto del terreno. Estos puntos A, B, C; se denominan puntos de apoyo fotogramétrico (PAF), que conjuntamente con otros puntos de control permiten la resolución completa del modelo.

$$A = (x_a, y_a, z_a)$$

$$B = (x_b, y_b, z_b)$$

$$Z = z_c$$

2.3 FOTOGRAMETRÍA NO TOPOGRÁFICA

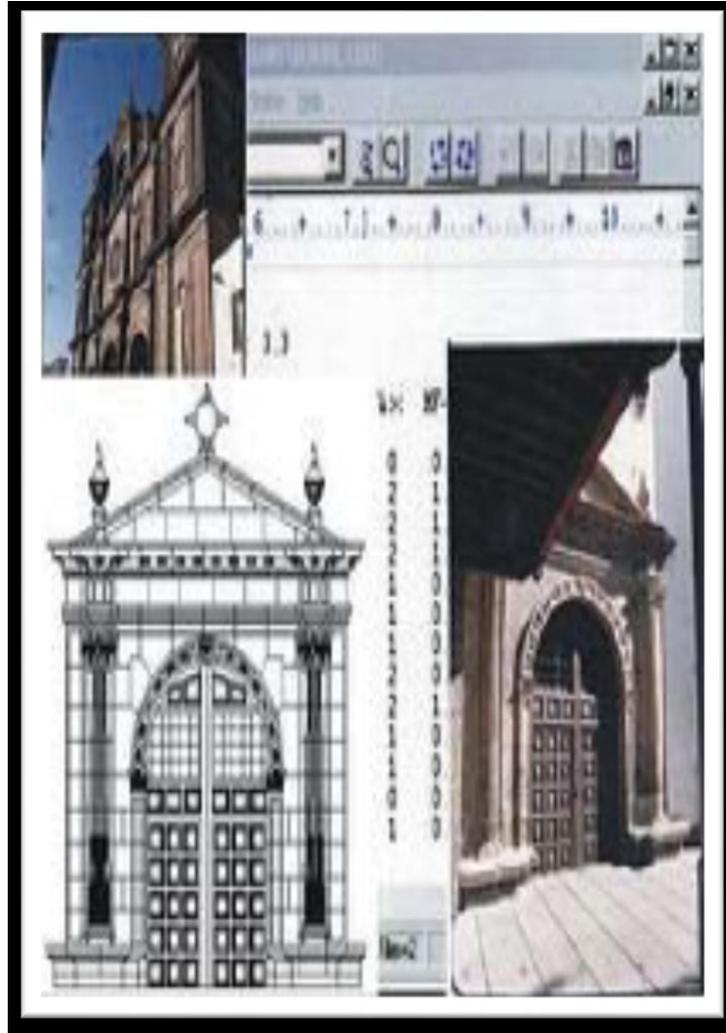
Desde los inicios de la fotogrametría se ha tratado de aplicar sus técnicas fuera del campo de mapeo topográfico, obteniendo como resultado el campo referido a la *Fotogrametría no topográfica*.

En reconocimiento de la importancia de la fotogrametría no topográfica, la Sociedad Internacional de Fotogrametría ha designado una Comisión Técnica (Comisión V) para el desarrollo de este tema. Desde su formación en 1948 esta comisión ha tenido numerosos títulos, como:

- ⑩ "Aplicaciones de la Fotogrametría en varios ámbitos"
- ⑩ "Aplicaciones especiales de fotogrametría"

- ⑩ "Aplicaciones no Cartográficas de Fotogrametría"
- ⑩ "Aplicaciones no Topográficas de Fotogrametría"
- ⑩ Y desde 1972 "*Fotogrametría no Topográfica*".

2.3.1 Fotogrametría Terrestre



En la fotogrametría terrestre la cámara está situada en la superficie terrestre y la distancia al objeto no supera los 300 metros, por tanto, no se tienen en cuenta los errores de esfericidad ni de refracción.

Una clasificación según la distancia cámara – objeto es:

- **Fotogrametría de objeto cercano o de corto alcance:** Entre 10 cm y 300 metros
- **Macrofotogrametría:** De 1 a 10 cm
- **Microfotogrametría:** < 1 cm

Tabla 2.1 Cámaras analógicas terrestres

<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Formato (cm)</i>	<i>Focal (mm)</i>
Cámaras métricas			
Hasselblad	MK 70	6x6	60,100
Wild	P32	6,5x9	64
Wild	P31	10x13	45,100,200
Zeiss	UMK1318	13x18	64,100,200,300
Bicámaras			
Wild	C 40/120	6,5x9	64
Zeiss	SMK 40/120	9x12	60
Cámaras semimétricas			
Rollei	3003	2,4x3,6	15-1000
Rollei	6006	6x6	40-350
Rollei	6008	6x6	40-500
Leica	R5	2,4x3,6	18-135
Hasselblad	IDAC	5,5x5,5	38,60,100
Pentax	PAMS 645	4x5	35-200
Linhof	Métrica 45	10,5x12,7	90-150
Rollei	R_métrica	10,2x12,6	75,150

Grussenmeyer et al. 2002

La fotogrametría terrestre puede ser estática o dinámica. En el primer caso, el tiempo de exposición puede ser prolongado, y la sensibilidad de la película baja. En el segundo caso se utilizan películas rápidas y con tiempos de exposición menores.

Las cámaras utilizadas pueden ser:

- Analógicas: Cámaras métricas, bicámaras y cámaras semimétricas.
- Digitales

En fotogrametría terrestre se opera con cámaras fotográficas montadas sobre un teodolito o taquímetro, con lo que obtiene el fototeodolito, fototaquímetro o el fotogrametro, puede tener también antejo estadimétrico.

Entre las aplicaciones de la fotogrametría terrestre se destacan la fotogrametría arqueológica, médica, industrial y arquitectónica, esta última para la restauración y conservación de edificios históricos o artísticos.

⑩ Programas de fotogrametría terrestre

Cada uno de los programas que se muestran en la Tabla 2.2 está diseñado para realizar una serie de procesos determinados en función de la aplicación que se necesite. Por ello se pueden dividir en tres grupos, en el primero de ellos se encuentran los programas que realizan transformaciones con una sola foto, de modo que permiten rectificar y realizar mosaicos.

En el segundo grupo están aquellos que sólo restituyen y en el tercer grupo se encuentran aquellos que permiten realizar rectificaciones y restituciones del objeto fotografiado, normalmente utilizando para ello diferentes módulos.

Los programas de fotogrametría terrestre tienen generalmente un modo de trabajo de visión monoscópico. Este modo de trabajo no limita la realización de ninguno de los procesos fotogramétricos (orientaciones, rectificación, restitución, generación de modelos), pero no se pueden visualizar los datos obtenidos en tres dimensiones, y el proceso de restitución es más lento y laborioso.

El cálculo de las orientaciones se realiza, en su mayoría, mediante el algoritmo de ajuste de haces, y normalmente con posibilidad de autocalibración de las cámaras utilizadas.

Tabla 2.2 Programas de fotogrametría terrestre

Programa	Empresa	Proceso fotogramétrico		Dirección
		Rectificación	Restitución	
Arpenteur	FNSAIS- ERGECan GAMSAU	?	Si	http://www.arpenteur.net
ASR	S. Nickerson	Si	No	http://nickerson.icomos.org/cart/asr/asr.htm
BLUH	Univ. Hanover	?	Si	http://www.ipi.uni-hannover.de
CAP	Hinsken&Kotowski	?	Si	http://www.k2-photogrammetry.de
CDW	Rollei	No	Si	http://www.rolleimetric.de
Elcovision	PMS AG	?	Si	http://www.elcovision.com
ELSP	PMS AG	Si	No	http://www.elcovision.com
LISA BASIC	Univ. Hanover	Si	No	http://www.ipi.uni-hannover.de/lisa/
MSR	Rollei	Si	No	http://www.rolleimetric.de
ORIENT	Univ. Viena	Si	Si	http://bms2.ipf.tuwien.ac.at/produktinfo/
PHIDIAS	RWTH Aachen	Si	Si	http://www.gia.rwth-achen.de/Forschung/Phidias
Photomodeler	EOS System	Si	Si	http://www.photomodeler.com/
PICTRAN	Technet	Si	Si	http://www.technet-gmbh.com/
TIPHON	ENSAIS- ERGECan	?	Si	http://photogen.u-strasbg.fr/telechargement/tiphon.html http://topsig1.u-strasbg.fr/photogeo/index2.htm

Grussenmeyer et al., 2002

1. Sistema de Adquisición de Datos Fotogramétricos

En la estereofotogrametría terrestre se distinguen tres configuraciones utilizadas en la toma de fotografías.

⑩ Caso normal

Los dos ejes de las estaciones O_1 , O_2 de la cámara están en paralelo entre si y perpendiculares a la línea base B . Las coordenadas espaciales de cualquier punto P (X_p, Y_p, Z_p), entonces:

$$X_p = \frac{Y_p}{f} x_1 ; Y_p = \frac{B f}{p} ; Z_p = \frac{Y_p}{f} y$$

E 2.4

Donde p es el paralaje en X ,

$$p = x_1 - x_2$$

A través de la propagación del error se determina $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ los errores estándar en las coordenadas espaciales de P . El error de la coordenada en Y esta principalmente en función del error estándar del paralaje σ_p , entonces:

$$|\sigma_Y| = \left| \frac{B f}{p^2} \right| \cdot |\sigma_p|$$

E 2.5

De donde

$$B = \frac{(Y_{max})^2}{f} \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_Y} \right)$$

E 2.6

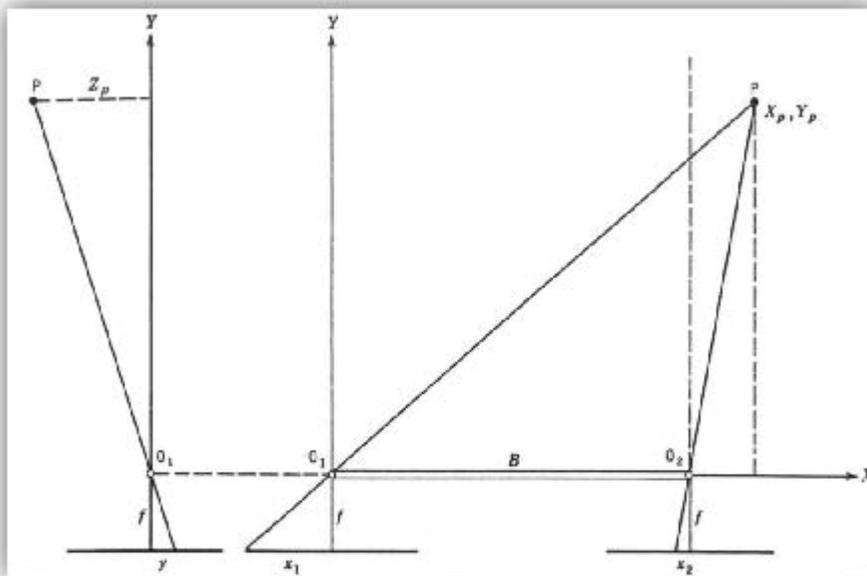


Figura 2.6 Caso normal

Karara, H.M. - *Manual of Photogrammetry*
-manual of photogrammetry

En la ecuación E 2.6, Y se toma como Y_{max} debido a la precisión requerida que debe ser alcanzada a la distancia máxima fotográfica. La longitud de la línea de base suele ser seleccionada en función de

$$\frac{Y_{max}}{20} < B < \frac{Y_{min}}{5}$$

E 2.7

⑩ Paralelo inclinado

Los ejes de la cámara son paralelos e inclinados respecto a la línea base.

$$b = \frac{B}{f} (f \cos \phi - x_2 \sin \phi)$$

E 2.8

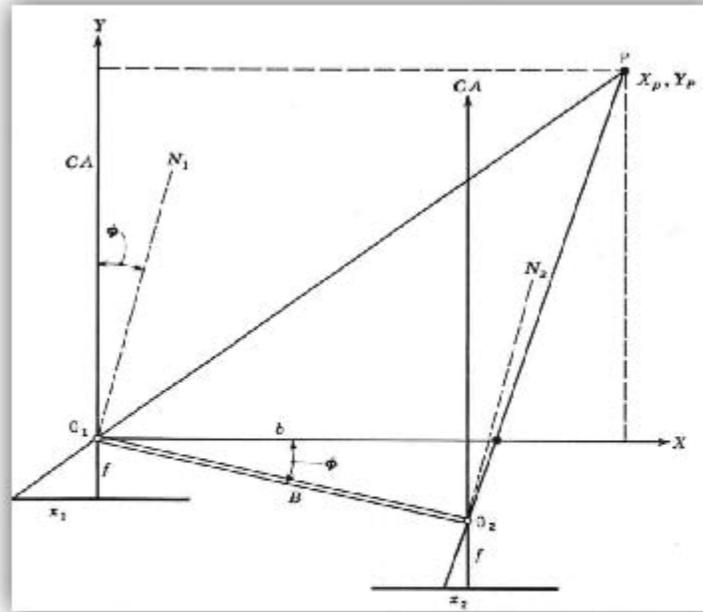


Figura 2.7 Caso paralelo inclinado

Karara, H.M. - *Manual of Photogrammetry*
H.M. - *Manual of Photogrammetry*

Sustituyendo en E 2.4

$$Y_p = \frac{b}{p} f = \frac{\frac{B}{f} (f \cos \phi - x_2 \sin \phi)}{p} \cdot f$$

$$X_p = \frac{\frac{B}{f} (f \cos \phi - x_2 \sin \phi)}{p} \cdot x_1$$

$$Z_p = \frac{\frac{B}{f} (f \cos \phi - x_2 \sin \phi)}{p} \cdot y$$

E 2.9

⑩ Convergencia de fotografías

Cuando se trata de visión estereoscópica, el ángulo de convergencia no puede ser mayor a 7° .

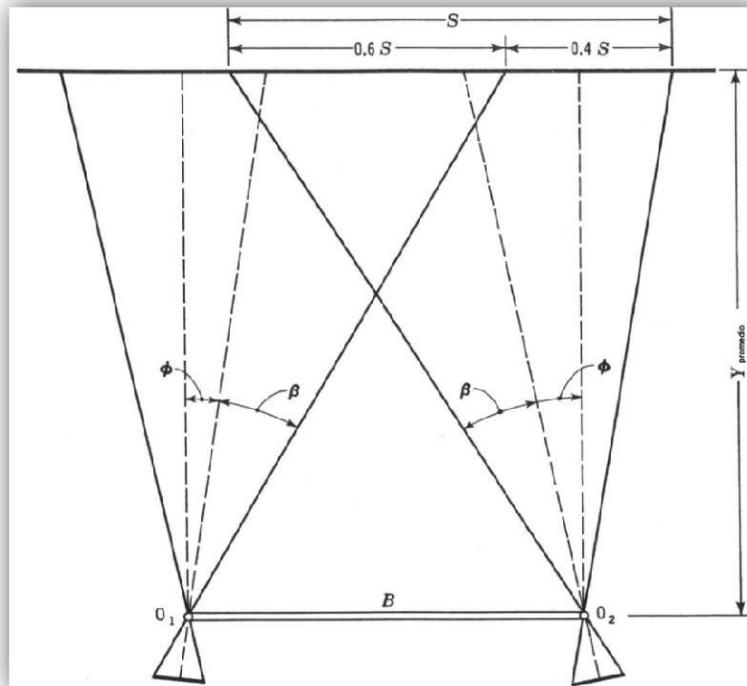


Figura 2.8 Fotogrametría estéreo – convergente

Karara, H.M. - *Manual of Photogrammetry*
convergente Karara, H.M. - *Manual of*

Photogrammetry

El traslape entre las fotografías esta en relación del 60 % en la distancia fotográfica promedio (\check{Y}) y la línea base B puede calcularse con:

$$B = [1.4 \tan(\beta + \phi) - 0.6 \tan(\beta - \phi)]$$

E 2.10

Donde: ϕ Es $\frac{1}{2}$ del ángulo de visión de la cámara
 β Es el ángulo de convergencia

En conclusión, la convergencia de fotografías se obtiene por medio de dos o más estaciones de toma con casi el 100% de traslape entre 2 fotografías.

La medición de los parámetros de orientación exterior introduce excentricidades (Figura 2.9 y 2.10). La cámara de un fototeodolito gira en torno a un eje que pasa por su centro de gravedad para equilibrar su peso.

La excentricidad (CE) es la distancia entre el eje de rotación (R_1 o R_2) y el centro de perspectiva correspondiente (O_1 u O_2).

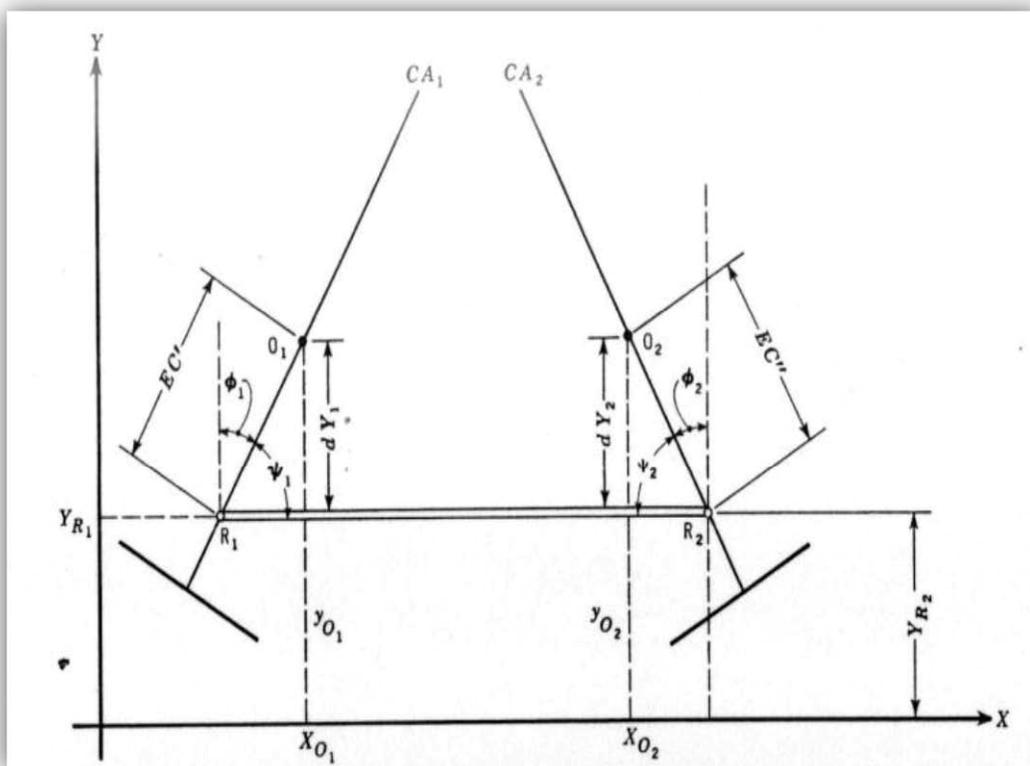


Figura 2.9 Convergencia de fotogrametría terrestre

Karara, H.M. - *Manual of Photogrammetry*
terrestre Karara, H.M. - *Manual of*

Photogrammetry

Las coordenadas X_{Ri} , Y_{Ri} , Z_{Ri} del eje de rotación se pueden determinar de inspección sobre el terreno y de la estación de las coordenadas a continuación, se puede calcular como:

$$X_{O_i} = X_{R_i} + CE \cos \psi_i \cos \omega_i$$

$$Y_{O_i} = Y_{R_i} + CE \sin \psi_i \cos \omega_i$$

$$Z_{O_i} = Z_{R_i} + CE \sin \omega_i$$

E 2.11

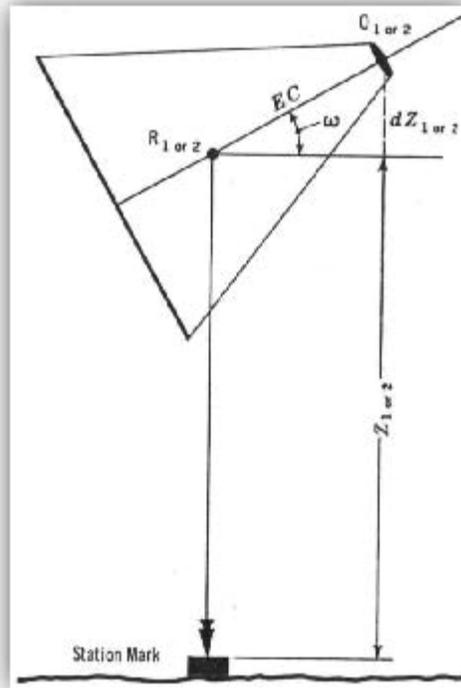


Figura 2.10 Excentricidad en fototeodolitos

Karara, H.M. - *Manual of Photogrammetry*
 fototeodolitos Karara, H.M. - *Manual of*
Photogrammetry

Donde i es la estación en consideración, el conjunto de ecuaciones E 2.11 pueden ser utilizadas son en el caso en que los ejes verticales y horizontales se intersecan. Existen un sin número de instrumentos en los cuales sus ejes no llegan a intersecarse, es entonces cuando E 2.11 se modifica en razón de:

$$X_{O_i} = X_{R_i} + CE_h \cos \psi_i \cos \omega_i$$

$$Y_{O_i} = Y_{R_i} + CE_h \sin \psi_i \cos \omega_i$$

$$Z_{O_i} = Z_{R_i} + CE_h \sin \omega_i$$

E 2.12

Cuando es importante una alta precisión, la toma de un número determinado n de fotografías correspondientes a cada una de las estaciones se define con:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}}$$

E 2.13

En donde:

σ_0 Es el error estándar por unidad de peso σ_i

Es el error estándar de la observación n Es el número de fotografías

El número de fotografías en el conjunto de fotografías tomadas desde cada estación de la cámara se encuentra entre 2 y 4. Alrededor del 30% de mejora en σ_0 , se obtiene mediante la medición en dos fotografías de cada estación de la cámara y la mejora de alrededor del 16% se obtiene al aumentar el número de fotografías a tres. Al aumentar el número de fotografías 3 -4 una mejora de alrededor del 7% en σ_0 , que se espera. Así, varias fotografías de cada estación de la cámara son justificables. Las mejoras antes citada para una, son los valores teóricos que pueden variar en la práctica.

2. Sistema de Reducción de Datos Fotogramétricos

La reducción de datos en fotogrametría terrestre se puede realizar utilizando métodos analógicos o analíticos.

Ⓢ Método Analítico

Las fotografías terrestres, generalmente los negativos originales; se pueden medir en los mono o estéreo comparadores. La medida de las coordenadas se reduce al centro de las fotografías, y son corregidas por la distorsión del lente y la refracción atmosférica.

Si la película se utiliza en la fase de adquisición de datos, entonces, la contracción de la película también se debe incluir en el refinamiento de coordenadas.

Hay dos diferentes métodos analíticos para la determinación del terreno (objeto-espacio) las coordenadas de los puntos de interés: aproximados y rigurosos.

En el método de aproximación, los elementos de orientación exterior, medidos directa o indirectamente, se consideran como cantidades fijadas sobre la base del terreno -objeto de coordenadas de los puntos son calculadas.

El método riguroso, por el contrario, no implica cantidades fijadas como tal. Todas las cantidades son medidas por los datos de campo y a su vez estos fotogramétricamente, son considerados como parámetros variables en una solución de mínimos cuadrados simultánea. El método riguroso proporciona una precisión considerablemente mejor que el método aproximado.

Figura 2.11 Geometría de triangulación
Karara, H.M. -Manual of
Photogrammetry

La reducción de datos en el método de aproximación consiste en:

- La determinación de la ubicación de los centros de perspectiva,
- La determinación de la matriz de orientación de cada fotografía,
- El cálculo de las coordenadas de los puntos de interés.

⑩ Determinación de la Ubicación de las Estaciones de la Cámara

Centros de perspectiva *ie* "puntos nodales frontales". Esto se hace a menudo por triangulación. La geometría de la triangulación del espacio figura

2.11. Las coordenadas del centro de perspectiva O son X, Y, Z, y coordenadas las aproximadas son X_0 , Y_0 , Z_0 .

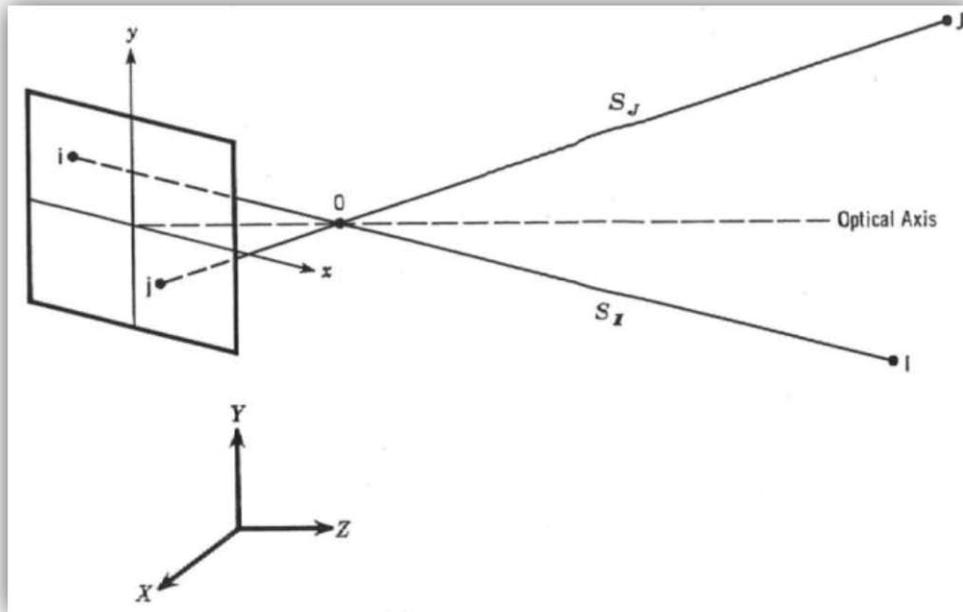


Figura 2.11 Geometría de triangulación
 Karara, H.M. - *Manual of Photogrammetry*

$$\cos(ij) = \cos(IJ)$$

E 2.14

$$\cos(ij) = \frac{x_i x_j + y_i y_j + f^2}{S_i \cdot S_j}$$

$$S_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + f^2} \quad S_j = \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + f^2}$$

$$\cos(IJ)_0 = \frac{(X_0 - X_i)(X_0 - X_j) + (Y_0 - Y_i)(Y_0 - Y_j) + (Z_0 - Z_i)(Z_0 - Z_j)}{S_i \cdot S_j}$$

Entonces:

$$S_i = \sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (Y_0 - Y_i)^2 + (Z_0 - Z_i)^2}$$

$$S_j = \sqrt{(X_0 - X_j)^2 + (Y_0 - Y_j)^2 + (Z_0 - Z_j)^2}$$

Rescribiendo la ecuación 2.14:

$$\cos(IJ)_0 = \frac{\delta \cos(IJ)}{\delta X_0} \Delta X + \frac{\delta \cos(IJ)}{\delta Y_0} \Delta Y + \frac{\delta \cos(IJ)}{\delta Z_0} \Delta Z = \cos(ij)$$

La ecuación general entonces sería:

$$AX - L = V$$

E 2.15

De donde las derivadas parciales son:

$$a_{ij} = (X_0 - X_I)T_{IJ} + (X_0 - X_J)T_{IJ}$$

$$b_{ij} = (Y_0 - Y_I)T_{IJ} + (Y_0 - Y_J)T_{IJ}$$

$$c_{ij} = (Z_0 - Z_I)T_{IJ} + (Z_0 - Z_J)T_{IJ}$$

$$T_{IJ} = \frac{\left(1 - \frac{S_I \cos(ij)}{S_J}\right)}{S_I S_J}$$

Si hay n puntos en el espacio objeto, el número de combinación de ángulo es:

$$\frac{(n(n-1))}{2}$$

Usando el número de combinaciones de ángulos, se resuelve la matriz V

Las coordenadas del centro de perspectiva O son:

$$A^T A X - A^T L = 0$$

$$\Delta X = (A^T A)^{-1} A^T L$$

$$X' = X_0 + \Delta X$$

$$Y' = Y_0 + \Delta Y$$

$$Z' = Z_0 + \Delta Z$$

E 2.16

Se comienza la segunda iteración con los nuevos valores aproximados de X' , Y' , Z' . La iteración debe realizarse hasta que:

$$\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0$$

⑩ Determinación de la Matriz de Orientación de cada Fotografía

Depende de si los elementos de la orientación exterior fueron determinados directa o indirectamente.

En el caso de que ω , Φ , κ fueron medidos en campo, la matriz de orientación exterior está formada por ω , Φ , κ ángulos de orientación

$$M_i = \begin{bmatrix} \cos \Phi_i & 0 & \sin \Phi_i \\ \sin \omega_i \sin \Phi_i & \cos \omega_i & -\sin \omega_i \cos \Phi_i \\ -\cos \omega_i \sin \Phi_i & \sin \omega_i & \cos \omega_i \cos \Phi_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}; \kappa = 0$$

En el caso de que los elementos de la orientación exterior son medidos indirectamente a través de cálculos, el principio básico del cálculo es la comparación vectorial imagen-espacio (\vec{r}) entre el centro de perspectiva del lente y el punto de la imagen, al vector objeto-espacio (\vec{R}) entre el centro de perspectiva y punto del objeto A.

⑩ Determinación de las Coordenadas Espaciales del Objeto

Después de determinar la orientación de cada fotografía, se debe prescribir las coordenadas de los puntos del objeto, lo cual se realiza mediante intersección:

$$X_p = X_0 - \Delta X$$

$$Y_p = Y_0 - \Delta Y$$

$$Z_p = Z_0 - \Delta Z$$

E 2.17

X_P, Y_P, Z_P Son las coordenadas espacial X_0, Y_0, Z_0

Son las coordenadas aproximadas $\square X, \square Y, \square Z$

Diferencias respectivas de los ajustes

Los valores son ρ, ρ', ρ'' ; ρ, ρ', ρ'' ; las coordenadas de la estación de la cámara O_1 y O_2 y las matrices de orientación M' y M'' .

La ecuación desde O_1 al punto P es:

$$\frac{(X_0 - X_{0_1})}{\cos X_{O_1 P}} = \frac{(Y_0 - Y_{0_1})}{\cos Y_{O_1 P}} = \frac{(Z_0 - Z_{0_1})}{\cos Z_{O_1 P}}$$

$$\frac{(X_0 - X_{0_2})}{\cos X_{O_2 P}} = \frac{(Y_0 - Y_{0_2})}{\cos Y_{O_2 P}} = \frac{(Z_0 - Z_{0_2})}{\cos Z_{O_2 P}}$$

De estas ecuaciones las coordenadas aproximadas son determinadas con:

$$Z_0 = \left[X_{0_2} - X_{0_1} - Z_{0_1} \frac{\cos X_{O_1 P}}{\cos Z_{O_1 P}} + Z_{0_2} \frac{\cos X_{O_2 P}}{\cos Z_{O_2 P}} \right] \left[\frac{1}{\left(\frac{\cos X_{O_2 P}}{\cos Z_{O_2 P}} - \frac{\cos X_{O_1 P}}{\cos Z_{O_1 P}} \right)} \right]$$

$$X_0 = (Z_{0_2} - Z_0) \frac{\cos X_{O_1P}}{\cos Z_{O_1P}} + X_{0_2}$$

$$Y_0 = (Z_{0_2} - Z_0) \frac{\cos Y_{O_1P}}{\cos Z_{O_1P}} + Y_{0_2}$$

E 2.18

Los cosenos son calculados de las coordenadas de la imagen y modificados por la matriz de orientación:

$$O_1P = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + f^2}$$

$$O_2P = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + f^2}$$

2.3.2 Fotogrametría Arquitectónica

Figura 2.12 Proyecto para la valoración del Patrimonio Industrial español y la

elaboración de una CARTA de RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA

Es la técnica que permite levantar o restituir un objeto, en particular un elemento arquitectónico o arqueológico, utilizando perspectivas del mismo registradas fotográficamente. En las intervenciones sobre el patrimonio arquitectónico existen diversas aéreas de actuación como la restauración o la implementación de conjuntos arquitectónicos que acostumbran a ser asumidas por los pertinentes profesionales.

La documentación gráfica necesaria para un completo análisis, catalogación, archivo y divulgación de este tipo de trabajos se ha resuelto tradicionalmente con el dibujo de tendencia artística y con la fotografía. El resultado termina siendo un documento gráfico o métrico debido a que ni la fotografía ni el dibujo artístico permiten una escala de representación uniforme generando de esta manera la consecuente pérdida de rigor.



Figura 2.12 Proyecto para la valoración del Patrimonio Industrial español y la elaboración de una CARTA de RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA
<http://institucional.us.es/crai/>

⑩ Levantamiento Arquitectónico

“El levantamiento puede considerarse un método de investigación pues sus resultados nos permiten profundizar en el conocimiento del patrimonio, que es la base imprescindible para su conservación.”

Almagro, 2004

El término *levantamiento* es utilizado en el ámbito topográfico y se refiere a la toma de datos de un objeto y su representación gráfica, en tres dimensiones o utilizando algún sistema de proyección, siendo el sistema acotado el más utilizado como representación final.

En el caso arquitectónico y arqueológico el levantamiento se concreta en una recapitulación del proceso desarrollado por el arquitecto.

La captura de valores espaciales se puede complementar con croquis, fotografías y diferentes tipos de información escrita. Sin embargo, se considera la toma de datos de tipo vectorial y fotográfico, y el levantamiento basado en las técnicas fotogramétricas, que permiten obtener la información geométrica de objeto a partir de medidas efectuadas en fotografías.

La fotogrametría permite hacer un levantamiento completo, presentando todos los detalles y deformaciones de una manera objetiva y precisa sin necesidad de tocar el objeto a levantar y, por lo tanto, sin causar ningún deterioro del mismo, y con más rapidez que otras técnicas.

El Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) dice: *“la fotogrametría ofrece la solución inmediata, óptima y generalmente única a los problemas que presenta un levantamiento”* y cita cuatro formas principales de expresión del levantamiento arquitectónico (CIPA-ICOMOS, 1980):

- Trazados en alzado, plantas y secciones
- Secciones horizontales y verticales
- Levantamiento gráfico completado con puntos acotados
-
- ⑩ Modos gráficos de expresión de las formas no planas
 - Planta-alzado
 - Cortes verticales
 - Isolíneas (curvas de nivel -profundidad)

Todas estas formas de representación se pueden conseguir con los levantamientos efectuados mediante técnicas fotogramétricas.

Las fases de un levantamiento se pueden agrupar en cuatro grandes pasos:

- 1 Conocer la obra a levantar; fundamentalmente qué edad y estilo tiene, qué hechos rodearon su proyecto y su proceso constructivo.
- 2 Toma de datos, los croquis de apoyo, las fotografías, acotaciones y medidas topográficas necesarias.
- 3 Representación gráfica con la que se tiene que trabajar
- 4 Lectura de la obra, que debe contemplar aspectos de tipo formal y compositivo (modulación, ritmos, simetría), dimensionales (escala, errores) y constructivos (tipologías constructivas).

⑩ Precisión del Levantamiento

Cualquier levantamiento está sujeto a errores, los cuales pueden ser inherentes a la medida por el método o instrumento utilizado (error accidental), pueden deberse a un error en el mismo sentido y constante para un período de tiempo (error sistemático) o estar motivados simplemente por una equivocación (error grosero).

Además, conviene no confundir precisión y exactitud de un levantamiento. La precisión se puede entender como el número de cifras decimales con las que se representa una determinada magnitud. La exactitud es la fidelidad en la ejecución de una medida, es decir, la diferencia entre el valor medido y el valor real o valor verdadero de la magnitud medida.

Por otra parte, las características en un documento gráfico varían mucho según la utilización para la que se efectúa el levantamiento. Incluso para documentos de una misma categoría, la escala de trabajo condiciona el detalle mínimo a representar y su precisión. No hay que olvidar que una representación gráfica tiene generalmente una tolerancia establecida que no puede ser sobrepasada en el levantamiento en un determinado porcentaje (generalmente 90% de todos los elementos representados).

2.4 CÁMARA FOTOGRÁFICA

Cuando los rayos luminosos que parten de un objeto P, penetran a través de un pequeño orificio en una caja cerrada (cámara oscura) forman una imagen real e invertida del objeto P, conservando las proporciones del mismo. La cámara oscura puede considerarse como un antecedente de la cámara fotográfica, en la que el orificio es sustituido por un objetivo, que es una lente o un conjunto de lentes, y la imagen se forma sobre un plano A' B', en el que hay una emulación sensible a la luz, sobre la que impresiona la imagen formada.

En fotogrametría terrestre se opera con cámaras fotográficas montadas sobre un teodolito o taquimetro, con lo que obtiene el fototeodolito, fototaquimetro o el fotogrametro, puede tener también anteojo estadimetrico.

Al igual que los teodolitos, estos aparatos van provistos de los correspondientes tornillos de presión y de coincidencia, para lograr una perfecta puntería al punto visado, y como el anteojo es solidario a la cámara fotográfica con ambos se visa el mismo punto. El anteojo del teodolito tiene un aumento de 28 veces y un objetivo de gran abertura y enfoque interno, que se realiza haciendo girar el manguito de enfoque situado alrededor del tubo del anteojo.

La cámara fotográfica tiene una distancia focal de 165 mm; el tamaño de las placas de cristal que utiliza es de 100 x 150 mm. Las cámaras fotogrametricas que se emplean para tomar fotografías desde los aviones son pocos parecidos a las ordinarias, estando todos sus elementos adaptados al trabajo especial que realizan. Se dividen en dos grandes grupos: cámaras de mano y cámaras automáticas; las primeras se emplean cuando solo se necesitan vistas aisladas o muy poco seguidas y las segundas cuando hay que hacer un gran número de fotografías seguidas.

Las cámaras automáticas, llamadas cinematográficas o toposeriografos, son las verdaderas cámaras fotogramétricas aéreas, van situada sobre el piso del

avión por intermedio de una suspensión antivibrante y llevan una serie de dispositivos para que las operaciones propias de obtención de fotografía se realicen de un modo automático.

Las cámaras fotogramétricas aéreas están constituidas por las cámaras propiamente dichas, un almacén de negativos y un dispositivo de mando. Para distinguir mejor determinadas especies de árboles cuando se trata de hacer el censo de las existencias forestales, se puede aplicar la fotografía por rayos infrarrojos.

2.4.1 Cámara Fotográfica Digital

Es una cámara fotográfica que, en vez de capturar y almacenar fotografías en películas fotográficas como las cámaras fotográficas convencionales, lo hace digitalmente mediante un dispositivo electrónico, o en cinta magnética usando un formato analógico como muchas cámaras de video.

Ⓢ Resolución de la Imagen

La resolución de una cámara fotográfica digital está limitada por el sensor de la cámara (generalmente un CCD o un Sensor CMOS) que responde a las señales de luz, substituyendo el trabajo de la película en fotografía tradicional. El sensor se compone de millones de “cubos” que se cargan en respuesta a la luz. Generalmente, estos cubos responden solamente a una gama limitada de longitudes de onda ligeras, debido a un filtro del color sobre cada uno. Cada uno de estos cubos se llama un píxel, y se utiliza un algoritmo de mosaicismo e interpolación para unir la imagen de cada gama de longitud de onda por píxel en una imagen del RGB donde están las tres imágenes por píxel para representar un color completo. La cantidad de pixeles resultante en la imagen determina su tamaño.

Los dispositivos CCD transportan la carga a través del chip hasta un conversor analógico -digital. Éste convierte el valor de cada uno de los píxeles en un valor digital midiendo la carga que le llega. Dependiendo del número de bits del conversor obtendremos una imagen con mayor o menor gama de color. Por ejemplo, si se utilizase un sólo bit tendríamos valores de 0 y 1, y sólo podríamos representar presencia o ausencia de luz, lo que supondría una imagen en blanco y negro puro.

Por otro lado, los aparatos CMOS contienen varios transistores en cada píxel. El proceso de conversión digital se produce en la propia estructura del sensor, por lo que no se necesita un conversor añadido. Su proceso de fabricación es más sencillo, y hace que las cámaras que utilizan esta tecnología resulten más baratas.

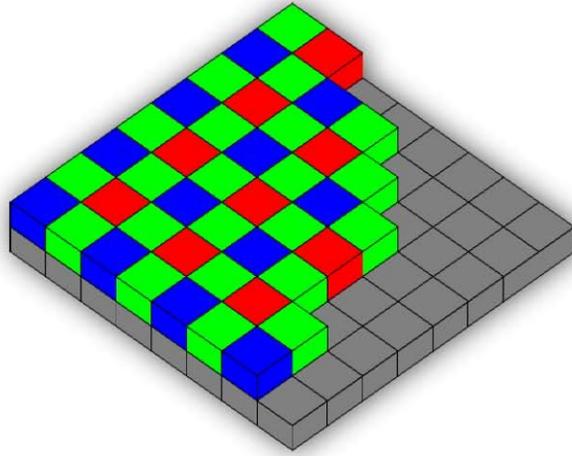
⑩ Calidad de la Imagen

La cuenta de píxeles comúnmente es lo único que se muestra para indicar la resolución de una cámara fotográfica, pero esta es una idea falsa. Hay varios factores que afectan la resolución de un sensor. Algunos de estos factores incluyen el tamaño del sensor, la calidad de la lente y la organización de los píxeles.

A muchas cámaras fotográficas compactas digitales se las critica por tener demasiados píxeles en relación al pequeño tamaño del sensor que incorporan.

Los píxeles excesivos pueden incluso conducir a una disminución de la calidad de la imagen. Pues cada sensor del píxel es tan pequeño que recoge muy pocos fotones, y así el cociente señal -ruido disminuirá. Esta disminución conduce a cuadros ruidosos, calidad pobre en sombras y generalmente a imágenes de pobre calidad.

⑩ Métodos para capturar las Imágenes



D. Desde que las
stido tres métodos
e del sensor y de

Figura 2.13 Filtro Bayer para captar el color en los sensores CCD y CMOS
Jauregui, Luis - *Fotogrametría digital*

Figura 2.13 Filtro Bayer para captar el color en los sensores CCD y
CMOS Jauregui, Luis - *Fotogrametría digital*

Disparo único, en referencia al número de veces que el sensor de la cámara fotográfica se expone a la luz que pasa a través de la lente. Los sistemas de disparo único utilizan un CCD con un filtro de Bayer, o tres sensores de imagen independientes (uno para cada uno de los colores primarios aditivos: rojo, verde, y azul) que se exponen a la misma imagen mediante un sistema óptico de separación de imagen.

Multidisparo, porque el sensor se expone a la imagen en una secuencia de tres o más aperturas del obturador de la lente. Hay varios métodos de aplicación de esta técnica. El más común era originalmente utilizar un único sensor de imagen con tres filtros (de nuevo rojo, verde y azul) colocados delante del sensor para obtener la información aditiva del color. Otro método de multidisparo utiliza

un solo CCD con un filtro de Bayer pero mueve la posición física del sensor en el plano del foco de la lente para componer una imagen de más alta resolución que la que el CCD permitiría de otra manera. Una tercera versión combina los dos métodos sin un filtro de Bayer en el sensor.

Exploración, el sensor se mueve a través del plano focal como el sensor de un explorador (scanner) de escritorio. Sus sensores lineares o tri-lineares utilizan una sola línea de fotosensores, o tres líneas para los tres colores. En algunos casos, la exploración es lograda rotando la cámara fotográfica entera; una cámara fotográfica con línea rotativa ofrece imágenes de resolución total muy alta.

La elección del método para una captura dada, por supuesto, es determinada en gran parte por el tema a ser fotografiado. Es generalmente inadecuado intentar fotografiar un tema que se mueva con cualquier cosa que no sea un sistema de disparo único.

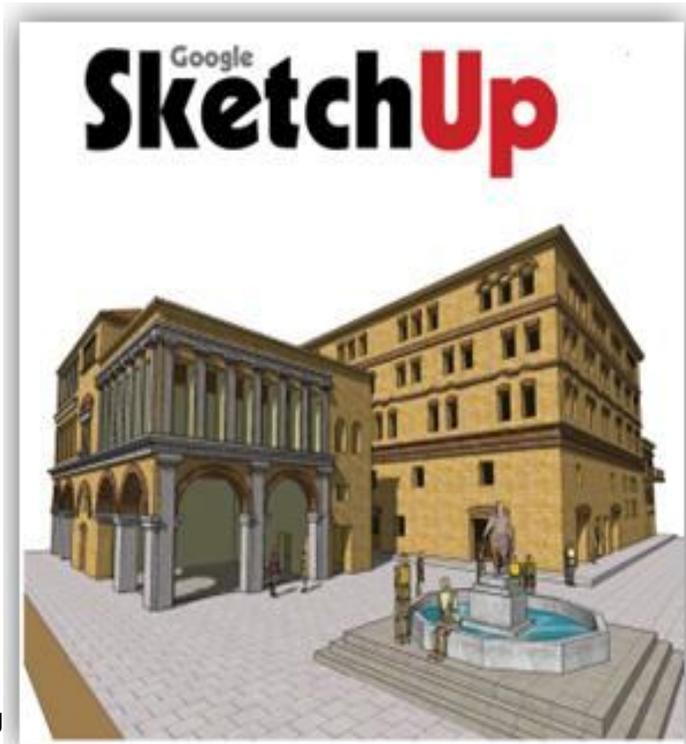
Sin embargo, con sistemas de exploración o multidisparo, se obtiene la más alta fidelidad de color y tamaños y resoluciones más grandes. Esto hace de estas técnicas más atractivas para fotógrafos comerciales que trabajan con fotografías de temas inmóviles en formato grande.

2.5 SOFTWARE LIBRE

2.5.1 Google SketchUp

Google SketchUp es un programa informático de diseño que permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de elementos como edificios, coches, personas o cualquier objeto o artículo dentro de la imaginación del diseñador o dibujante. Esta herramienta permite generar rápidamente volúmenes y formas arquitectónicas de un espacio. Además, los elementos creados pueden ser georeferenciados y colocados sobre las imágenes de Google Earth.

También, los modelos pueden ser subidos a la red mediante el propio programa y almacenarse directamente en la base de datos.



Fig

<http://sketchup.google.com/intl/es/download/index.html>

Los *modelos* de SketchUp se crean uniendo líneas para formar aristas. Las caras se crean automáticamente cuando tres o más líneas o aristas están en el mismo *plano* (un espacio plano infinito 2D) o son *coplanarias* y forman un elemento cerrado. Las aristas y las caras se combinan para crear modelos 3D. Cualquier elemento que se dibuja en SketchUp recibe el nombre genérico de *geometría*.

⑩ Introducción a las entidades

Las aristas y las caras sólo son dos de los muchos elementos de construcción denominados *entidades* que se utilizan en SketchUp para crear los modelos.

A continuación, en la Tabla 2.3 se detalla una lista completa de las entidades disponibles en SketchUp.

Tabla 2.3 Entidades de SketchUp

Nombre	Notas
Línea	Las líneas en SketchUp son rectas. Las líneas, también denominadas aristas, son el elemento básico de construcción de todos los modelos de SketchUp.
Cara	Las caras se crean automáticamente cuando tres o más aristas coplanarias forman un bucle cerrado. Las caras tienen un lado frontal y un lado posterior. SketchUp intenta situar el lado frontal de todas las caras en la parte exterior (mirando hacia fuera) de todos los modelos, aunque a veces deberás indicar la dirección que quieres dar a una cara.
Círculo	Los círculos, arcos y curvas se componen de varias líneas o aristas.
Arco	
Polígono	
Curva	
Polilínea	
Agrupar	<i>Las entidades de grupos</i> se utilizan para combinar dos o más entidades en el modelo para realizar operaciones rápidas, como una copia.
Componente	Las <i>entidades de componentes</i> son como los grupos, con la diferencia de que se pueden volver a utilizar en cualquier modelo de SketchUp. Los componentes son modelos de SketchUp que se utilizan dentro de otros modelos.
Línea guía	Una <i>entidad de línea guía</i> es una línea temporal que se utiliza como ayuda para dibujar.
Acotación	Una indicación que señala la longitud de una arista o de un radio.
Superficie	Las <i>entidades de superficie</i> son el resultado de combinar varias caras para dar sensación de uniformidad.
Plano de sección	
Imagen	Una imagen raster o basada en píxeles, importada.
Texto	El texto puede estar desvinculado ("flotando") o vinculado a una entidad concreta utilizando una línea de guía.

Manual de SketchUp

⑩ Sistemas de coordenadas

SketchUp utiliza un sistema de coordenadas 3D en el que los puntos se identifican en el espacio mediante su posición en tres *ejes de dibujo*: X, Y, Z positivos o negativos (por encima o por debajo del suelo). Los ejes X (rojo), Y (verde), Z (azul) se representan mediante líneas continuas (positivo) o punteadas (negativo). El plano en el que descansan los ejes X, Y se denomina *plano de suelo*.

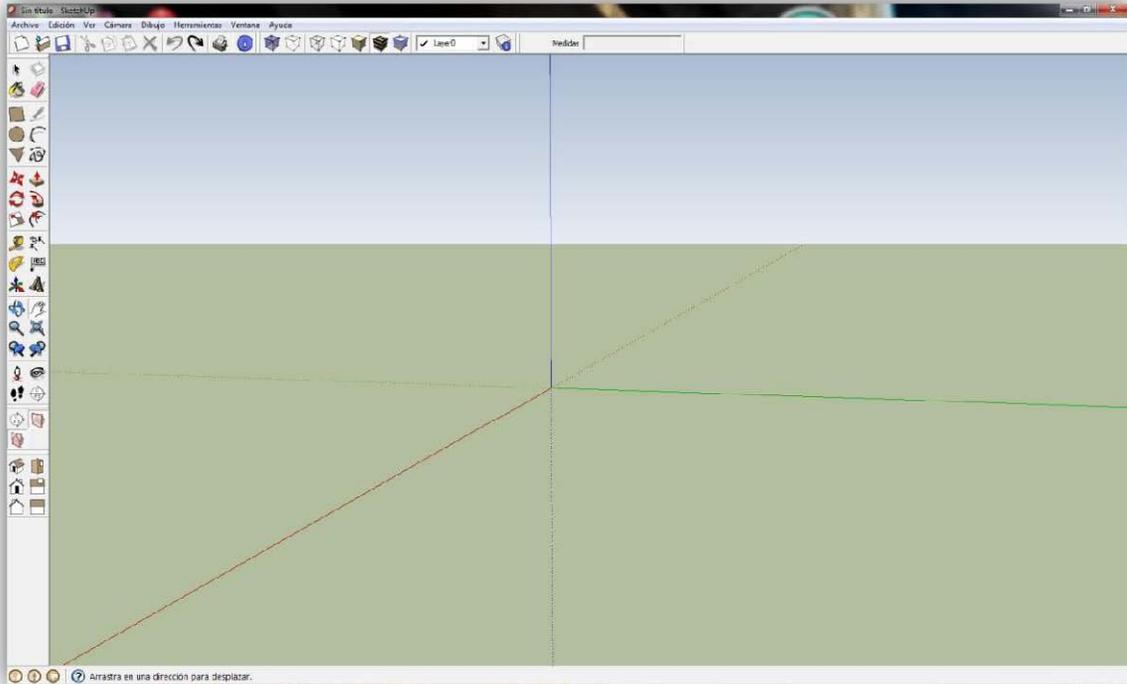


Figura 2.15 Sistema de Coordenadas de SketchUp

Acosta, Verónica 2011
SketchUp Acosta, Verónica 2011

⑩ Motor de inferencias

SketchUp incorpora un *motor de inferencias* invisible que ayuda a dibujar modelos precisos y realistas. El motor de inferencias sitúa o infiere puntos a partir de otros puntos del modelo, como el centro de un círculo, el punto medio de una

línea, una perpendicular al plano del suelo, un punto sobre una cara, sobre una arista, etc.

Se señalan estos puntos mediante indicadores de colores y notas de ayuda, mensajes en pantalla que indican la posición del cursor mientras se dibuja una entidad como se muestra en la Figura 2.16.

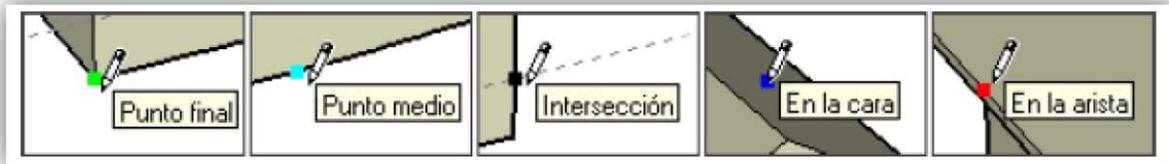


Figura 2.16 Motor de interferencias Manual SketchUp

- **Punto final**, la inferencia verde identifica el extremo de una entidad de línea o una entidad de arco.
- **Punto medio**, la inferencia cian indica el punto medio de una línea o arista.
- **Intersección**, la inferencia negra indica el punto exacto de intersección de una línea con otra o con una cara.
- **En la cara**, la inferencia azul identifica un punto situado sobre una entidad de cara.
- **En la arista**, la inferencia roja identifica un punto situado en una arista.
- **Equidistante en la arista**, la inferencia señala un punto equidistante cuando una línea magenta aparece entre dos aristas conectadas.

⑩ Herramientas

La mayor parte de las entidades de SketchUp, incluidos los arcos y círculos, son en realidad una combinación de líneas o aristas pequeñas, sin embargo el programa ofrece otras muchas herramientas para dibujar rápidamente.

Algunas de estas herramientas sirven para crear entidades comunes, como círculos, arcos, polígonos o líneas a mano alzada. Otras permiten dibujar modelos complejos modificando otros modelos (dividiendo, sesgando e incluso combinando geometrías).

Las herramientas de SketchUp se dividen en categorías:

Herramientas principales, utilizadas con frecuencia para seleccionar y modificar geometrías.



Herramientas de dibujo, para crear geometrías.



Herramientas de modificación, para retocar geometrías existentes.



Herramientas auxiliares, para crear líneas o puntos de apoyo y documentar el modelo.



Herramientas de cámara, para visualizar las geometrías.



Herramientas de paseo, para explorar el modelo.



En la Tabla 2.4 se enumeran todas las herramientas de dibujo y de modificación.

Tabla 2.4 Herramientas de SketchUp

Ícono	Herramienta	Tipo	Notas
	Línea	Dibujo	Se utiliza para crear, intersecar o dividir una cara u otra línea (arista).
	Arco	Dibujo	Se utiliza para crear, intersecar o dividir una cara u otra línea (arista).
	Mano alzada	Dibujo	Se utiliza para crear, intersecar o dividir una cara u otra línea (arista).
	Rectángulo	Dibujo	Se utiliza para crear, intersecar o dividir una cara u otra línea (arista).
	Círculo	Dibujo	Se utiliza para crear, intersecar o dividir una cara u otra línea (arista).
	Polígono	Dibujo	Se utiliza para crear, intersecar o dividir una cara u otra línea (arista).
	Seleccionar	Principal	Se utiliza para seleccionar entidades.
	Borrar	Principal	Se utiliza para eliminar geometrías y reunificar caras.
	Pintar	Principal	Se utiliza para aplicar <i>materiales</i> (combinaciones de color y <i>texturas</i>).
	Situar textura*	Modificación	Se utiliza para manipular materiales pintados en una superficie.
	Mover	Modificación	Se utiliza para mover, distorsionar (autoplegar) y copiar entidades.
	Rotar	Modificación	
	Escala	Modificación	
	Empujar/tirar	Modificación	Se utiliza para ampliar y contraer geometrías.
	Sígueme	Modificación	Se utiliza para duplicar un perfil a lo largo de un recorrido o ruta.
	Intersecar con modelo*	Modificación	Se utiliza para crear geometrías complejas combinando otras geometrías independientes.
	Equidistancia	Modificación	
	Texto 3D	Auxiliar	Se utiliza para dibujar geometría de texto tridimensional.
	Medir	Auxiliar	Se utiliza para obtener mediciones y crear entidades de líneas auxiliares.
	Transportador	Auxiliar	Se utiliza para fijar ángulos.
	Ejes	Auxiliar	
	Acotaciones	Auxiliar	Se utiliza para calcular y mostrar una acotación.
	Texto	Auxiliar	
	Plano de sección	Auxiliar	Se utiliza para crear efectos de corte de sección.

Manual de SketchUp

*Estas opciones están disponibles en los menús no en la barra de herramientas.

⑩ Adaptación de fotografías

La adaptación de fotografías proporciona un nuevo sistema para ajustar la vista de cámara y adaptar el entorno del modelo a una fotografía. Se puede utilizar para adaptar un modelo existente a una fotografía de fondo, o bien para empezar desde cero a partir de una fotografía y luego dibujar sobre ella en 3D.

SketchUp permite crear dichos diseños utilizando una escala real 1:1, en la que una unidad de medida en SketchUp representa esa unidad de medida en la realidad. Las fotografías más indicadas para su adaptación son de estructuras y edificios con líneas paralelas.

**Figura 2.17 Importación de
fotografía Acosta, Verónica 2011**

⑩ Controles de la adaptación de fotografías

Se utiliza los controles de la adaptación de fotografías para ajustar el eje y así poder dibujar un modelo adaptado a una fotografía o viceversa.

- **Origen**, representa el punto del que provienen todos los ejes de SketchUp.
- **Barras de ejes rojo y verde**, estas barras se utilizan para alinear la cámara a una fotografía.
- **Líneas de los ejes**, estas líneas representan los ejes tridimensionales y ayudan a establecer los puntos de fuga.
- **Puntos de fuga**, existen tres puntos de fuga en una sesión para adaptar una fotografía (rojo, verde y azul). El punto de fuga es un lugar del horizonte de una fotografía en perspectiva en el que parecen converger todas las líneas paralelas.

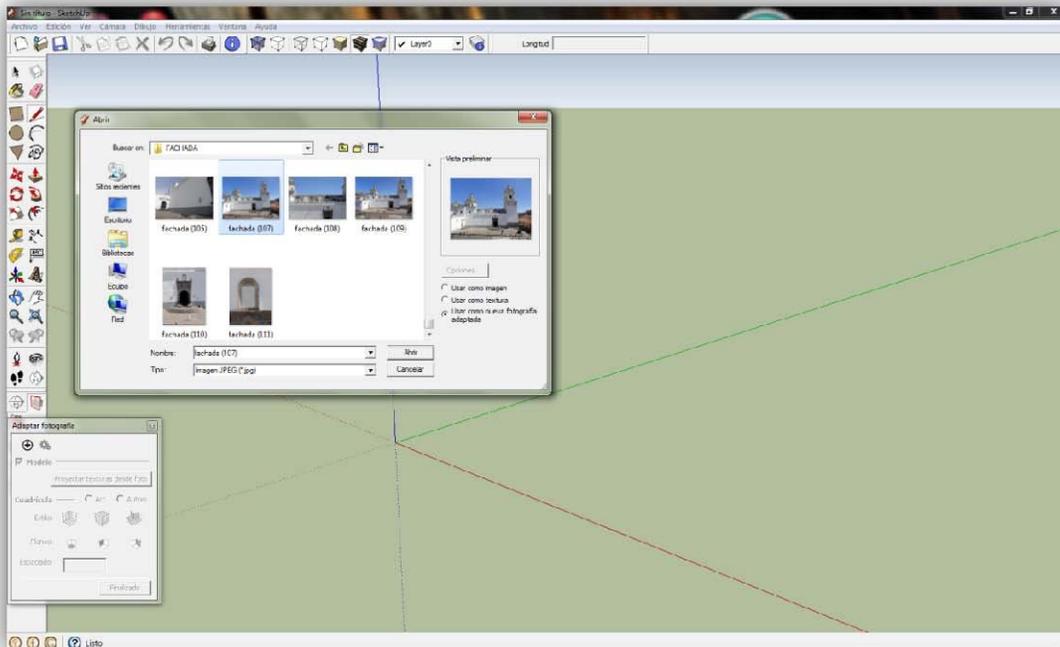


Figura 2.17 Importación de fotografía
 Figura 2.19 Determinación de
 Acosta, Verónica 2011
 origen Acosta, Verónica 2011

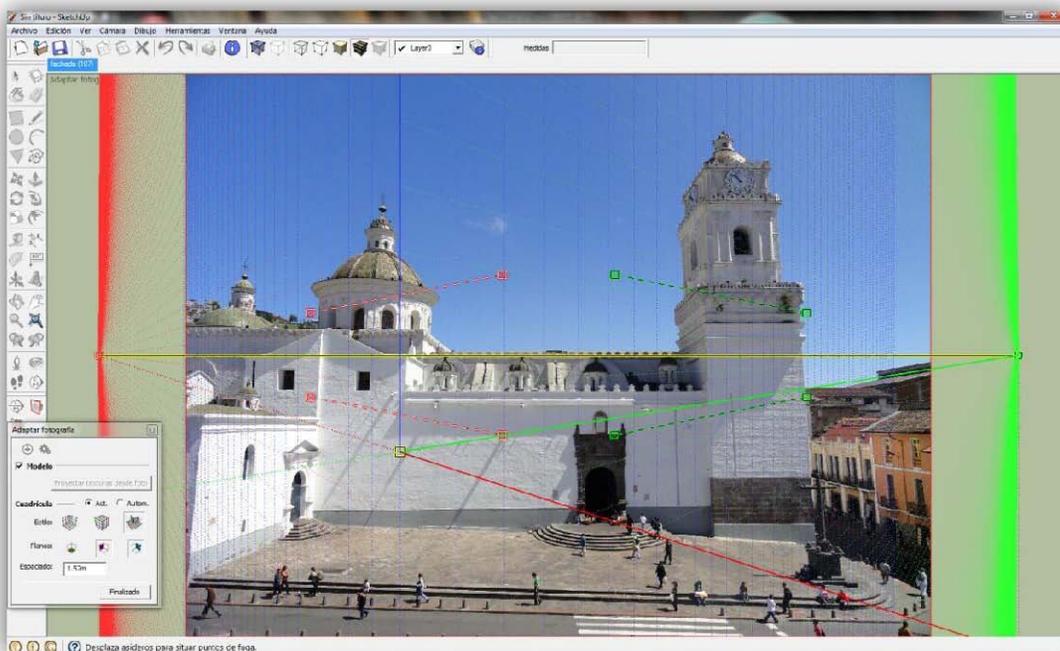


Figura 2.18 Adaptación de fotografía
 Acosta, Verónica 2011
 fotografía Acosta, Verónica 2011

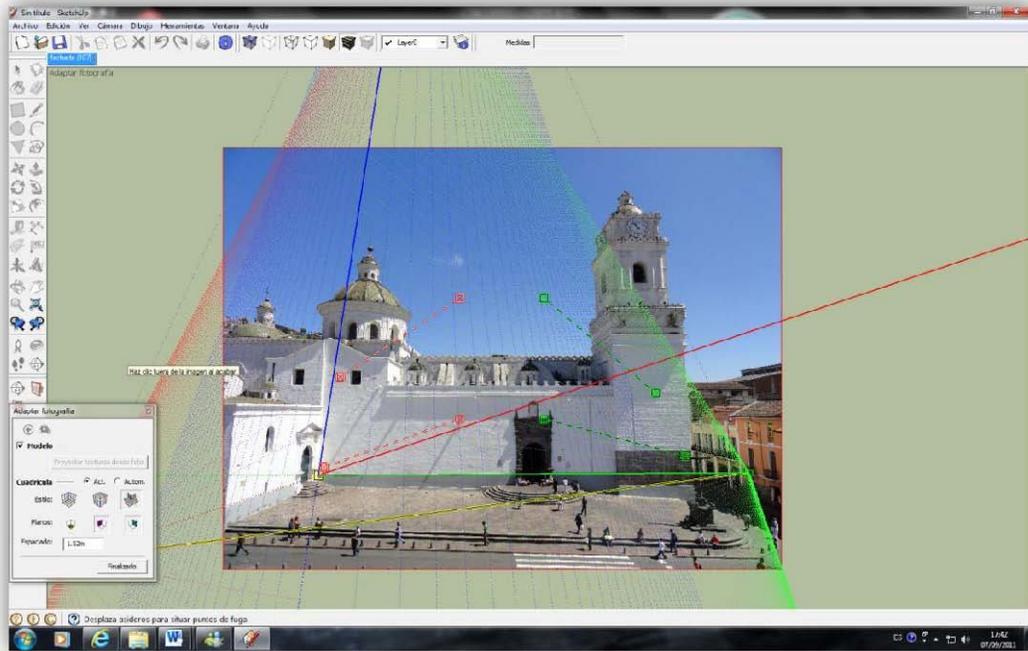


Figura 2.19 Determinación de origen
Figura 2.21 Ubicación de
Acosta, Verónica 2011
ejes Acosta, Verónica 2011

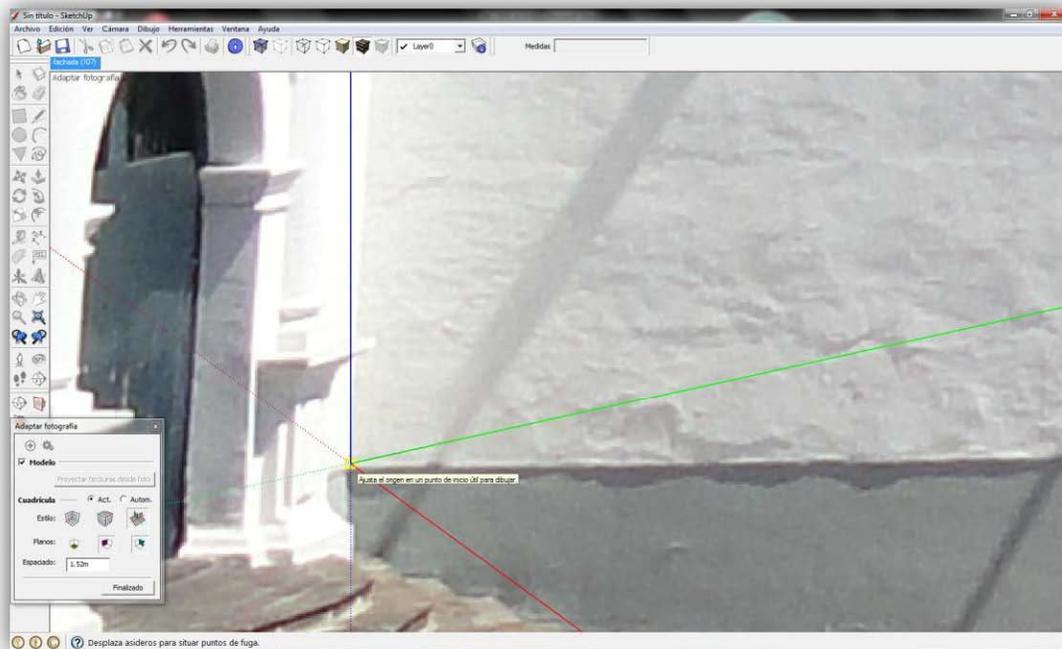


Figura 2.20 Ubicación de origen
Acosta, Verónica 2011
origen Acosta, Verónica 2011

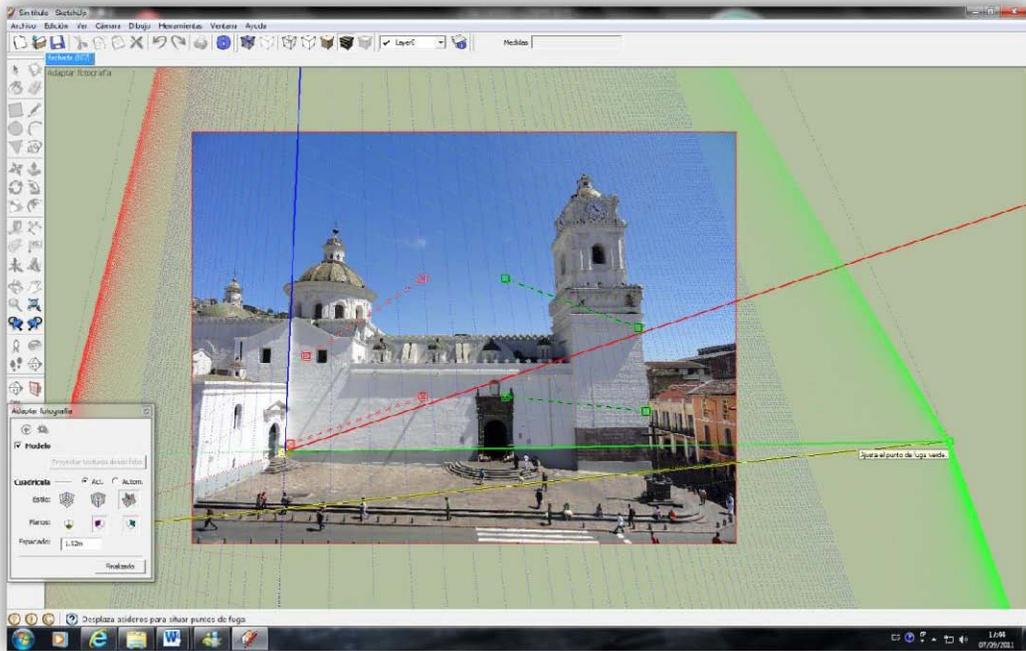


Figura 2.21 Ubicación de ejes
Acosta, Verónica 2011

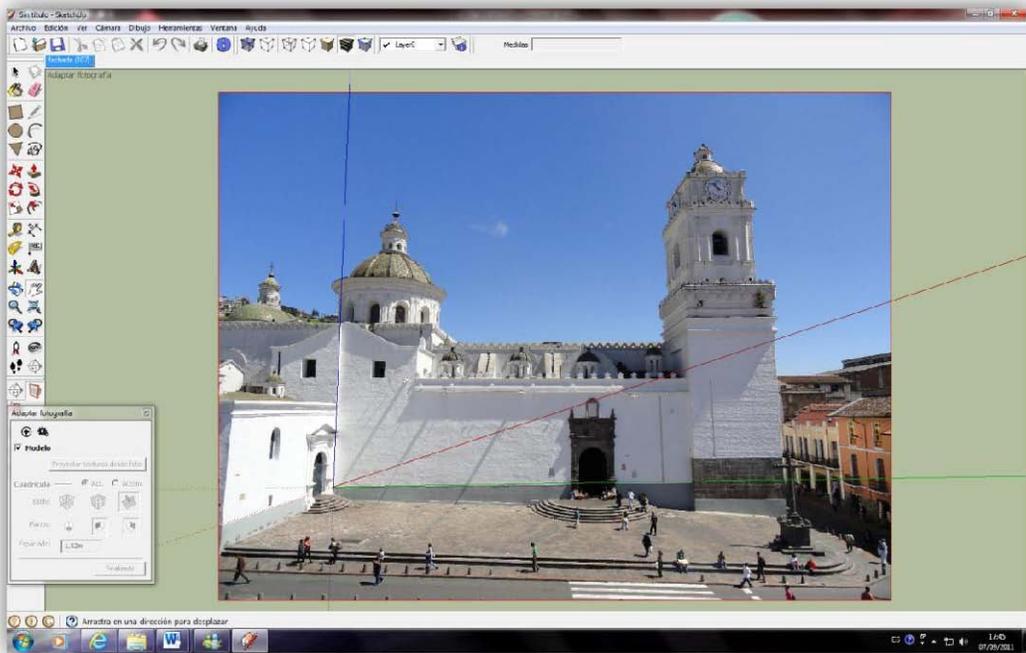


Figura 2.22 Fotografía rectificada
Acosta, Verónica 2011
rectificada Acosta, Verónica
2011

⑩ Fotografía como textura

En SketchUp, las imágenes de materiales se aplican en forma de mosaico, de forma que el patrón se repite horizontal y verticalmente hasta cubrir toda la extensión de la entidad pintada.

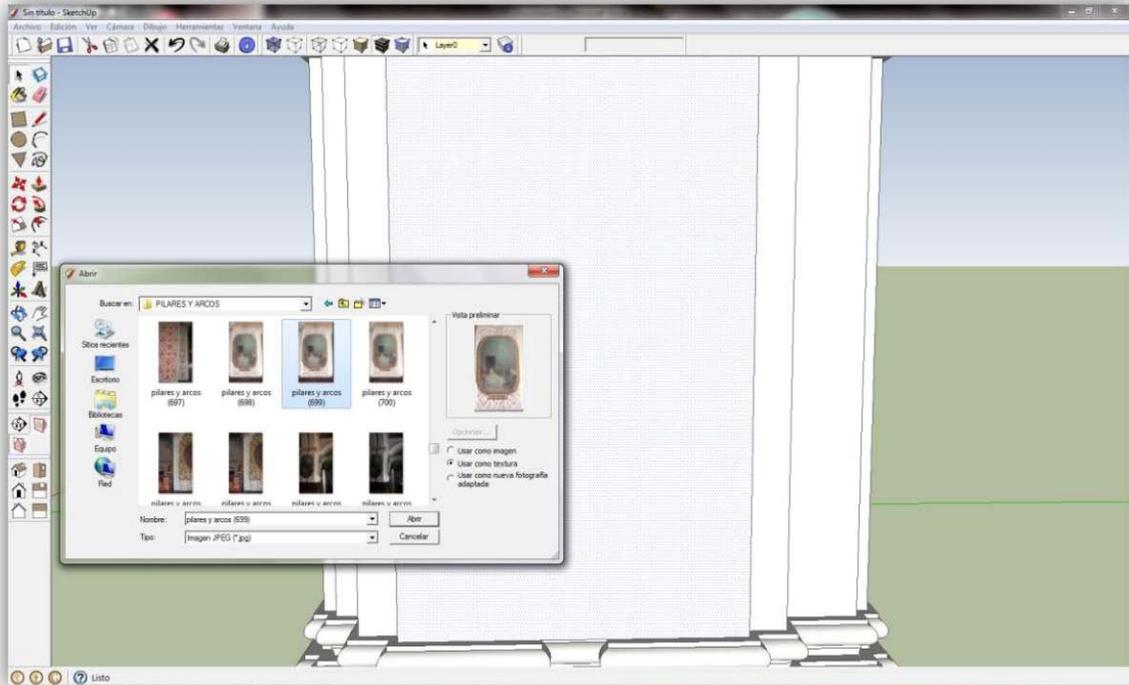


Figura 2.23 Importación de Fotografía

Acosta, Verónica 2011

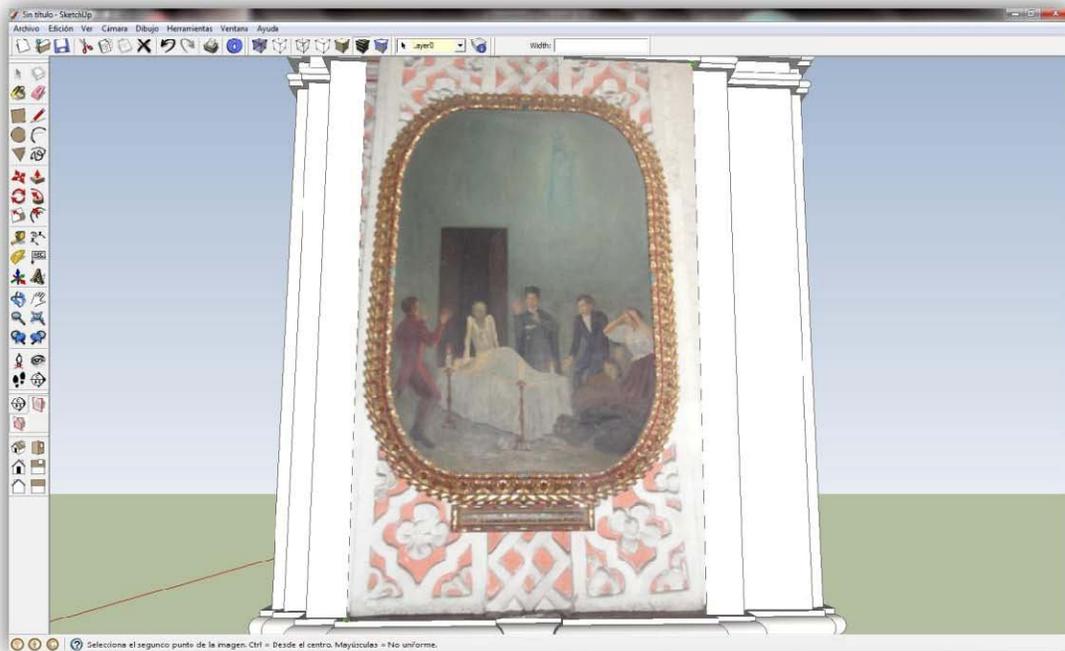


Figura 2.24 Ubicación de Fotografía
Acosta, Verónica 2011

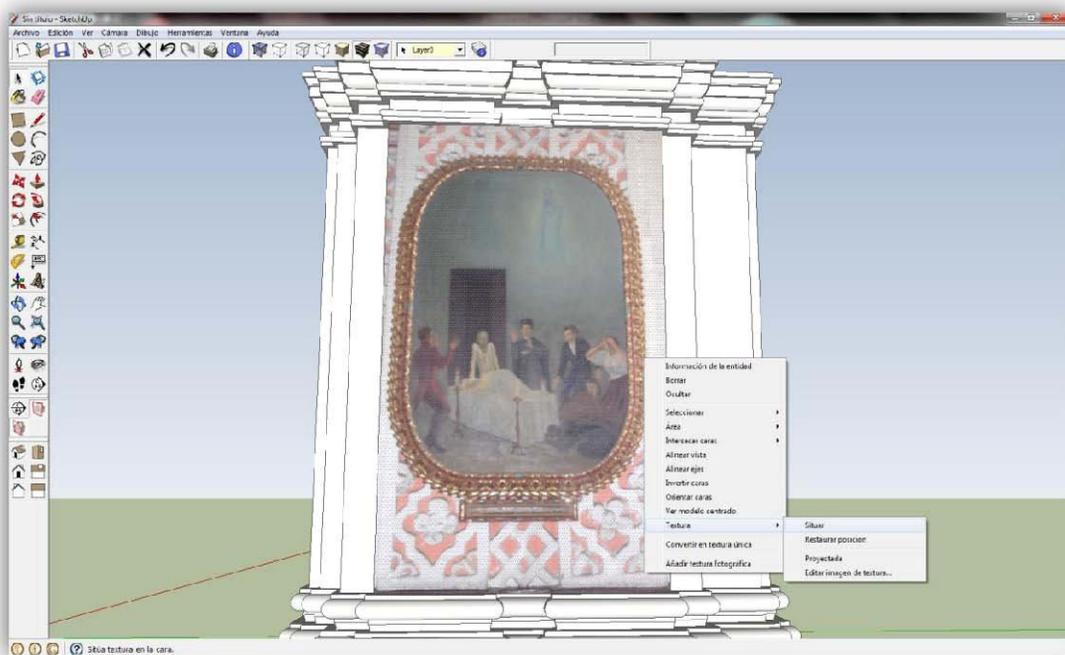


Figura 2.25 Situar textura
Acosta, Verónica 2011
textura Acosta, Verónica
2011

⑩ Alfileres para situar materiales

La herramienta "Situación de textura" utiliza alfileres para manipular los materiales. Estos alfileres pueden moverse o arrastrarse. Moviéndolos, simplemente se desplazan a otra posición en el material. Si se arrastran, el material sufre algún tipo de alteración, por ejemplo en el tamaño o la inclinación.

La manipulación de un material permite reproducir a escala una textura, inclinarla o distorsionarla, bloqueando o "fijando" uno o varios alfileres. Esta modalidad es adecuada para materiales que se apilan en sucesión.



Mover, arrastra alfiler para cambiar la posición de la textura. Cuando acabes de modificar la textura.

Figura 2.26 Manipulación de



material Agosta, Verónica 2011
Escala / rotación, permite ajustar la escala del material y rotarlo en cualquier ángulo, basándose en la posición fija del alfiler que se desplaza. Arrastrando el cursor más cerca o más lejos del alfiler de base, se ajusta la escala del material. Arrastrando el icono del alfiler en torno al alfiler de base, el material gira. Se crea una línea discontinua en forma de arco en la dirección de rotación del material. Si se mantiene el cursor sobre el arco discontinuo, el material girará, pero no se modificará la escala. Obsérvese que los puntos de las líneas y los arcos discontinuos muestran el tamaño actual y el tamaño original de la textura, como referencia, se puede recuperar el tamaño original desplazando el cursor al arco o la línea originales.



Escala / inclinación, permite inclinar el material al mismo tiempo que se modifica la escala. Obsérvese que los dos alfileres inferiores permanecen fijos durante esta operación.



Distorsionar, se utiliza para efectuar una corrección de la perspectiva en el material. Esta función es útil para aplicar fotografías a una geometría.

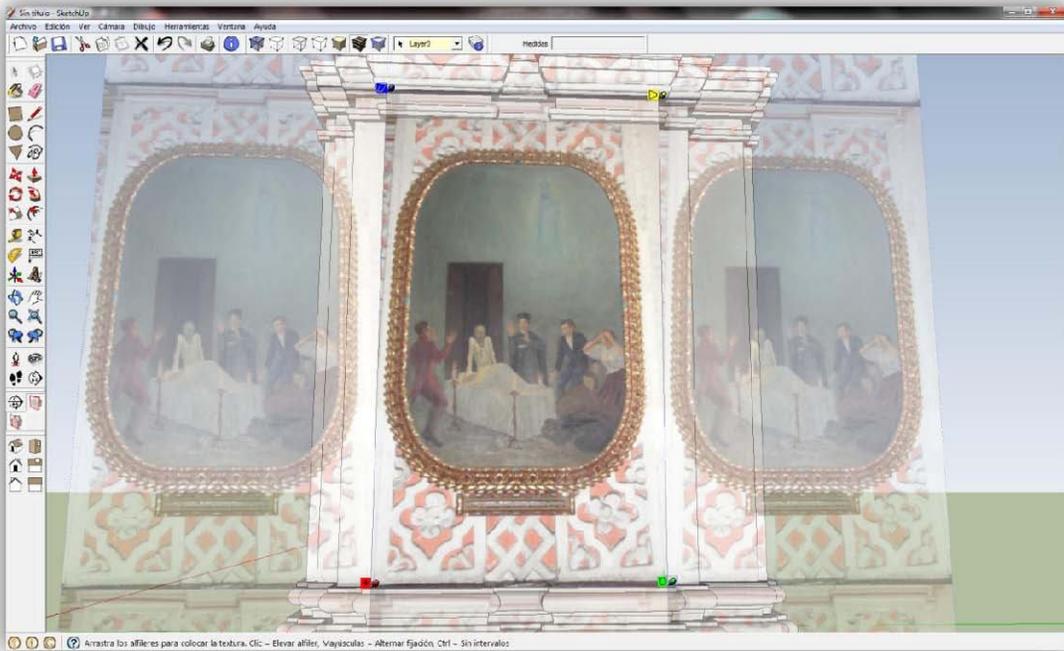


Figura 2.26 Manipulación de material
Acosta, Verónica 2011

Figura 2.28 Material situado
(Textura) Acosta, Verónica 2011

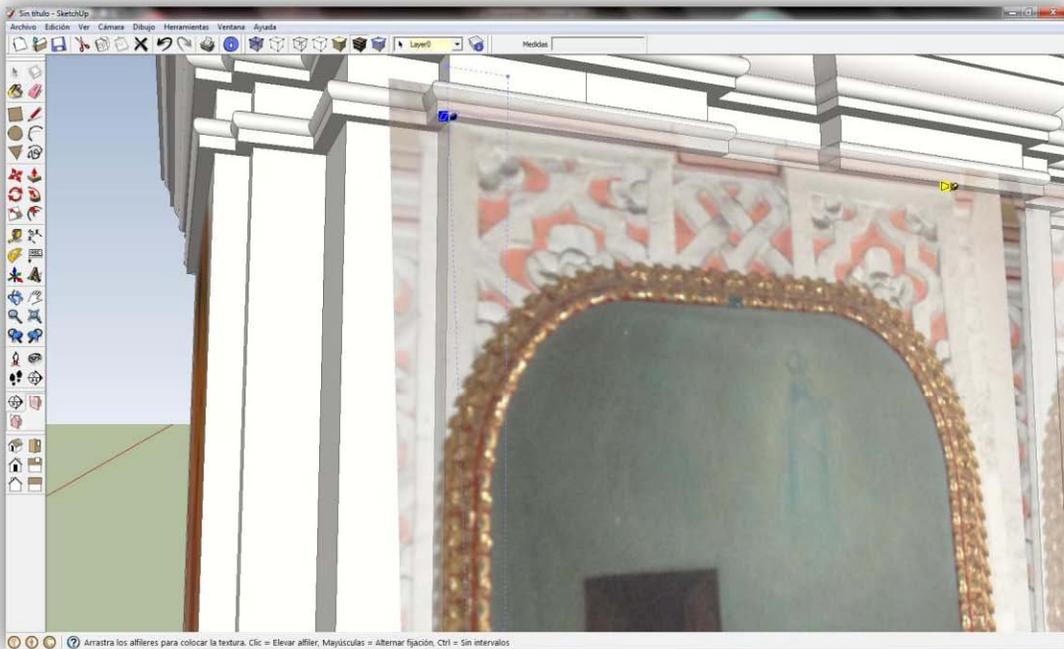


Figura 2.27 Ubicación de alfileres
Acosta, Verónica 2011
alfileres Acosta, Verónica 2011

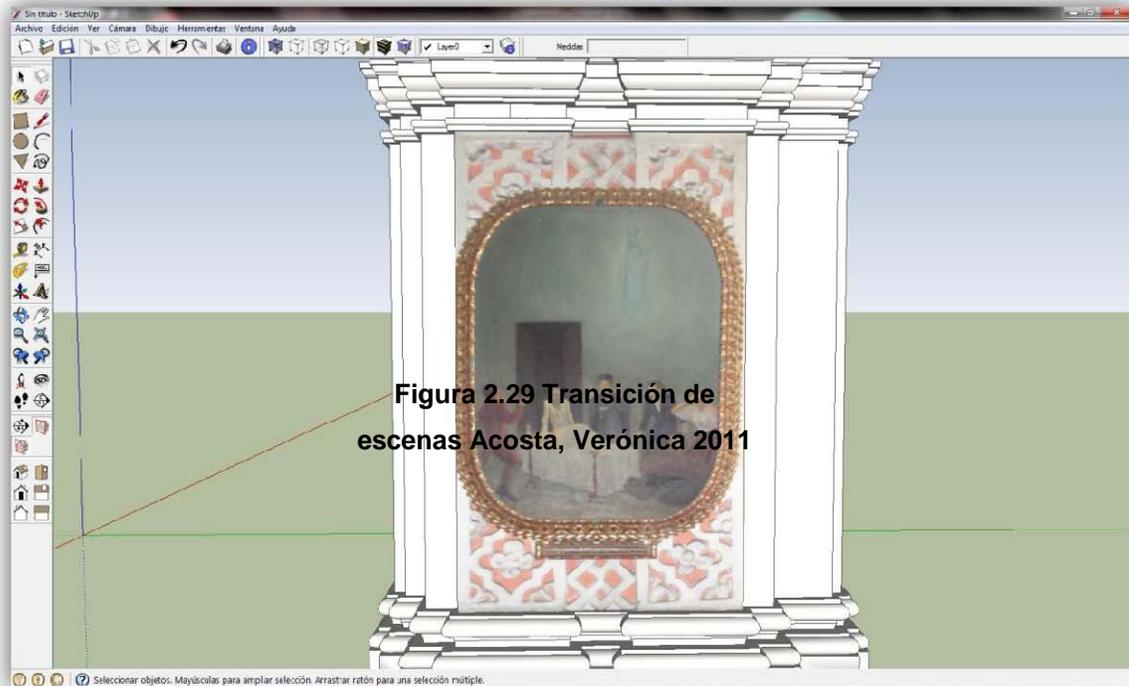


Figura 2.29 Transición de escenas Acosta, Verónica 2011

Figura 2.28 Material situado (Textura) Acosta, Verónica 2011

⑩ Escenas y animaciones

SketchUp permite crear distintas *escenas*, al estilo de las clásicas diapositivas de un programa de presentaciones, dichas escenas se pueden combinar y ejecutar en forma de secuencia como animación. El funcionamiento de la animación puede configurarse para aplicar una transición gradual entre los efectos en las distintas escenas, para generar una presentación dinámica.

Los archivos de SketchUp pueden contener una o varias escenas. Una *escena* está compuesta por un modelo y una serie de configuraciones específicas de escena. Se puede utilizar la función "Animación" de SketchUp para pasar de una escena a otra creando de varias escenas un recorrido animado por el modelo.

⑩ **Gestor de escena**

Se utiliza para control
contiene una lista con
el orden en el que aparecerán al reproducir una animación.

**Figura 2.30 Gestor de
escenas Acosta, Verónica
2011**

Las animaciones pueden exportarse como archivos de animación de vídeo (archivos AVI) o como series de archivos de imagen, uno por cada fotograma por segundo de la presentación.

Los archivos AVI pueden reproducirse con cualquier software de vídeo compatible, SketchUp usa cor (compresor/desco



Figura 2.31 Compresor de archivos Manual SketchUp

2.5.2 Photomodeler Scanner

PhotoModeler es un software que permite la visualización de modelos en 3D a partir de fotografías. Una vez creados los modelos en el espacio virtual, es posible generar animaciones de movimiento. Se pueden reconstruir piezas a partir de 2 fotografías, modelar caras y caracteres para cine y televisión, además puede usarse para reconstrucción médica gracias a la precisión que se dispone con el sistema de medidas y superficies del programa, y mucho campos más (científico, análisis, etc.), que requieran reconstrucción de elementos tridimensionales a partir de imágenes.

Es un programa para Windows que le ayuda a extraer las medidas y los modelos 3D de las imágenes. Usando una cámara como un artefacto de entrada, PhotoModeler permite capturar detalles exactos en tiempo corto.

Las imágenes se despliegan en la pantalla y el operador marca sobre cada imagen las características de interés a trazar y las etiqueta, para que el programa realice la combinación de dichas imágenes y localice las características marcadas en tres dimensiones. Las marcas, líneas, curvas, cilindros o superficies llegan a ser los puntos medidos en un espacio 3Dunificado.

⑩ Calibración de la cámara

PhotoModeler requiere una descripción de la cámara usada en la toma de imágenes. Esta descripción necesita ser creada solo una vez y es usada para cualquier proceso subsiguiente en el cual se emplee esta cámara.

Cada cámara tiene diferentes combinaciones de lentes y necesita tener su propia descripción, la cual incluye datos sobre la distancia focal, escala de la imagen, centro de la imagen y distorsión de los lentes. PhotoModeler usa esta información para crear sus propias relaciones geométricas entre puntos sobre las imágenes y los puntos 3D en el espacio.

El proceso de calibración requiere inicialmente la toma de fotografías de la grilla o platilla (Figura 2.32) desde distintos ángulos y posterior a eso el programa trabaja de manera automática con procesos internos en los respectivos ajustes de graduación.

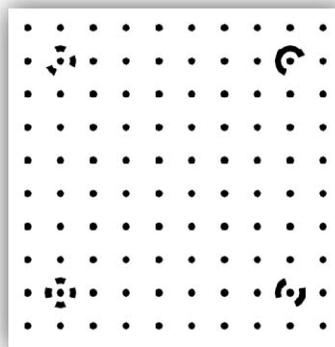


Figura 2.32 Grilla de Calibración de la Cámara
Manual PhotoModeler
Cámara Manual PhotoModeler

CAPÍTULO III EJECUCIÓN

DEL PROYECTO

3.1 METODOLOGÍA

3.1.1 Planificación del Proyecto

Para realizar la planificación del proyecto se deben establecer parámetros que determinan la información esencial requerida:

1. Reconocimiento del Conjunto Arquitectónico

Como ha sido ya mencionado en el Capítulo I, la “Iglesia de la Merced” forma parte del Monasterio de Nuestra Señora de la Merced que está ubicado el Centro Histórico de la ciudad de Quito.

La Iglesia cuenta con una superficie de 29000 m² aproximadamente. Su ubicación geográfica es: 0°13' 06.38" S 78°30' 49.34" O y elevación 2836 m.

Figura 3.2 Bóveda central -“Iglesia de la Merced”

Acosta, Verónica – 2011



Acosta, Verónica -2011

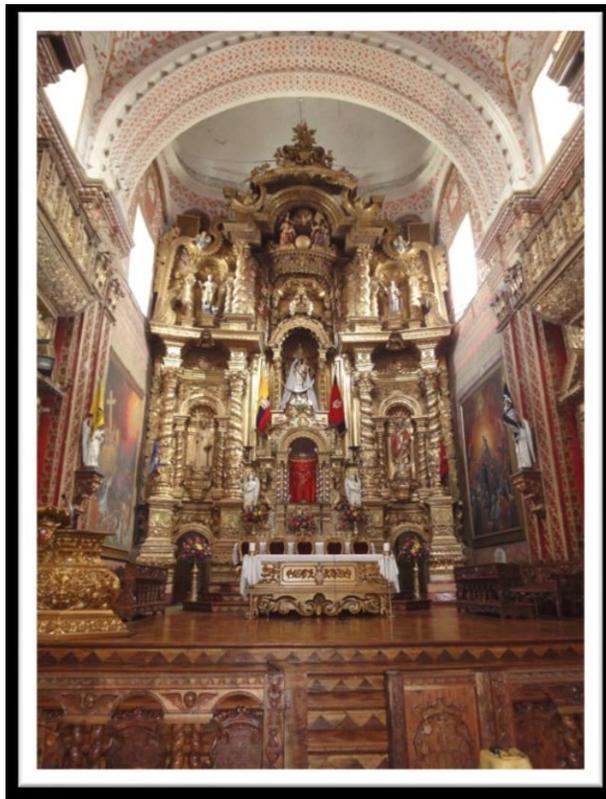


Figura 3.3Altar Mayor -"Iglesia de la Merced"
Acosta, Verónica – 2011

2. Selección de Equipos, Herramientas y Materiales

⑩ Cámara Fotográfica Digital

La principal consideración para el desarrollo de este tipo de proyectos es la resolución de la cámara así como también el zoom óptico incorporado debido a la necesidad de captura de detalles específicos. Tomando en cuenta las características indicadas la cámara digital que se utilizó es una cámara SONY Cyber-shot Serie H Semi-Profesional Modelo DSC-H55



Figura 3.4 Cámara Digital DSC-H55

<http://www.sony.com.mx/corporate/MX/productos/Camaras/Camaras-Digitales/SemiProfesional/DSC-H55>

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas cámara SONY DSC-H55

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Con un fotógrafo de esta clase se tiene lo acimut y ángulos de inclinación de todos los puntos del terreno representado en aquella y correspondientes al punto O como estación.

Procesador	BIONZ™
Resolución	14.1 efectivos
Zoom	Óptico de 10x, Smart zoom de 66x (VGA)
Lente	G de Sony, gran angular de 25mm
Sensor de imagen	CCD HAD

Acosta, Verónica -2011

⑩ Distanciómetro

TRIMBLE SpectraPrecision® Laser HD150, empleado principalmente para las mediciones de alturas de puntos inaccesibles como cúpulas, arcos, columnas, techo, entre otros.



Figura 3.5 SpectraPrecision® Laser HD150 Handheld Distance Meter
<http://www.trimble.com/hd150.shtml>

Tabla 3.2 Beneficios del distanciómetro TRIMBLE Laser

El láser de mano permite una rápida y precisa medición de distancia, área y volumen

Alta precisión: Distancias hasta 150m ± 2 mm (eliminando la repetición)

Operación por una sola persona

Habilidad para medir en ubicaciones de difícil acceso, variedad de puntos de referencia, incluyendo pisos, paredes, columnas, y esquinas internas y externas

Interfaz de teclado simple que minimiza los tiempos de entrenamiento y trabajo

Diseño resistente que permite trabajar en situaciones de campo difíciles

Acosta, Verónica -2011

⑩ Flexómetro (8 m)

Empleado para las mediciones de detalles arquitectónicos como decoraciones, perfiles, forma de las columnas y longitudes pequeñas.

⑩ Cinta métrica (50 m)

Utilizada para mediciones de longitudes horizontales principalmente entre columnas y paredes perimetrales.

3. Formulación del Plan del Proceso Fotogramétrico

⑩ Resolución de las fotografías

La resolución en fotografía digital se obtiene de la multiplicación del alto por el ancho de las fotografías que permite obtener la cámara.

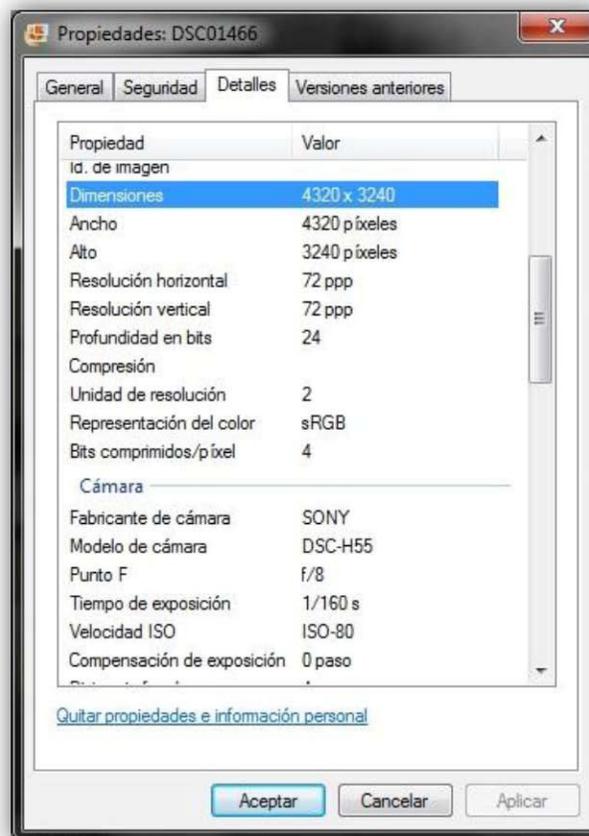


Figura 3.6 Propiedades estándar de las fotografías

Acosta, Verónica - 2011
fotografías Acosta, Verónica -2011

Entonces:

$$4320 * 3240 = 13996800 \text{ px}$$

$$13996800 \text{ px} \approx 14.1 \text{ Mpx}$$

⑩ Escala de las fotografías

El factor de escala de una fotografía digital relaciona la distancia focal f de la cámara con la distancia máxima D medida de un objeto o segmento.

Distancia Focal: Es el número expresado en milímetros que indica el campo angular del objeto que una cámara digital es capaz de abarcar. La distancia focal de un lente se ve afectada por el factor de conversión que tenga la cámara digital.

Factor de Conversión: Debido a que la mayoría de las cámaras digitales tienen un sensor más pequeño al tamaño de un negativo de 35mm, para obtener la distancia focal de una lente en términos equivalentes en 35mm se multiplica la distancia focal por el número de veces que el sensor es menor al de un negativo de 35mm.

Tabla 3.3 Determinación de escalas

Con un fotografía de esta clase tiene los acimut y ángulos de inclinación de todos los puntos del terreno representado en aquella y correspondientes al punto O como estación.

Procesador	BIONZ™
Resolución	14.1 efectivos
Zoom	Óptico de 10x, Smart zoom de 66x (VGA)
Lente	G de Sony, gran angular de 25mm
Sensor de imagen	CCD HAD
Pantalla	LCD Plus Clear Photo de 3 pulgadas (diagonal)
Estabilizador de imagen	Optical Steady Shot® (OSS)
Batería	Inteligente

3.1.2 Identificación y Relevancia de Unidades Arquitectónicas

En el interior del Conjunto Arquitectónico, se encuentran esculturas de Bernardo Legarda ubicadas en el Retablo Principal (Figura 3.7) construido en 1748 y 1751, en El Sagrario (Figura 3.8) y la imagen de la Virgen de las Mercedes, también se pueden apreciar obras de Miguel de Santiago, Goribar, entre otros.



Figura 3.8 El Sagrario -"Iglesia de la Merced" Acosta, Verónica – 2011

Merced" Acosta, Veronica – 2011

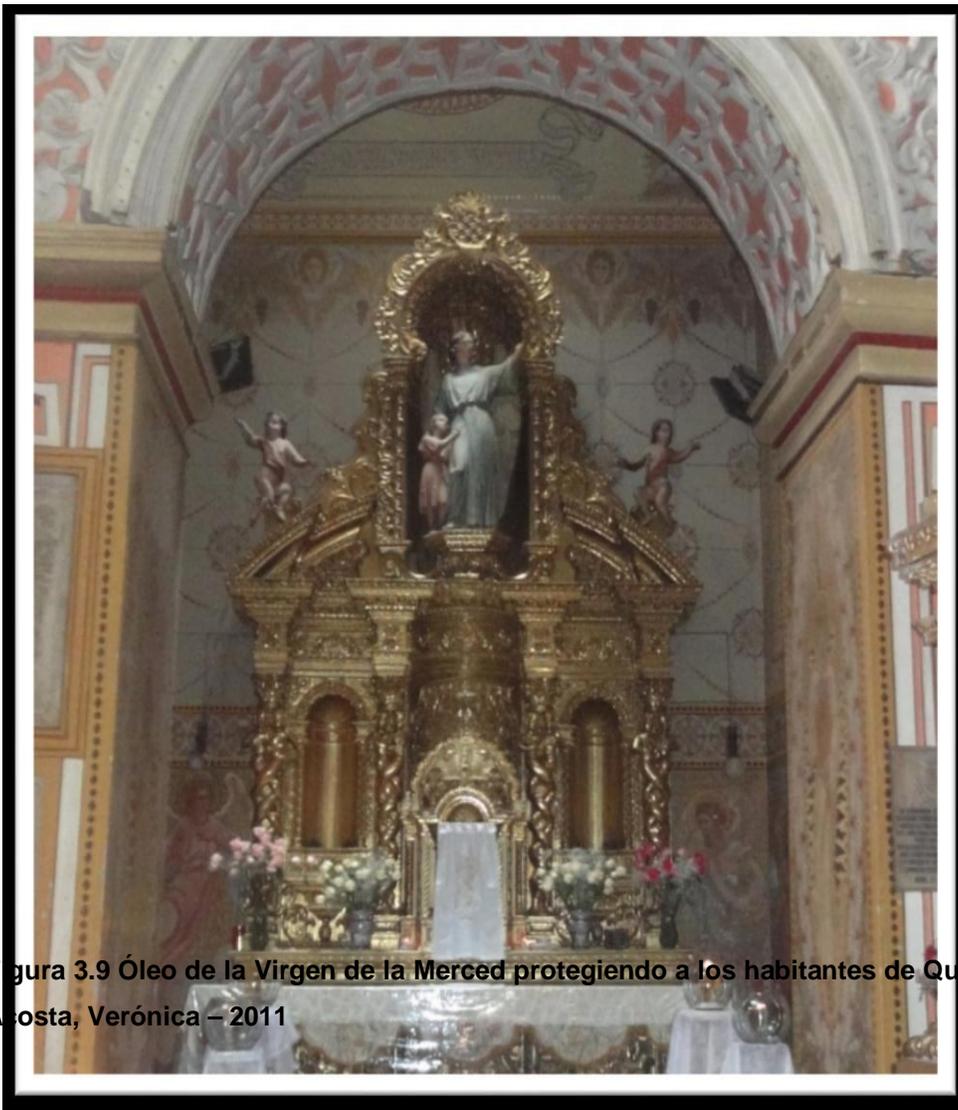


Figura 3.9 Óleo de la Virgen de la Merced protegiendo a los habitantes de Quito
Alosta, Verónica – 2011

El arte se ve plasmado en los pilares centrales en los cuadros de tela al óleo del artista Víctor Mideros, quien resalta en ellos temas de carácter religioso entre los que se destacan dos lienzos con representan los milagros de la Virgen de la Merced, en cuyo honor se levantó ese templo.

En uno de los cuadros se puede apreciar cuando la Virgen protege a los habitantes de Quito de un terremoto como muestra la Figura 3.9. En otro, cuando aplaca la erupción de un volcán, por eso sus devotos dicen que es la protectora de los desastres naturales.



Figura 3.10 Torre – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011
Su torre de 47 metros es la más alta del Centro Histórico de Quito, alberga un reloj inglés de luna negra (Figura 3.10), hecho en 1817 e instalado en 1820, sus muros miden tres metros de ancho y están hechos de cal y ladrillo, lo cual dio mayor resistencia a la estructura.

Esta torre se asemeja a una mezquita musulmana, y en su penúltimo cuerpo aloja 7 campanas que representan la escala musical. La campana del centro, denominada "Nuestra Madre" por el Obispo de Quito, tiene un peso de 5670Kg y está fundida en oro, plata, bronce y zinc. Mide 2,07m, fue construida en 1789 e inaugurada el 23 de septiembre del mismo año.



Su fachada es muy llamativa por las portadas trabajadas en piedra como se puede observar en las figuras 3.11 y 3.12

Su nombre original fue Capilla de San Juan de Letrán. La iglesia de La Merced es un monumento de profunda significación histórica y arquitectónica de estilo barroco y morisco que data del siglo XVI (1559), sin embargo, la estructura original tuvo que ser modificada y reconstruida en el siglo XVIII, debido al terremoto del 28 de noviembre de 1778 que destruyó parte del convento, la torre y los claustros. La restauración demandaba un capital económico elevado, y fue sustentada con la fortuna de los padres Albán.



Merced^o Acosta, Verónica – 2011

3.1.3 Recopilación y Generación de Información Base

1. Recopilación de Información Base Existente

El Instituto Metropolitano de Patrimonio Cultural de Quito, antiguamente conocido como el Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural de la Humanidad del Distrito Metropolitano de Quito (FONSAL); tiene como misión registrar, proteger y promocionar el Patrimonio Cultural y de manera particular las Áreas Históricas del Distrito Metropolitano de Quito , por este motivo ésta es una de las entidades auspiciantes de este proyecto que proporcionaron la información básica existente descrita a continuación:

Tabla 3.4 Información de los planos proporcionados por el FONSAL

MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO FONDO DE SALVAMENTO

Con un fotografi d est clas se tiene lo acimut y ángulos d
a a e a e n s e
inclinaci de todos lo punto del terren repre ntado e
ón de todos s s del o se s n aquella y
correspondientes al punto O como estación.

Procesador	BIONZ™	
Resolución	14.1 efectivos	
Zoom	Óptico de 10x, Smart zoom de 66x (VGA)	
Lente	G de Sony, gran angular de 25mm	
Sensor de imagen	CCD HAD	
Pantalla	LCD Plus Clear Photo de 3 pulgadas (diagonal)	
Estabilizador de imagen	OpticalSteadyShot® (OSS)	
Batería	Ion Litio	
FACHADA	INTERIORES	DETALLES
!! "% !! "% !!!! \$!!!!	Acosta, Verónica - 2011 !! % # ! % !!!!!	

Tabla 3.5 Información de los planos proporcionados por el FONSAL

MUSEO DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN
MONUMENTAL

Con un fotografía de esta clase se tiene lo acimut y ángulos de inclinación de todos los puntos del terreno representado en aquella y correspondientes al punto O como estación.

Procesador	BIONZ™	
Resolución	14.1 efectivos	
Zoom	Óptico de 10x, Smart zoom de 66x (VGA)	
Lente	G de Sony, gran angular de 25mm	
Sensor de imagen	CCD HAD	
Pantalla	LCD Plus Clear Photo de 3 pulgadas (diagonal)	
Estabilizador de imagen	OpticalSteadyShot® (OSS)	
Batería	Ion Litio	
FACHADA	INTERIORES	DETALLES
!! "%!! "%!!!!\$!!!!	!! "% #! "% "!!!! Acosta, Verónica – 2011	

Ⓢ **Diagnóstico**

Debido a la falta de información a detalle en los planos proporcionados por el FONSAL, esta documentación se utilizó como un aporte para las distribuciones de elementos (Figuras 3.13 y 3.14) y como referencia en ciertos aspectos de ubicación, por lo tanto la generación de información base partió con mediciones en campo representando diferentes categorías.

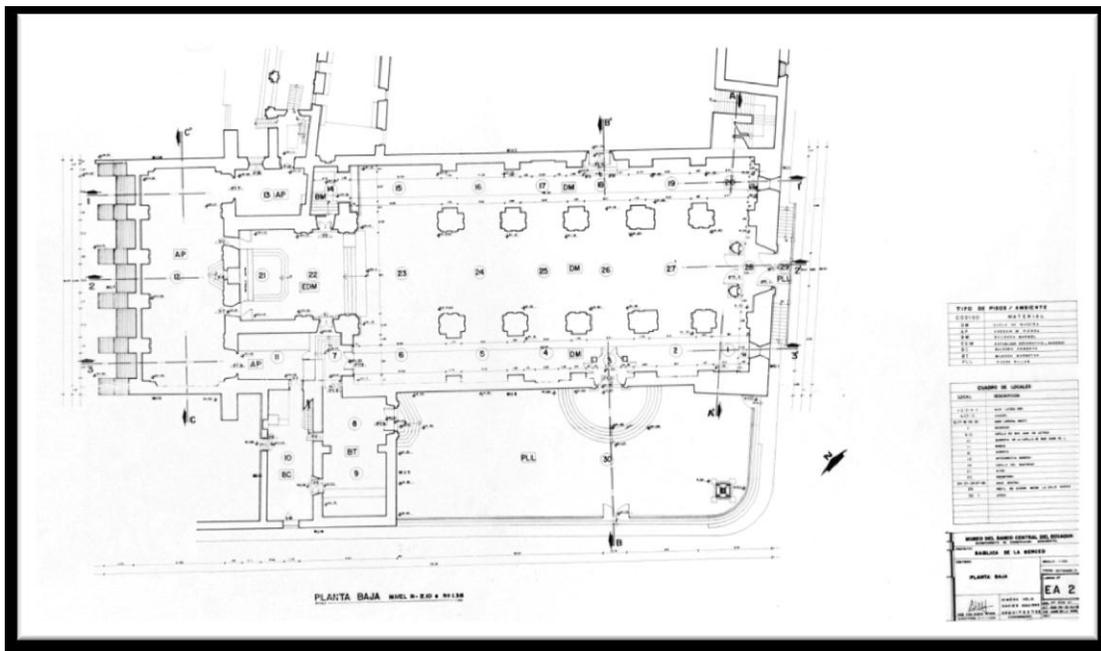


Figura 3.13 Plano Planta baja -Basílica de la Merced
 Archivo de planos FONSAI

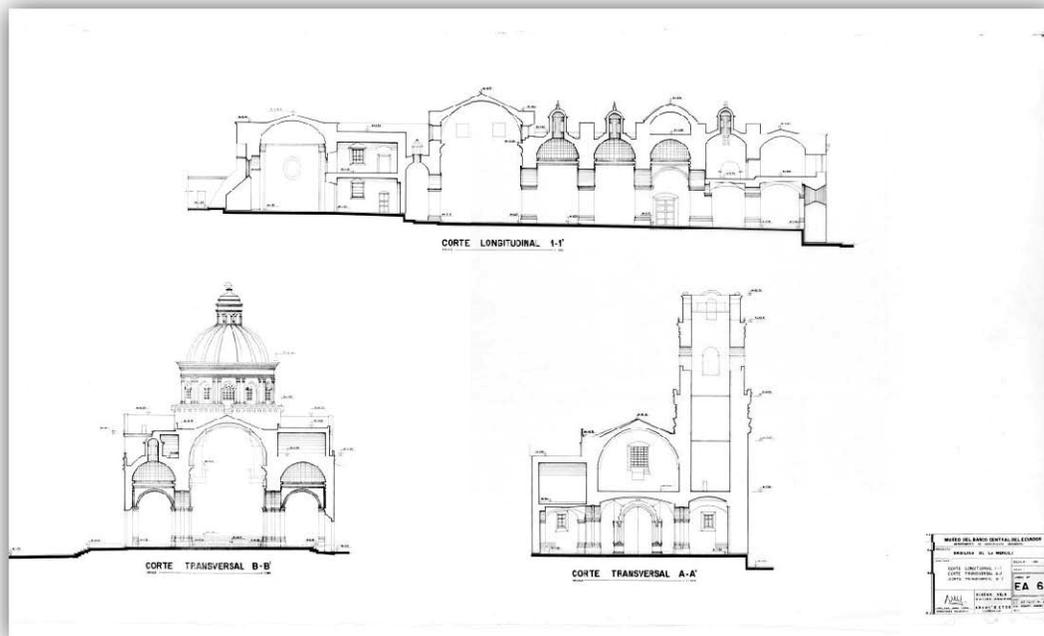


Figura 3.14 Plano Cortes transversales y longitudinales -Basílica de La Merced
 Archivo de planos FONSAI

2. Generación de Información Básica

⑩ Categorización

Se realizó la categorización según el nivel de detalle que ilustraba cada elemento:

Planta. Especifica la distribución, ubicación y medidas de los pilares centrales y paredes perimetrales (Figuras 3.15 y 3.16).

Cortes. Se detalla los cortes transversales y longitudinales de la nave central y las alturas de los arcos que intersecan los pilares centrales y las paredes perimetrales (Figuras 3.17 y 3.18).

Cúpulas. Describen la cúpula mayor (Figuras 3.19 y 3.20); dichas mediciones fueron realizadas en el área de cubiertas.

Capilla. Refiere las medidas de los componentes de una pequeña Capilla ubicada en el interior de la iglesia (Figuras 3.21 y 3.22).

Detalles Específicos. Define las medidas de los elementos más pequeños y con mayor detalle para la representación en escala real 1:1 en el levantamiento de las estructuras. Figuras 3.23, 3.24.

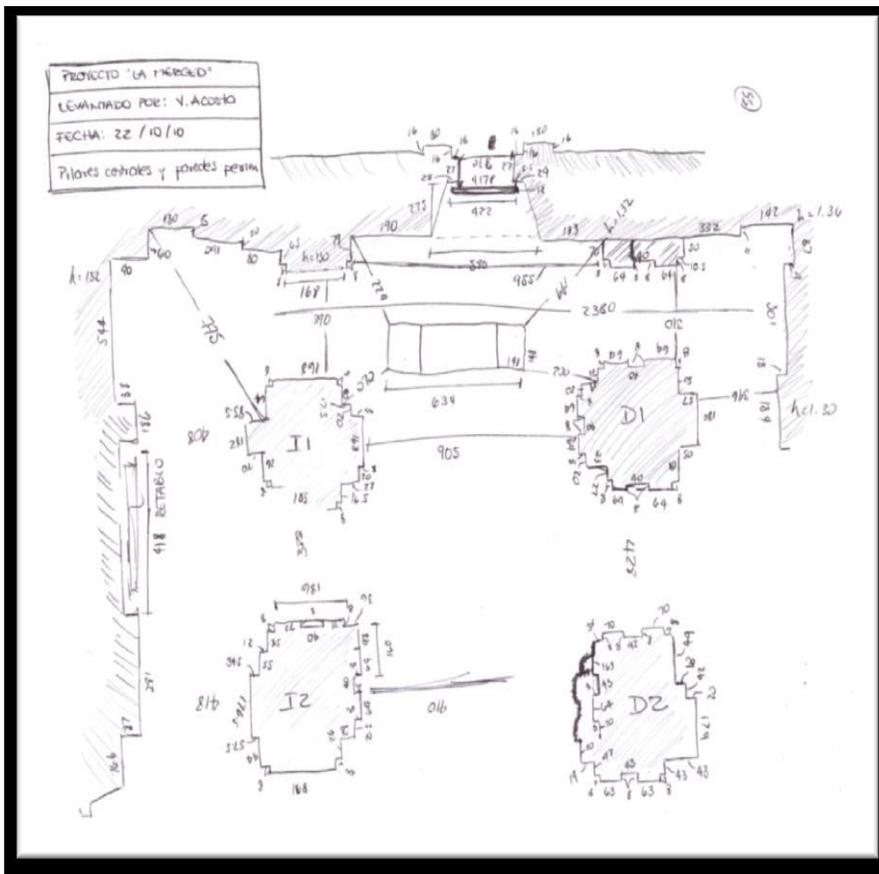
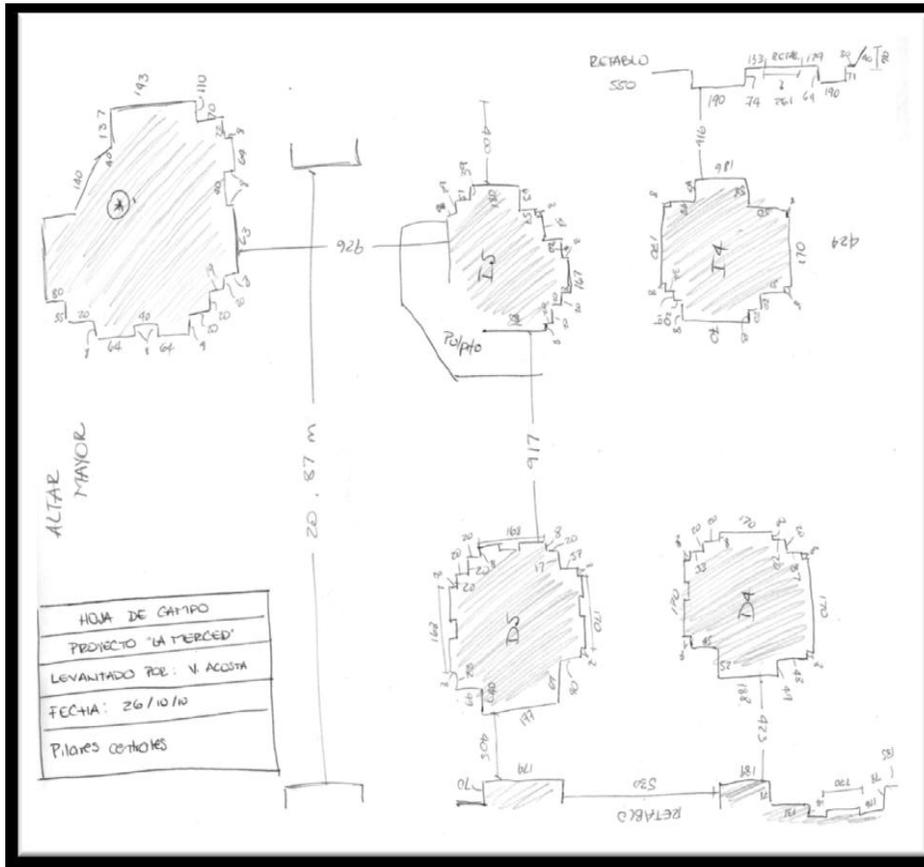
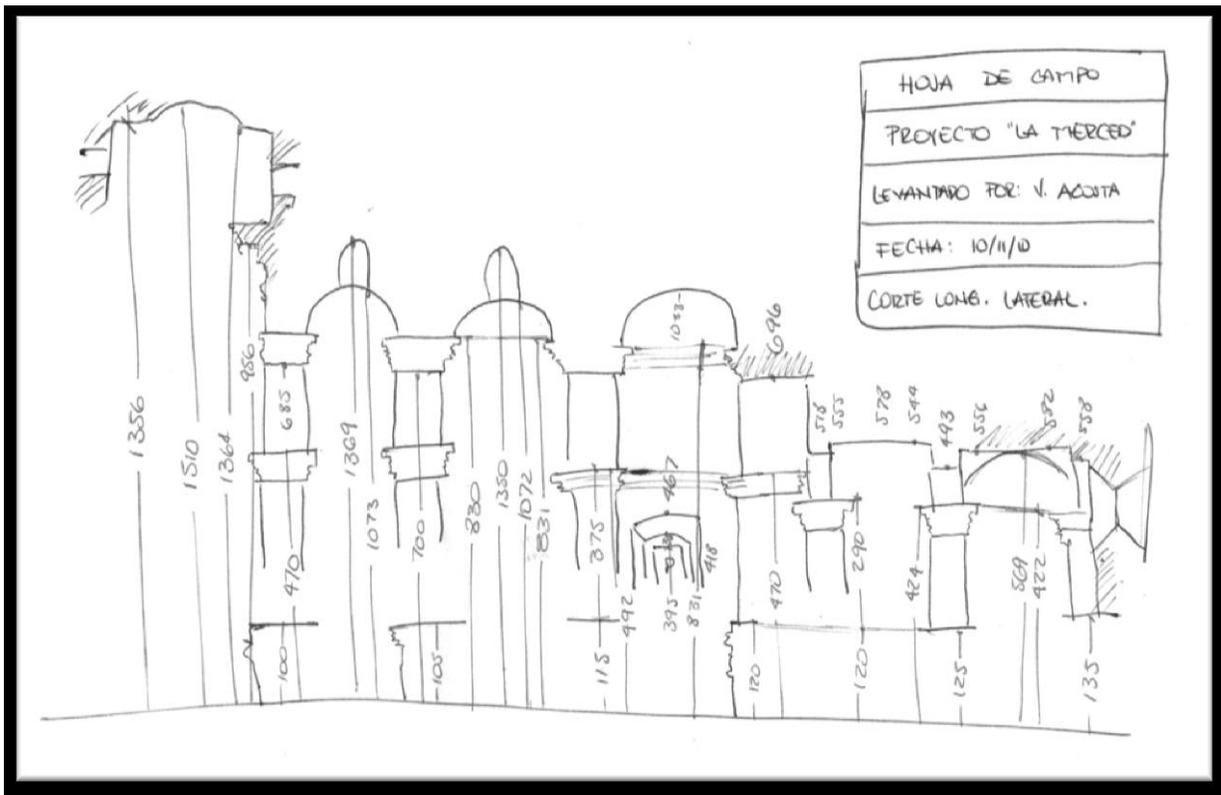
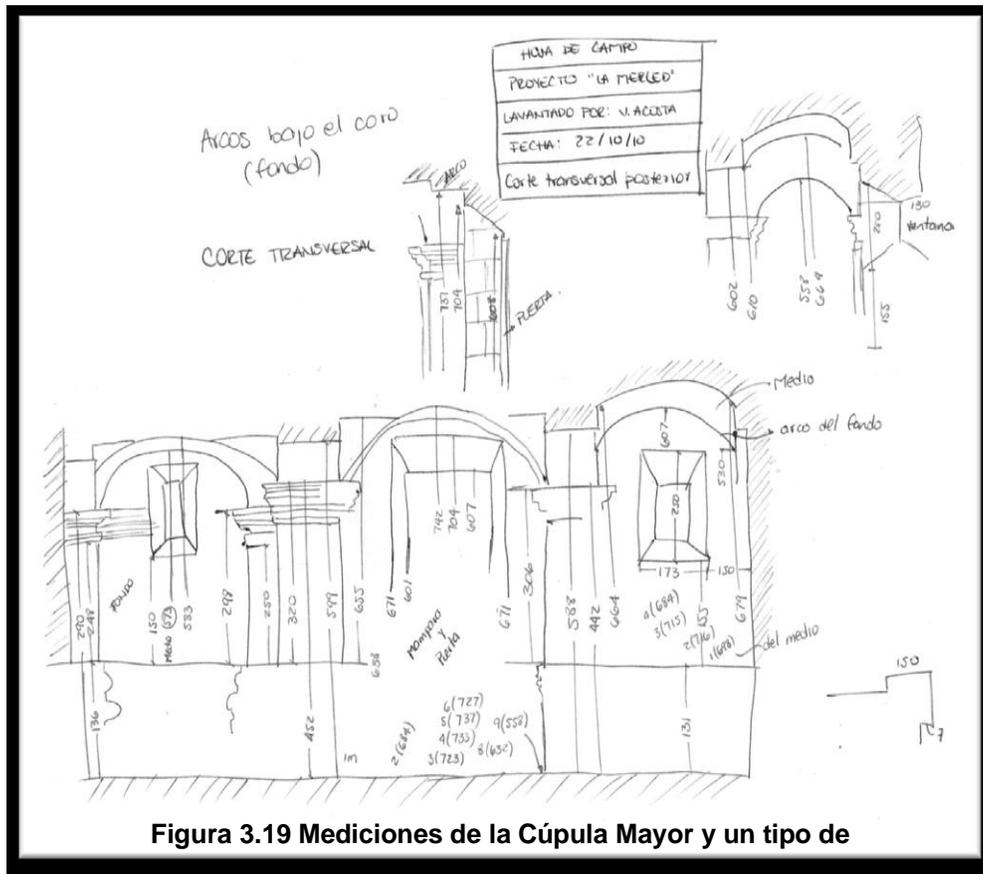


Figura 5.17 Corte transversal posterior Acosta, Verónica – 2011



perimetrales Acosta, Verónica – 2011



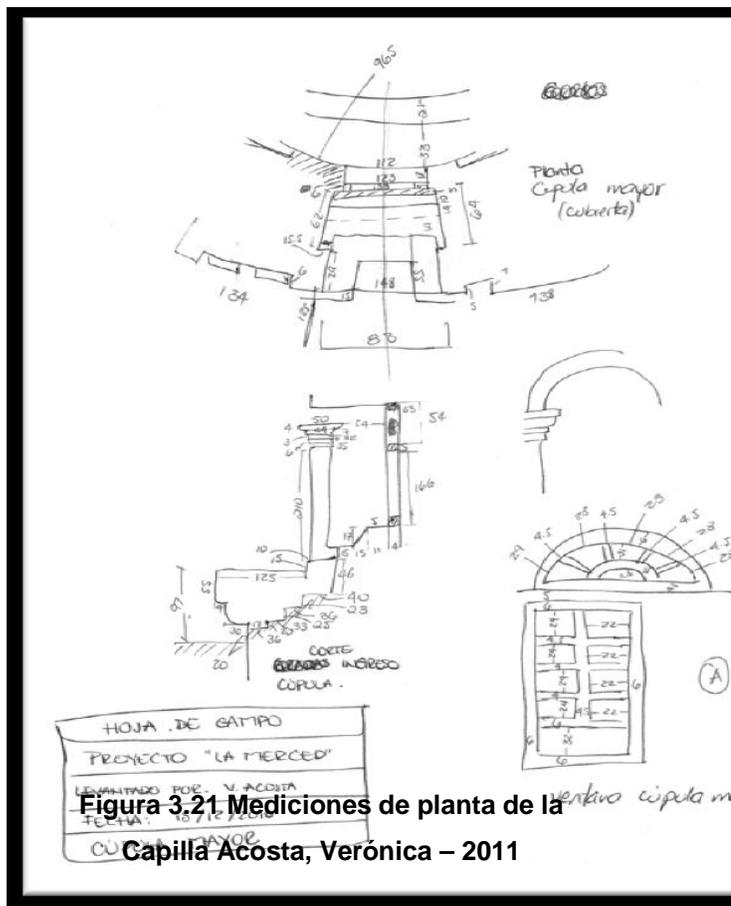


Figura 3.21 Mediciones de planta de la Capilla Acosta, Verónica - 2011

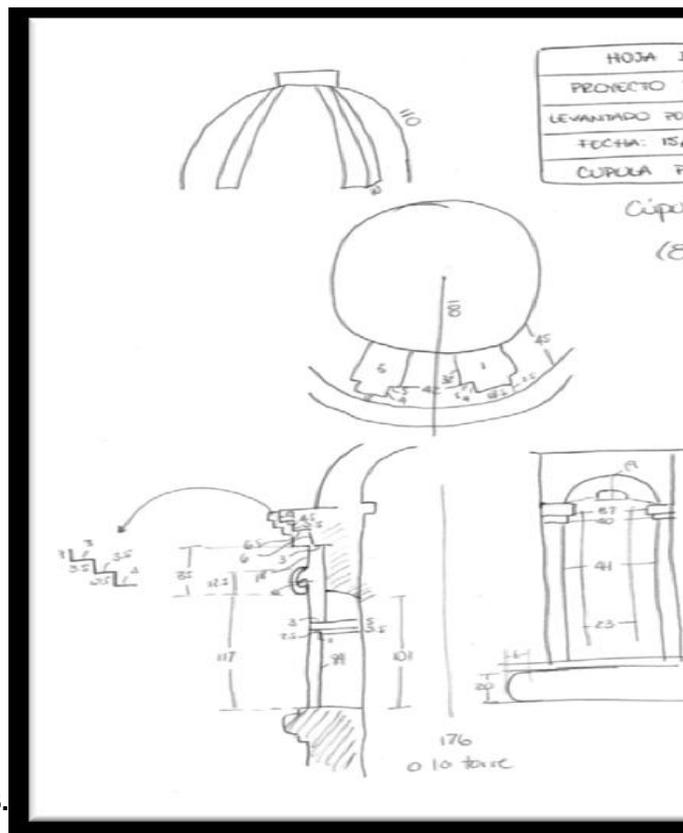
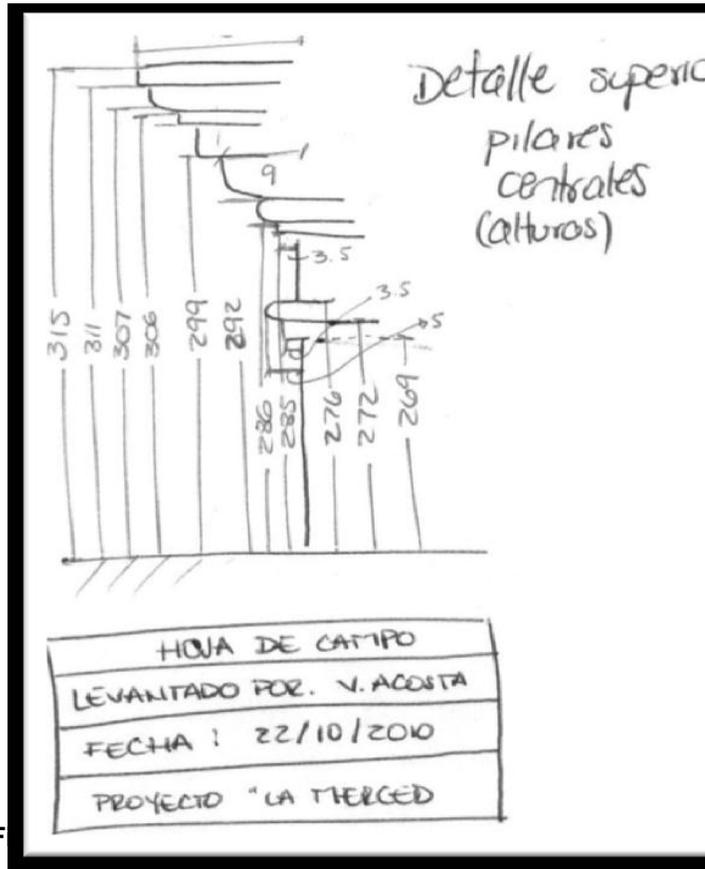
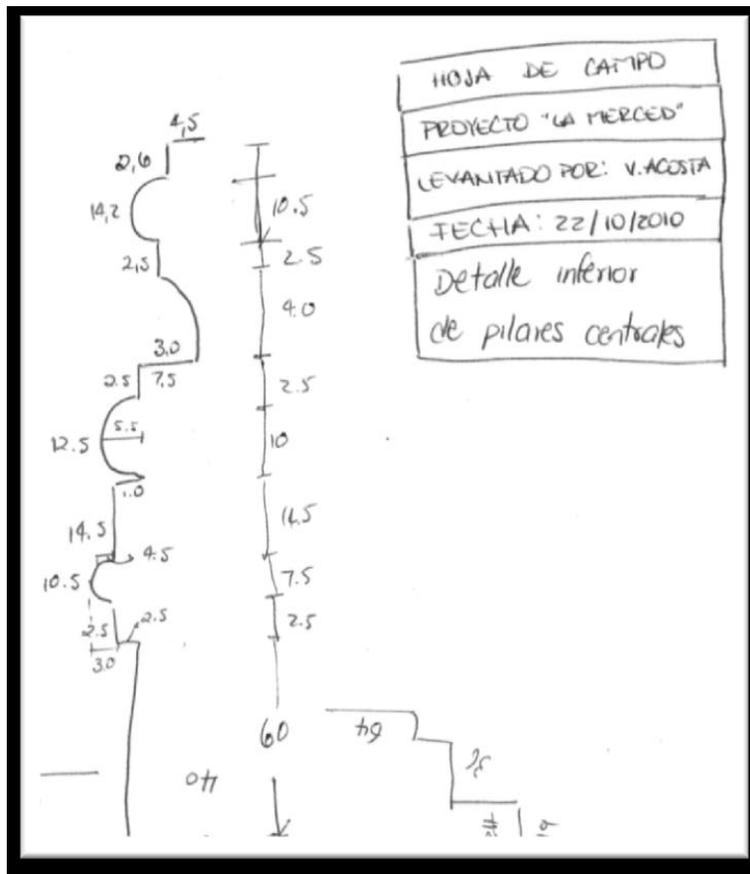


Figura 3.22 Mediciones de planta de la Capilla Acosta, Verónica - 2011



centrales Acosta, Veronica - 2011

3.1.4 Toma y Procesamiento de Fotografías

1. Calibración de la Cámara

Para la Calibración de la cámara en el Software PhotoModeler, se realizó el siguiente procedimiento:

- ⑩ Toma en secuencia de fotografías de la grilla para calibración de la cámara (Figura 3.25)

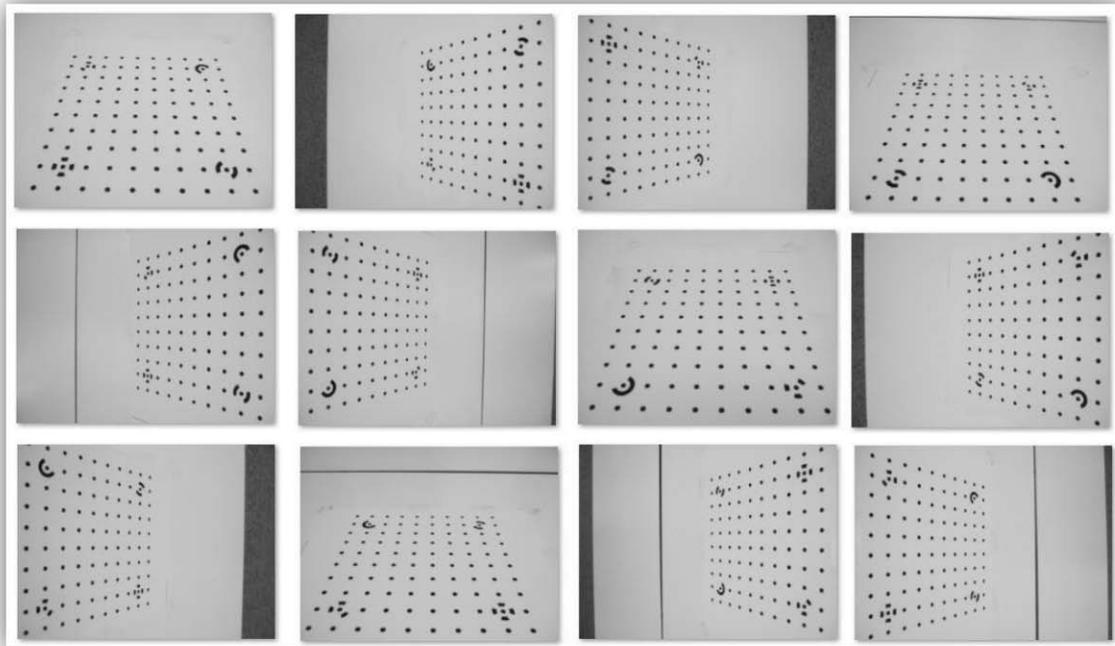
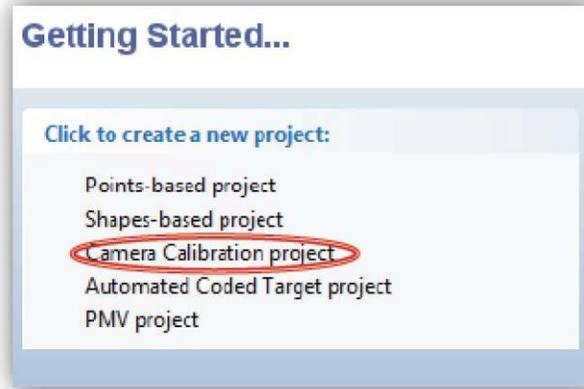


Figura 3.25 Secuencia de toma de fotografías para calibrar la cámara Acosta, Verónica -2011

⑩ Ingreso dentro del PhotoModeler al GettingStarted



**Figura 3.26 Proyecto de Calibración de Cámara
Acosta, Verónica -2011**

⑩ Importación de fotografías

**Figura 3.27 Importación de fotografías al
software Acosta, Verónica -2011**

⑩ Ejecución d



Figura 3.28 Calibración automática del Photomodeler
Acosta, Verónica – 2011

⑩ Resultado de calibración

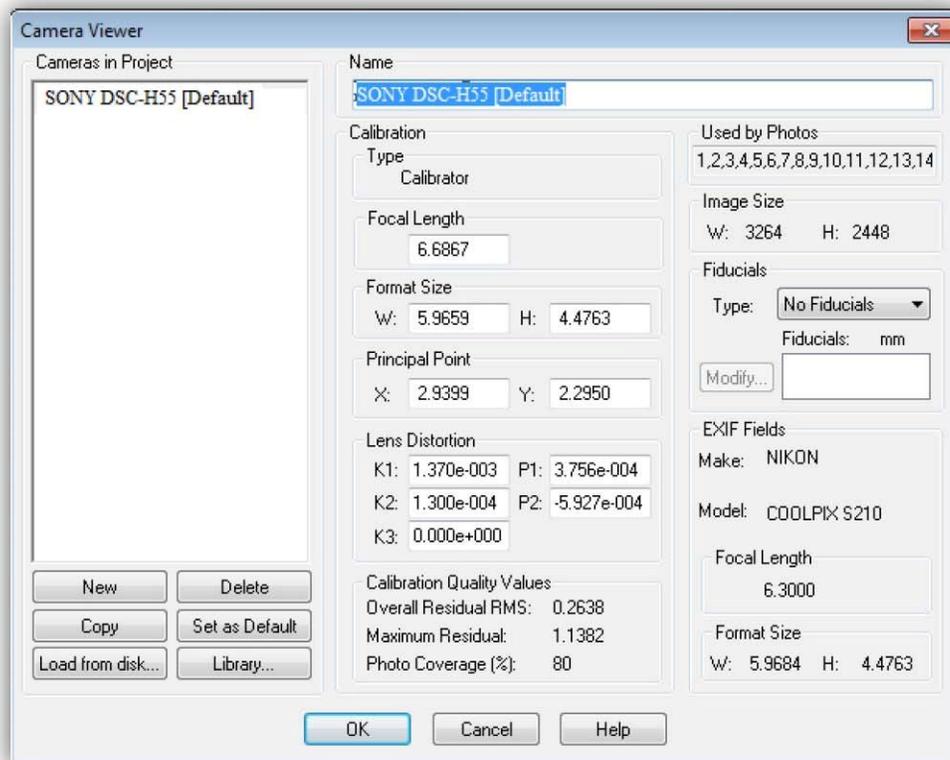


Figura 3.29 Resultados de calibración
Acosta, Verónica -2011

2. Toma de Fotografías

La planificación de la toma de fotografías es sin duda una de las etapas más complejas en la ejecución del proyecto debido a la dependencia de factores externos como el clima y la ubicación del sol por la incidencia de luz.

Dentro de esta fase fotogramétrica todo depende de los encuadres elegidos, de las unidades y elementos importantes que se desea resaltar, para lograr obtener medidas reales de determinado elemento, es indispensable la toma de al menos dos fotografías convergentes del mismo en diferentes posiciones (Figura 3.30) y dependiendo de la precisión que se desee obtener se sabe que:

- **Dos fotografías:** Precisión media baja
- **Tres fotografías:** Precisión media alta
- **Cuatro o más fotografías:** Precisión alta

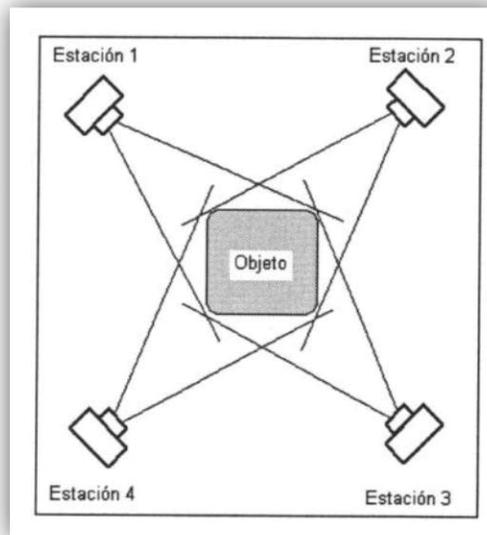


Figura 3.30 Diferentes posiciones en la toma de un ob
Manual de Usuario Photomodeler Scanner V6.0
objeto Manual de Usuario Photomodeler Scanner V6.0

Dos o más fotografías son convergentes si encuadran el mismo elemento u objeto y definen ángulos entre sí de más de 25 a 30°, de hecho el ángulo óptimo para alcanzar la máxima precisión es de 90° pero con este solo se obtienen dos fotografías por lo tanto baja precisión, de manera que una buena alternativa es lograr un ángulo de 45° (Figura 3.31) para la convergencia de fotografías como se muestra en el conjunto de fotografías de la Figura 3.32.

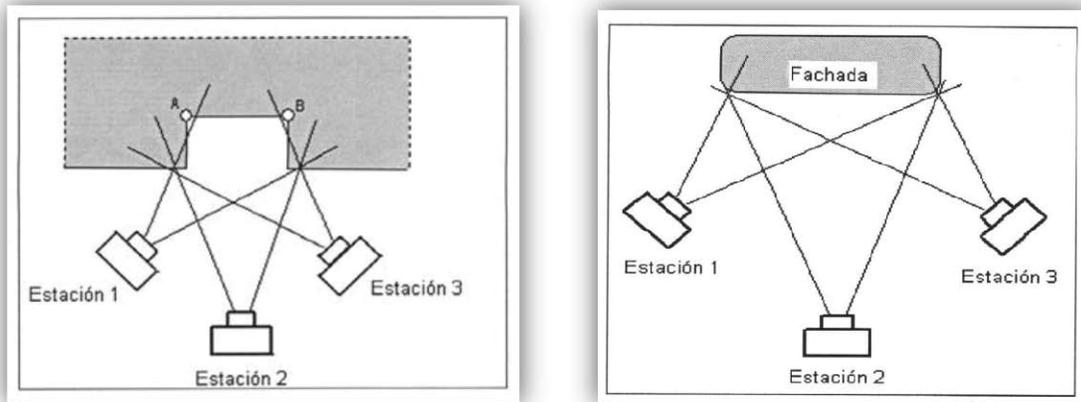


Figura 3.31 Estaciones de la cámara en la toma de fotografías Manual de Usuario Photomodeler Scanner V6.0



Figura 3.32 Conjunto de fotografías del Convento de la Merced Acosta, Verónica -2011

3. Procesamiento de Fotografías

Después de la toma de fotografías es necesario realizar el procesamiento de las mismas para lo cual en la ejecución de este proyecto se utilizó el editor de la Galería fotográfica de Windows Live en donde se ejecutan correcciones de:

10 Ajuste de Exposición

- **Brillo:** Ajusta la luminosidad que se percibe en una fotografía.
- **Contraste:** Es la diferencia total de aspecto entre las áreas oscuras y las áreas más claras.
- **Sombras y Resaltados:** Estos ajustes afectan la cantidad de luz y de oscuridad que se aplica a diferentes partes de una fotografía.

De este tipo de ajuste se obtiene el histograma (Figura 3.33) que proporciona información referente a los niveles generales de brillo, la porción izquierda del histograma corresponde a la oscuridad de la foto, mientras que la porción de la derecha representa el brillo. Se puede utilizar esta información para calibrar la cantidad de ajuste que puede hacer en una foto o la cantidad de exposición que utilizará más adelante al procesar fotografías en condiciones similares.

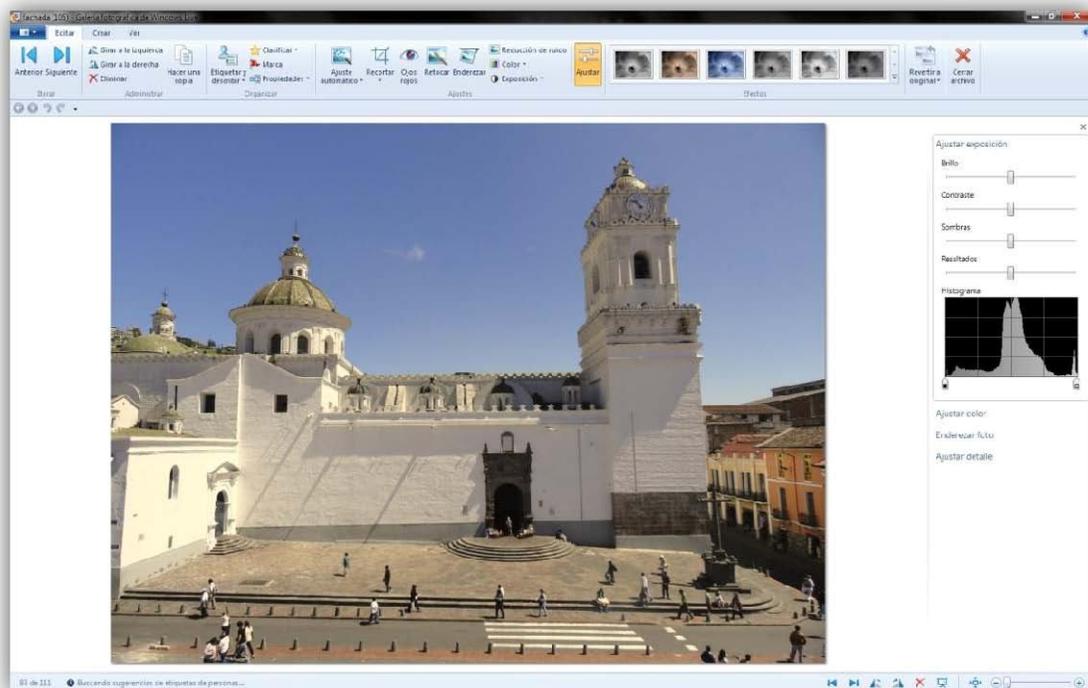


Figura 3.33 Editor ajuste de exposición Acosta, Verónica -2011

⑩ Ajuste de Color

- **Temperatura de color:** Es la cantidad de tonos azules (frío) y tonos rojos (cálido) que hay en la imagen.
- **Tinte:** Es una variación del matiz que se crea agregando blanco a una imagen.
- **Saturación:** Es la fuerza o intensidad de color que tiene una imagen. Las fotos muy saturadas tienen colores más brillantes que son intensos y vívidos. Las imágenes con menos saturación serán menos intensas (el caso extremo es una imagen que está compuesta en su totalidad por tonalidades de gris). Figura 3.34

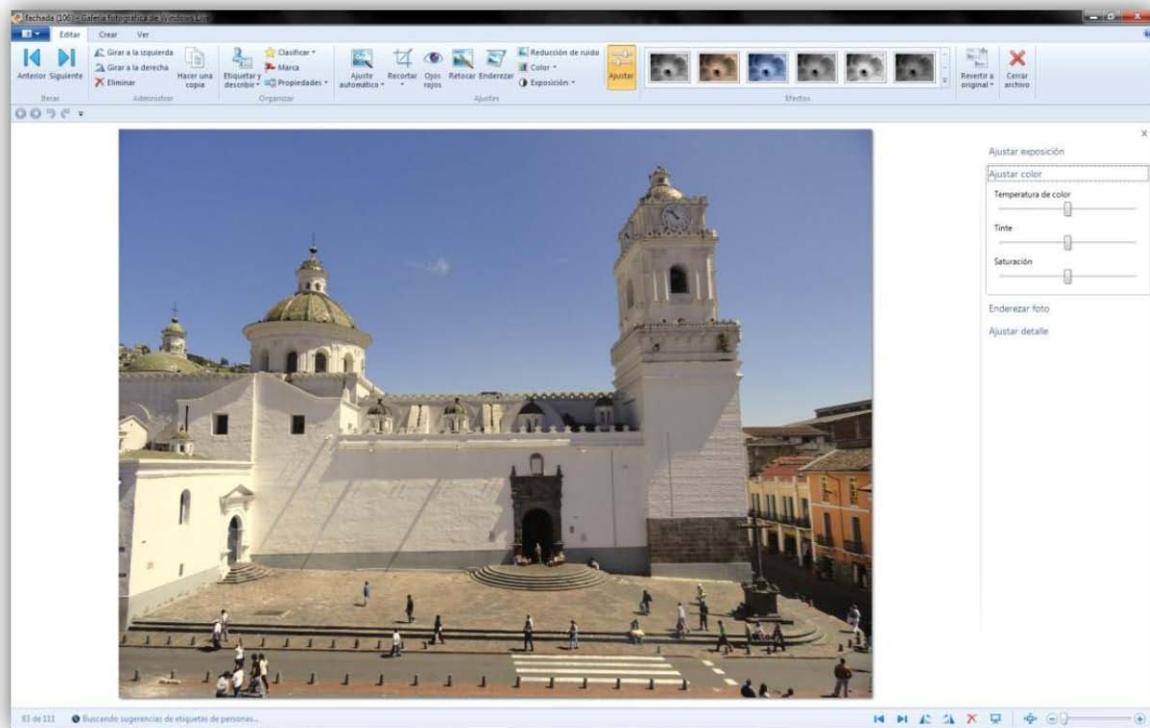


Figura 3.34 Editor ajuste de color

Acosta, Verónica - 2011
color Acosta, Verónica -2011

⑩ Enderezamiento de Fotografía

Permite mediante una grilla enderezar y alinear las aristas de la fotografía como muestra la Figura 3.35.

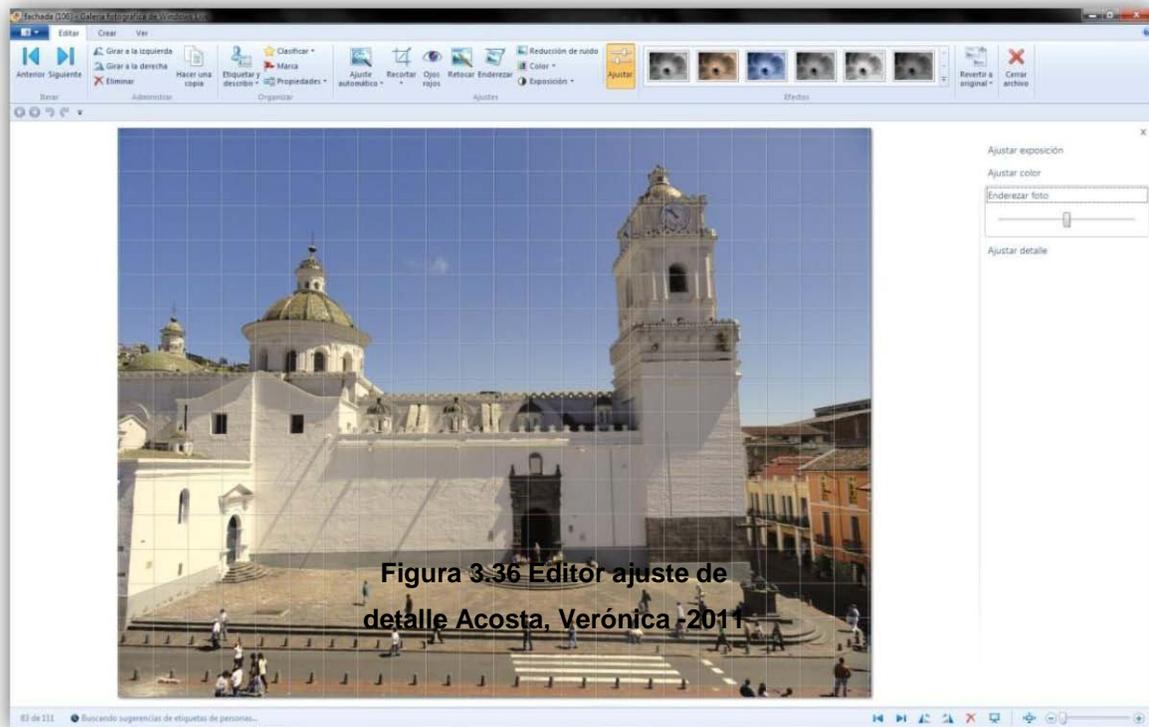


Figura 3.35 Editor enderezamiento de fotografía

Acosta, Verónica - 2011
fotografía Acosta, Verónica -2011

⑩ Ajuste de Detalle

- **Enfoque:** Mejora los bordes percibidos de un objeto específico en una imagen.
- **Reducir ruido:** El ruido en una imagen es una imperfección de granularidad debido a la alta sensibilidad (400 ISO). Figura 3.36

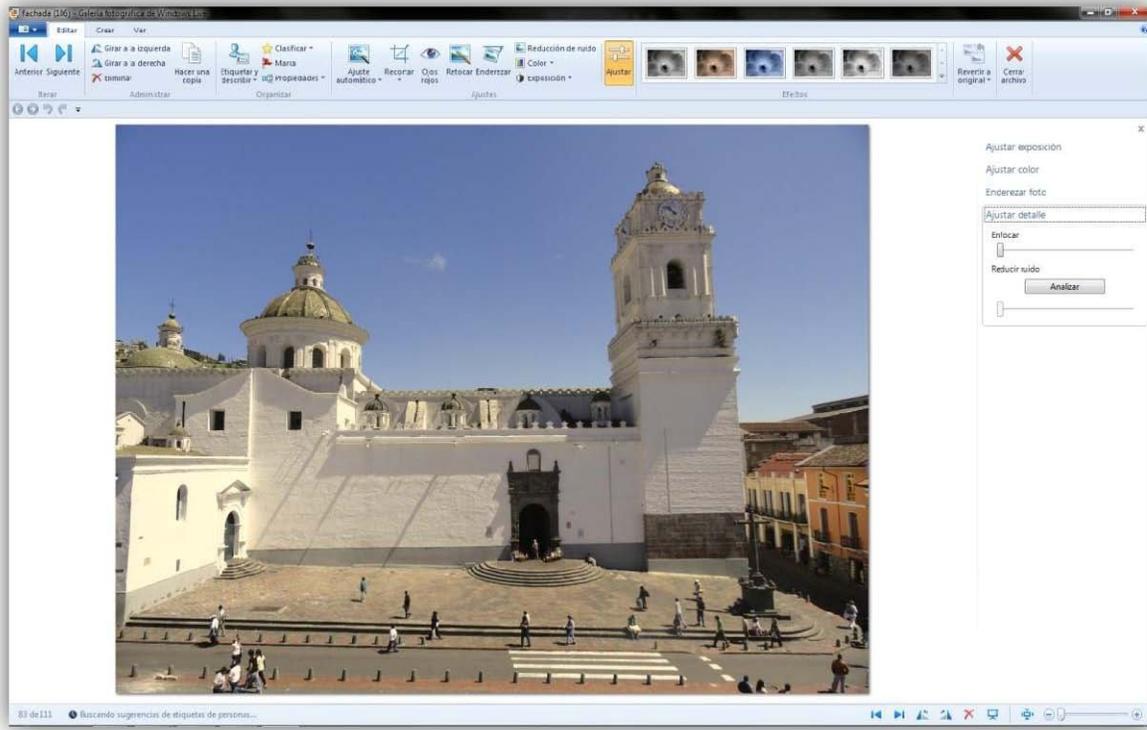


Figura 3.37 Recortar
Figura 3.38 Editor ajuste de detalle
Acosta, Verónica - 2011

Además de estas herramientas de edición la Galería Fotográfica de Windows Live cuenta con la opción de recortar una imagen sin perder la resolución original de la misma, la cual en este proyecto fue frecuentemente utilizada debido a que en el proceso de modelamiento en Sketchup es necesario recortar la parte o sección precisa de la fotografía que será utilizada como textura (Figuras 3.37 y 3.38).

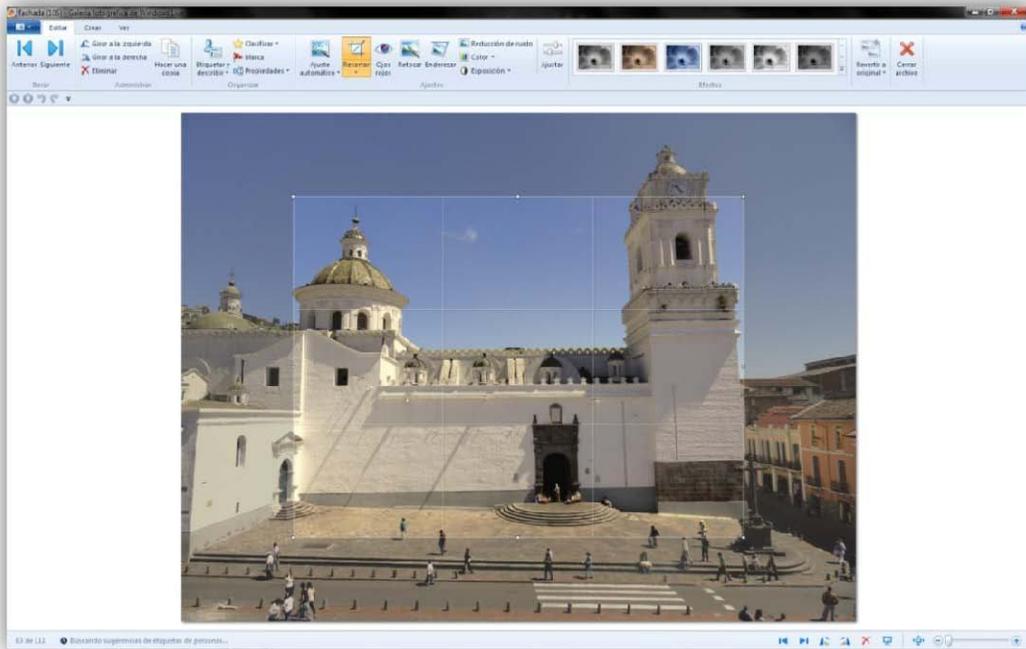


Figura 3.37 Recortar fotografía
Acosta, Verónica – 2011

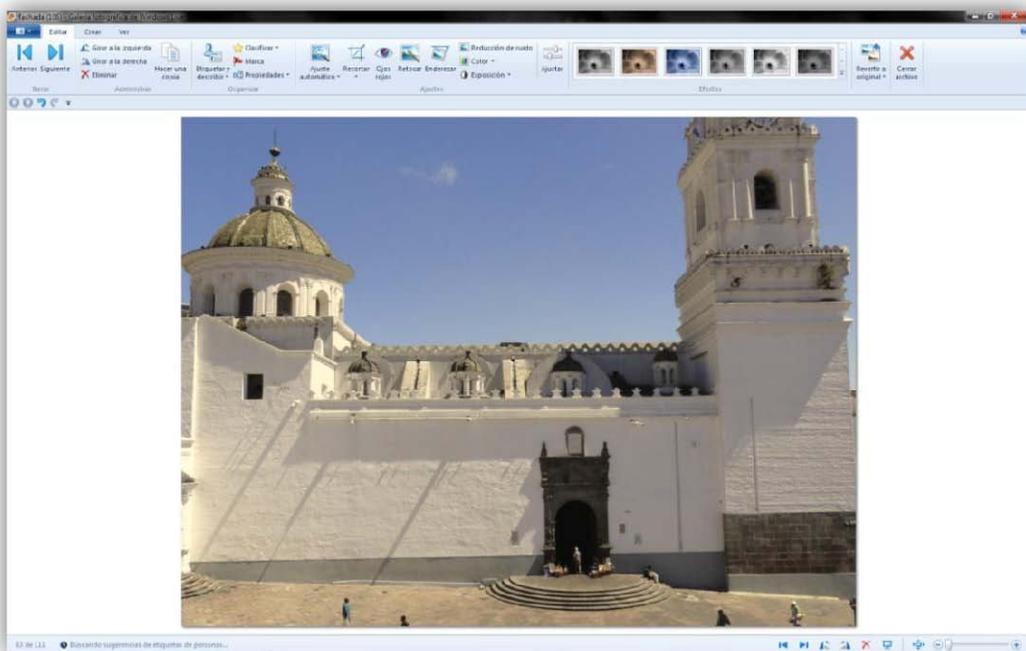


Figura 3.38 Area recortada de la fotografía
Acosta, Verónica - 2011
fotografía Acosta, Verónica -2011

3.1.5 Modelamiento y Texturización de Estructuras

Partiendo de las mediciones realizadas en campo, se inicia el modelamiento de los componentes descritos.

1. Modelamiento Estructural

El modelamiento del Conjunto Arquitectónico que realizó en función de la categorización obtenida en la generación de información base, como se muestra en las siguientes figuras:

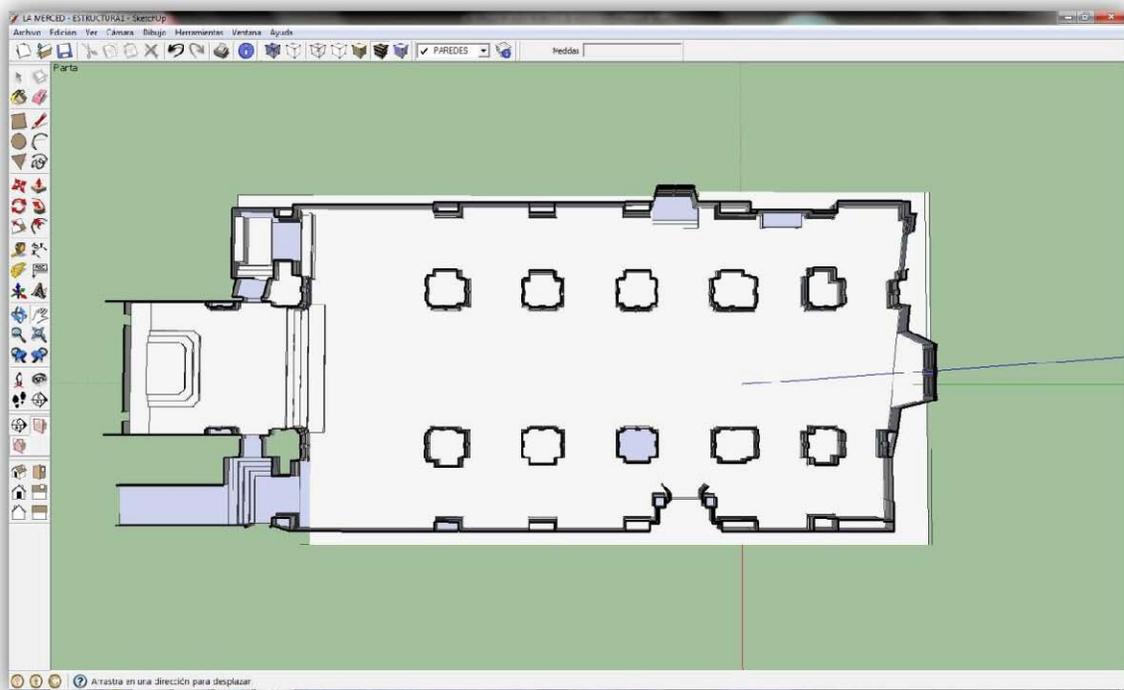


Figura 3.39 Modelamiento de planta – “Iglesia de la Merced”

**Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011**

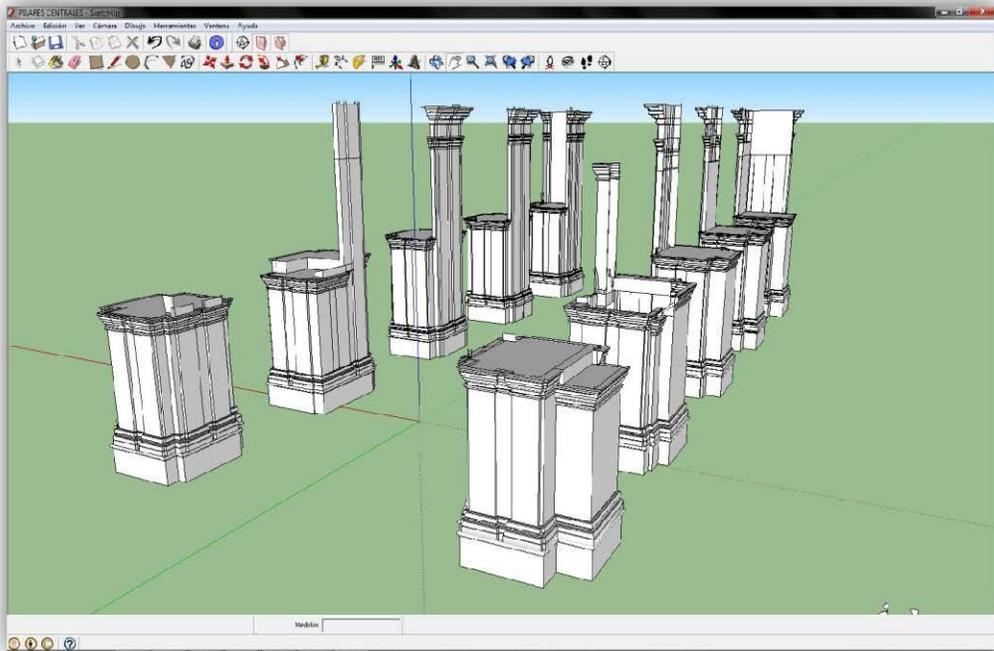


Figura 3.40 Pilares centrales – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

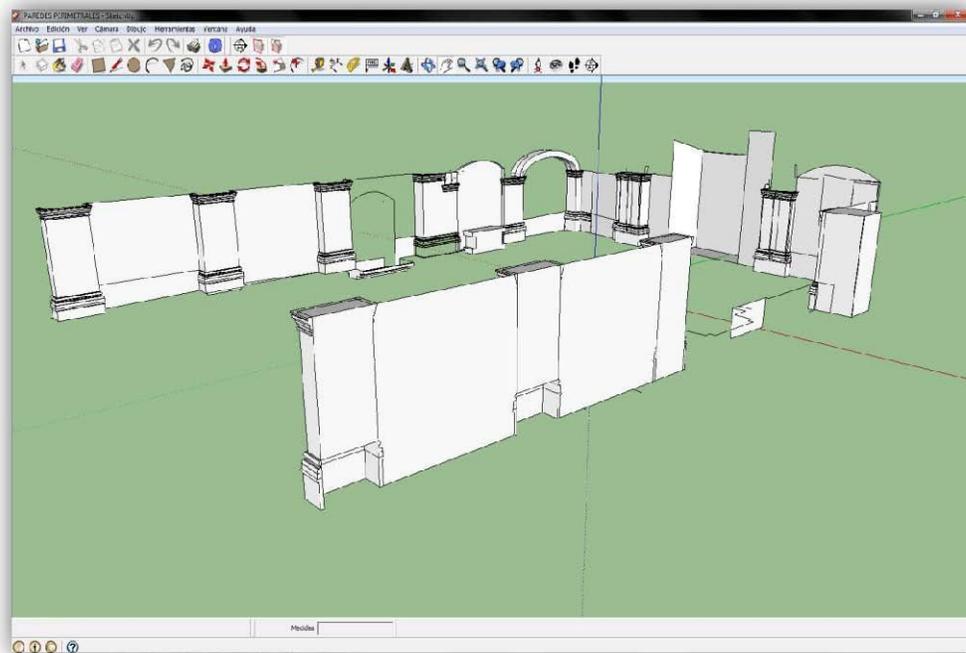


Figura 3.41 Paredes perimetrales – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

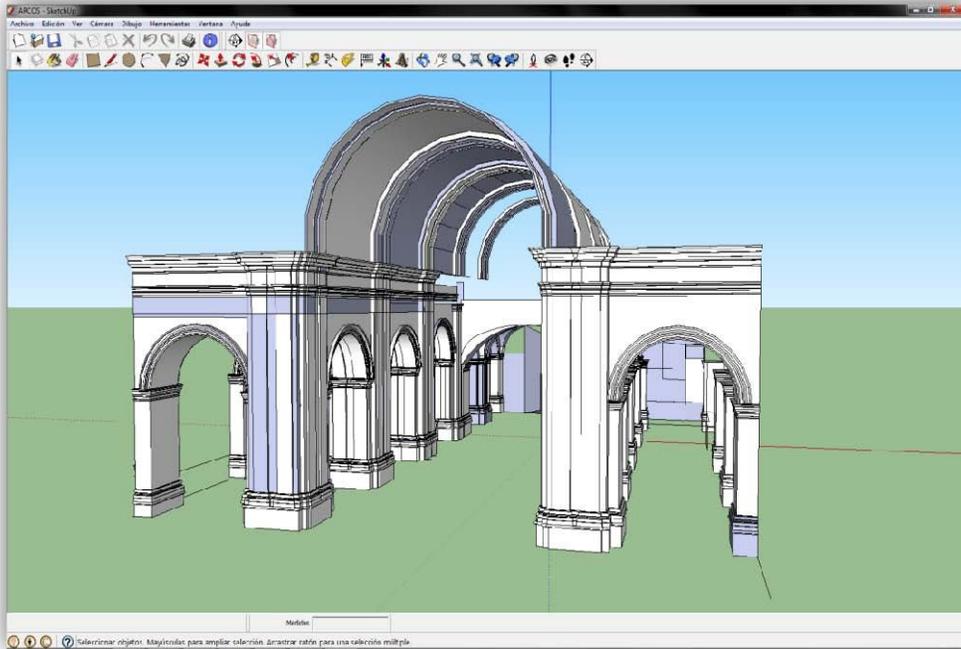


Figura 3.42 Corte transversal arquero superior de la “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

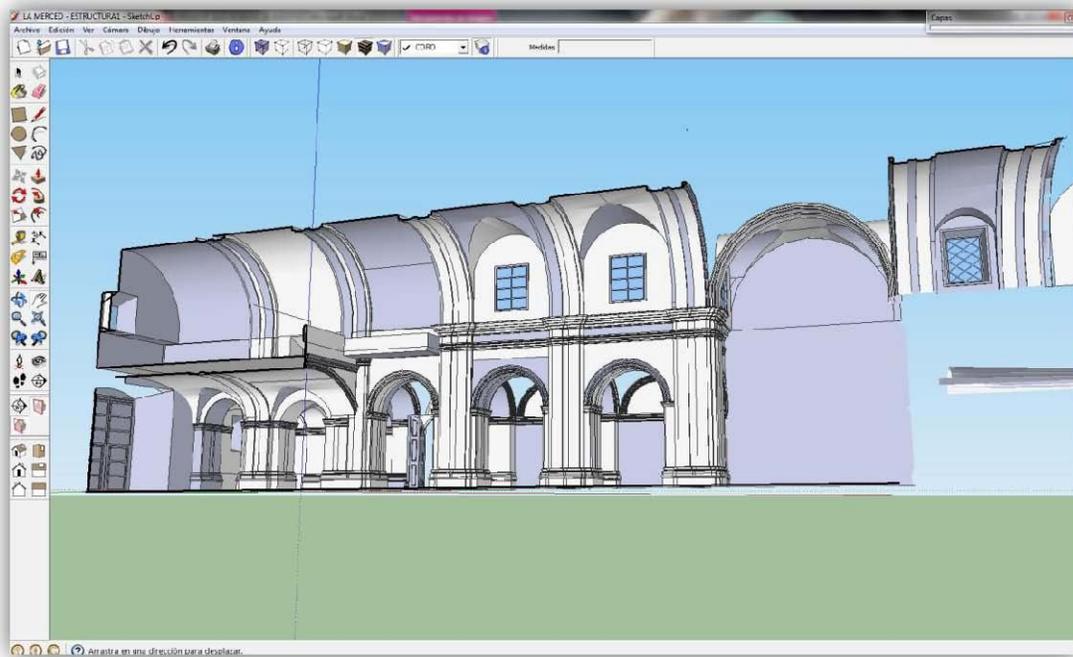


Figura 3.43 Corte longitudinal arquera – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

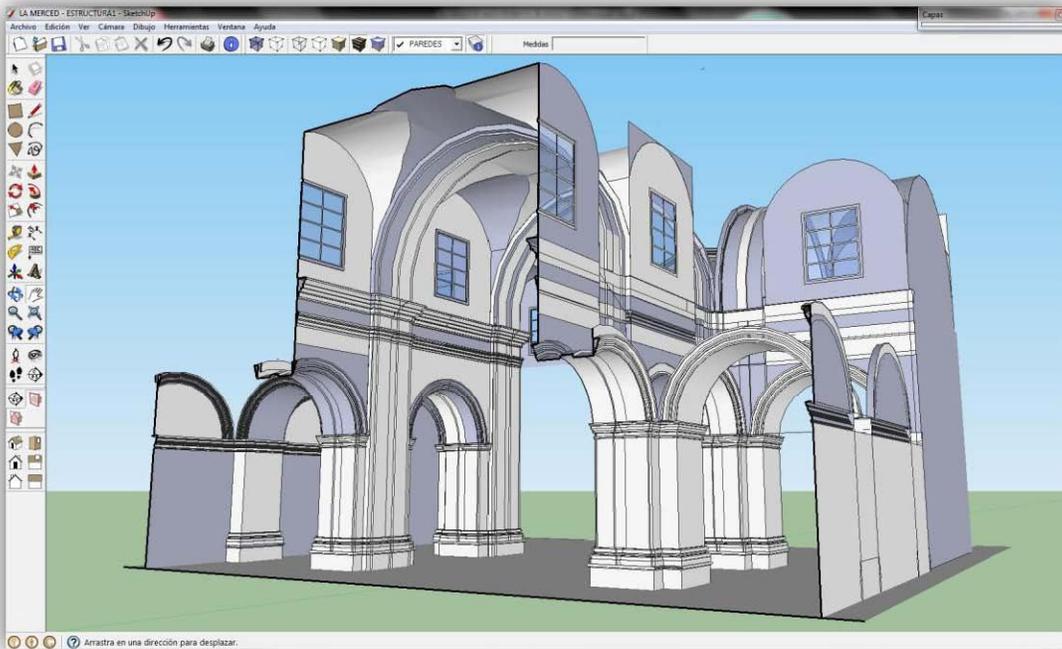


Figura 3.44 Corte transversal arqueria superior – “Iglesia de la Merced”
Figura 3.46 Cupulas Pequeñas – “Iglesia de la
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011

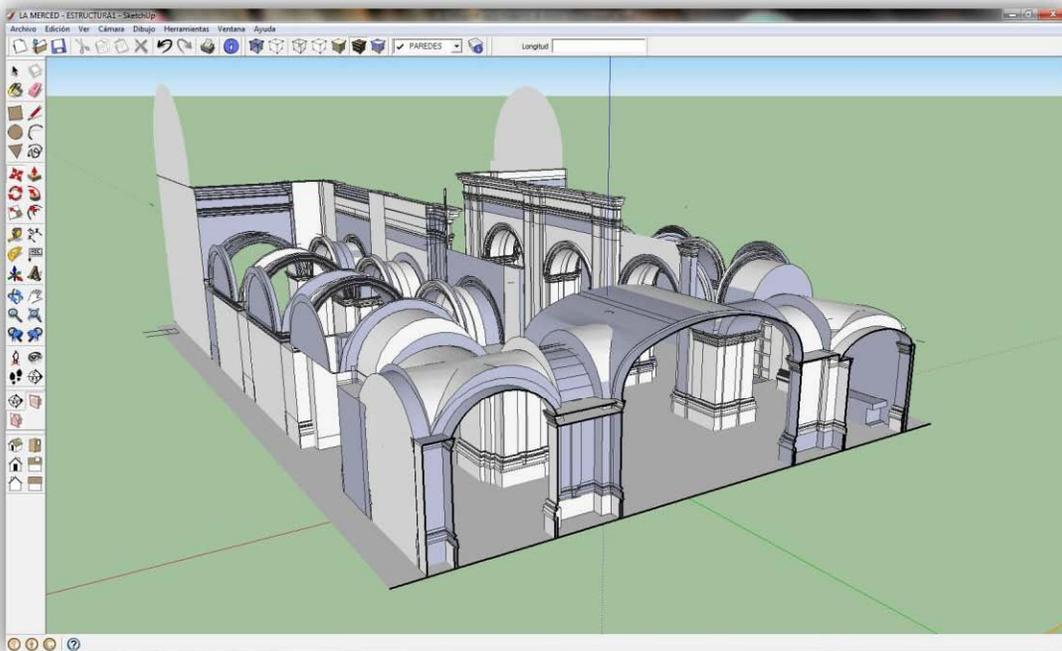
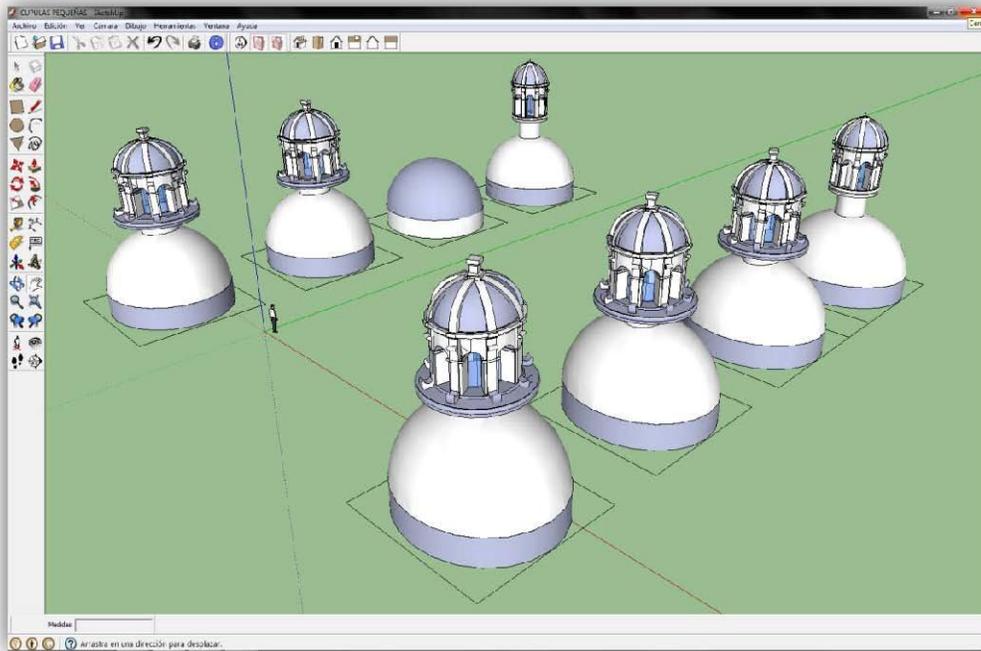
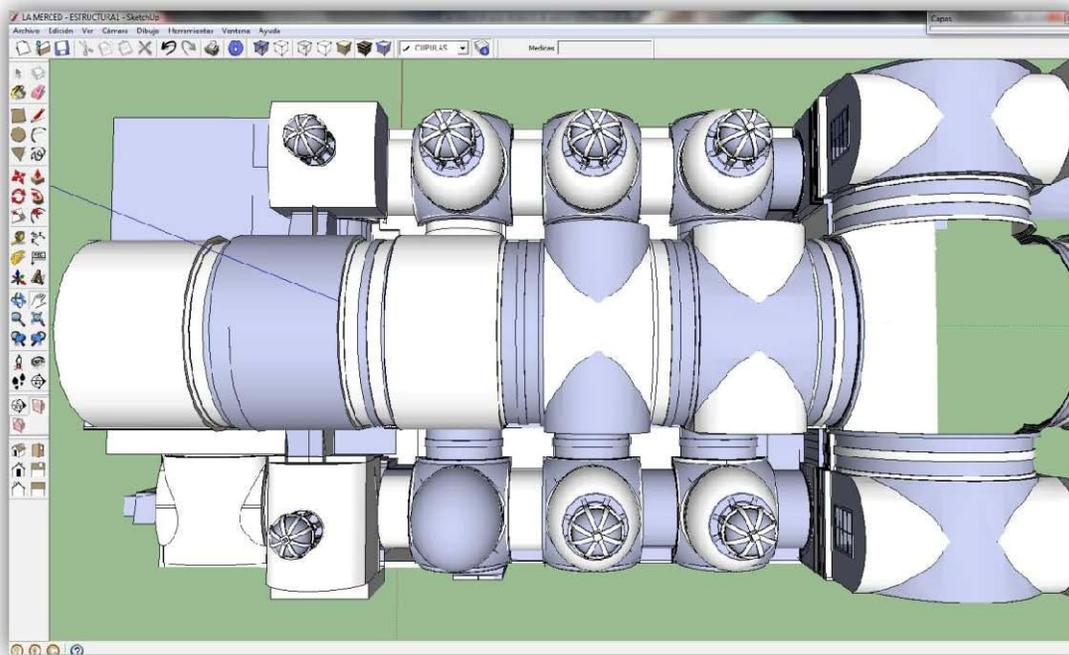


Figura 3.45 Corte transversal arqueria inferior – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011



**Figura 3.46 Cúpulas Pequeñas – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011**



**Figura 3.47 Ubicación Cúpulas Pequeñas – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011**

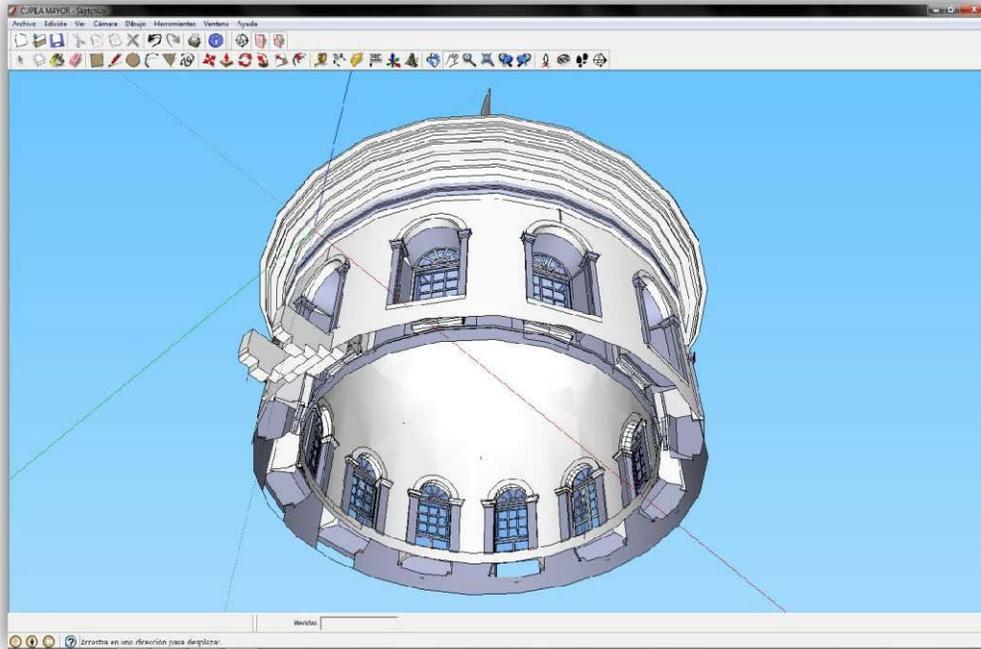


Figura 3.48 Cúpula Mayor – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

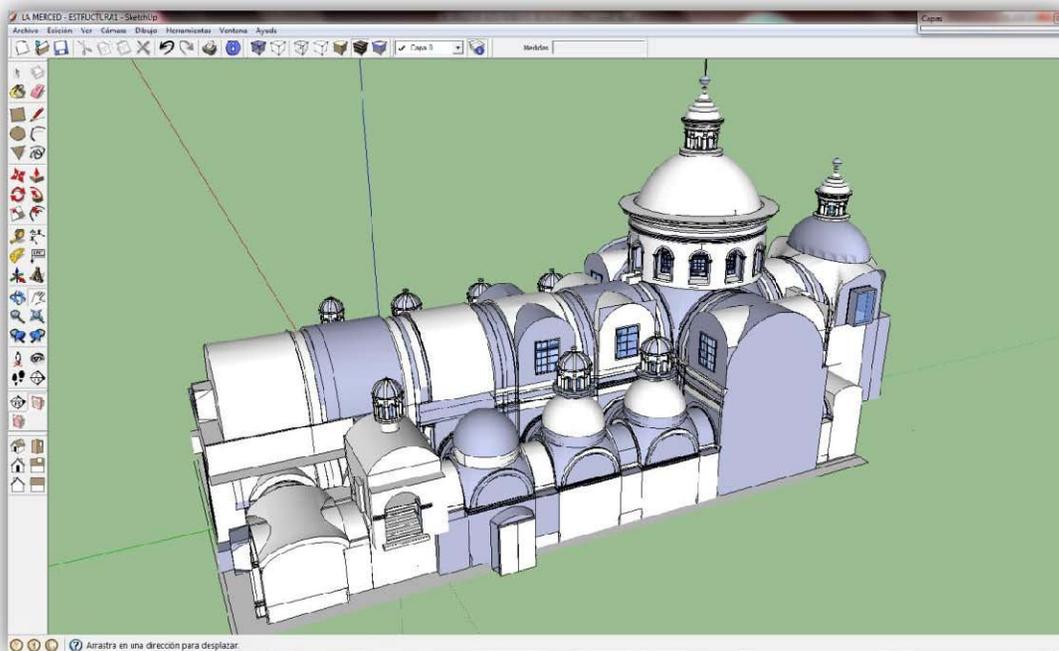


Figura 3.49 Ubicación Cúpula Mayor – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011

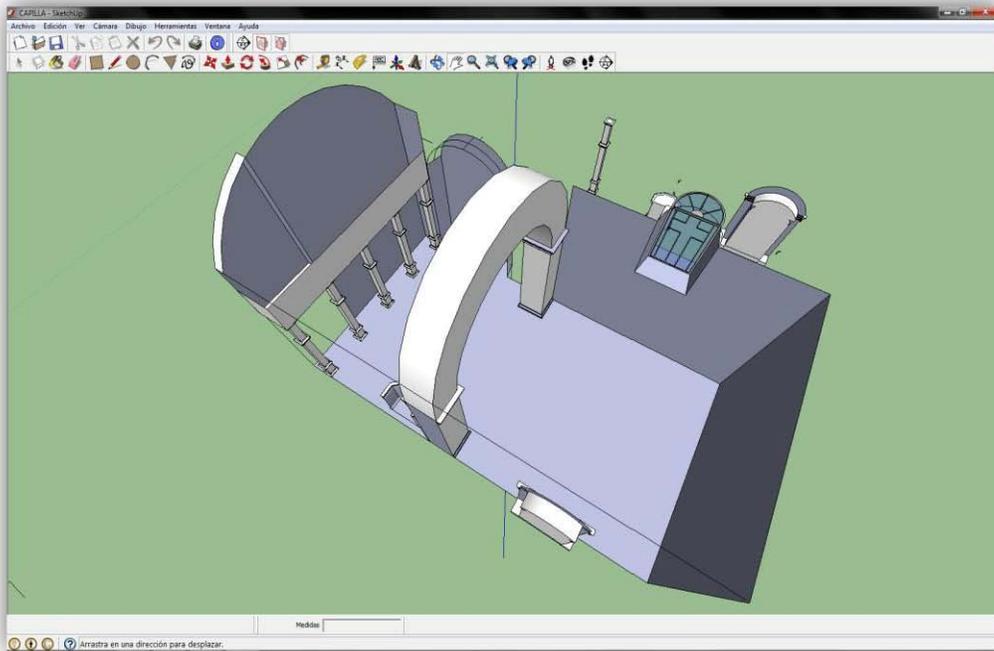


Figura 3.50 Estructuras de la Capilla “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

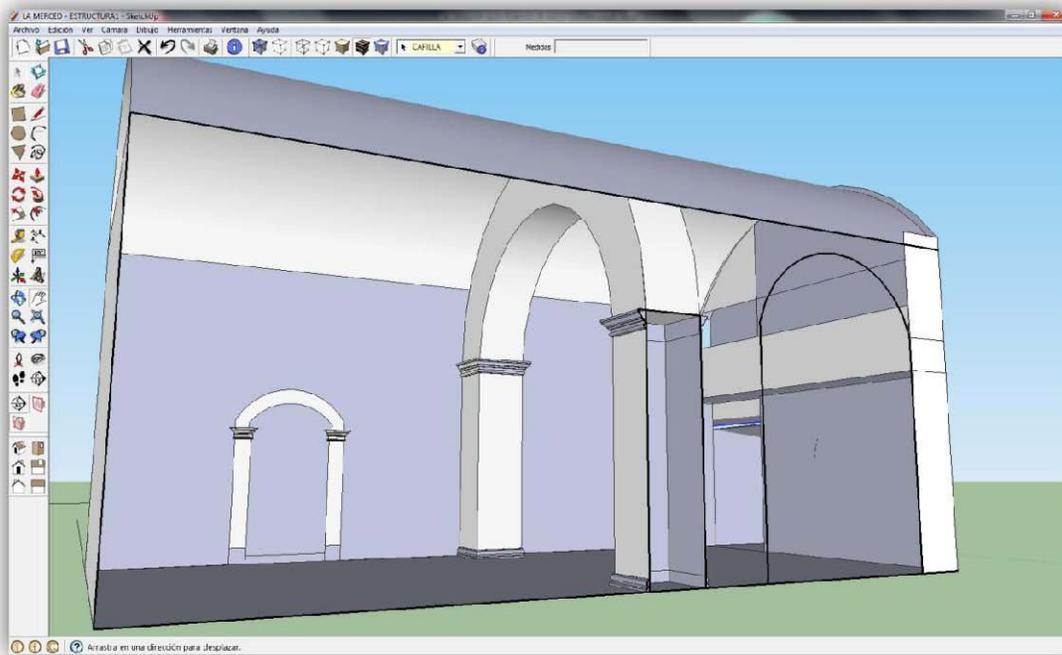


Figura 3.51 Corte longitudinal Capilla – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

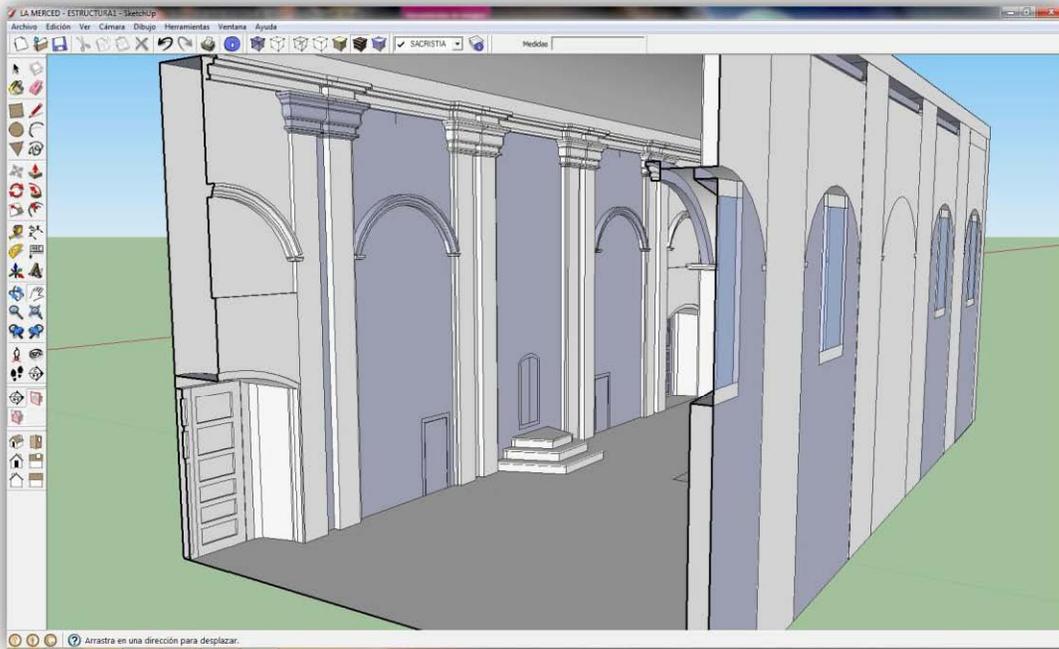


Figura 3.52 Corte transversal Sacristia – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011

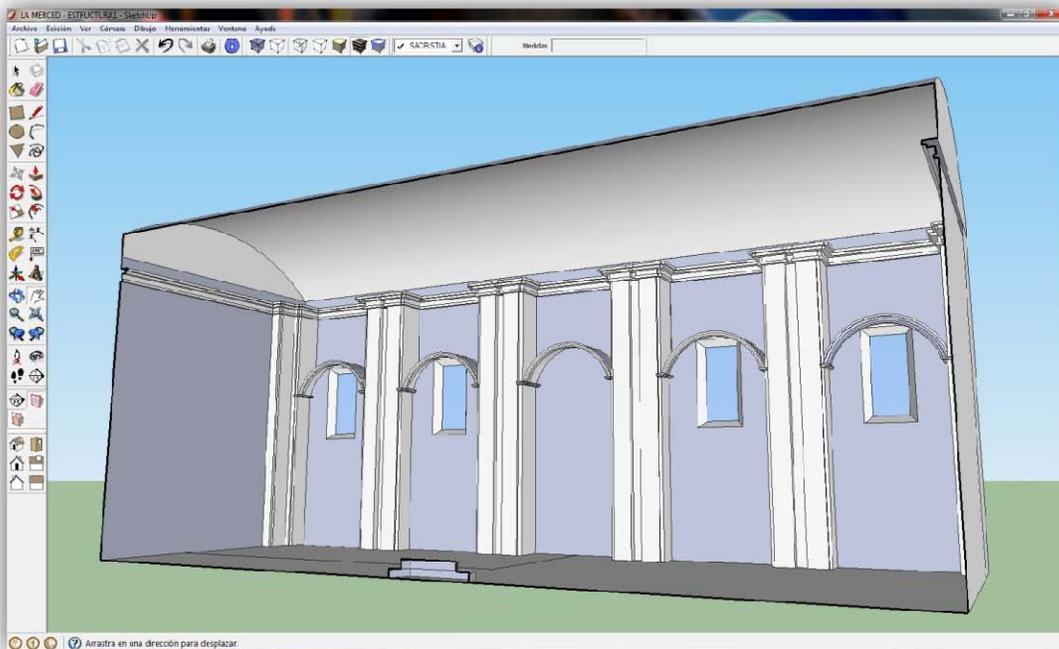


Figura 3.53 Corte longitudinal Sacristia – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011

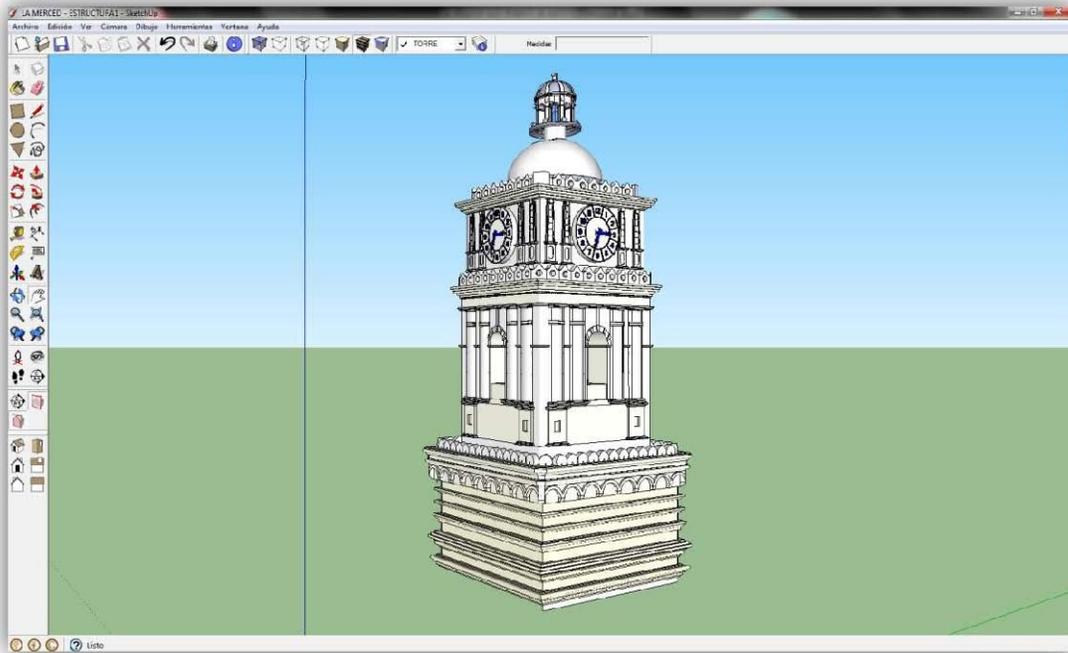


Figura 3.54 Torre – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

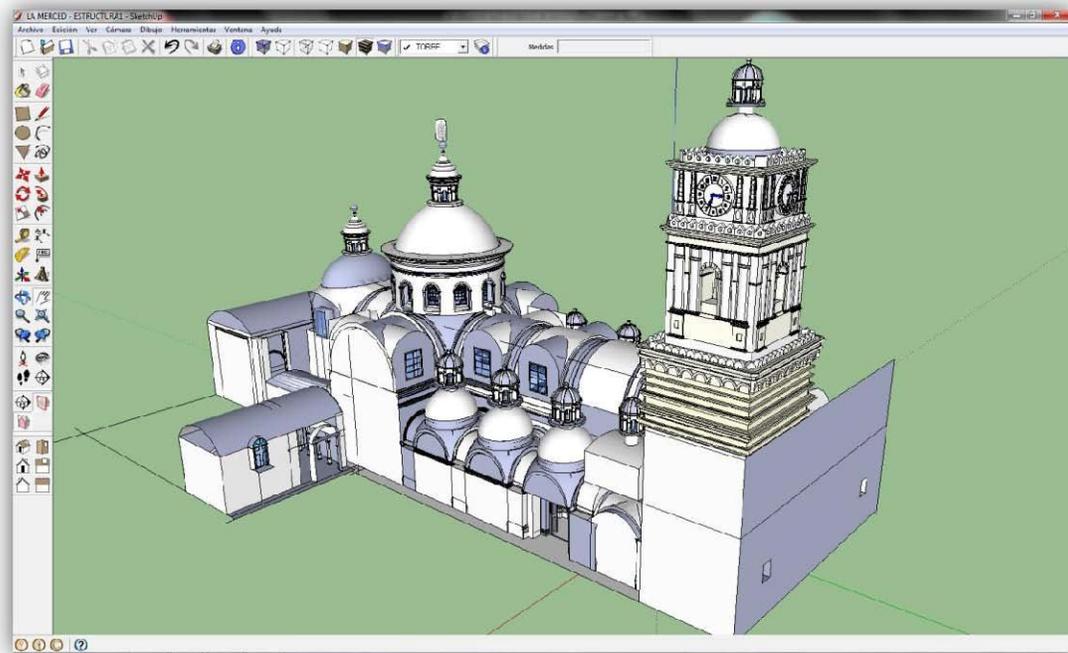


Figura 3.55 Ubicación Torre – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

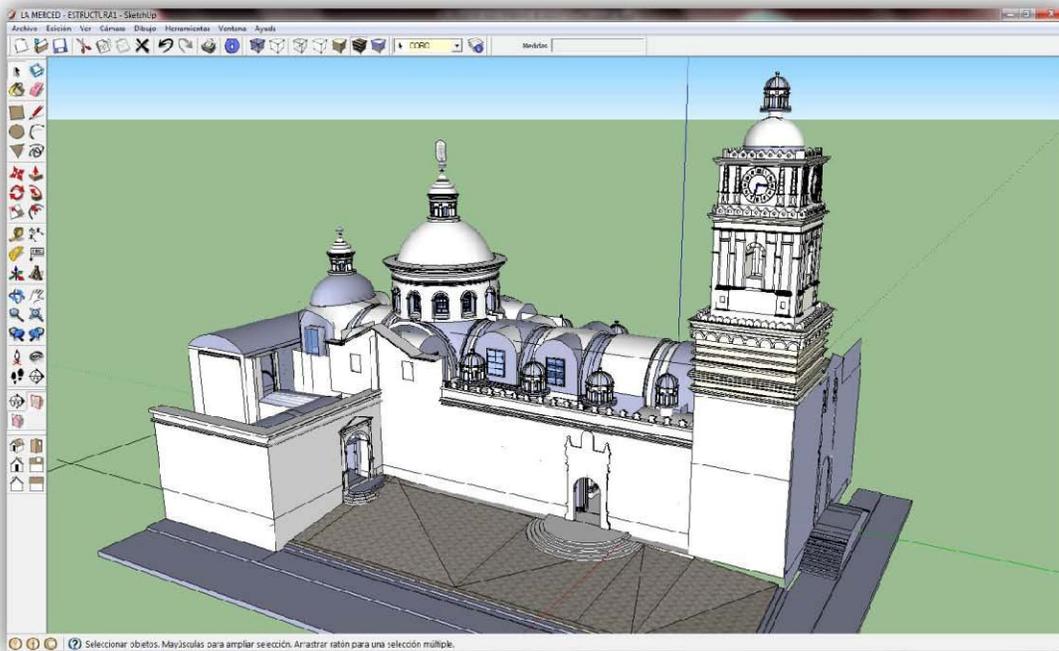


Figura 3.56Fachadas – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

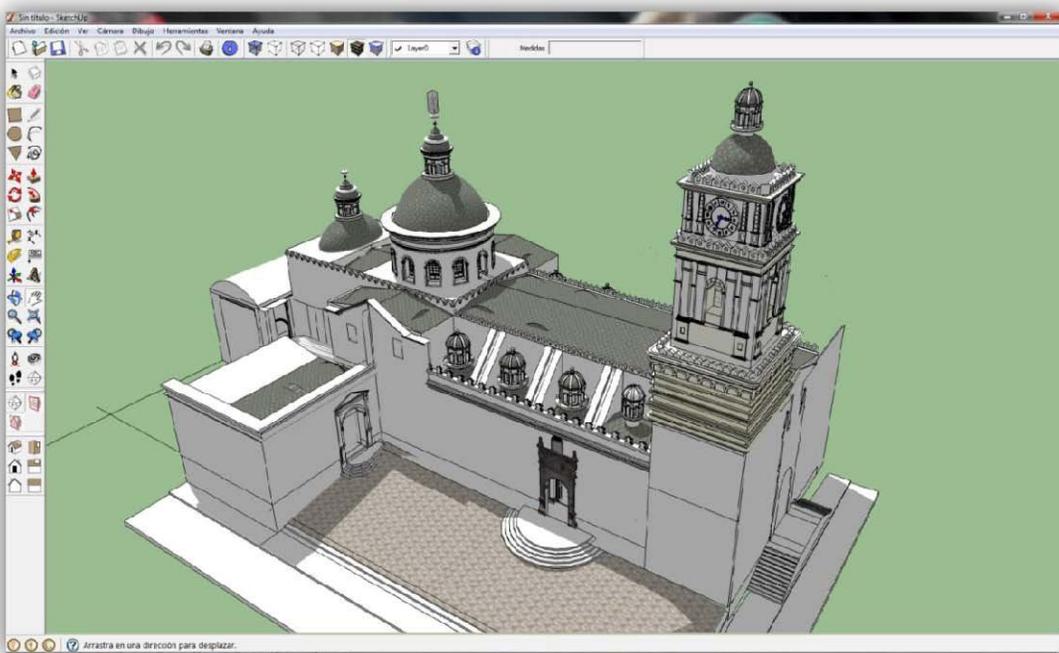


Figura 3.57Cubiertas – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

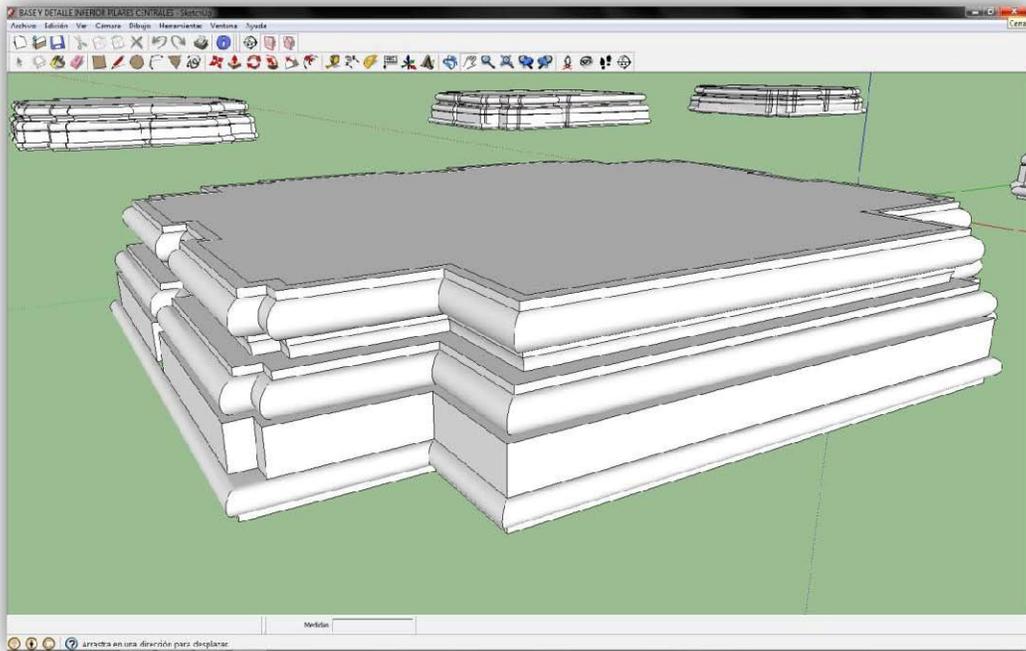


Figura 3.58 Detalle de la base de las columnas – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

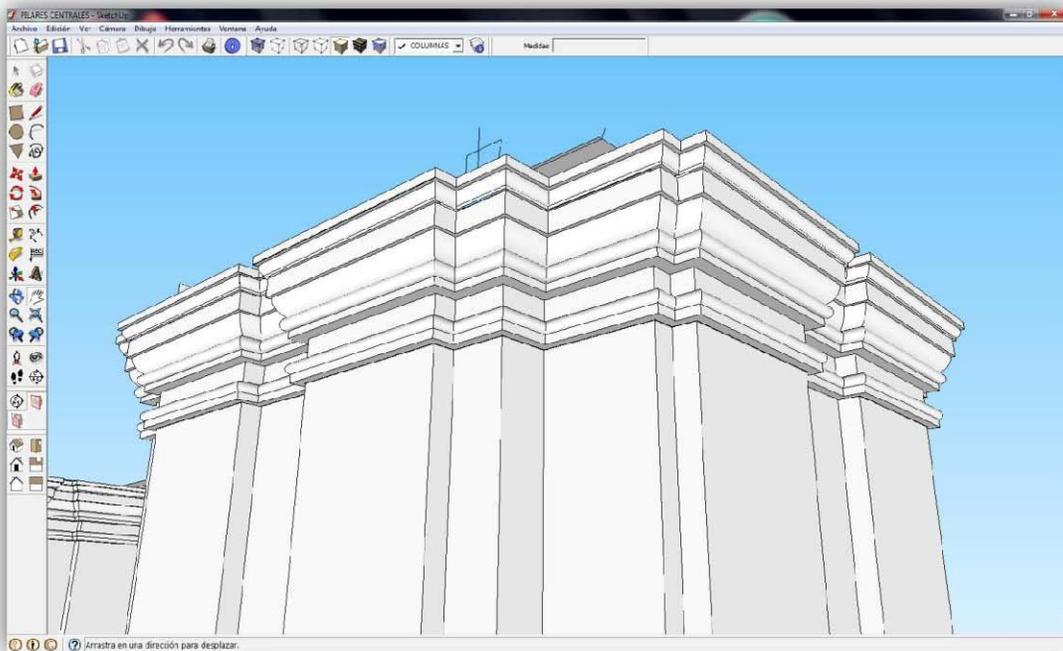


Figura 3.59 Detalle superiores pilares – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

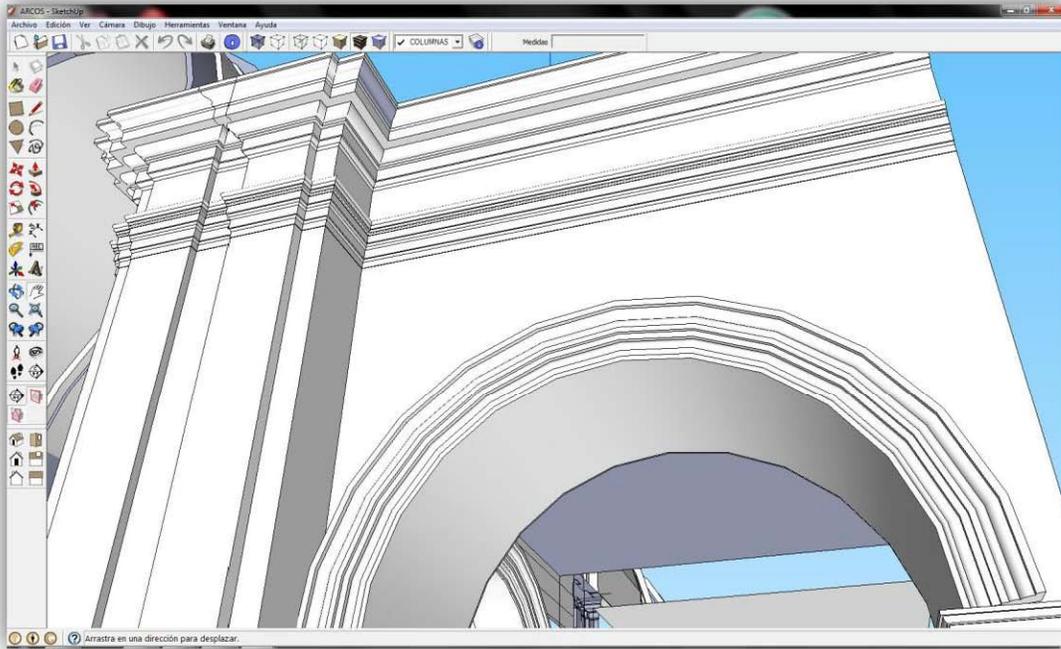


Figura 3.60 Detalle arqueria – “Iglesia de la Merced”
Figura 3.62 Detalles Torre – “Iglesia de la
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011

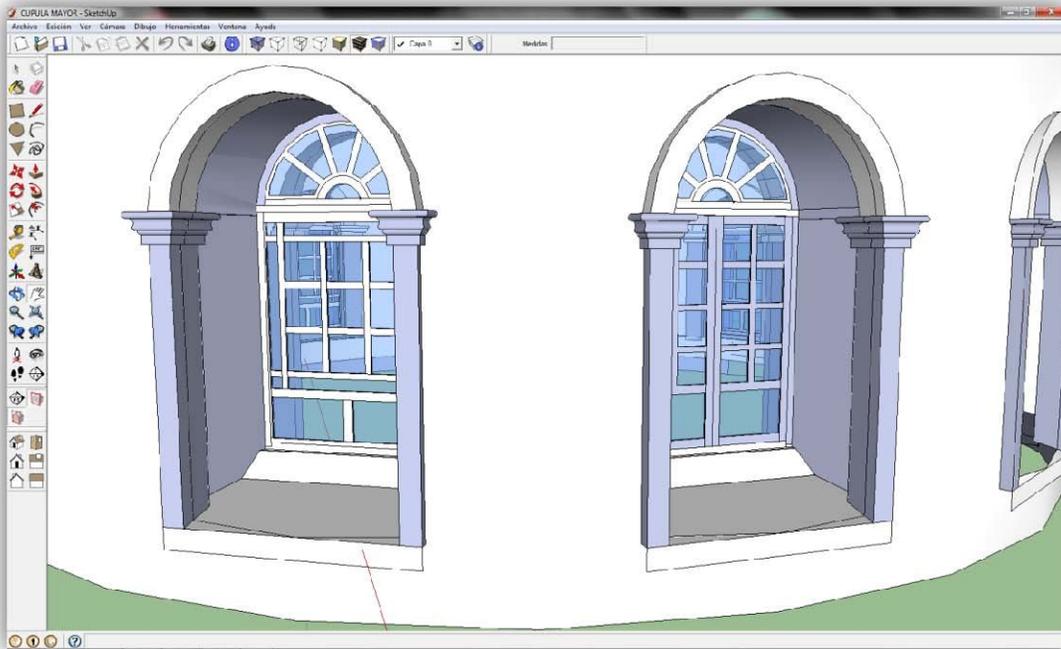
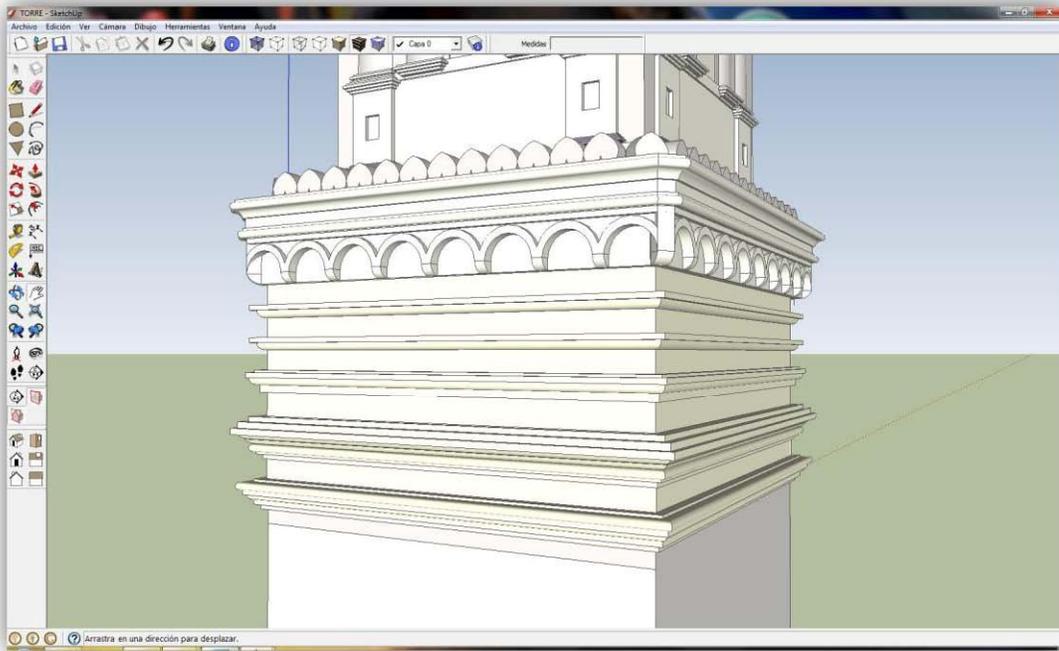
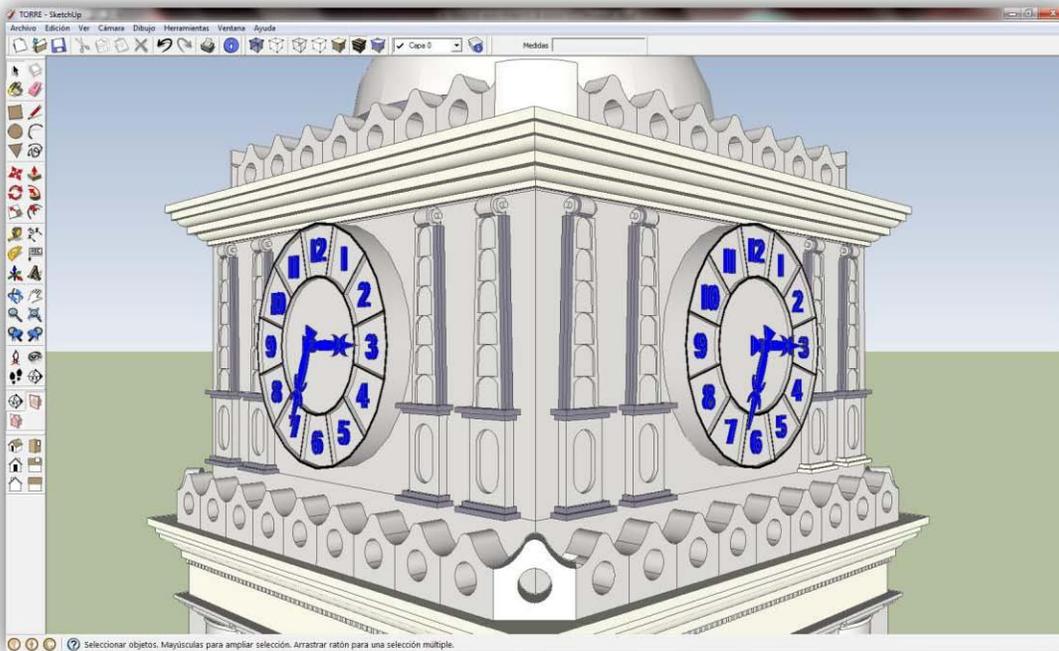


Figura 3.61 Detalle de ventanas – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011



**Figura 3.62 Detalles Torre – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011**



**Figura 3.63 Reloj Torre – “Iglesia de la
Merced” Acosta, Verónica – 2011**

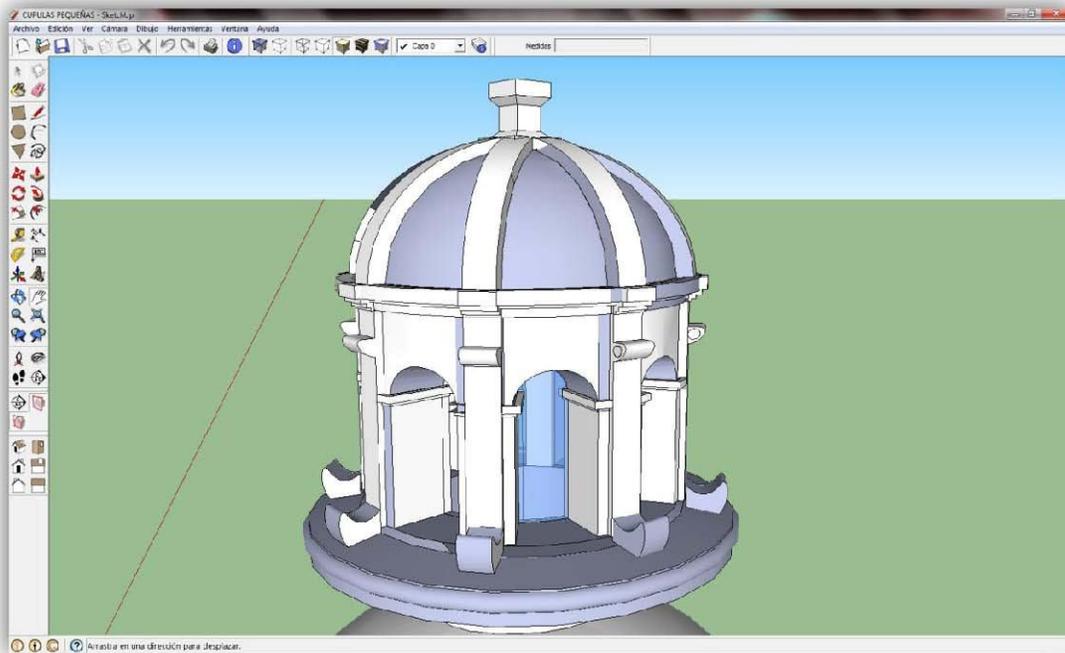


Figura 3.64Detalle linternas – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

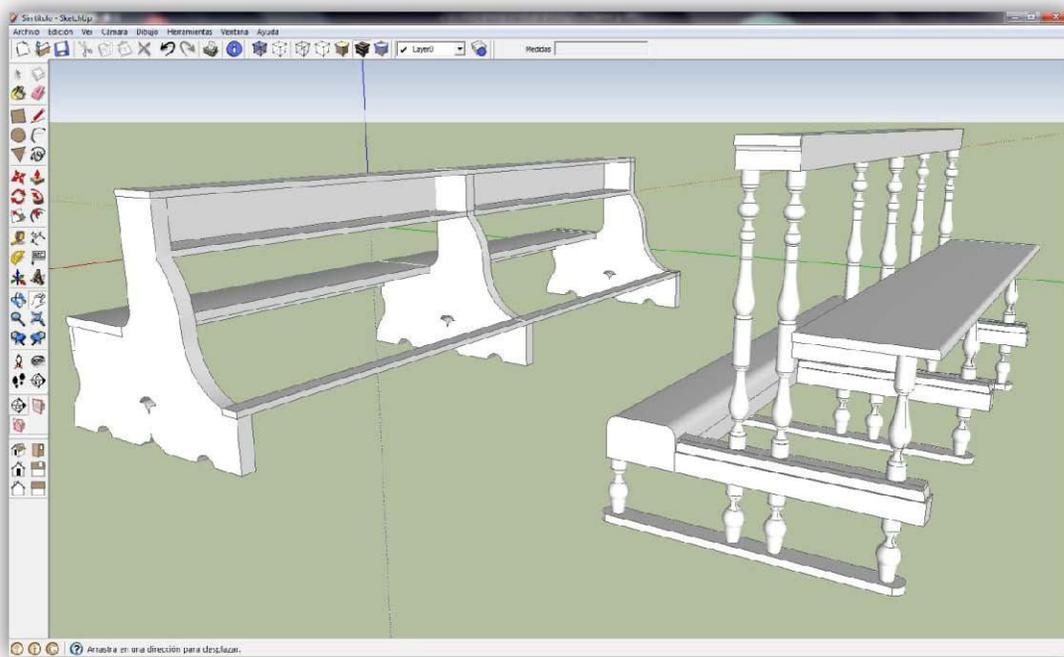


Figura 3.65Bancas Iglesia y Capilla – “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

2. Texturización de las Estructuras

Posterior a la edición de fotografías y modelamiento de la estructura en 3D, se realizó la adaptación de dichas imágenes en el modelo como se muestra en las siguientes figuras:

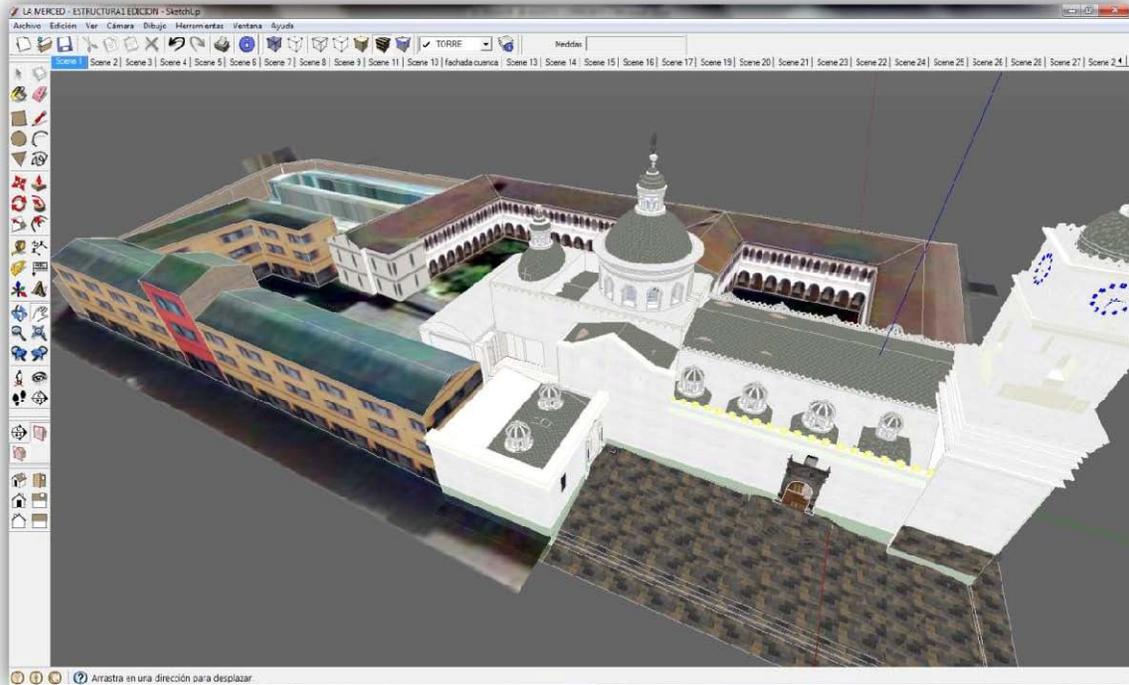


Figura 3.66 Texturizado Conjunto Arquitectónico Monasterio –“Iglesia de la Merced”

Acosta, Verónica – 2011
Acosta, Verónica – 2011

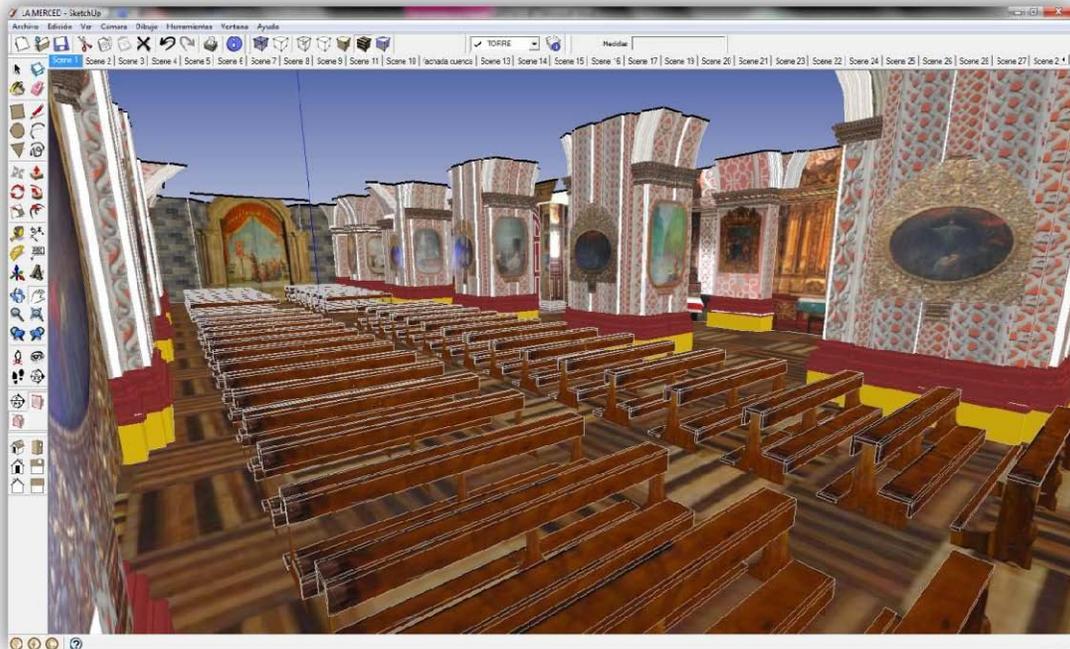


Figura 3.69 Texturizado arquiteria superior e inferior – “Iglesia de la Merced”
 Acosta, Verónica – 2011

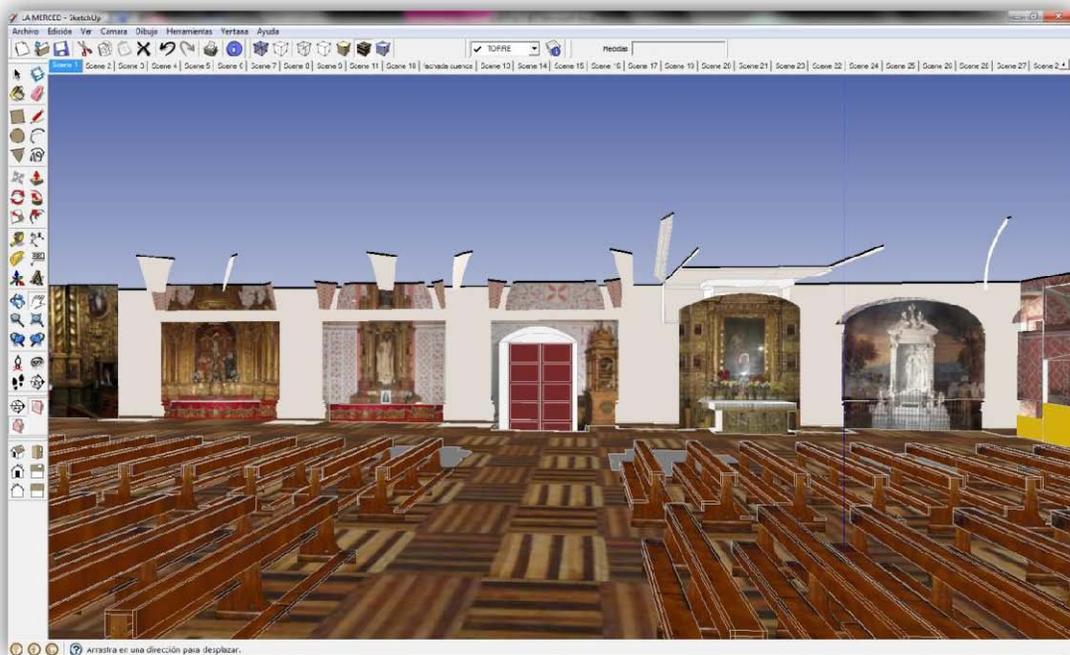


Figura 3.68 Texturizando Retablos y Paredes Perimetrales – “Iglesia de la Merced”
 Acosta, Verónica – 2011

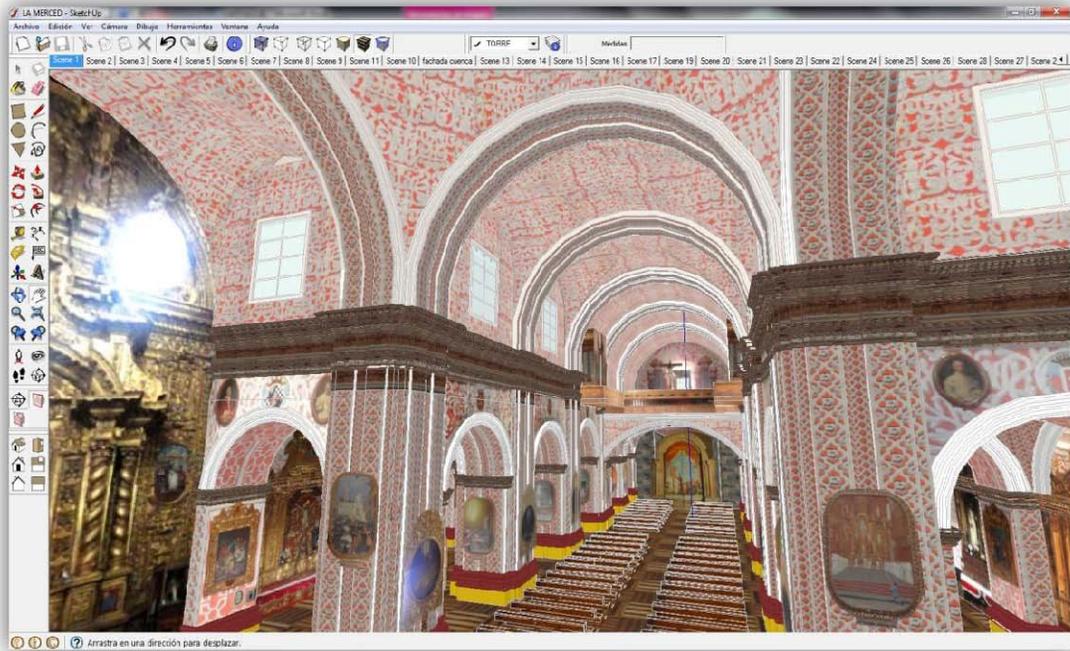


Figura 3.69 Texturizado arquería superior e inferior – “Iglesia de la Merced”
Figura 3.71 Texturizado Cupulas Pequeñas – “Iglesia de la
 Acosta, Verónica – 2011
 Merced” Acosta, Verónica – 2011

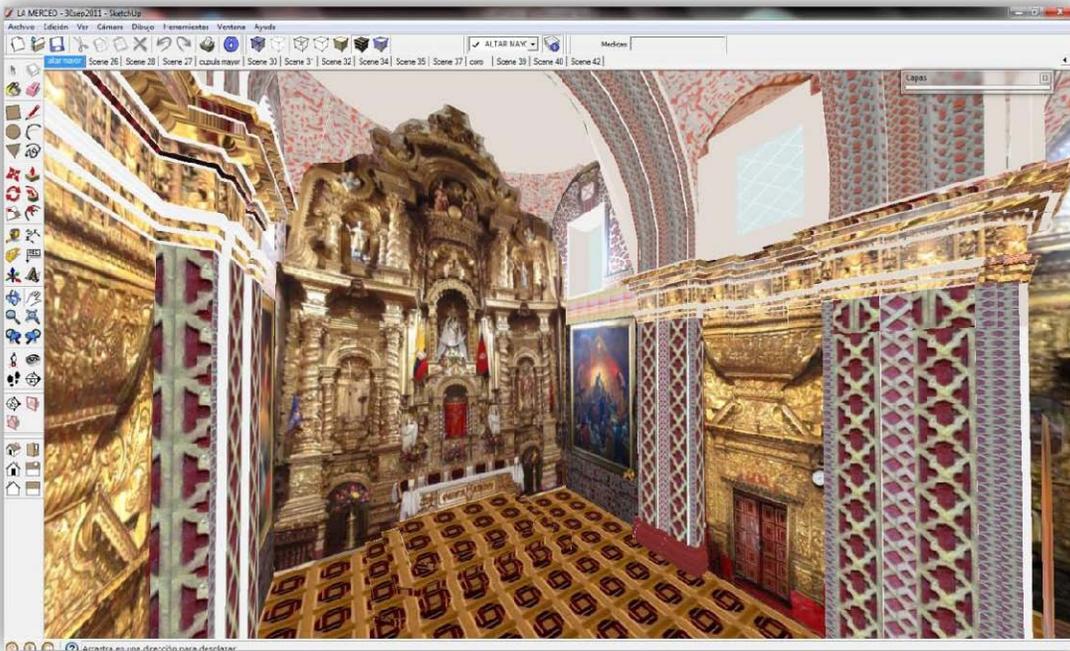


Figura 3.70 Texturizado Altar Mayor – “Iglesia de la Merced”
 Acosta, Verónica – 2011
 Merced” Acosta, Verónica – 2011

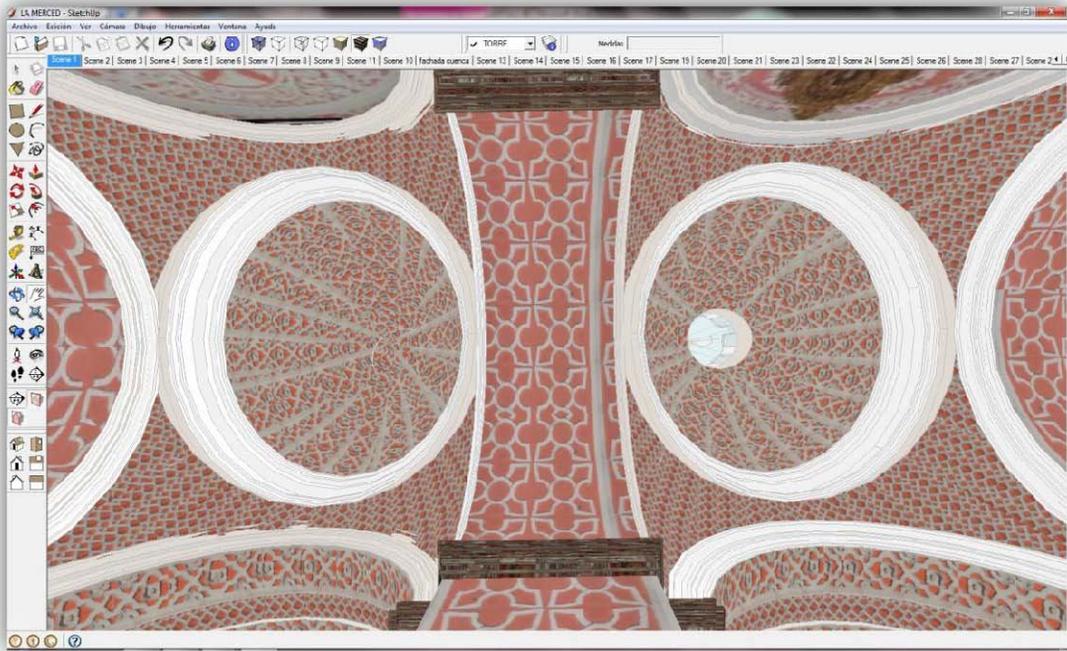
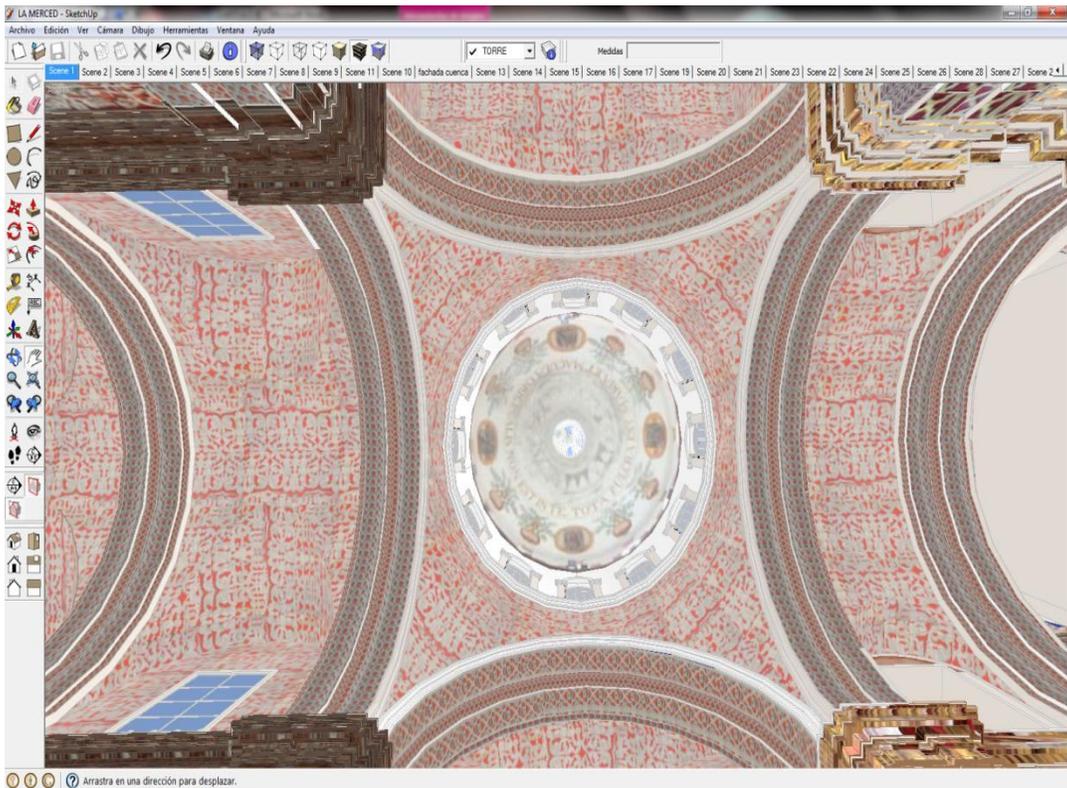


Figura 3.71 Figura 3.73 Texturas de Geometría de la Merced”
 Merced” Acosta, Verónica – 2011



Merced” Acosta, Verónica – 2011

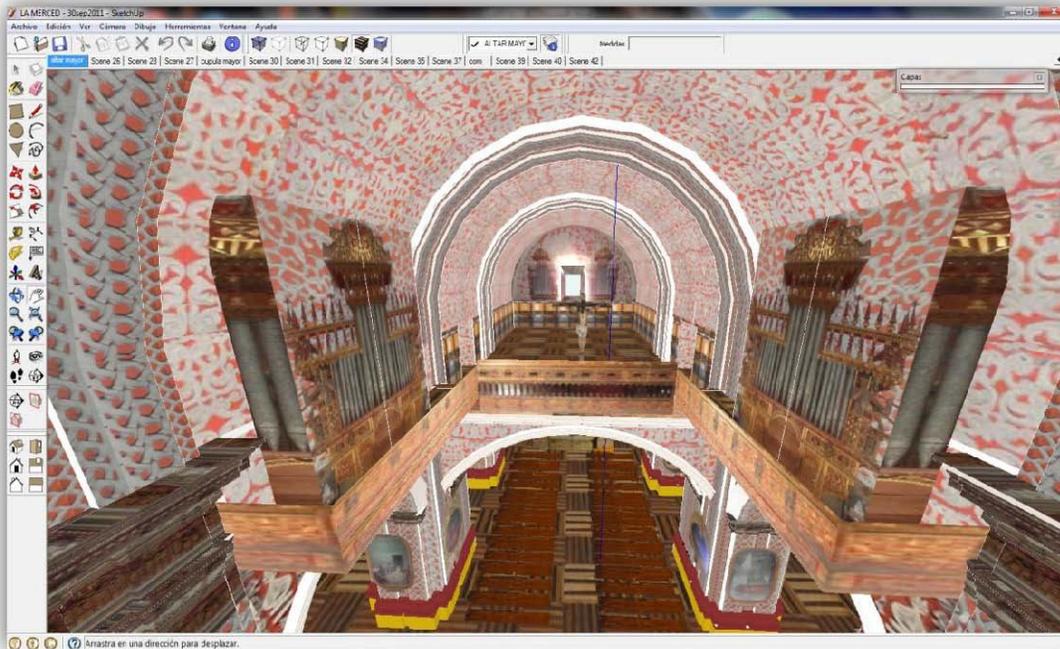


Figura 3.73 TexturizadoCoro – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011

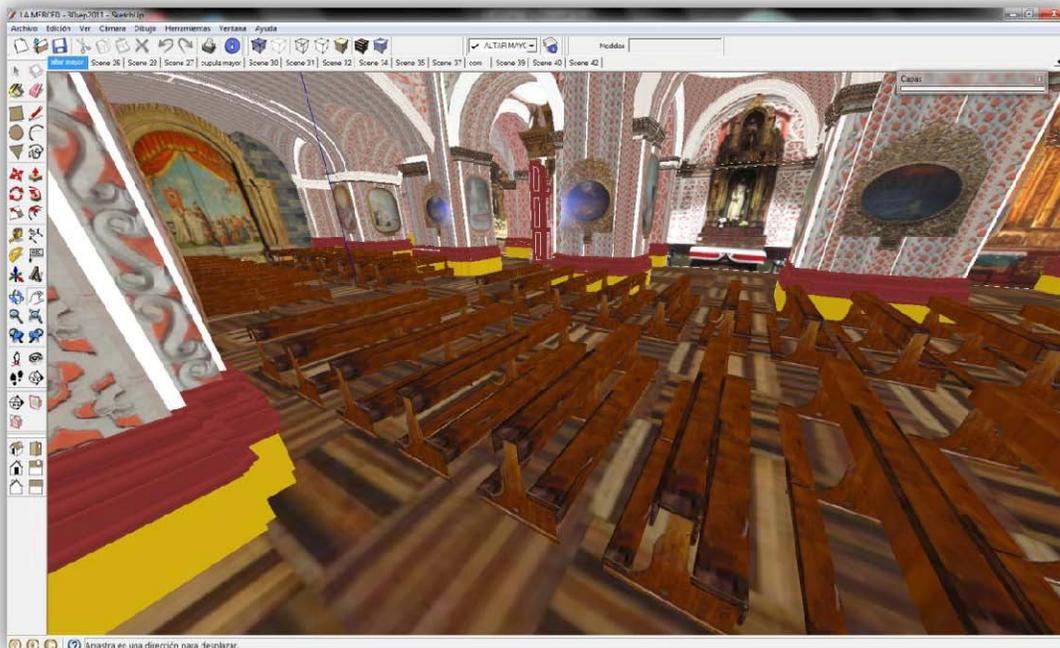


Figura 3.74 Texturizadobancas – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Merced” Acosta, Verónica – 2011

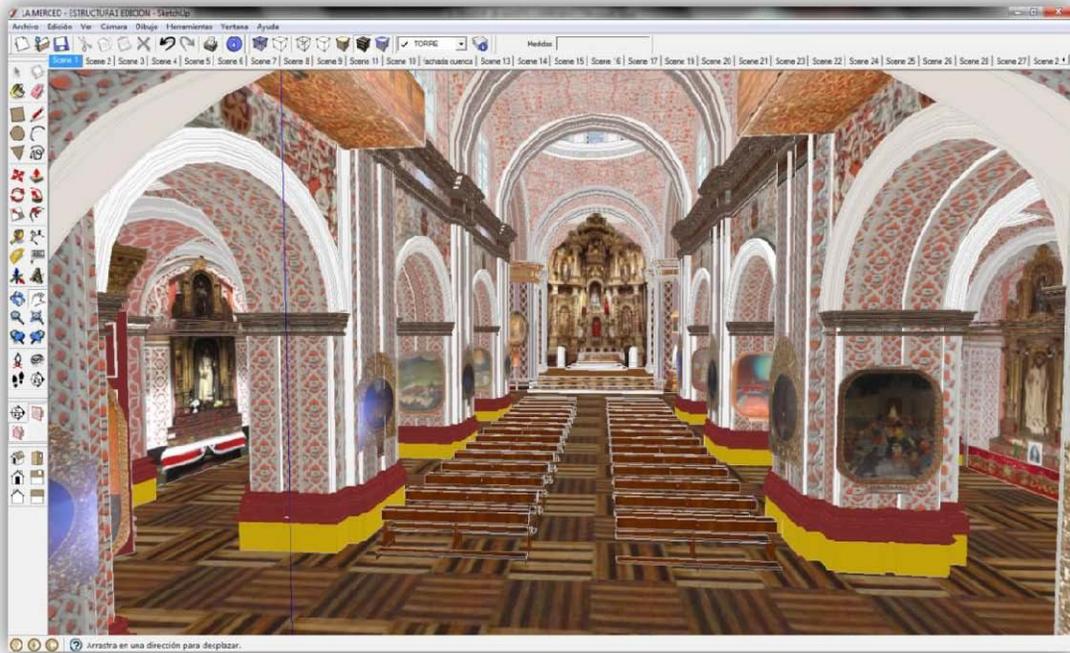


Figura 3.75 Vista desde la parte posterior– “Iglesia de la Merced” Acosta, Verónica – 2011

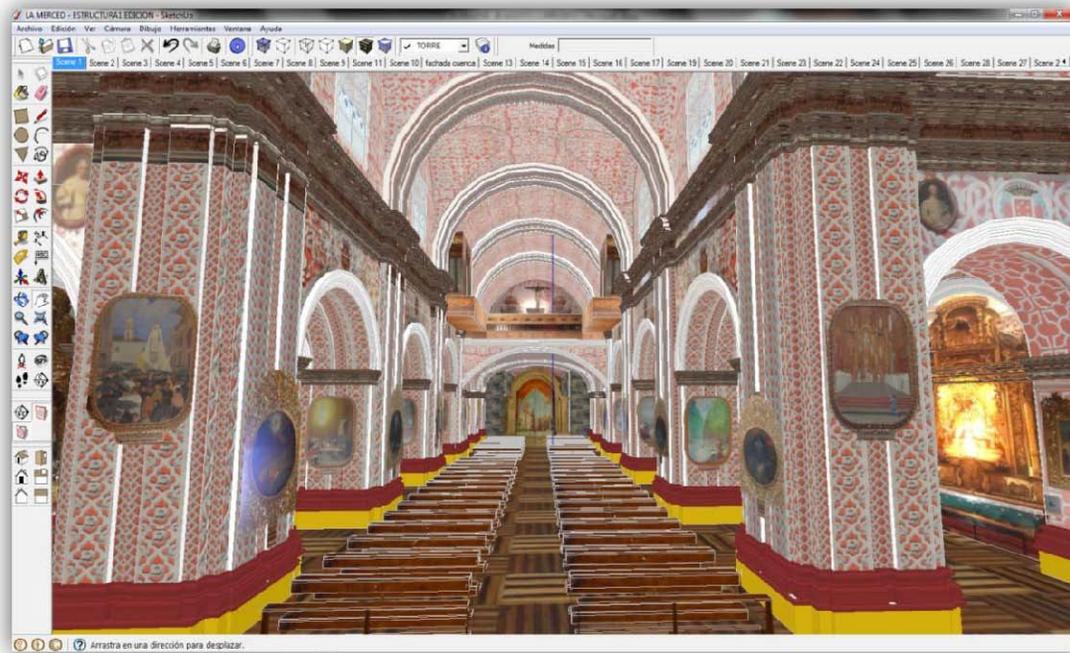
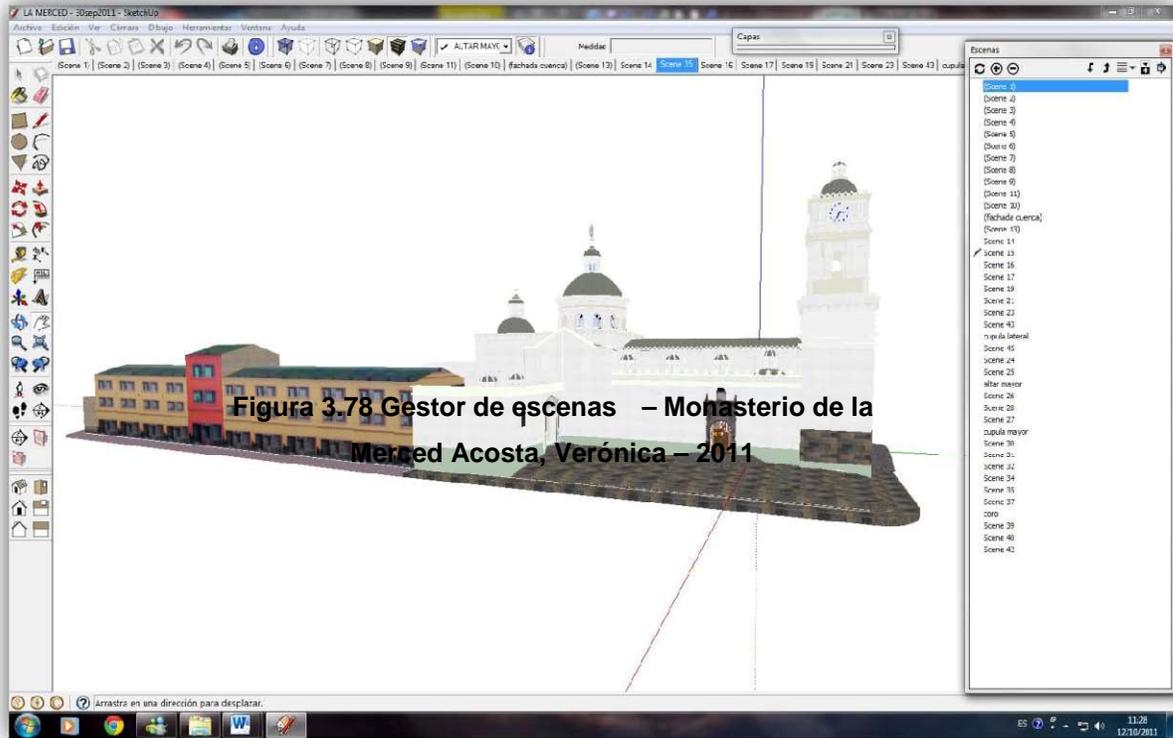


Figura 3.76 Vista desde el Altar Mayor – “Iglesia de la Merced”
Acosta, Verónica – 2011
Acosta, Verónica – 2011

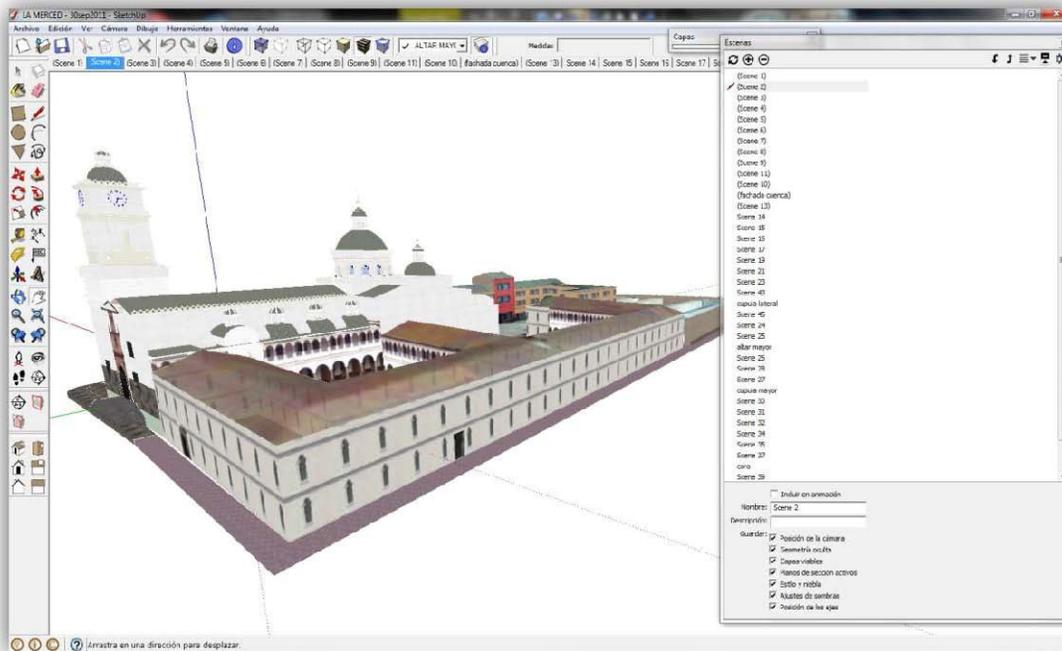
3.1.6 Generación de Ambientes Virtuales

La creación de ambientes virtuales en el Software Libre empleado, como ya se manifestó en el Capítulo II, es la animación de las escenas caracterizadas del modelo.

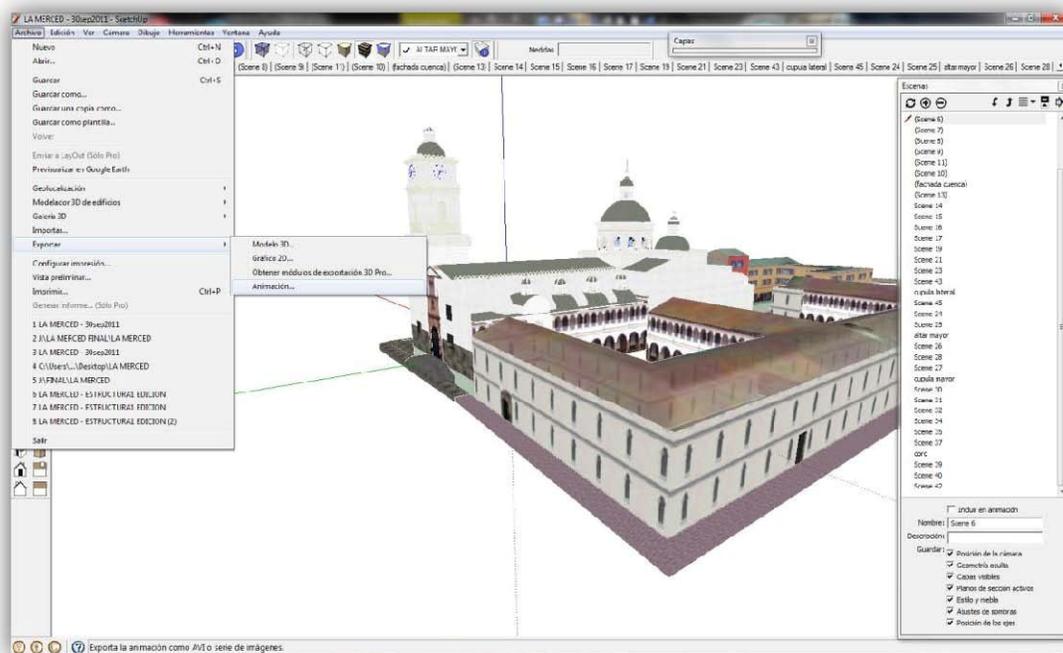


**Figura 3.77 Creación de escenas – Monasterio de la Merced
Acosta, Verónica – 2011
Merced Acosta, Verónica – 2011**

El diseño del ambiente virtual mediante el empleo de procesos fotogramétricos terrestres de corto alcance, del Conjunto Arquitectónico Monasterio -Iglesia de la Merced, se muestra en el Archivo de video en el CD CD.



**Figura 3.78 Gestor de escenas – Monasterio de la Merced
Acosta, Verónica – 2011**



**Figura 3.79 Exportación de Animación – Monasterio de la Merced
Acosta, Verónica – 2011**

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

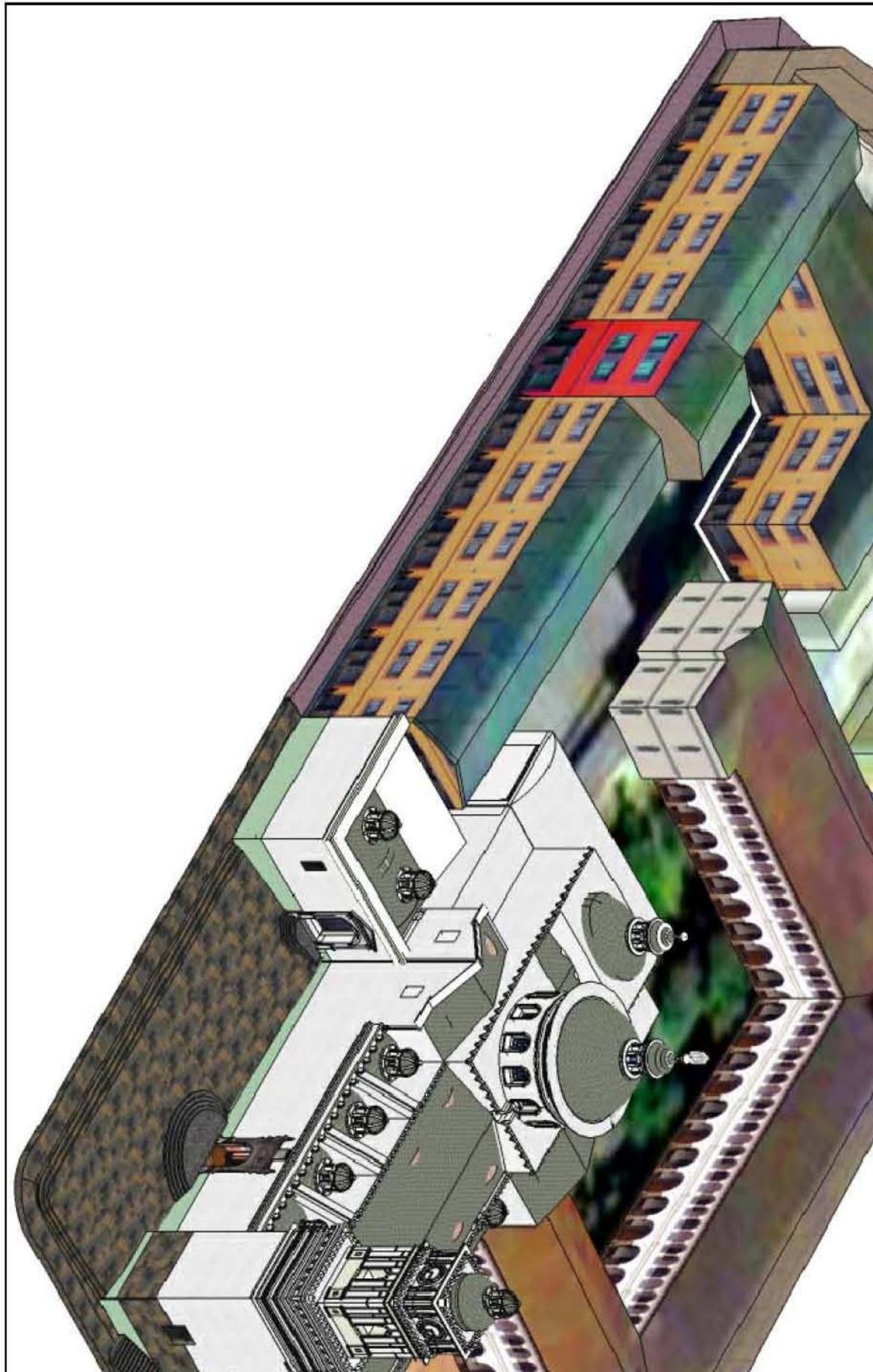
- Al realizar el levantamiento fotogramétrico del Conjunto Arquitectónico se tuvo que generar un cronograma de toma de fotografías debido a la dependencia absoluta de la hora del día por la incidencia de luz solar, así como también del clima; además se realizaron diferentes ediciones a la base fotográfica para obtener resultados que simulen la realidad en cuanto a tonos y saturaciones de color en un solo ambiente cerrado que cuenta con luz eléctrica específica y directa para cada escultura y retablo.
- Para la relevancia de las unidades arquitectónicas de fachadas y cortes longitudinales y transversales del Conjunto Arquitectónico se realizó una categorización en base a la complejidad de las mediciones en campo debido a que una vez diagnosticada la información base que el FONSAL proporcionó para la ejecución del proyecto, se verificó que dicha información no describía la exactitud y el nivel de detalle que se requería para el diseño del ambiente virtual.
- El modelamiento tridimensional del Conjunto Arquitectónico en el Software libre Sketchup, se efectuó de manera secuencial en base a la categorización de elementos tanto internos como externos, generando el levantamiento estructural.
- La simulación de los ambientes virtuales del Conjunto Arquitectónico, para: recorridos turísticos, intervenciones arquitectónicas, cambios de uso y puesta en valor de las edificaciones tuvo como objetivo principal la

aplicación multidisciplinaria entre funciones y usos, debido a que el avance tecnológico permite sin lugar a duda realizar aplicaciones que relacionan tanto el área técnica profesional como social, la ejecución de este proyecto tuvo como finalidad la intervención en una pequeña parte de la riqueza cultural de nuestro país.

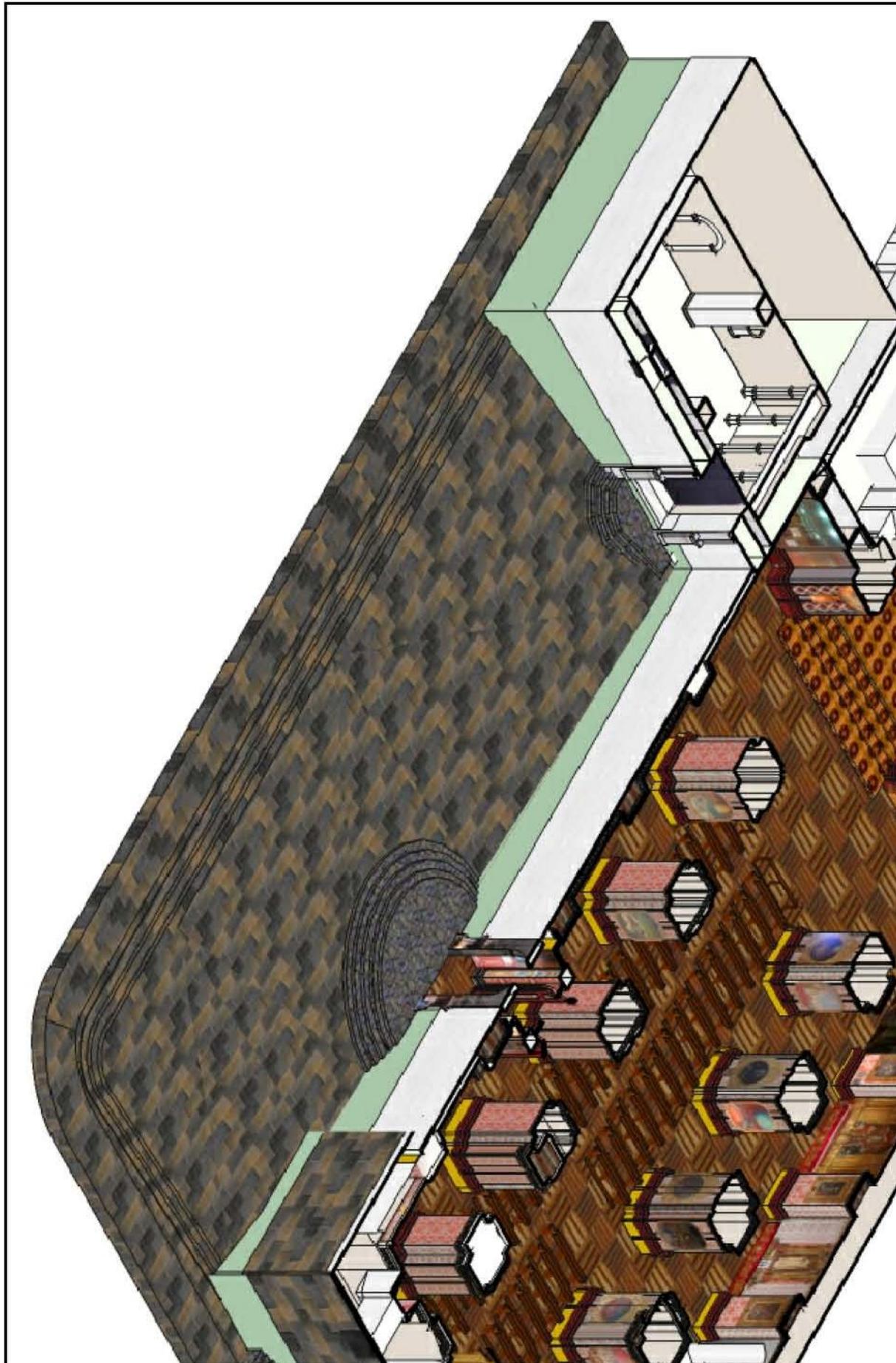
4.2 RECOMENDACIONES

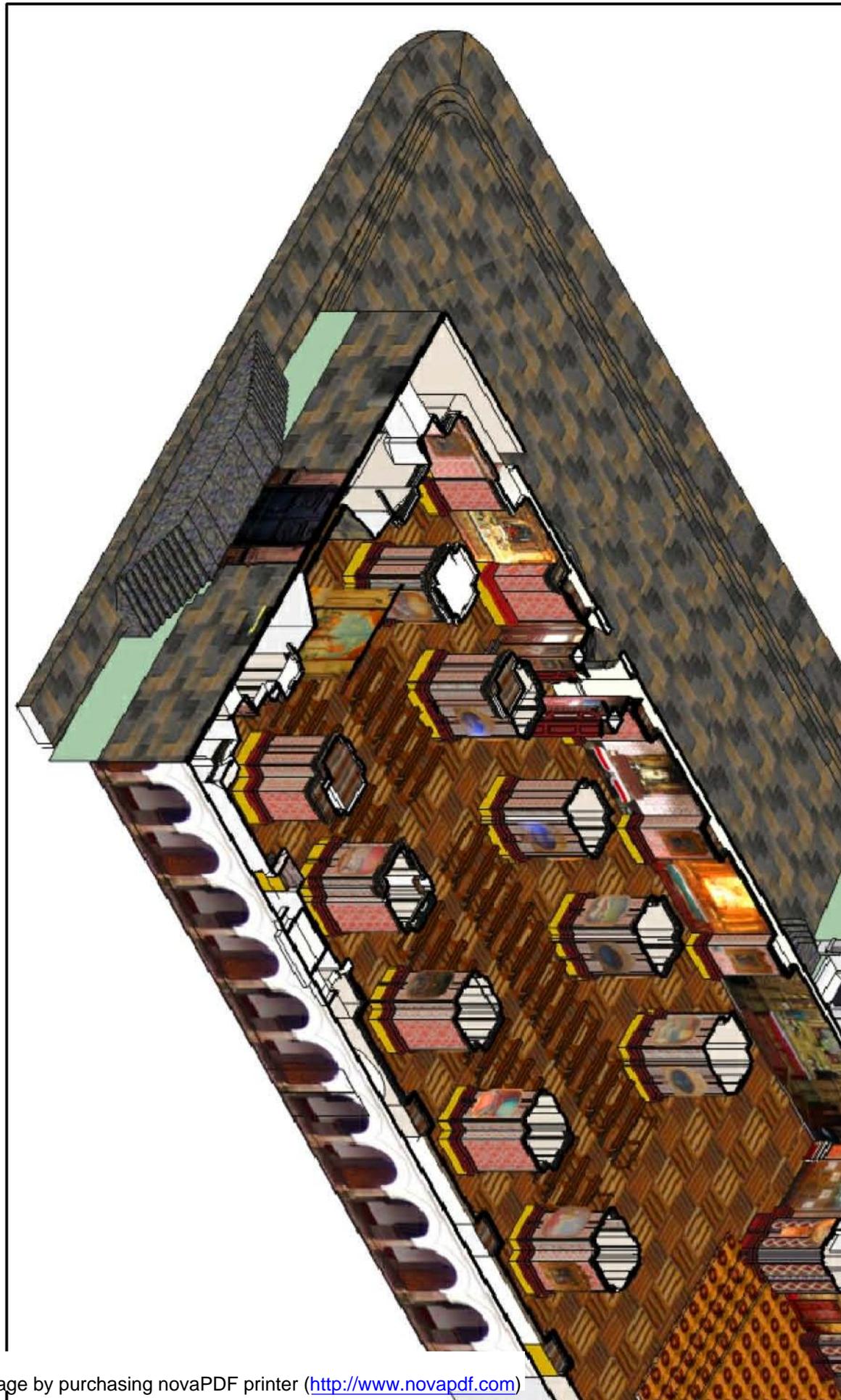
- Para realizar un levantamiento fotogramétrico de un Conjunto Arquitectónico completamente cerrado, se recomienda su ejecución en base a secuencias fotográficas programadas con el objetivo de contar con las mismas condiciones de luminosidad en cada imagen.
- Para la edición de fotografías es necesario tener más de una toma por elemento debido al contraste de luz que cada imagen proporciona para obtener nitidez al momento de realizar las medidas correspondientes.
- En el desarrollo de un modelamiento de características detallistas se recomienda el empleo de herramientas que faciliten su elaboración, debido a la cantidad de información que en él se desea plasmar, el Software libre ScketchUp, cuenta con facilidades artísticas en la utilización de fotografías para levantamientos estructurales en 3D.
- Al simular ambientes virtuales se debe tomar en cuenta que mientras más alto sea el nivel de detalle, más complejo será realizar la secuencia de captura de escenas debido a las transiciones que requiere el programa internamente, de manera que se debe sintetizar la información para optimizar los recursos a utilizar.

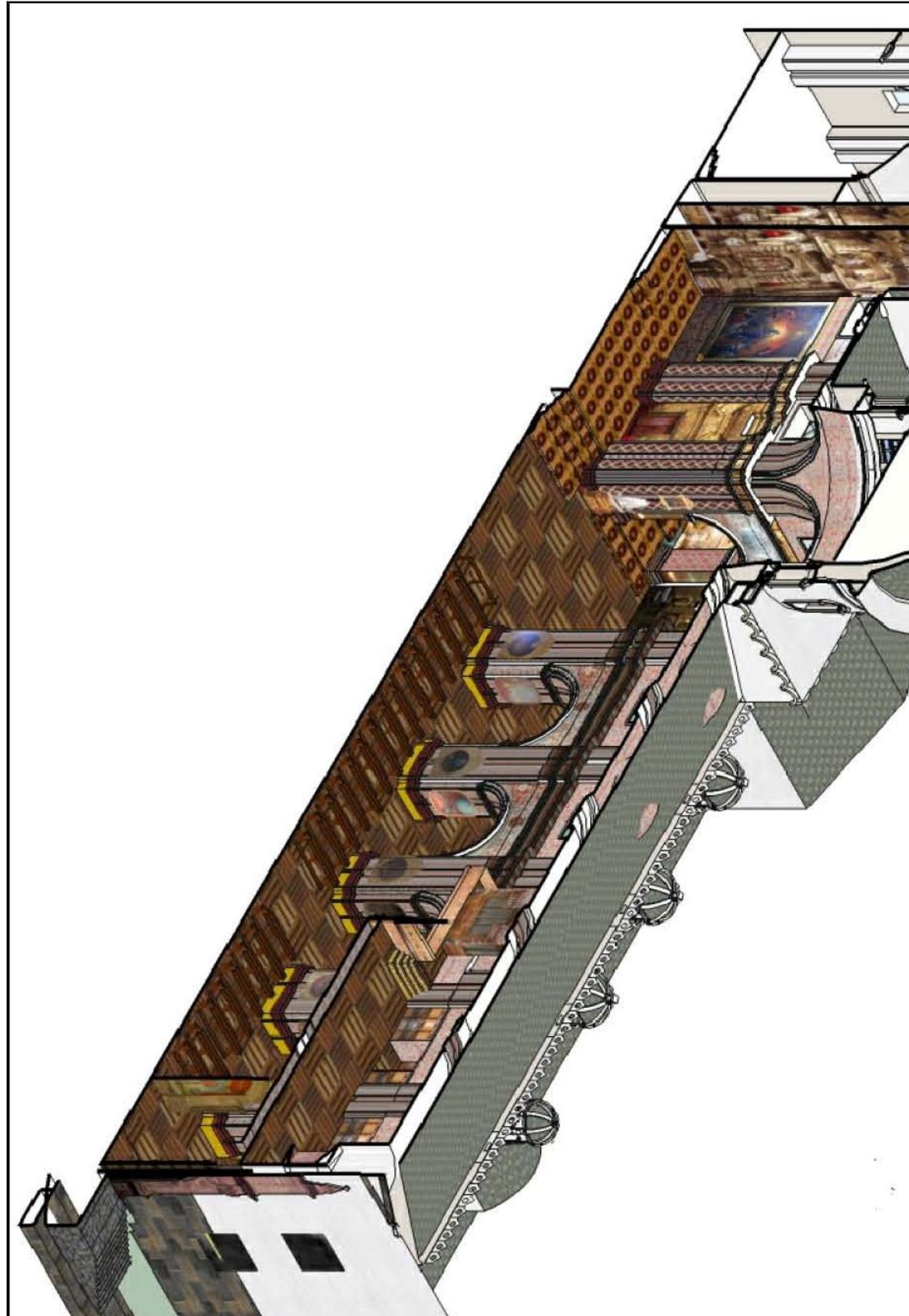
ANEXOS



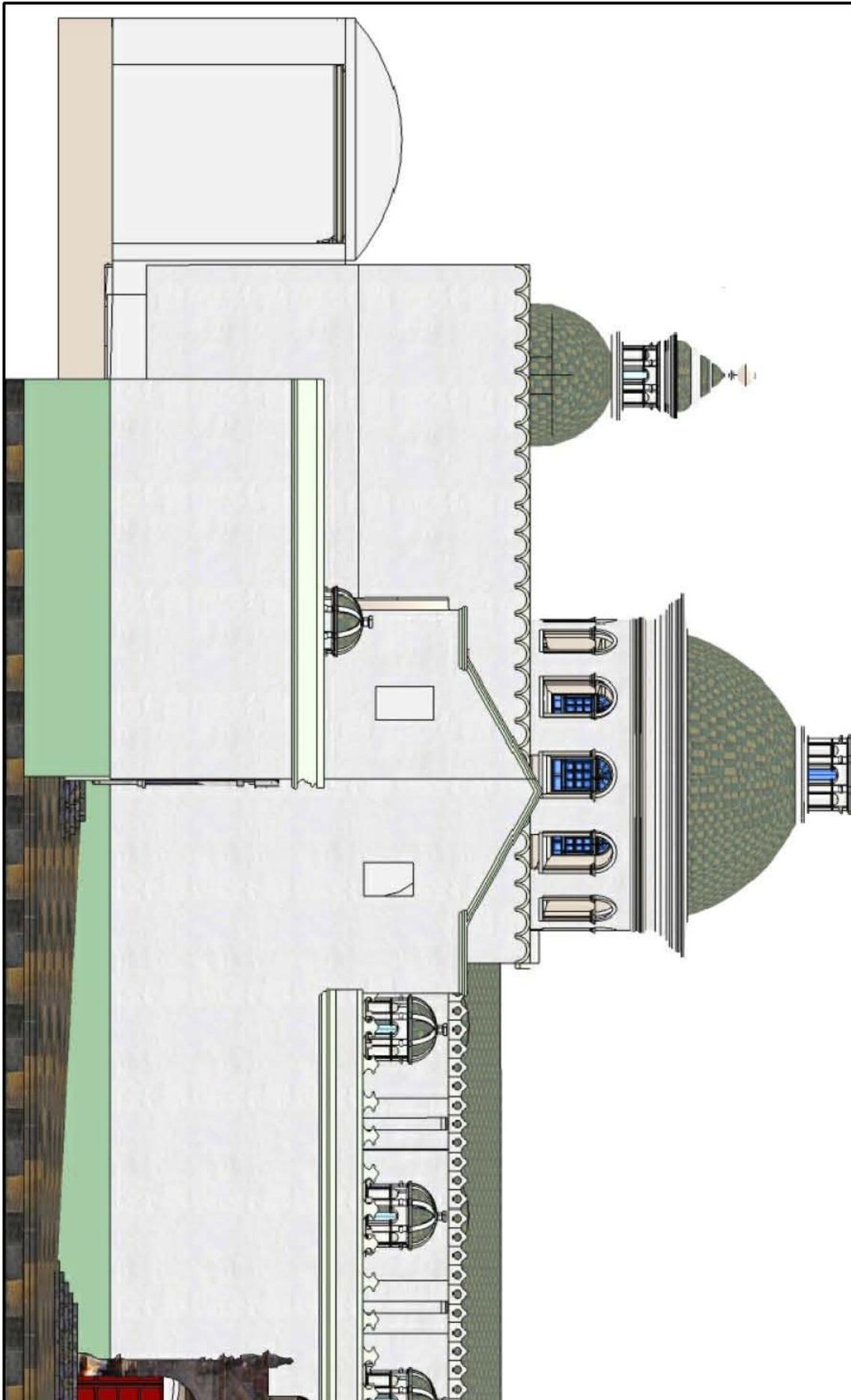


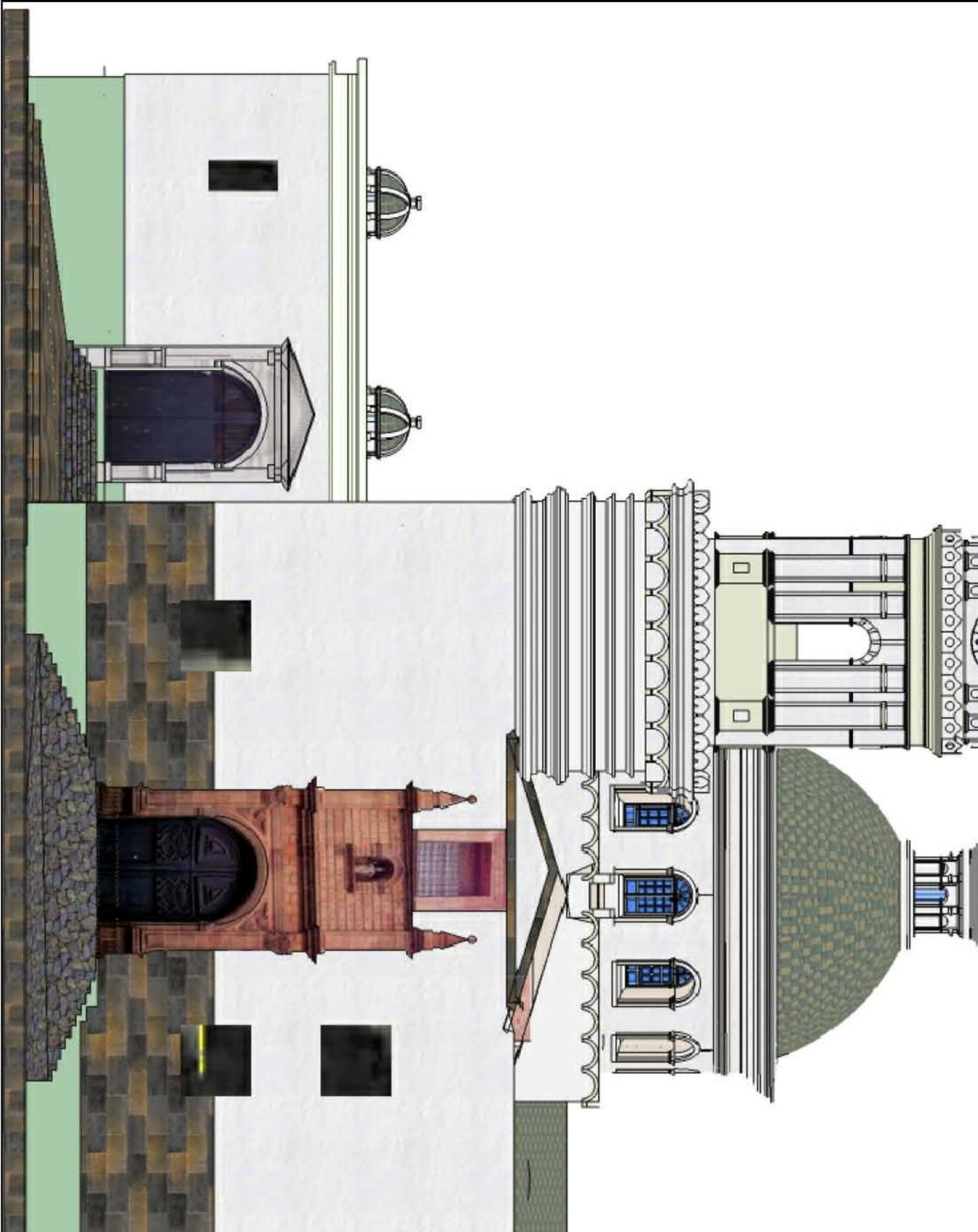


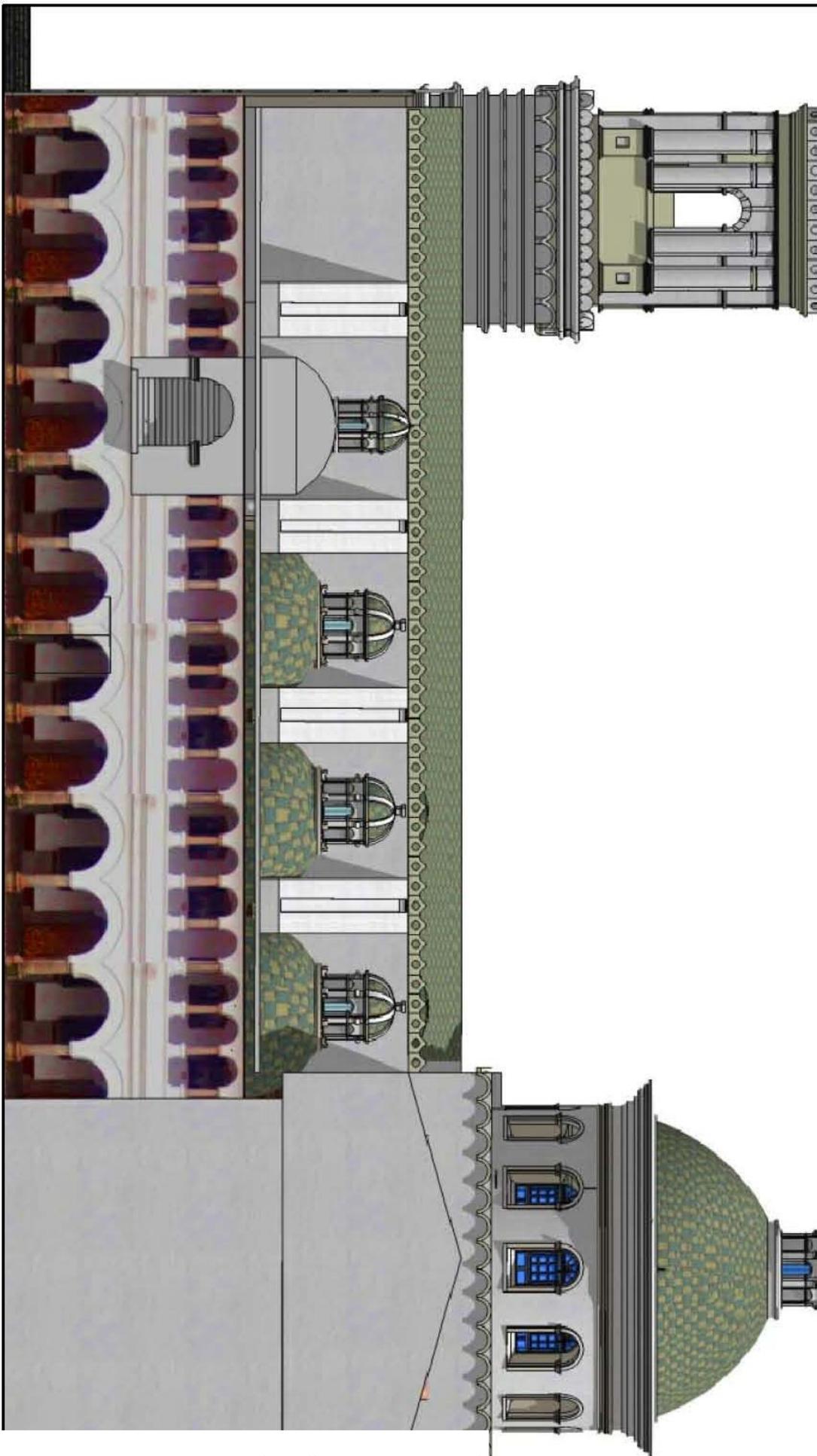


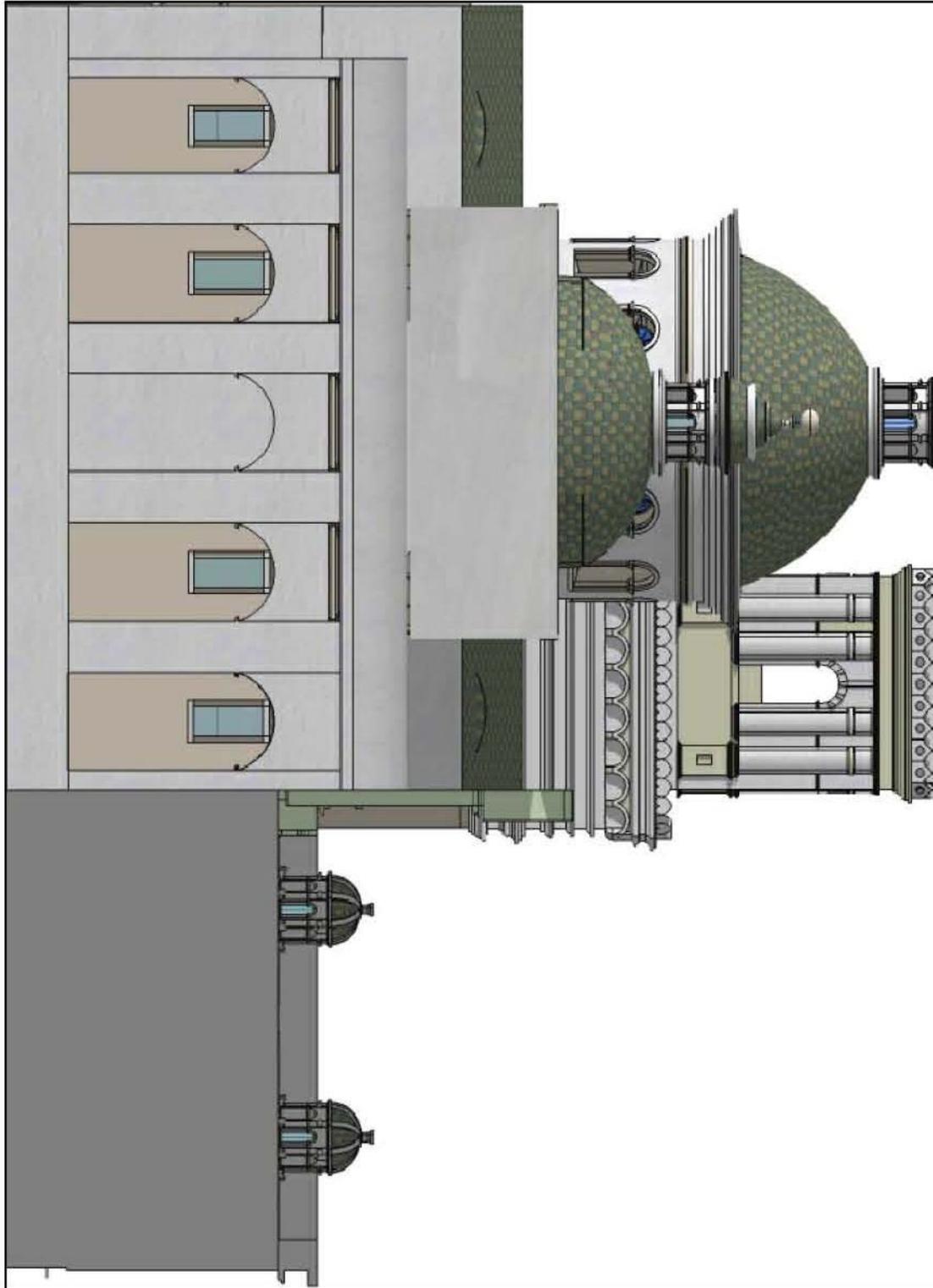












REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albertz, J.; Wiedemann, A. From analogue to digital Close-Range Photogrammetry. En Altan, O. & Gründig, L. 1996. First Turkish-German Joint Geodetic Days, Istanbul Technical University, pp. 245-253.
www.fpk.tu-berlin.de/~albert/lit/lstCR.pdf
- Bohnenstiehl, Kyle .Create Accurate Orthophotos with Softcopy Photogrammetry GISVision Magazine. April 2001.
<http://www.gisvisionmag.com/>
- Bohnenstiehl, Kyle. Photogrammetry Software Review. Purchasing Photogrammetry Software: Wading Through a Sea of Choices. GISVision Magazine. February 2002. <http://www.gisvisionmag.com/>
- Grussenmeyer, P. Hanke, K. Streilein, A. Architectural Photogrammetry. En Kassler, M. y Egels, Y. 2002. Digital Photogrammetry. Taylor & Francis, Londres.
- Grussenmeyer, P.; Drag, P.: 2000. Teaching Architectural Photogrammetry on the web with Arpenteur. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B6. pp 102-109, Amsterdam.
- Grussenmeyer, P.; Koehl, M. 1998. Architectural Photogrammetry with the

Tiphon software towards digital documentation in the field. ISPRS, Vol. XXXII, part 5, pp. 549-556. Japan.

- ⑩ Streilein, A.; Hanke, K.; Grussenmeyer, P. 2000. First Experiences with «Zurich City Hall» Data Set for Architectural Photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part. B5 pp. 772-779. Amsterdam.

- Karara H.K.; Carbonnell M. Manual of Photogrammetry; Chapter XVI pp. 785-847
- Arias, P. 2003. Fotogrametría de objeto cercano por métodos simples. Aplicación al estudio de las construcciones agroindustriales tradicionales. PhD Thesis, University of Vigo, Pontevedra, España. 2003.
- Wiedemann, A. Digital Orthoimages in Architectural Photogrammetry using Digital Surface Models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5, Vienna, Austria, pp.605-609. 1996.
- Krasser, Michel & Egel, Yves. Digital Photogrammetry. 1^a ed. Taylor & Francis, 2002

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

▪ 槐最 ▪ 嫩嫩

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....