

GENERACIÓN DE MODELOS DE REALIDAD VIRTUAL A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS NO CONVENCIONALES

GENERATION OF VIRTUAL REALITY MODELING FROM NON-CONVENTIONAL
PHOTOGRAMMETRIC PROCESS

Fecha de recepción: 29 de julio de 2008 / Fecha de aprobación: 26 de septiembre de 2008

Antonio Hernández Rojas, Evelio Madera Arteaga, Charlixon V. Robles Cruz, Ricardo Saavedra Cotrina

Resumen

En la búsqueda de métodos alternativos de levantamientos topográficos de obras civiles, se hace evidente la necesidad de disminuir los tiempos de recolección de información en campo y aumentar la eficiencia de este tipo de procedimientos. El proyecto de investigación condensado en este artículo detalla la forma de realizar un levantamiento arquitectónico de precisión, mediante la utilización de técnicas de fotogrametría de objeto cercano y la utilización de hardware de bajo costo, como las cámaras digitales fotográficas convencionales, con el fin de evaluar la precisión de este tipo de levantamientos y generar, a partir de procesos de restitución fotogramétrica, un modelo de realidad virtual no inmerso con texturas foto realistas, de fácil acceso y distribución a diferentes tipos de usuarios, mediante navegadores de internet y aplicaciones gratuitas de visualización de los distintos formatos de archivos de realidad virtual.

Palabras clave: realidad virtual, fotogrametría de objeto cercano, renderizado, foto-realismo.

Abstract

In the search of alternative methods of civil work topographical surveys, the need becomes evident to diminish the times of harvesting of information in field and to increase the efficiency of this type of procedures. The research project condensed in this article details the form to realize an architectonic surveying of precision, by means of the use of the techniques of Close Range Photogrammetry and the use of hardware of low cost as conventional digital cameras, with the purpose to evaluate the precision of this type of surveying and to generate from processes of photogrammetric restitution, a not immersed model of virtual reality with photorealistic textures, readily accessible and distribution to different types from users, by means of navigators of Internet and gratuitous applications of visualization of the different file formats from virtual reality.

Key words: Virtual Reality, Non Metric cameras, Close Range Photogrammetry, photorealistic.

1. Introducción

Desde hace varios años en tendencias globales se viene proponiendo la utilización de medios digitales de fácil acceso que permitan economía y calidad en los procesos de fotogrametría terrestre, por

lo que resulta pertinente a la Ingeniería Topográfica profundizar en este tópico para estar al día en conocimiento, tecnología y aplicaciones que abran nuevos campos de estudio, con los cuales se puedan desarrollar nuevas metodologías de trabajo, para la recolección y procesamiento de datos.

Por tal razón, la presente investigación, en un primer aspecto, busca recolectar, proponer y evaluar las metodologías para la calibración de cámaras digitales no métricas con zoom y foco variable, a partir de los requerimientos de escala-precisión del proyecto en el que son utilizadas, y de igual forma, se emplearán en la creación de modelos de realidad virtual encaminados a la exploración en plataformas como Internet.

Para el desarrollo de este proyecto se emplearon varias técnicas como la Topografía, la Fotogrametría y la Programación, que acompañadas de ciencias como la Matemática, la Física y la Estadística garantizaron el adecuado desarrollo de todos los procesos, asegurando de esta manera que los resultados obtenidos cumplieran con los requerimientos técnicos exigidos.

Para esta aplicación concreta, se tomó como caso de estudio el levantamiento fotogramétrico de la sede de la Facultad del Medio Ambiente (Vivero) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en la ciudad de Bogotá.

Inicialmente, se seleccionaron los puntos de control para las orientaciones y georreferenciación y mediante métodos topográficos de precisión se determinaron coordenadas reales, posteriormente se realizó la calibración de la cámara que lo requería por no ser fotogramétrica, para luego hacer la toma de fotografías de los tres edificios principales que componen esta entidad educativa.

Se realizaron los procesos de orientación y captura, en tres grupos de trabajo para optimizar los rendimientos, se evaluaron los errores en las orientaciones, se realizaron los ajustes necesarios para garantizar la precisión, después de lo cual se siguió con el proceso de generación de superficies y la asignación de texturas a cada una de ellas por medio de foto realismo y color. La etapa final consistió en la exportación de los archivos 3D renderizados a diferentes formatos de realidad virtual, modificando en ellos sus códigos para su visualización.

2. Modelos de realidad virtual

El tema de modelos de realidad virtual está liderado en la actualidad por empresas japonesas que han

sido pioneras en el desarrollo e implementación de esta tecnología y la generación de normas para la estandarización de formatos de modelamiento y visualización para aplicaciones convencionales y geográficas (www.3dc.gr.jp).

Para la implementación de modelos de realidad virtual con propósitos geográficos existen tres formatos de realidad virtual, GeoVRML 1.0, GeoVRML 1.1, GeoVRML 2.0, en los cuales existe la posibilidad de trabajar con mayores precisiones que en el formato convencional en el que se trabajan estos modelos como son VRML 1 y VRML 2.0, porque permiten incluir sistemas y marcos de referencia geográficos, dátum y proyecciones cartográficas de diferente tipo.

La visualización de estos archivos se realiza mediante plug-ins, que se integran a los navegadores de Internet como Explorer, Netscape y Mozilla, lo cual los habilita para desplegar archivos de tipo VRML (Virtual Reality Modeling Language) e integra herramientas para la navegación de un mundo tridimensional (3D). Entre los plug-ins de visualización de mundos VRML más divulgados, se pueden nombrar CORTONA de Parallelgraphics, COSMOPLAYER de Computer Associates International y MS VRML VIEWER de Microsoft.

3. Objetivo

Estructurar y generar modelos en formatos de realidad virtual en plataformas de uso masivo como Internet a partir de fotogrametría terrestre de rango cercano con cámaras digitales no métricas.

4. Metodología

En primera instancia se determinó un flujo de trabajo que permitiera limitar y visualizar las etapas necesarias en la evolución del ejercicio (figura 1), simplificar los procedimientos y proponer una metodología para la elaboración de un proyecto de Fotogrametría de objeto cercano y mundos de realidad virtual ajustado a nuestro objetivo y recursos disponibles.

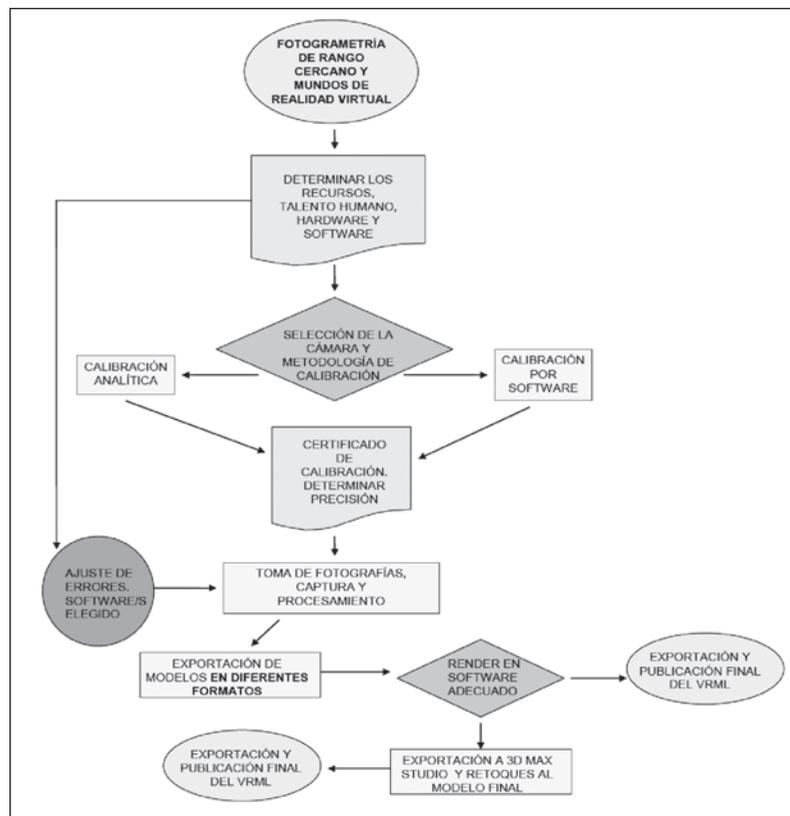


Figura 1. Flujo de trabajo.

5. Recursos

Los recursos utilizados en el desarrollo del proyecto se dividen en tres tipos, programas específicos de aplicaciones, equipos y el recurso humano. De los primeros se utilizaron licencias educativas de los programas Photomodeler 5, Matlab, Autocad, 3D Max Estudio, Virtuozo y Windows.

En cuanto a equipos se trabajó con una cámara semiprofesional digital Canon EOS 20D de 8.2 megapíxeles, sensor CMOS de 22.5 x 15.0mm (www.canon.co.uk). Otro tipo de equipo fueron las estaciones fotogramétricas del laboratorio de Cartografía Automatizada de la sede el Vivero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, las cuales están equipadas con una configuración de hardware apropiada para el despliegue, tratamiento y edición de grandes volúmenes de información ráster, que fueron utilizadas en la calibración, orientación, ajustes, generación de modelos tridimensionales, renderización, exportación

y edición de los diferentes modelos resultantes de este proyecto.

6. Métodos de calibración

Para la calibración de la cámara digital se utilizó el programa Photomodeler mediante dos métodos internos que se emplearon con rigurosidad, el de campo de calibración con grilla y el de resección. La finalidad de esta calibración es conocer los parámetros de la cámara digital como la distancia focal real, punto principal, tamaño del formato, distorsión de la lente, etc. (www.photomodeler.com).

6.1. Campo de calibración con grilla

consiste en un espacio con condiciones ideales de luz, profundidad, libertad de movimiento y libre de obstáculos. La grilla (figura 2) es un dibujo con 100 puntos, que le permiten reconocer al programa unas distancias bases, unas marcas identificables (96 marcas) y cuatro puntos de control.

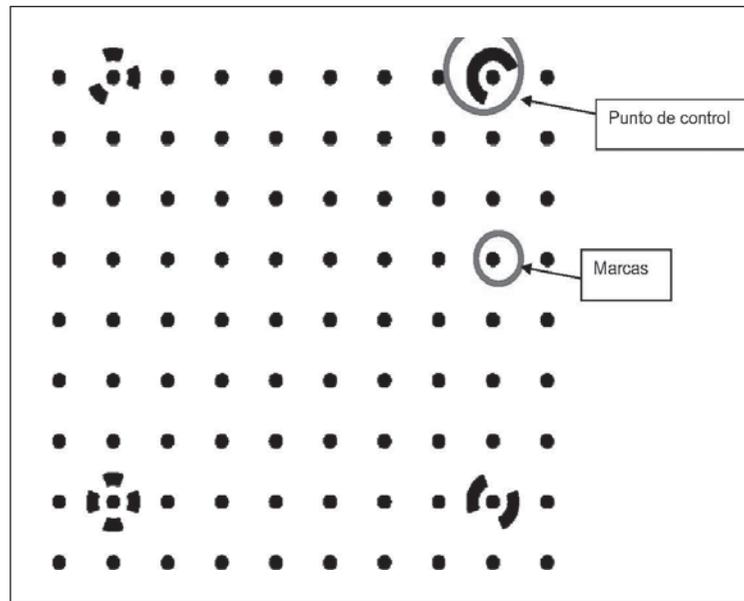


Figura 2. Grilla de calibración estándar.

Para la calibración de la cámara no es obligatoria la utilización de la grilla provista por la casa fabricante del software Photomodeler, el usuario puede diseñar sus propias grillas de calibración, siempre y cuando conserve una relación en la distancia de separación entre los puntos de control (figura 3), la cual está determinada por el algoritmo de calibración provisto por el software. En el proyecto se utilizaron dos tamaños de grilla: tamaño carta y formato A0.

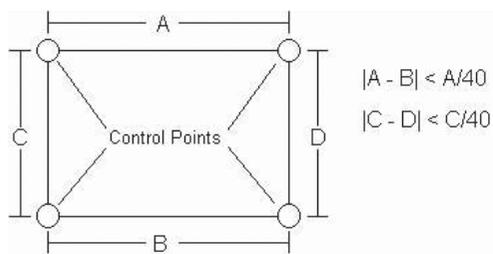


Figura 3. Relación de los puntos de la grilla de calibración.

La calibración de la cámara se realizó para una distancia focal de 18mm, puesto que con ella es posible conseguir una gran cobertura del área a fotografiar, con distancias relativamente cortas a los objetos porque cuando se emplea la distancia focal

de 55 mm se necesita una distancia superior a 3 metros.

Otro factor que se considera en este proceso es la textura de la superficie sobre la cual se ubica la grilla. En ciertos casos las manchas o colores se confunden con las marcas de la grilla, esto se puede controlar con la modificación de ciertos parámetros del programa. Finalmente se dispuso una superficie de un solo color, blanco, para evitar estos efectos, y se realizaron 8 tomas desde diferentes ángulos (90° de rotación en el eje horizontal y vertical de la cámara), siguiendo las recomendaciones procedimentales del programa.

Para confrontar los resultados de la calibración realizada con el programa y verificar su veracidad se hicieron una serie de mediciones en la construcción denominada Germinación de la Facultad del Medio Ambiente, la cual tiene unas dimensiones de 17 m de largo por 8 m de ancho (figura 4).

Se tomaron las fotografías al laboratorio y se realizó el procesamiento en el programa Photomodeler con base en las medidas tomadas en forma directa, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 1 que comparan las medidas sobre los datos calculados y las medidas reales.



Figura 4. Fotografía tomada al laboratorio Geminación.

Tabla 1. Comparación de datos capturados y reales.

Descripción	Medición en captura en metros	Medida real en metros
V1	1.041	1.040
V2	0.740	0.740
P1	2.200	2.200
C1	2.465	2.466

6.2. Calibración por resección

Este método también es llamado de cámara inversa y busca determinar los parámetros de la cámara digital, especialmente la distancia focal, el punto principal y el formato de la cámara, lo cual se realiza a partir de la determinación de coordenadas de mínimo siete puntos de control en campo e identificados en las imágenes.

El lugar seleccionado para la aplicación de este método fue la pared norte del edificio administrativo (figura 5), debido a que ella tiene diferencias de profundidad que sobresalen en ventanas y muros y sobre ella se dibujaron una serie de marcas, a las cuales se les determinaron sus coordenadas X , Y y Z . La posición de estas marcas fue identificada en cada una de las fotografías y se le asignaron las coordenadas correspondientes a cada una de ellas, con lo cual mediante la utilización de un proceso automatizado de Photomodeler fue posible la re-

construcción de la geometría de toma de la cámara fotográfica.

7. Actividades operacionales

Las actividades operacionales que constituyen el levantamiento fotogramétrico en el programa Photomodeler fueron: la adquisición de imágenes, captura de puntos, referenciación, restitución de objetos, ajuste, rotación, escalamiento con puntos de control y generación de superficies.

7.1 Toma de fotografías

La labor de toma de fotografías se planeó y realizó de tal forma que un punto sobre el área fotografiada aparezca como mínimo en tres imágenes diferentes separadas por ángulo de toma, entre las posiciones de cámara y dicho punto, que garanticen la conexión entre fotografías para la posterior modelación del objeto (figura 6).



Figura 5. Campo de calibración para el método de resección.

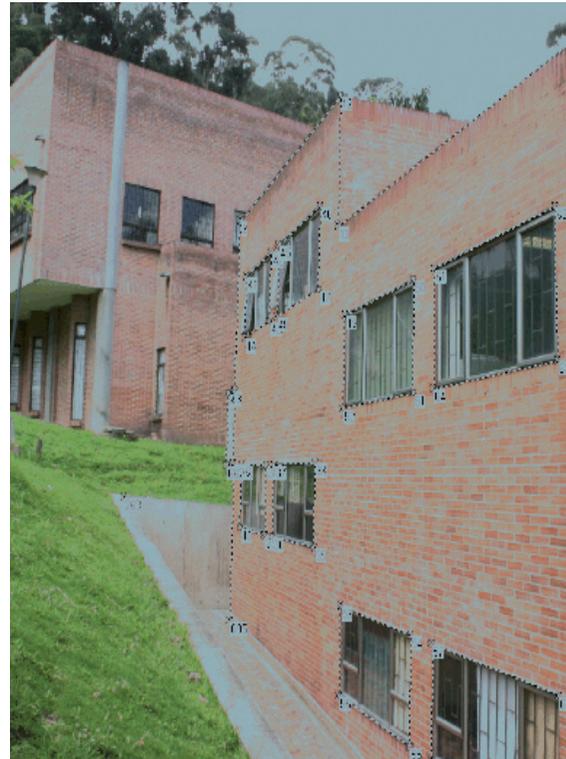


Figura 7. Puntos capturados e identificadores.

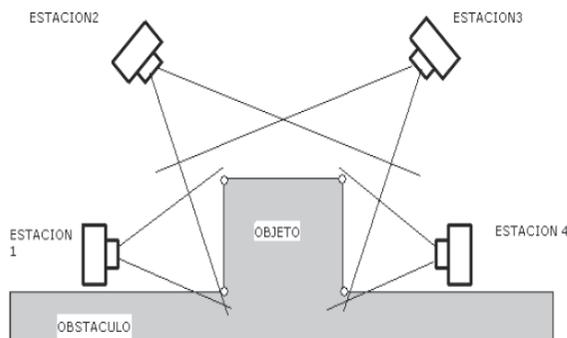


Figura 6. Distribución ideal de toma fotográfica al objeto.

7.2. Captura de puntos

Realizada la creación del proyecto en el programa de captura, configurando los parámetros ideales y cargando los archivos de calibración (.cam), se digitalizan las caras o lados de cada edificio siguiendo un orden de captura en sentido horario (figura 7), señalando que en el trabajo no solo se capturaron las formas de los edificios, sino también detalles como ventanas, escaleras y superficies con más de 5 cm de profundidad.

7.3 Referenciación

Para iniciar el proceso de referenciación se hace la identificación de puntos mediante un número entero único, con el cual se nombra la posición de estos en las demás fotografías donde aparezcan, este procedimiento se realizó para todas las demás imágenes que comprenden el proyecto. Ya localizados e identificados todos los puntos se ejecutó en el programa el proceso referenciación (similar al proceso de triangulación en fotogrametría convencional), evaluando los resultados de este proceso mediante el cálculo estadístico de error medio cuadrático (RMS).

7.4 Restitución

Es conveniente señalar que al mismo tiempo que se realiza el proceso de referenciación se va haciendo la restitución o el delineamiento de los objetos que comprenden la información del proyecto, en este caso los edificios y sus detalles, como se observa en la figura 8.

7.5 Ajuste

Para garantizar la precisión del ajuste final, se analizó la referenciación mediante las estadísticas de cada uno de los puntos del modelo tridimensional, para corregir la posición de los que excedían el error medio cuadrático aceptable para el proyecto (menor a un pixel). Luego de realizar este proceso y corroborar que la posición de cada punto era la misma en cada una de las fotografías, se ejecutó el ajuste final, hasta lograr que más del 95% de los puntos del modelo cumplieran con el parámetro de error medio cuadrático definido para el proyecto.

7.6 Rotación y escalamiento

En esta etapa del proyecto se escala y orienta el modelo tridimensional a las dimensiones y posición de este en la realidad, partiendo de puntos de control tridimensionales referidos a un sistema de proyección específico, los cuales son identificados como puntos en la fotografía y a los cuales se les asignan coordenadas reales.

Para el caso de estudio en particular, se utilizaron 12 puntos de control tomados en campo con apoyo de una estación topográfica Trimble 3600, a los cuales se les determinó la posición verdadera referida a la proyección cartesiana de la ciudad de Bogotá, mediante un levantamiento de precisión topográfica.

7.7 Generación de superficies o renderizado

En esta etapa se debe tener en cuenta la posición y calidad de las escenas registradas en formato digital, para definir la representación de las superficies de los edificios, que se puede hacer por:

- Superficies por color: esta técnica busca que a los objetos se les asigne un patrón de color definido por el usuario. Es el más adecuado en tomas realizadas en espacios reducidos, fotos con ángulos inferiores a 30 ° y con grandes obstáculos. La asignación de color que se asigna al modelo debe ser lo más acorde con el color de la superficie real (figura 8).
- Superficies foto-realistas: el patrón foto-realista es la textura que corresponde a una superficie real, asignada mediante fotografías a la representación de esta superficie en un modelo bidimensional o tridimensional, con lo cual se obtiene un mayor grado de realismo en dicha representación. Esta técnica es más llamativa y proporciona un acercamiento más real al objeto, pero presenta problemas en el manejo de los archivos en cuanto a tamaño, tiempo de procesamiento y los obstáculos que aparecen en la fotografía (figura 9).

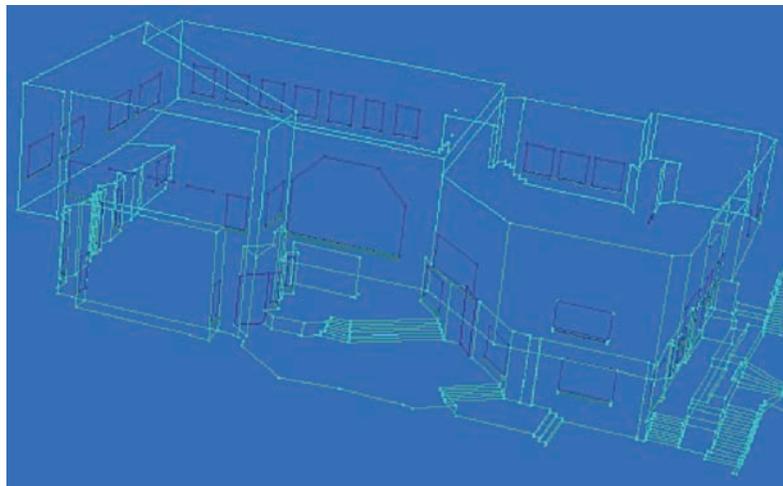


Figura 8. Restitución de los edificios.

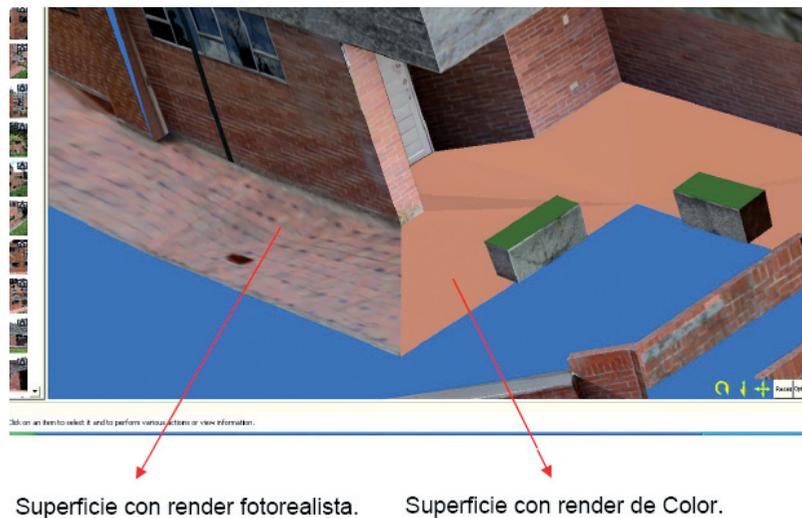


Figura 9. Diferencia entre renderizado en color y foto-realista.

7.8 Exportación de modelos

La exportación de archivos se convierte en la culminación de los procesos de captura y procesamiento de la información, pero, así mismo, es la parte más delicada y exigente del proceso. Dependiendo de la escena a exportar las computadoras o estaciones de trabajo marcan los tiempos y resultados finales. Para esta aplicación se definió el estándar o formato de exportación como VRML97, sin perjuicio de manejar el aspecto geoespacial, lo cual se explica más adelante.

8. Análisis de resultados

Teniendo en cuenta la finalidad y objetivos del proyecto, los resultados son analizados desde los siguientes aspectos:

Precisión: la precisión general del proyecto se puede enmarcar en el contexto de una aplicación fotogramétrica de rango cercano, pues a pesar de contar con una cámara digital semiprofesional y una calibración por software compleja, se obtuvieron precisiones superiores a 1:3000, como se comprobó con el laboratorio Germinación, al encontrarse errores no superiores a 5mm en un objeto ubicado a aproximadamente 15 metros de distancia desde el lugar de toma y sin utilizar marcas, clasificándolo según la bibliografía de Photomodeler como precisión alta.

Para el caso de los tres edificios se puede catalogar como un levantamiento arquitectónico de baja precisión, entre 1:500 y 1:1000, pues debido a la carencia de marcas o target, que mejoraran la visualización e identificación de puntos en la foto, la reflectividad sobre las paredes del edificio, las distancias al objeto, el ángulo de tomas en edificios altos y las condiciones climáticas, generaron errores de 1 a 5 centímetros con distancias al objeto de hasta 70 metros.

Tiempo: los tiempos de producción versus productos obtenidos pueden disminuir cerca de un 50% si se considera que el trabajo de campo en un levantamiento normal y/o arquitectónico es mucho mayor que un levantamiento con fotogrametría de objeto cercano, además, el rendimiento del trabajo de oficina es determinado por la habilidad del operador. Sin embargo, existió un llamado “cuello de botella” en los tiempos de ejecución del procesamiento, ajuste y renderizado, puesto que no solo importa el tamaño específico de las imágenes, que va acorde con la resolución en mega píxeles de la cámara, sino también las especificaciones propias de la estación de trabajo que procesa la información, las cuales no eran las óptimas.

Calidad: gracias a las características de la cámara digital fotográfica con la que se trabajó (Canon EOS 20D), la calidad de las imágenes fue

muy buena. En los modelos generados al final de este trabajo, se observa que la vista del renderizado foto-realista es muy apropiado para las características de la investigación, a esto se le debe incluir un análisis de las rutinas de procesamiento de los

software manejados, puesto que en algunos casos se requieren disminuir el tamaño de archivo y la velocidad de despliegue de los modelos de realidad virtual. Ver ejemplos en figuras 10, 11 y 12.



Figura 10. Diferencia visual entre diferentes técnicas de renderizado.



Figura 11. Vista del modelo VRML donde se ven los tres edificios principales de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, de la Universidad Distrital.



Figura 12. Vista desde tierra del modelo de realidad virtual del edificio Natura 2000.

9. Conclusiones

- Al iniciar una investigación de este tipo se debe definir claramente la aplicación en que se va a utilizar el producto final, para tener facilidad en la escogencia de las metodologías y procesos a utilizar, para garantizar un buen resultado y evitar la realización de procedimientos innecesarios o muy complejos, para el buen desarrollo del proyecto.
- Se puede concluir que la aplicación de un proceso de calibración de cámara digital de forma analítica no es necesario, si el fin del trabajo no amerita altas precisiones, bien sea debido a la escala del proyecto o si su propósito es la investigación para la evaluación de nuevos métodos de calibración automatizadas.
- Uno de los pasos importantes para la obtención de buenos resultados para un proyecto de este tipo es la óptima distribución geométrica de las tomas, con un diseño que sea en lo posible acorde con los objetivos del mismo para evitar inconvenientes en el momento del procesamiento de la información, como tener que realizar tomas posteriores para lograr recubrimientos en zonas ciegas o con geometría difícil.
- Las tomas fotográficas se deben realizar por personas que tengan conocimiento del tipo de trabajo que se va a ejecutar, porque deben ser conscientes de los posibles problemas que presentan en la fase de procesamiento, además de conocer el funcionamiento de la cámara y de técnicas fotográficas.
- El proceso de referenciación se debe realizar con gran cuidado, puesto que suelen cometerse errores debidos al sentido de ubicación espacial que se requiere para distinguir la misma estructura y detalles con diferentes perspectivas en diferentes fotografías. Los errores en esta etapa generan incoherencias en el ajuste, integración y visualización de los modelos y un aumento en el tiempo de procesamiento, que al final conduce a una revisión minuciosa de todos los vértices capturados en cada una de las fotografías.
- Al realizar las exportaciones a los diversos formatos (VRML, DXF, 3DMax, etc.) es necesario definir el tipo de objetos que van a ser exportados, para evitar de esta manera la inclusión de información basura o ruido en el producto final. Un punto clave durante la exportación es el tamaño de los archivos generados, especialmente los que soportan la inclusión de superficies renderizadas, debido al tiempo que se requiere para realizar esta operación, lo cual depende de la calidad en las imágenes de salida. Al hacer esto también puede verse afectado el rendimiento de la estación de trabajo en el momento del despliegue del modelo, especialmente cuando se hace el renderizado en fotorealismo.

- Tener modelos en un formato VRML ofrece una serie de ventajas para los usuarios de este tipo de aplicaciones, como la posibilidad de exploración y reconocimiento previo de un determinado espacio, antes de decidirse a visitarlo, de esta forma se podrían evitar inconvenientes de desorientación y por consiguiente pérdida de tiempo en su desplazamiento.
- En cuanto al propietario de la aplicación, este se beneficia, puesto que además de poder mostrar sus instalaciones a posibles clientes, sin necesidad de hacer ninguna inversión en transporte, puede actualizar con mucha facilidad los cambios que se presenten en su espacio físico, mediante la edición del archivo VRML existente o bien, realizando un nuevo modelos de las áreas modificadas, para luego enlazarlo con un modelo ya creado.

Referencias bibliográficas

- [1] Slama, Ch. (1980). Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry.
- [2] Atkinson, K.B. (1997). Close range photogrammetry and machine vision.
- [3] Brown, D.C. (1971). Close range camera calibration, Photogrammetry Engineering.
- [4] Kraus, Karl (1997). Photogrammetry Volume 2 Advanced methods and applications.
- [5] Merchant, D. (1994). Fotogrametría analítica teórica y práctica. Parte 1. Dpto. de ciencias geodésicas y topográficas.
- [6] Unwin, D., Fisher P. (2002). Virtual Reality in Geography, Taylor and Francis. London and New Cork,
- [7] Richards, J. (1999). Remote sensing digital image analysis an introduction. Springer, cop.
- [8] Wolf, P. (1988). Elements of photogrammetry. 2ª edición, Madison. Editorial McGraw-Hill.
- [9] Blachut, T.J (1980). Cartografía y levantamientos urbanos. 1ª edición, México. Editorial Springer-Verlag .

ANTONIO HERNÁNDEZ ROJAS

Ingeniero catastral y geodesta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bogotá. Profesor Asociado de la Universidad Distrital. Correo electrónico: ahernandez@udistrital.edu.co.

EVELIO MADERA ARTEAGA

Ingeniero topográfico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Diplomado en Fotogrametría Digital de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero de soporte de la Universidad Distrital. Correo electrónico: eveliumar@yahoo.es.

CHARLIXON ROBLES CRUZ

Ingeniero topográfico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Jefe de SIG del Consorcio Euroestudios Topoequipos para la elaboración del Mapa Tenencial Chiriquí - Panamá PRONAT - Banco Mundial. Correo electrónico: chalorobles@yahoo.com.

RICARDO SAAVEDRA COTRINA

Ingeniero topográfico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Contratista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia. Correo electrónico: rscotrina@hotmail.com.