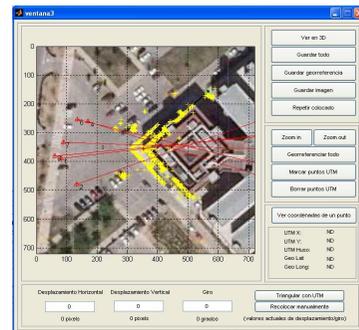


Trabajo Fin de Carrera

Evaluación de una herramienta de reconstrucción de estructura para su aplicación a vídeos tomados desde aviones no tripulados (UAV)



David Núñez Clemente
david.nunez.clemente@gmail.com

Ingeniería de Telecomunicación
Universidad de Alcalá

Área de Sistemas de Observación
Dpto. Observación de la Tierra, Teledetección y Atmósfera
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)



Índice

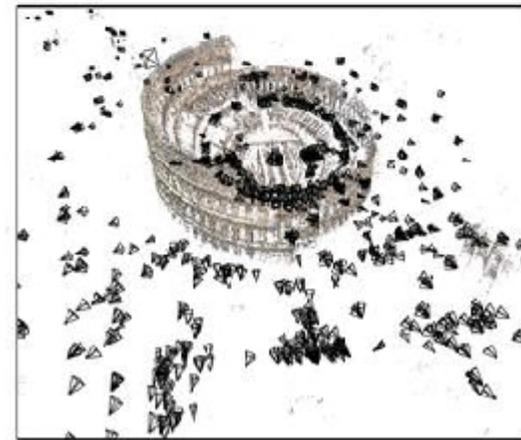
1. Introducción
2. Bundler
3. Orto3D
4. Resultados de reconstrucción
5. Conclusiones
6. Trabajos Futuros
7. Demostración de Orto3D

Introducción

- Objetivos del trabajo
 - Evaluar SW de SfM para aplicarlo a UAVs
 - Usando una aplicación SfM del estado del arte: Bundler
 - Validar y georreferenciar los resultados
 - Desarrollando una aplicación de validación: Orto3D

Bundler

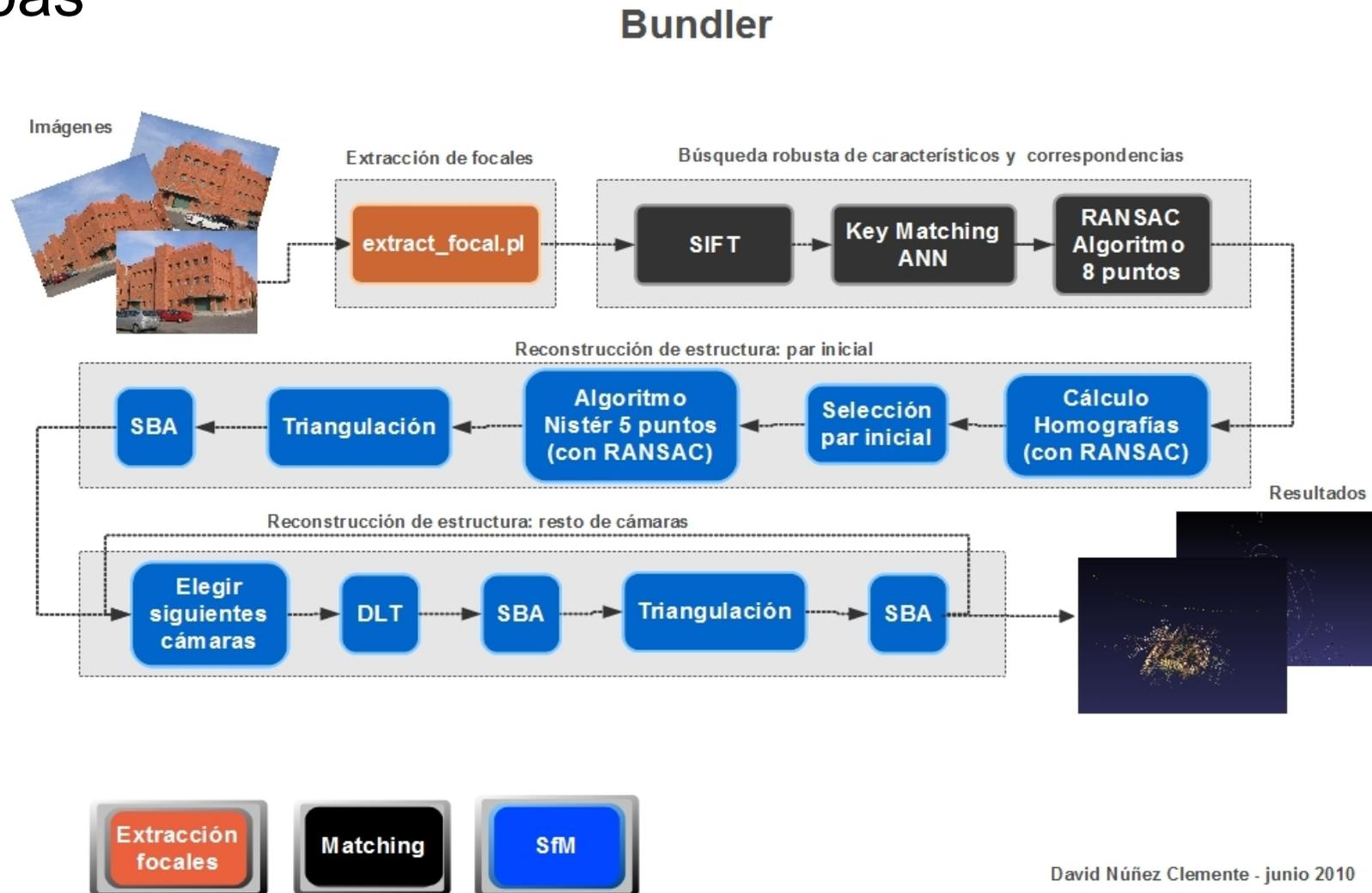
- ¿Qué es Bundler?
 - Software de SfM
 - Código abierto en C/C++
 - Diseñado para reconstruir a partir de imágenes de Internet
 - p.e. De Flickr o Picasa
 - Dividido en etapas



Fuente imágenes: <http://phototour.cs.washington.edu/bundler/>

Bundler

- Etapas



Bundler

- Reconstrucción de estructura
 - Focal primer par
 - Método de Nistér
 - Cámaras calibradas
 - » Focal en la cabecera EXIF
 - » Por defecto $f=532$ píxeles
 - Focal resto cámaras
 - Focal estimada con la DLT
 - Pero también se apoya en la cabecera EXIF

Orto3D

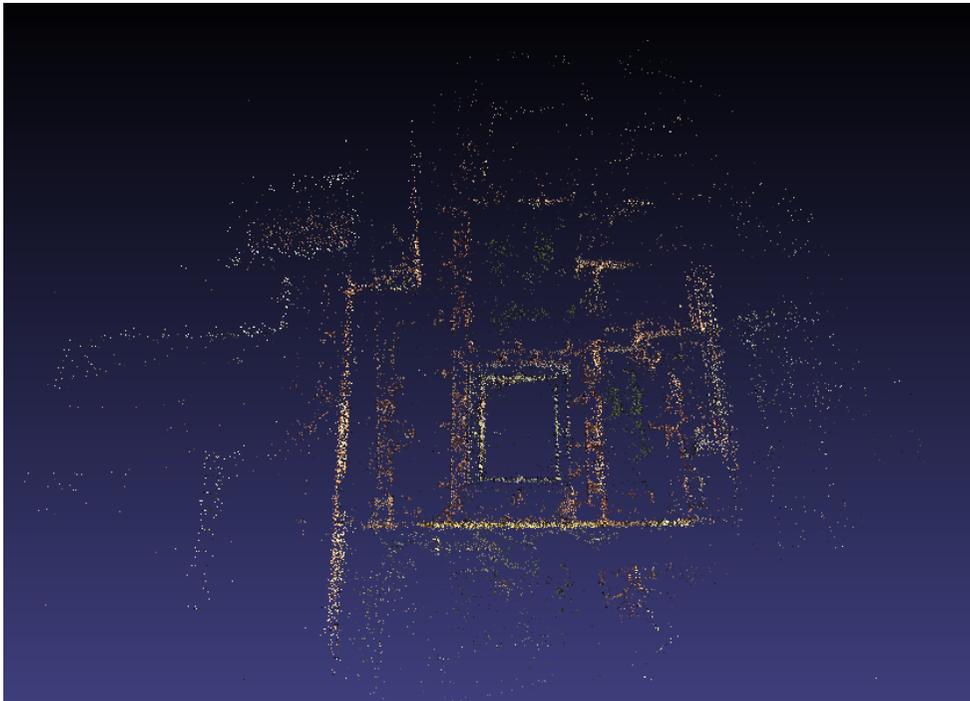
- ¿Qué es?
 - Protipo en Matlab
 - Objetivo:
 - Evaluar escenarios y parámetros de cámaras
 - Funcionalidad
 - Leer datos salida de Bundler
 - Marcar puntos manualmente
 - Georreferenciar reconstrucciones
 - Validar resultados

Orto3D

- Marcado de puntos manuales
 - Usando 3 cámaras
 - Triangulación correspondencias
 - Eje Z o aristas
 - Cuadrilátero
 - Punto XY

Orto3D

- Georreferenciación
 - Fácil con edificios y estructuras (p.e. escenas urbanas)



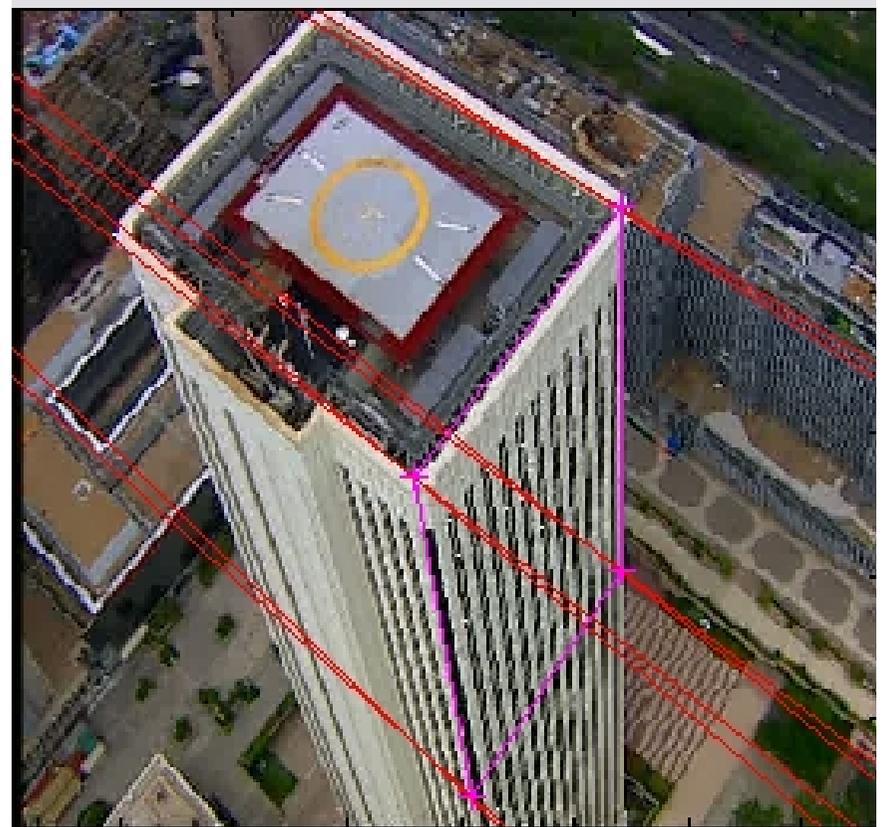
Fuente imágenes: SIGPAC <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor/>

Orto3D

- Validación
 - Problemas
 - Sin datos de vuelo reales ni de calibración de cámara
 - Imposible validar de forma precisa
 - ¿Cómo?
 - Líneas epipolares
 - Triangulación
 - Posición de las cámaras
 - Medidas

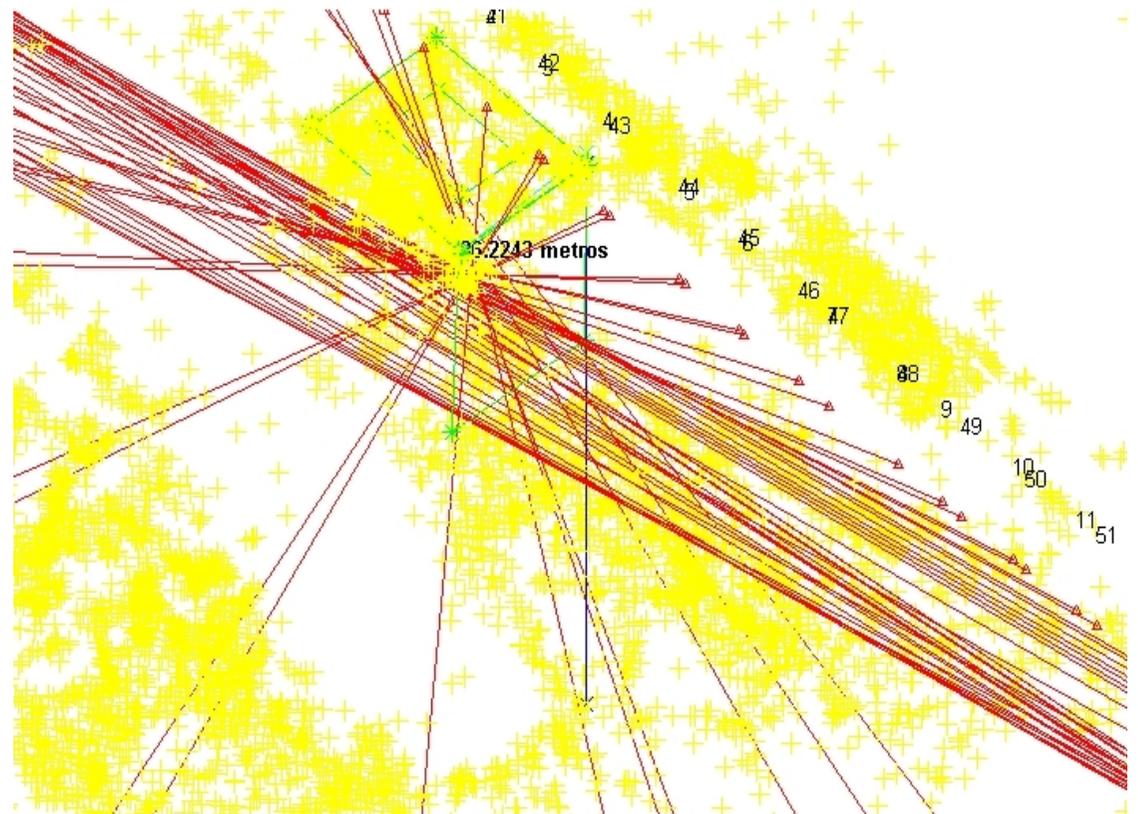
Orto3D

- Líneas epipolares
 - Si epipolares erróneas
 - Parámetros erróneos.
 - Transformaciones erróneas
 - Fácil reconocer resultados incorrectos



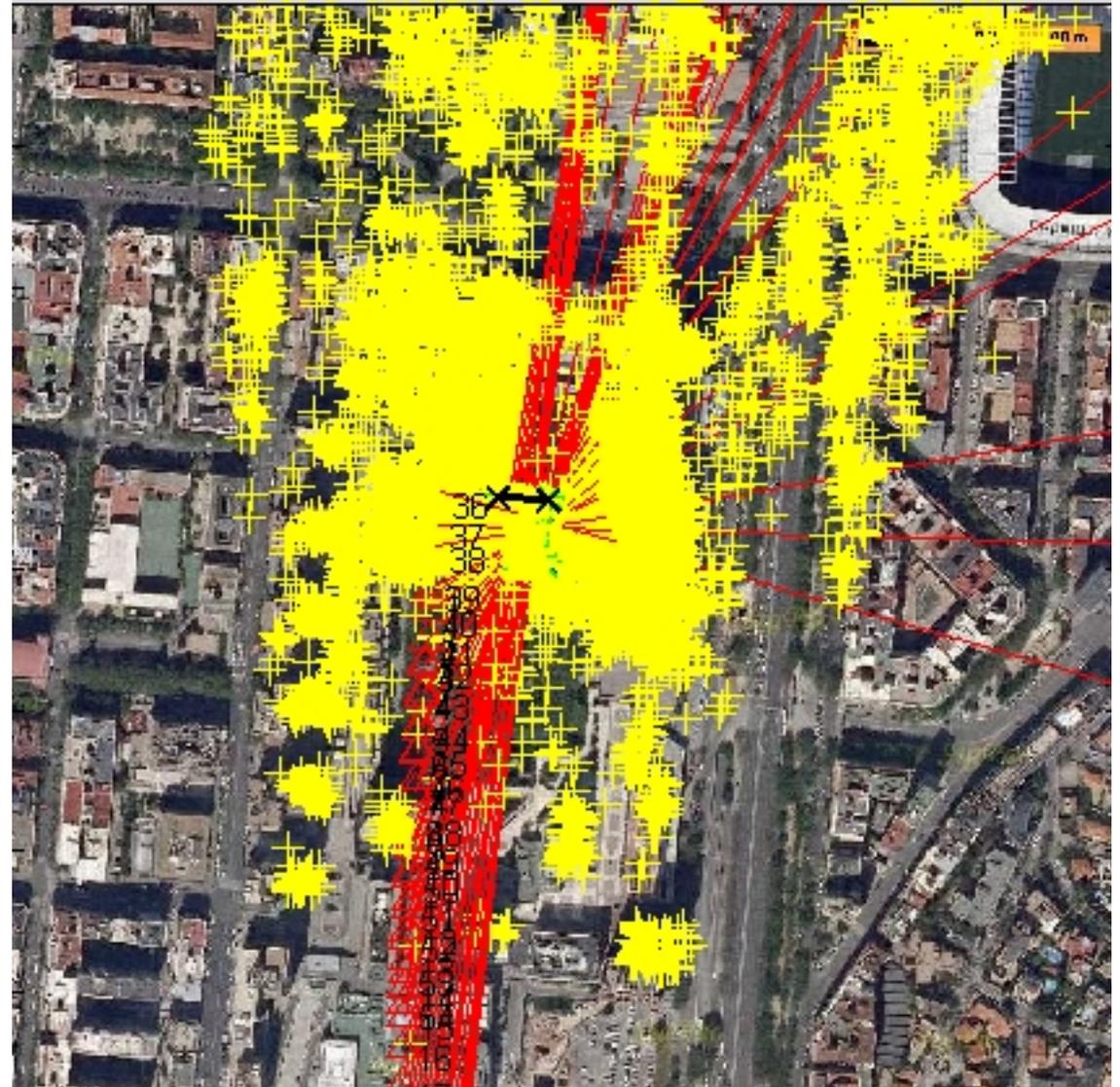
Orto3D

- Triangulación
 - Posición puntos triangulados
 - Levenberg – Marquardt con 3 cámaras
 - Sin usar SBA
 - Asume que los parámetros estimados por Bundler son correctos



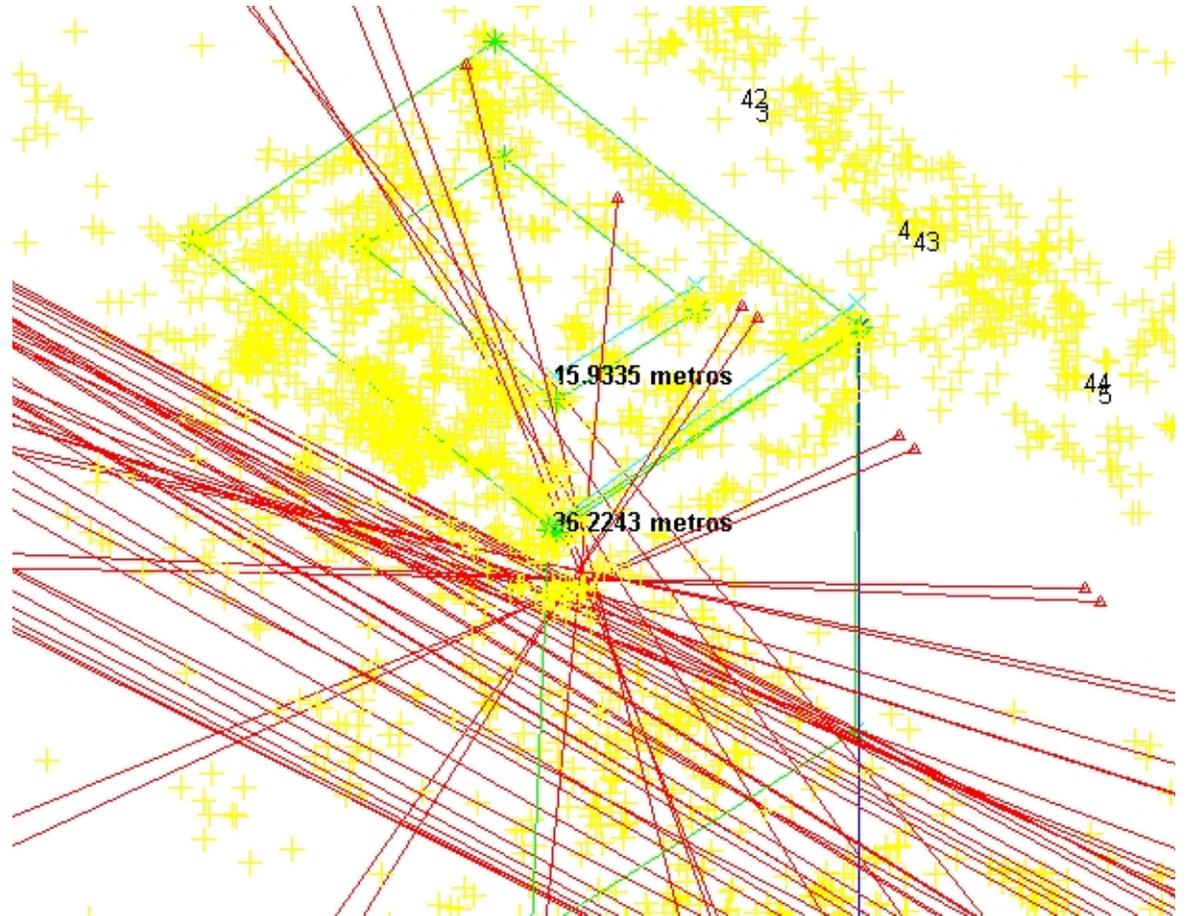
Orto3D

- Posición de las cámaras
 - Centro de cámara
 - Posición
 - Eje principal
 - Dirección de vista



Orto3D

- Medidas
 - Comparar con medidas reales



Resultados de reconstrucción

- Imágenes
 - Fotogramas de vídeo SIVA
 - Fotografías con cámara digital compacta
 - Documentales aéreos para TV

Resultados de reconstrucción

- SIVA
 - Problemas
 - Caracteres sobreimpresos
 - Poca resolución (352x288), algunos (720x576)



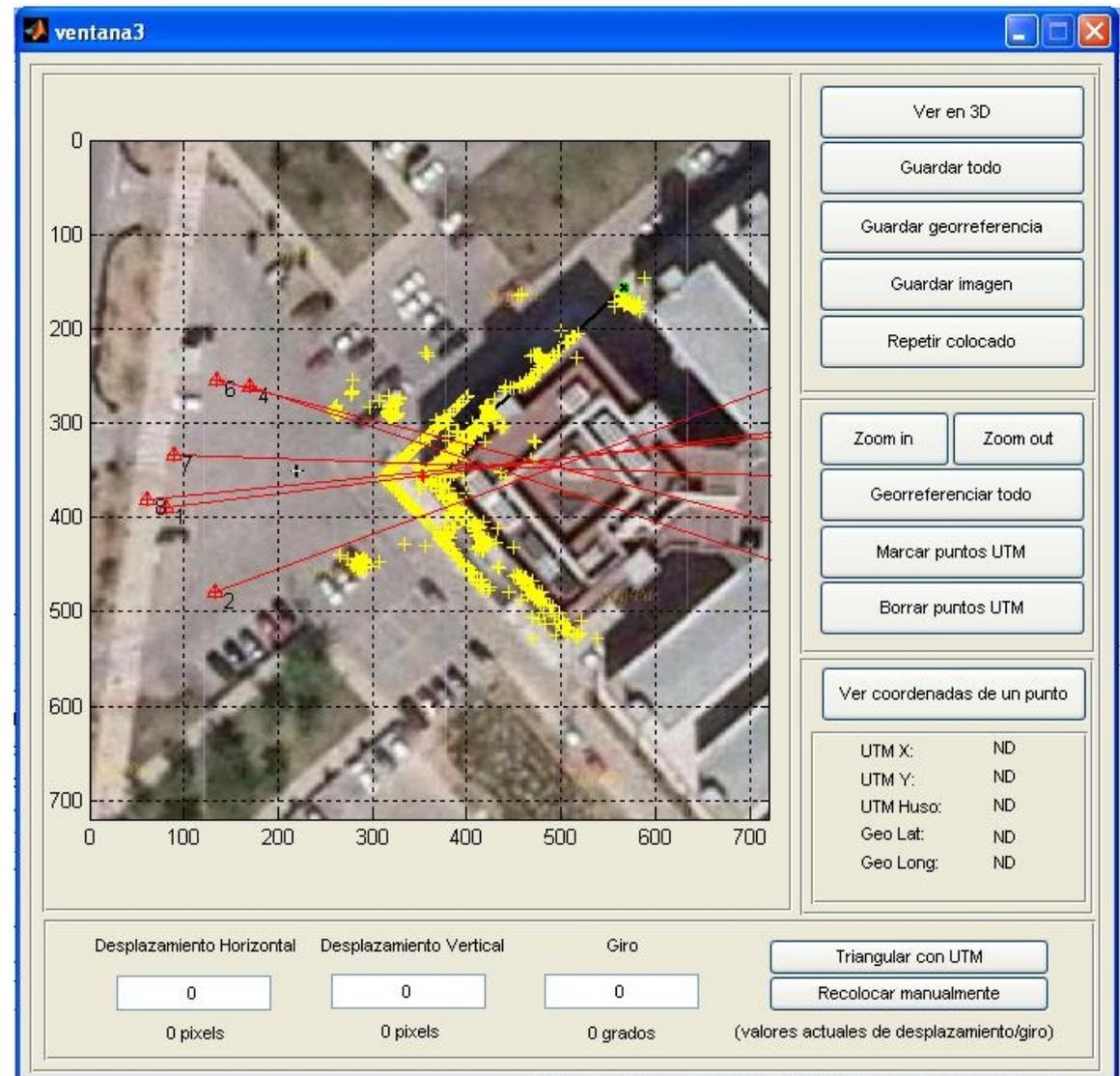
Resultados de reconstrucción

- SIVA
 - Solución aportada
 - Filtro
 - Objetivo: eliminar las correspondencias erróneas
 - Método: distancia entre coordenadas de correspondencias
 - Resultados
 - Puede eliminar puntos correctos: selección de umbral
 - Problema: vídeos poco adecuados

Resultados de reconstrucción

- Fotografías

- Desarrollo del prototipo
- Resolución (2272x1780 píxeles)
- Planta cuadrada



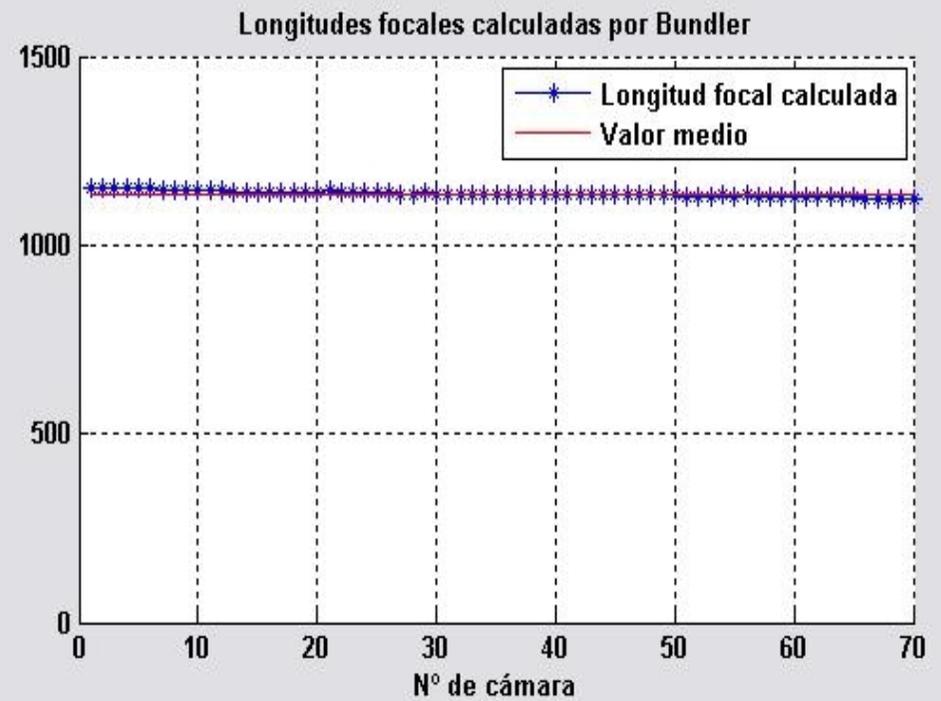
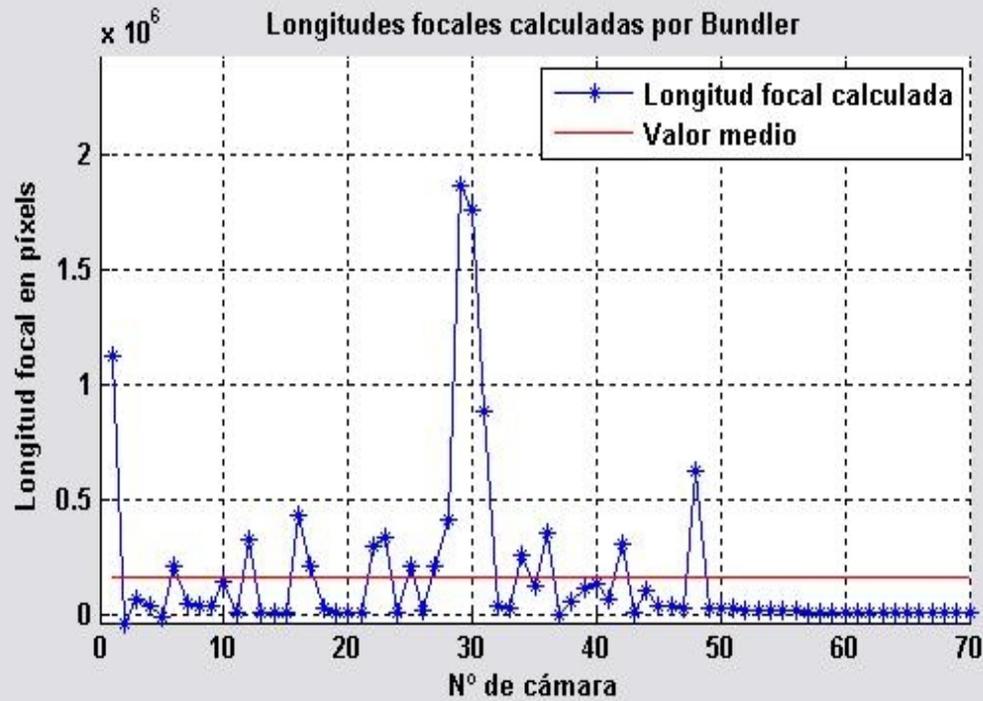
Resultados de reconstrucción

- Documentales
 - Objetivo
 - Comprobar los resultados en un caso aéreo con buenas imágenes.
 - Bajo coste
 - Buena calidad
 - Estabilidad imagen



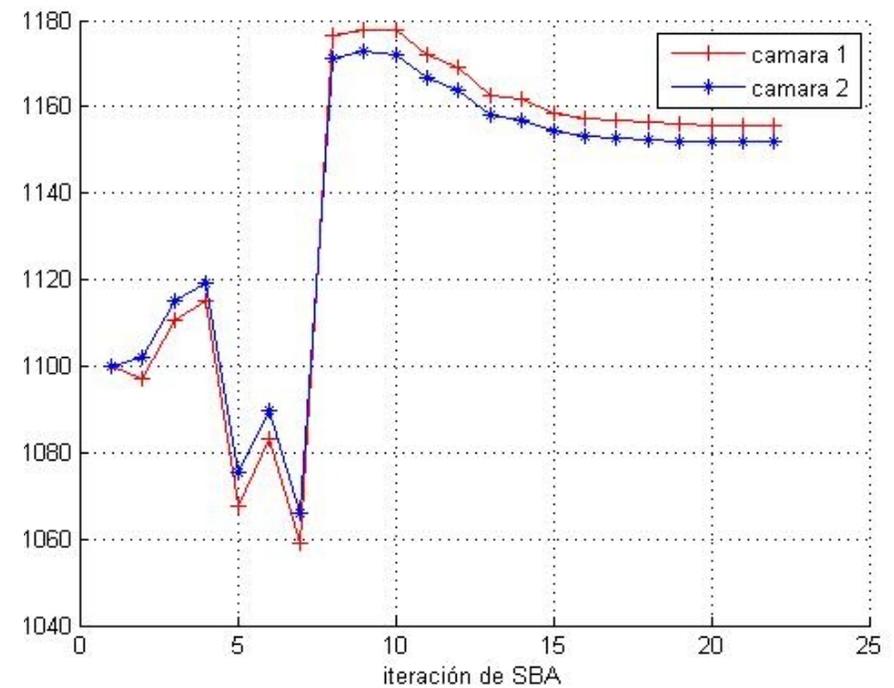
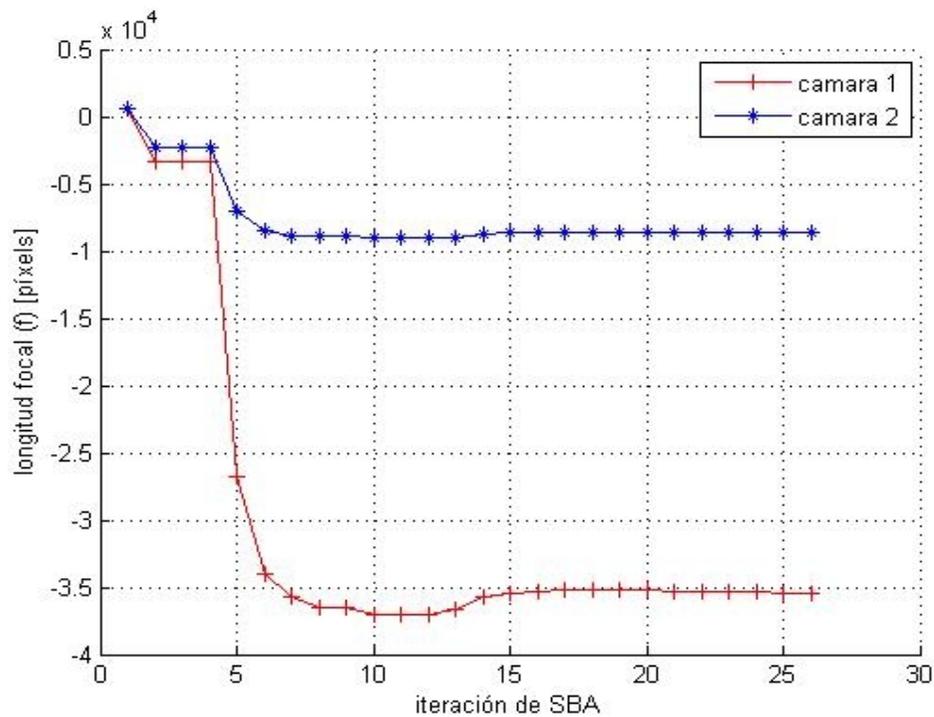
Resultados de reconstrucción

- Estimación de focales
 - Escenario: MECO_3 | MECO_3_MOD_1



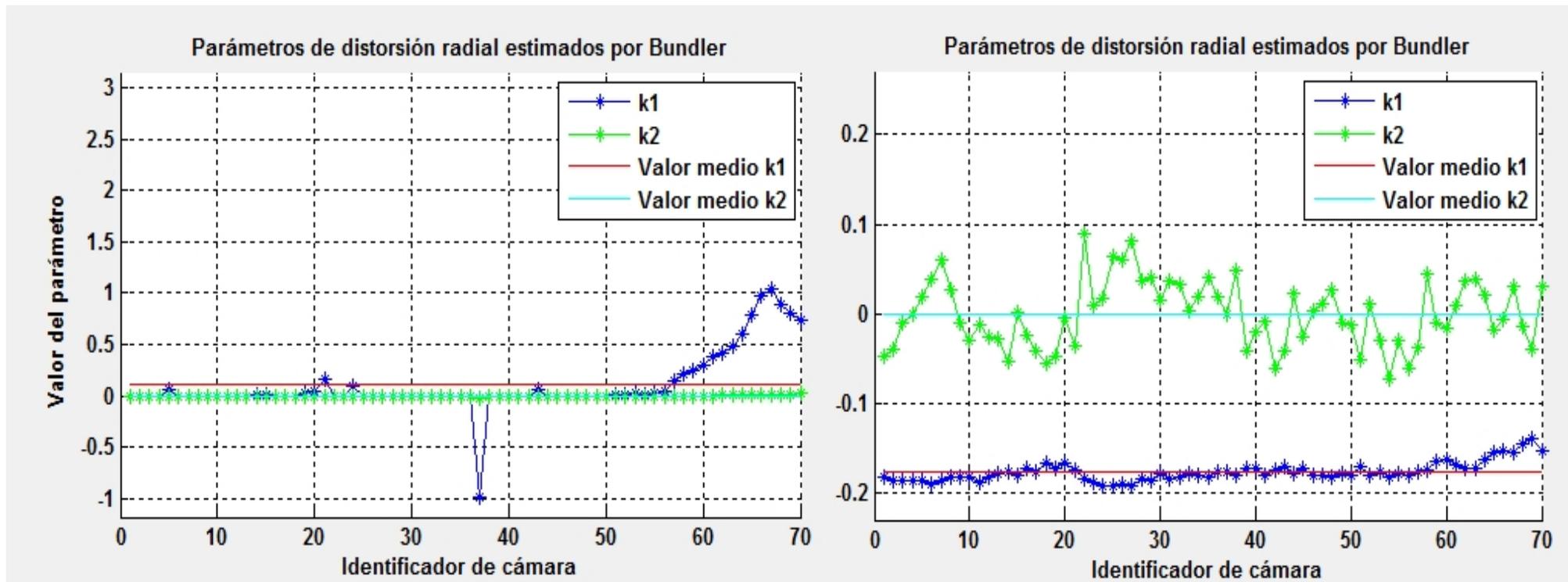
Resultados de reconstrucción

- Estimación de focales
 - Escenario: MECO_3 | MECO_3_MOD_1 (evolución SBA)



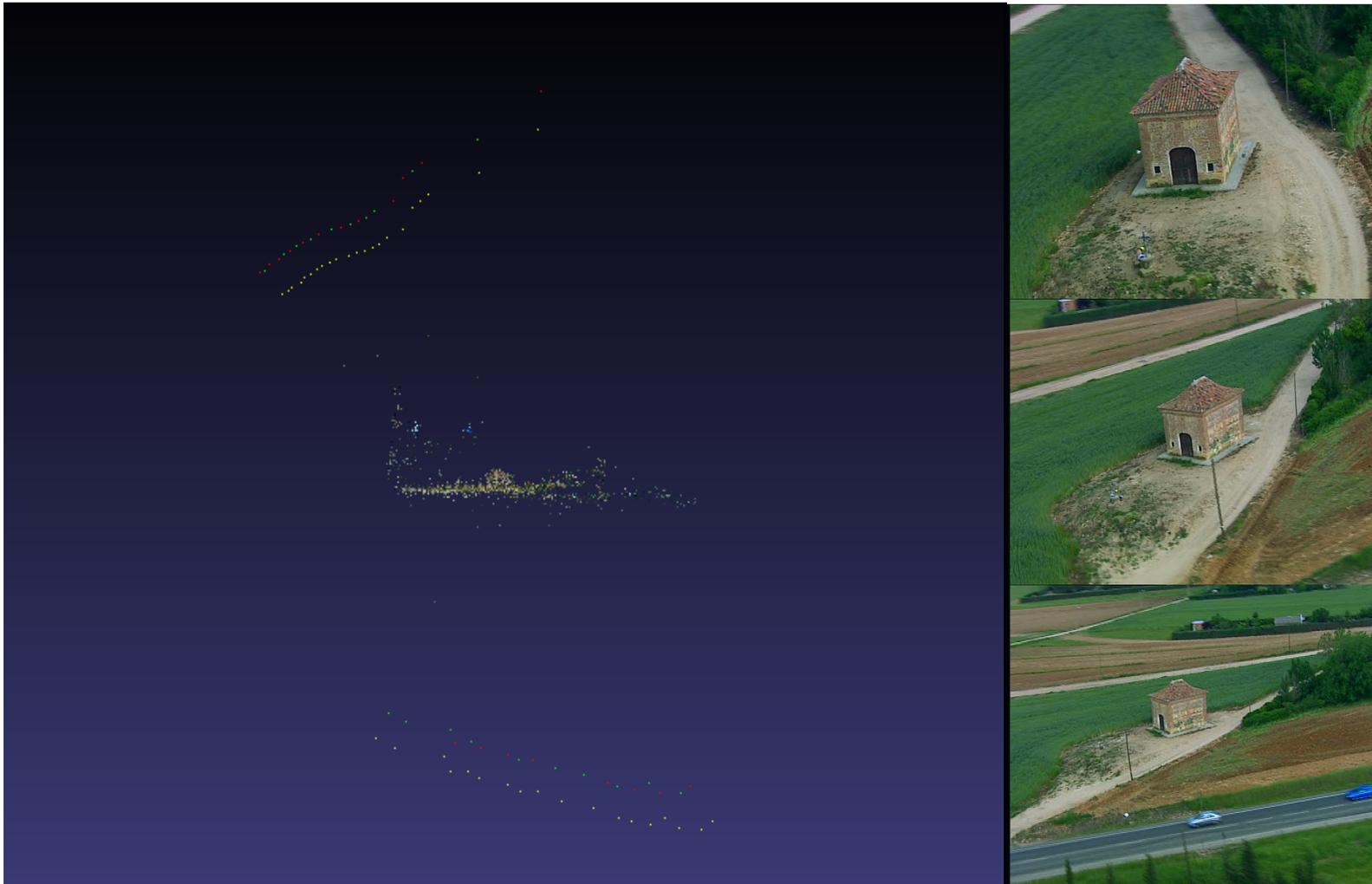
Resultados de reconstrucción

- Estimación de distorsión radial
 - Escenario: MECO_3 | MECO_3_MOD_1



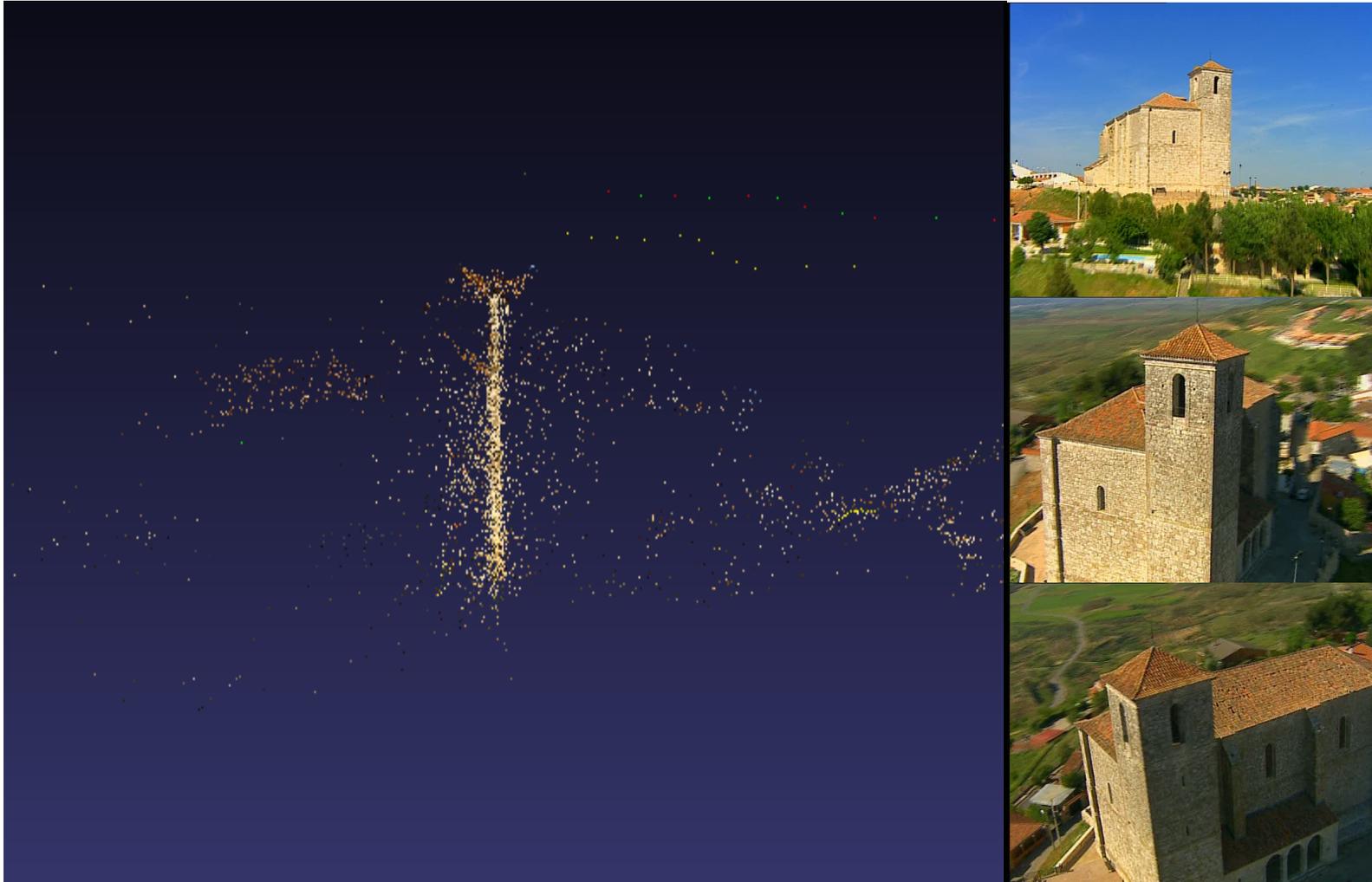
Resultados de reconstrucción

- Errores de SfM: reverso de Necker



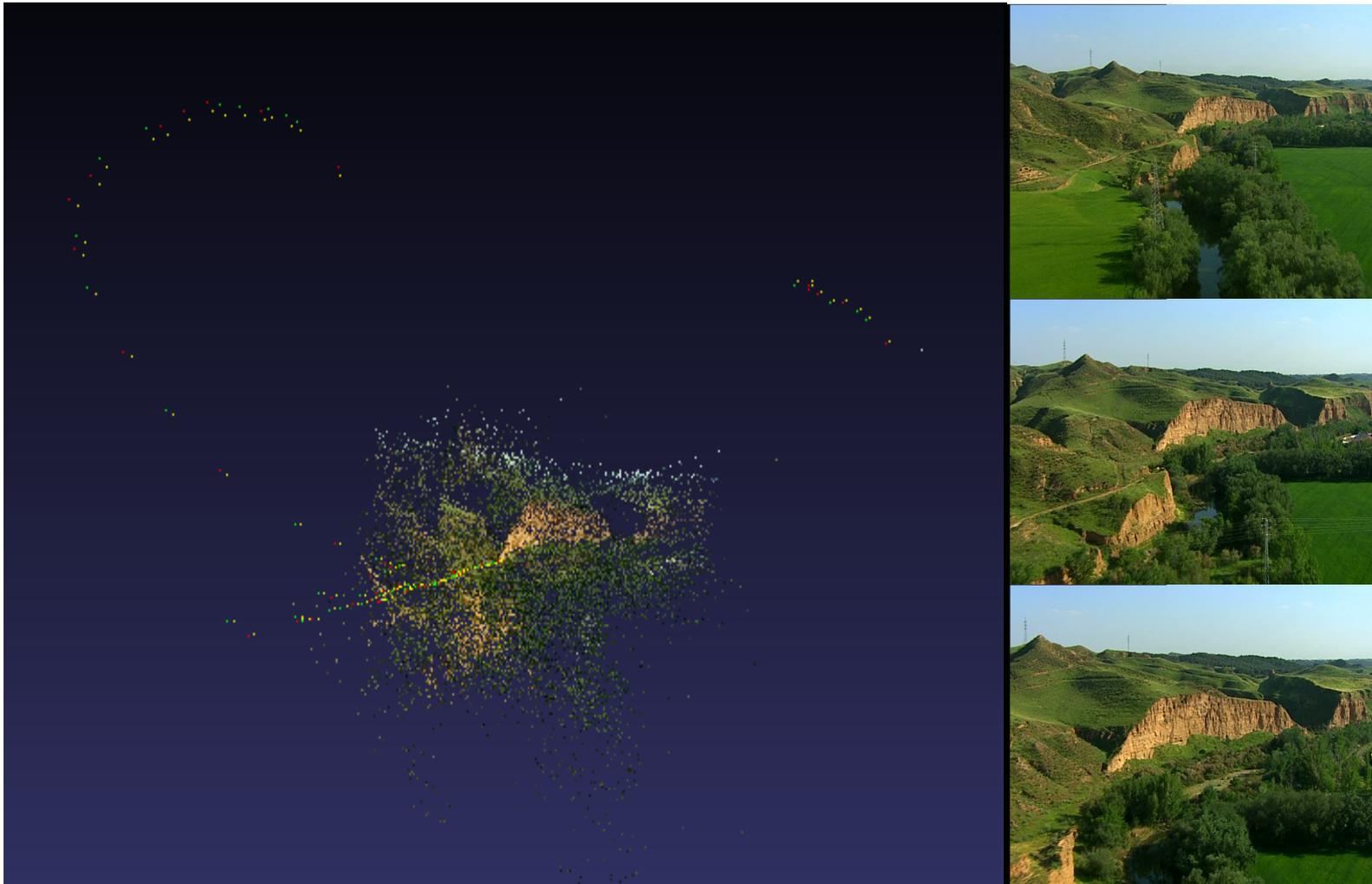
Resultados de reconstrucción

- Errores de SfM: mala inicialización



Resultados de reconstrucción

- Errores de SfM: mala inicialización



Conclusiones

- Bundler
 - Herramienta potente y robusta
 - *¡OJO!* → Bajo condiciones concretas. Con problemas
 - Pesada en computación
 - Se puede usar con PMVS o CMVS
 - Problemas con caracteres sobreimpresos
 - Filtro o definir regiones de interés
 - Solución dependiente de la calibración de las cámaras
 - Con Nistér no hay fiabilidad sin EXIF o forzado
 - Buscar otro método para cámaras no calibradas
 - Otros métodos de estimación o autocalibración

Conclusiones

- Orto3D
 - Útil para la georreferenciación
 - Nada parecido de código abierto para Bundler
 - Con posibilidad de continuación, mejora y optimización
 - Buenos resultados dentro de la problemática del escenario

Conclusiones

- Imágenes
 - Elegir secuencias adecuadas de grabación
 - De cierta duración
 - Características del vuelo (*forward, lateral*)
 - Conocer posición de cámaras (GPS, telemetría) y focales
 - Aumentará la robustez y fiabilidad

Conclusiones

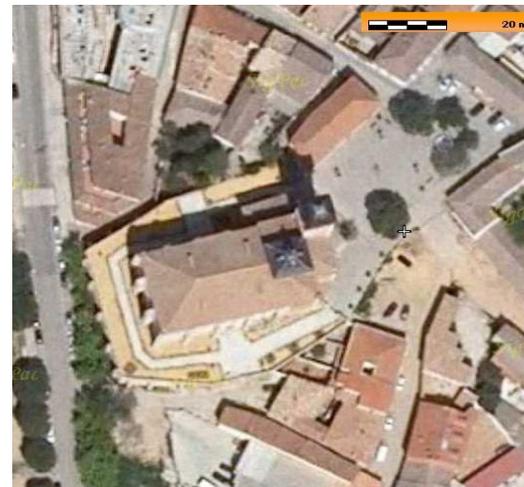
- Aportaciones del TFC
 - Aplicación al sector UAV
 - Con SfM opensource, para postprocesado
 - Adquisición de conocimientos en visión
 - Define una línea de trabajo interesante

Trabajos futuros

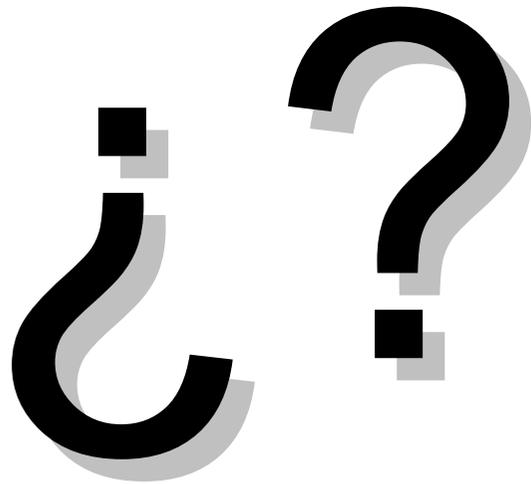
- Varias posibilidades de continuación
 - Documentación de Bundler con Doxygen
 - Modificación de Bundler
 - Mejora de Orto3D
 - Resolución y compresión de vídeo
 - Explotación de imágenes
 - Aplicación en tiempo real (otras técnicas)

Demostración Orto3D

- Ejemplo de uso de Orto3D para un escenario
 - Escenario: MECO_3_MOD_1
 - Localización: Meco (Madrid)
 - Descripción: Campanario
 - Cámaras (fotogramas): 70



Preguntas



Anexos

- **Acrónimos usados**

ANN: Aproximativo Nearest Neighbour

CMVS: Clustering views for Multi-View Stereo

DLT: Direct Linear Transform

EXIF: EXchangeable Image File Format

GPS: Global Positioning System

INTA: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

LMA: Levenberg-Marquardt Algorithm

MVS: Multi-View Stereo

PMVS: Patch-based Multi-View Stereo

RANSAC: RANdom Sample Consensus

SBA: Sparse Bundler Adjustment

SfM: Structure from Motion

SIFT: Scale Invariant Feature Transform

SIVA: Sistema Integrado de Vigilancia Aérea

SLAM: Simultaneous Location And Mapping

SURF: Speed-Up Robust Features

SW: Software

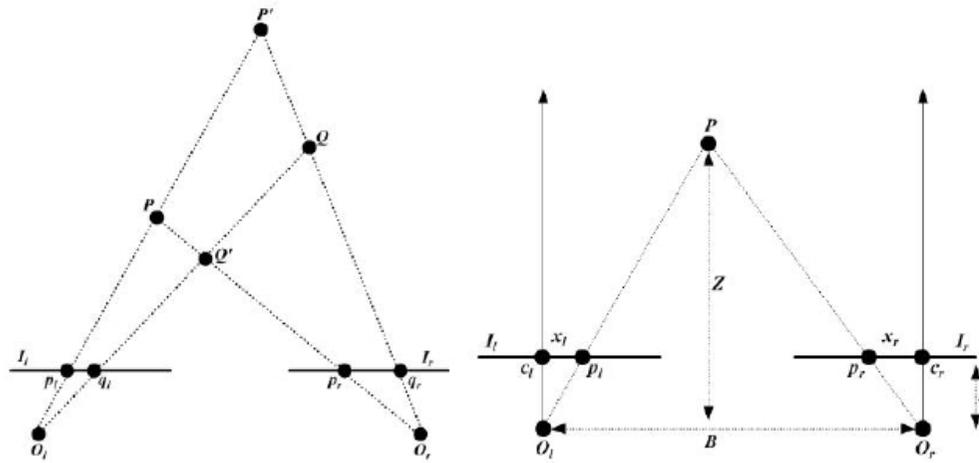
TV: Televisión

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

UTM: Universal Transverse Mercator

Anexos

- Bundler – Línea base



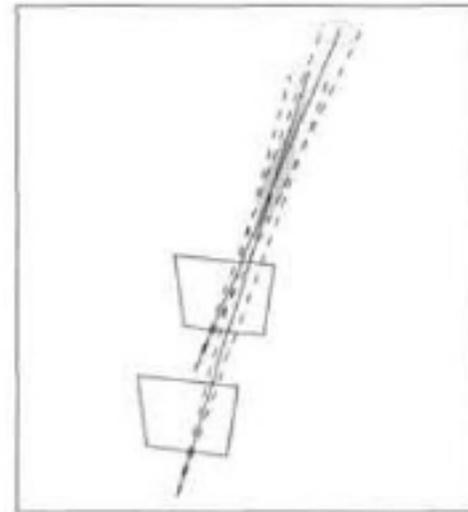
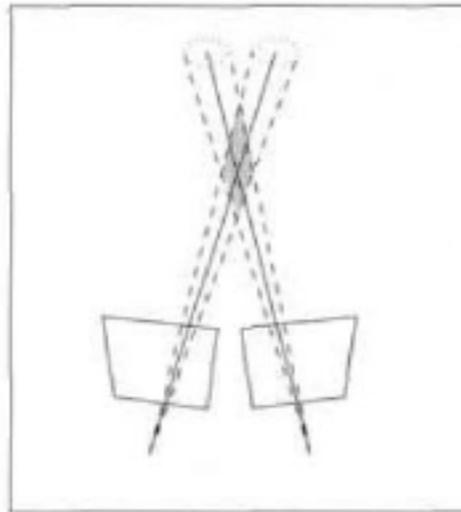
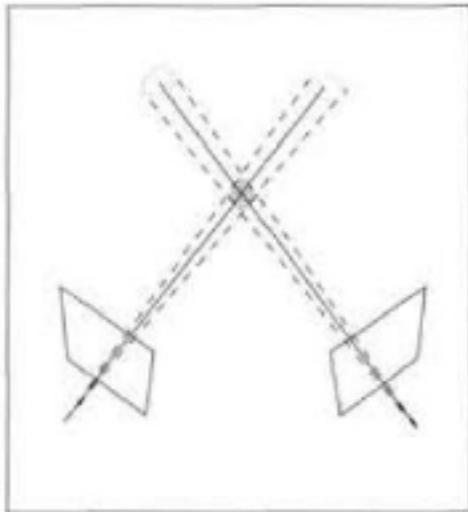
$$Z = f \frac{B}{d}$$

$$\Delta Z_i = Z_i - Z_{i-1} = f_x B \left(\frac{1}{d_{ui} - 1} - \frac{1}{d_{ui}} \right) = f_x B \frac{1}{d_{ui}^2 - d_{ui}}$$

Z máxima $Z = f_x B$

Anexos

- Bundler – Línea base
- Movimientos del vehículo, línea base profundidad.



Anexos

- Bundler – Longitud focal (Canon Powershot A520)

$$f_{mm} = 5,8mm \quad f_{mm} = 23,2mm \quad ancho_CCD_{mm} = 5,76mm$$

$$f_{pixels} = res_x \left(\frac{f_{mm}}{ancho_CCD_{mm}} \right)$$

$$(1,006944445res_x, 4,027777778res_x)$$

$$f_{pix} = 1,2res_x$$

$$f_{mm} = 1,2 * 5,76 = 6,912mm$$

Anexos

- Bundler – Tiempo de ejecución

Etapa de la ejecución	Tiempo		Porcentaje
Característicos SIFT	7m	4,818s	19,23 %
Correspondencias	16m	34,967s	45,05 %
Reconstrucción SfM	13m	8,812s	35,70 %
Total	36m	48,597s	100,00 %

Tabla 5.1: Tiempo de ejecución para MECO.3.MOD.1

Etapa de la ejecución	Tiempo		Porcentaje
Característicos SIFT	8m	5,057s	21,50 %
Correspondencias	18m	32,119s	49,29 %
Reconstrucción SfM	10m	59,312s	29,22 %
Total	37m	36,488s	100,00 %

Tabla 5.2: Tiempo de ejecución para TORRE.PICASSO.AZCA.MOD.1

Anexos

- Orto3D – Marcado de puntos

- Cálculo de epipolares

$$x'^T F x = 0 \quad l' = F x \quad l = F^T x'$$

- Matriz F a partir de P

- Correlación

- Ventana de 30x30 píxels
- Cámara 1 & cámara 2 ; cámara 1 & cámara 3

Anexos

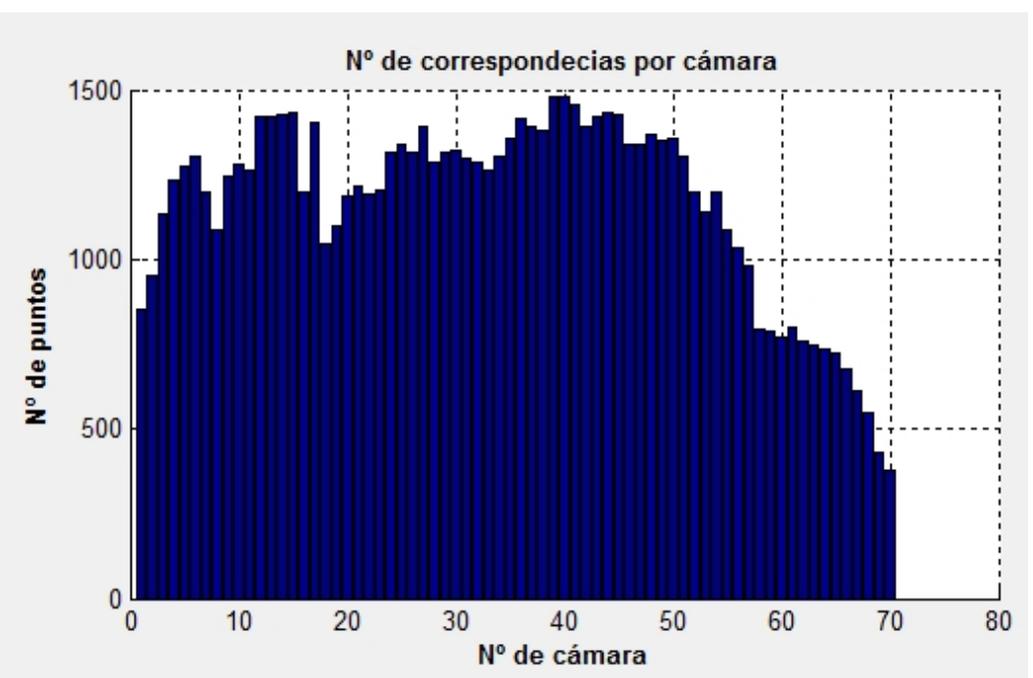
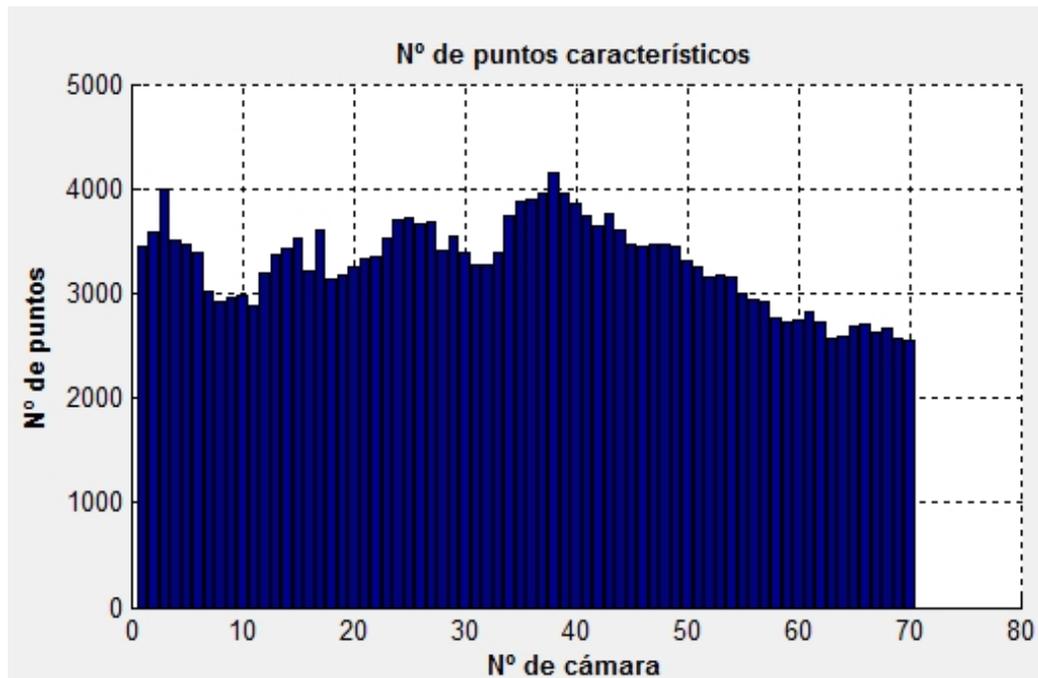
- Orto3D – Triangulación
 - Usando 3 cámaras
 - Método lineal
 - Método no lineal
 - Levenberg-Marquardt

Anexos

- Orto3D – Georreferenciación
 - Puntos UTM referencia
 - Seleccionados con SIGPAC
 - Mínimo 2
 - Cálculo de la relación metros/píxel
 - En base a los puntos de referencia
 - Transformación de escala

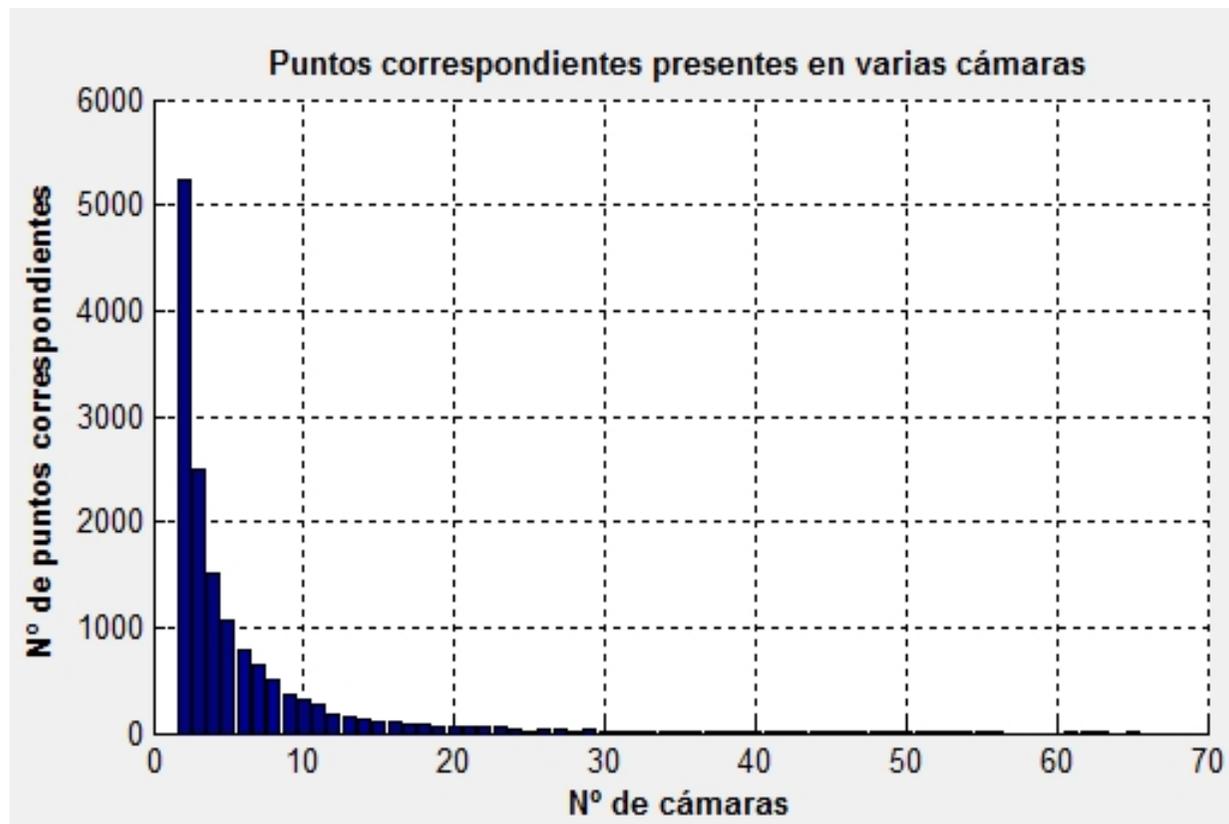
Anexos

- Orto3D – Puntos SIFT y correspondencias



Anexos

- Orto3D - Gráficas de puntos



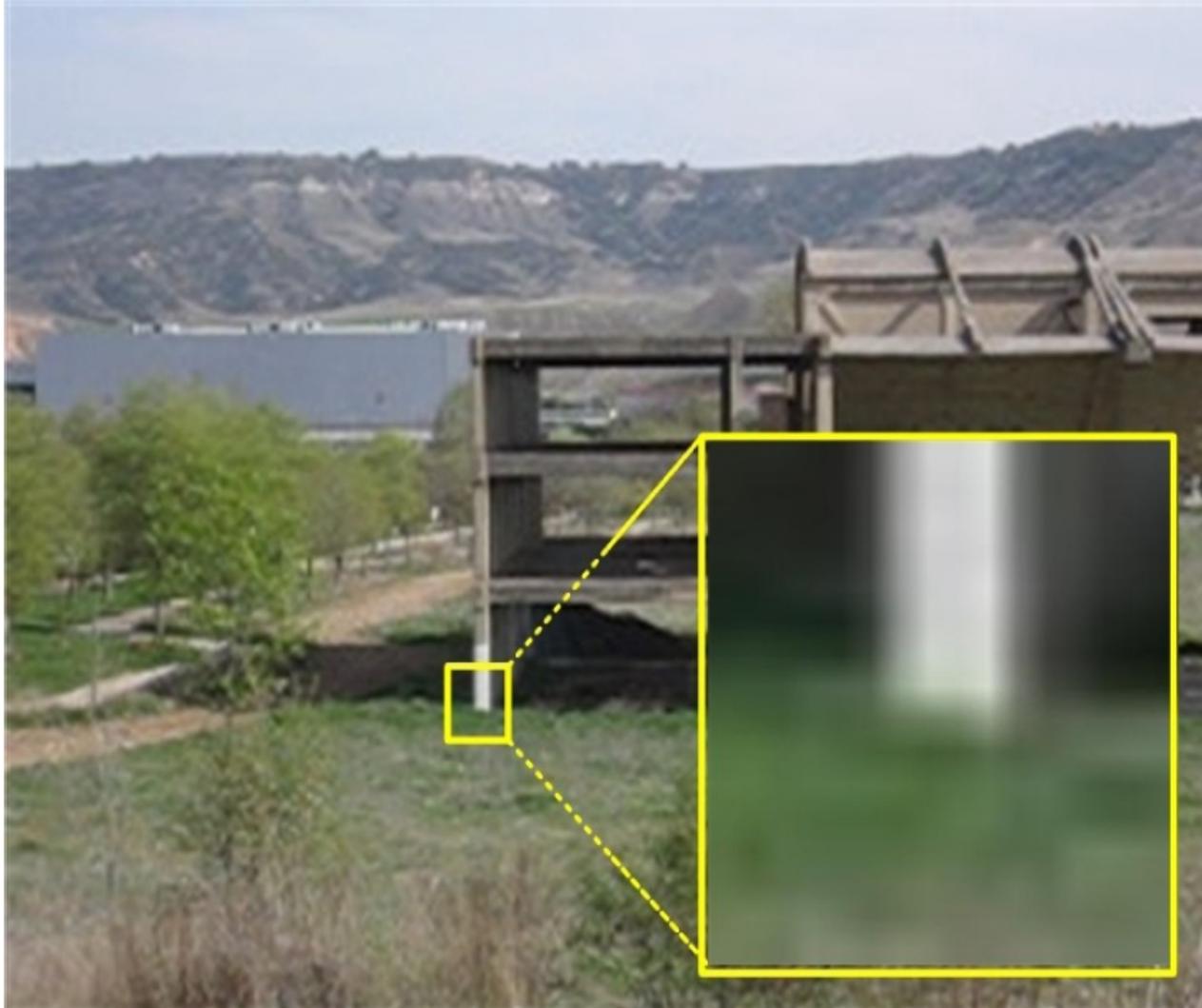
Anexos

- Imágenes – Resolución SIVA (352-288 píxeles)



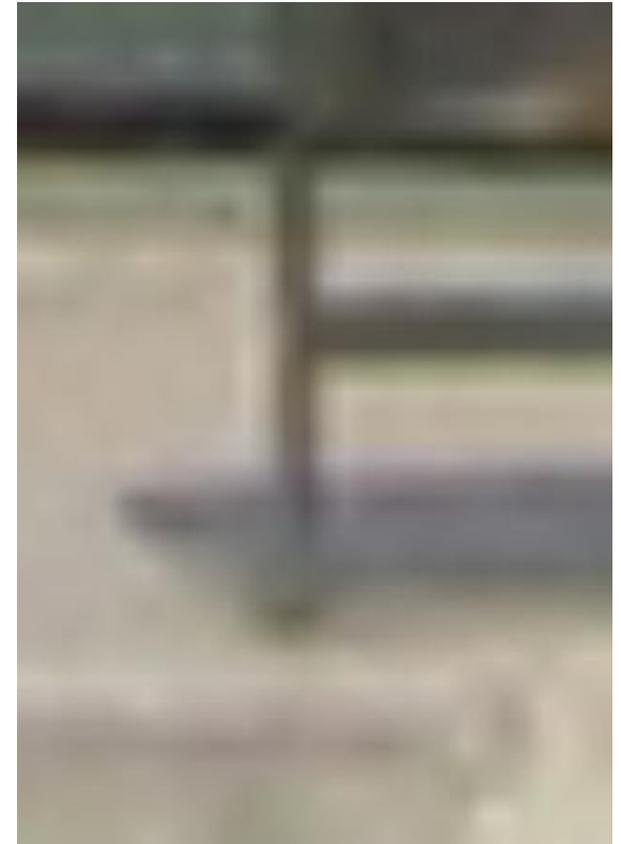
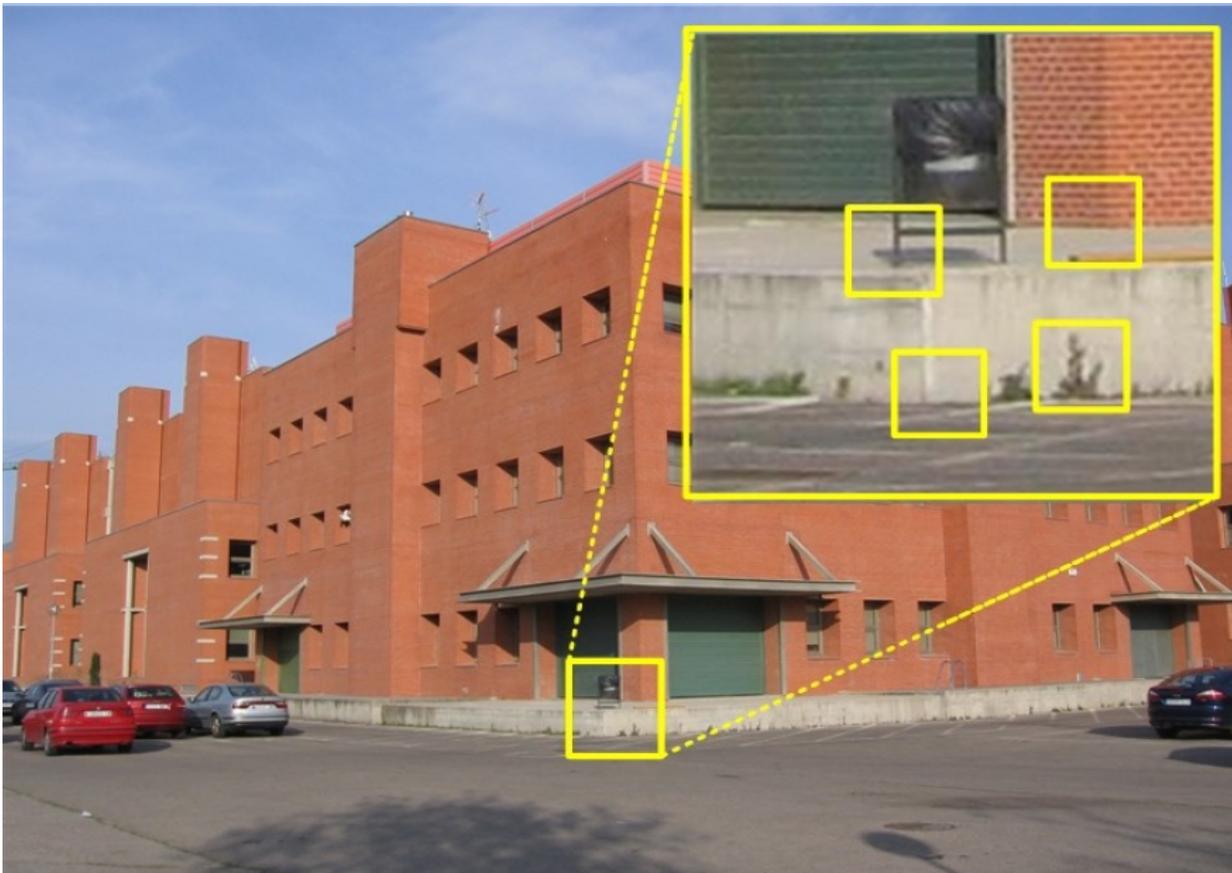
Anexos

- Imágenes – Resolución HANGAR vídeo (640-480 píxeles)



Anexos

- Imágenes – Resolución POLITECNICA (2272-1704 píxeles)



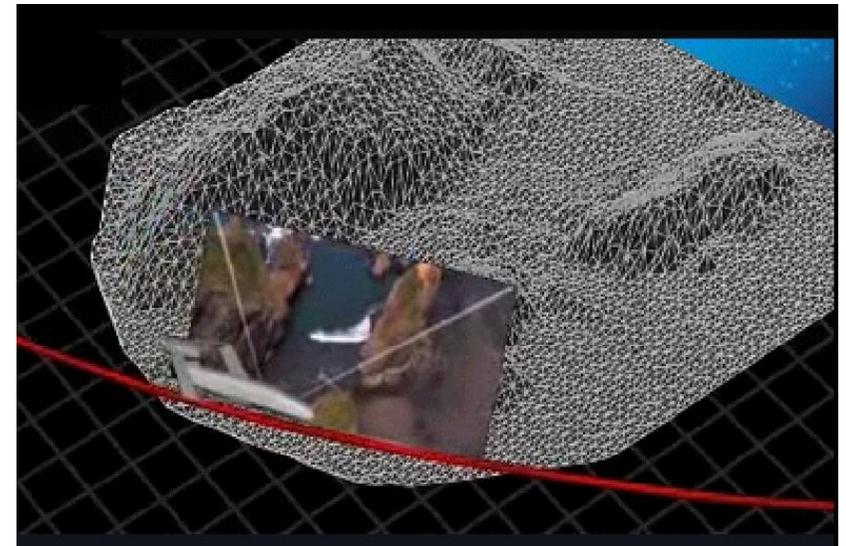
Anexos

- UAVs
 - UAV+Visión
 - Tipos UAV para visión
 - UAVs para SfM



Anexos

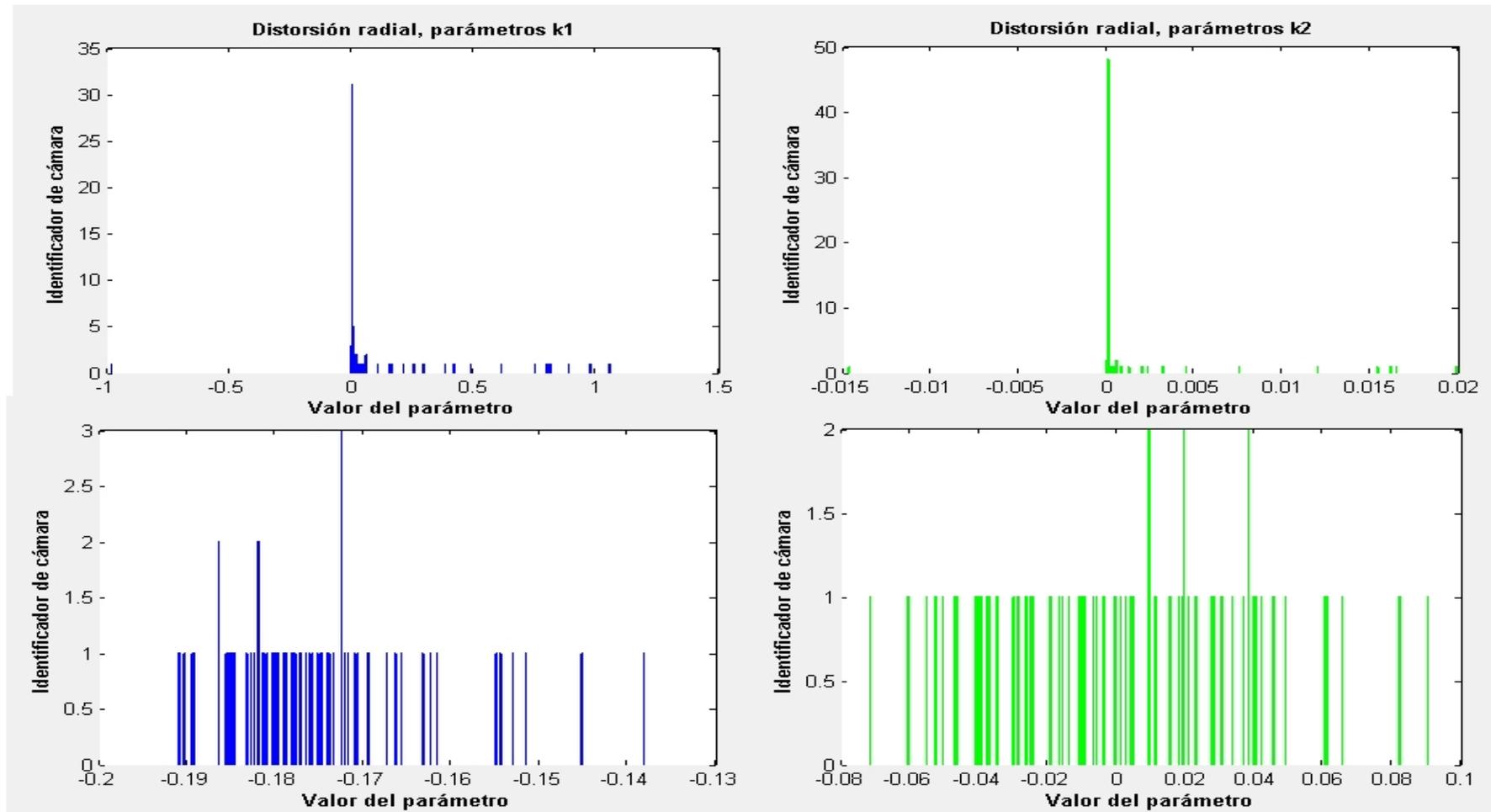
- Visión para UAV
 - SfM para restauración con RC-Heli (Milán)
 - 2D3: software comercial para reconstrucción de terreno
 - SLAM
 - Tiempo real
 - Problema diferente
 - SfM vs. SLAM
 - SfM para aplicaciones de postprocesado



Fuente imágenes: <http://www.2d3.com>

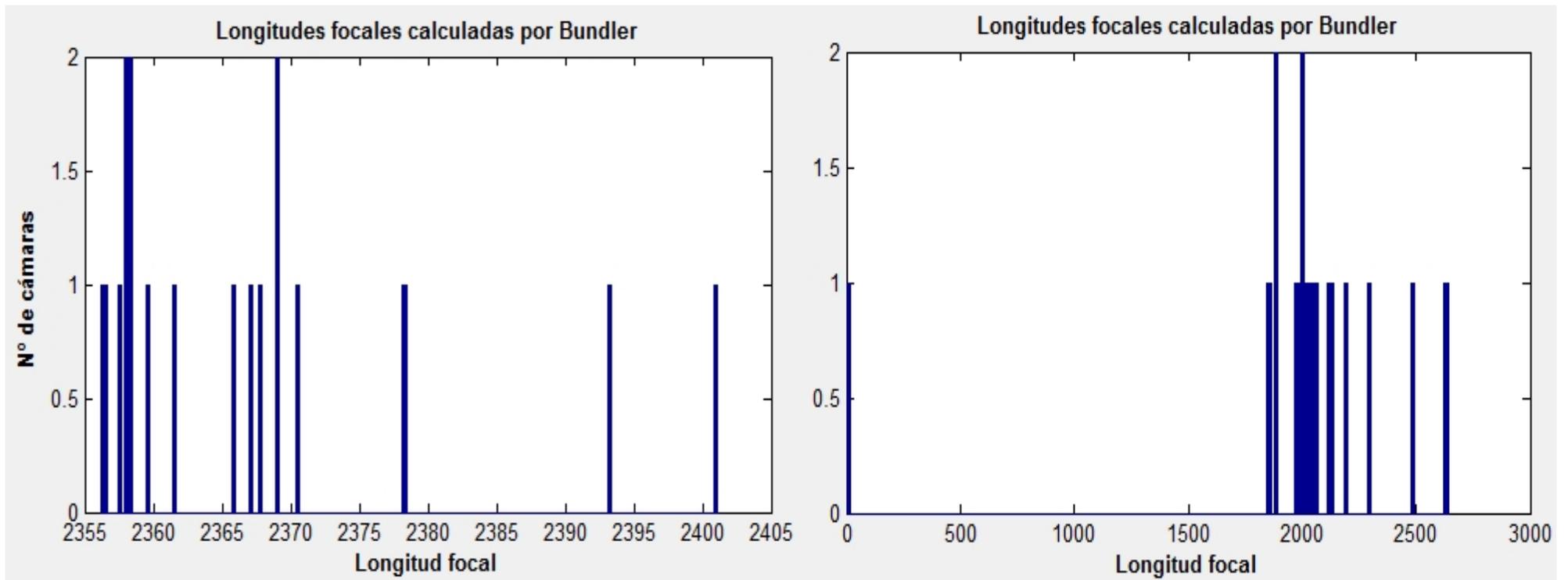
Anexos

- Estimación de distorsión radial (*arriba MECO_3 | abajo MECO_3_MOD_1*)



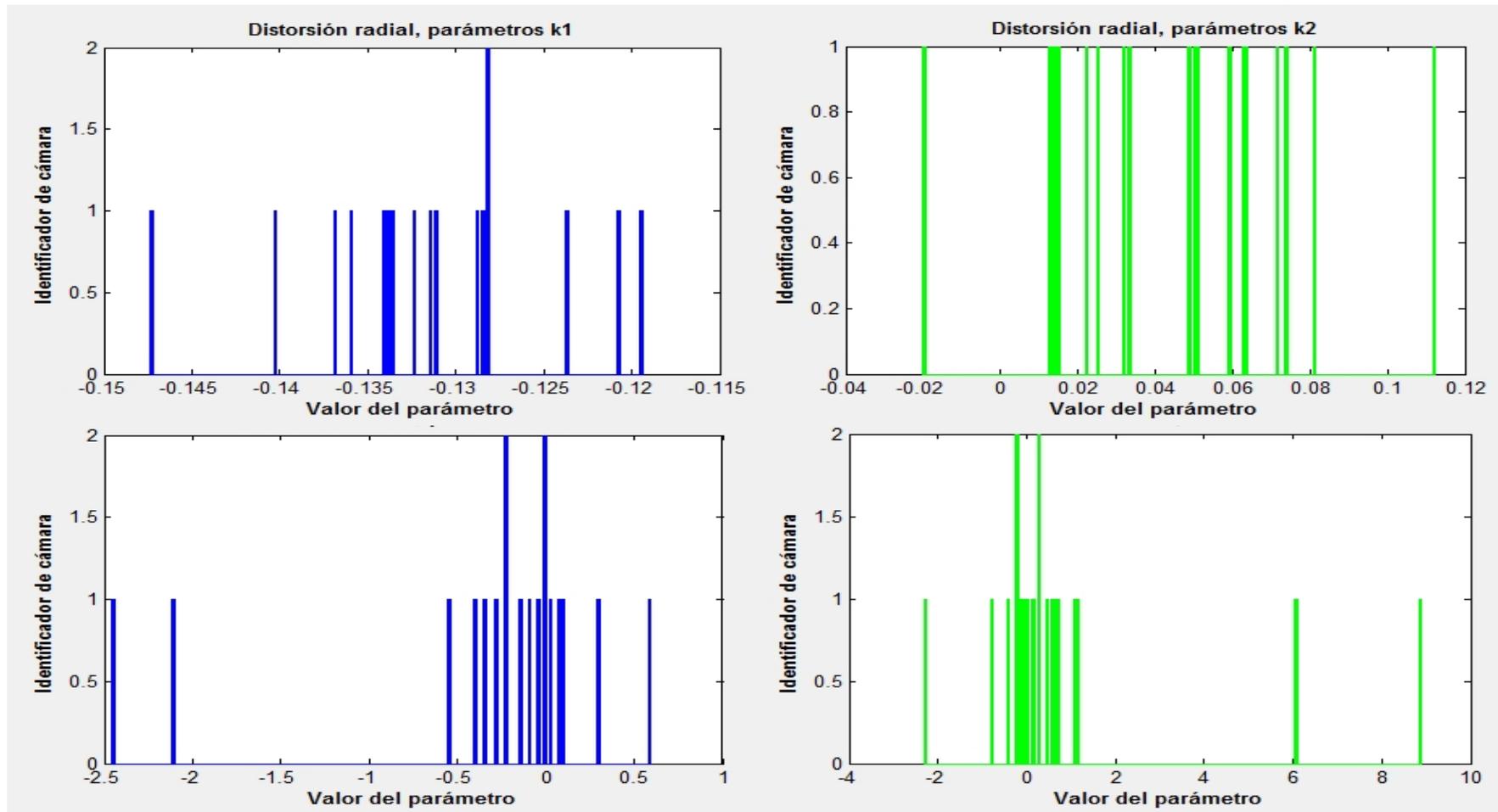
Anexos

- Estimación de focales
 - Escenario: POLITECNICA (con EXIF | sin EXIF)



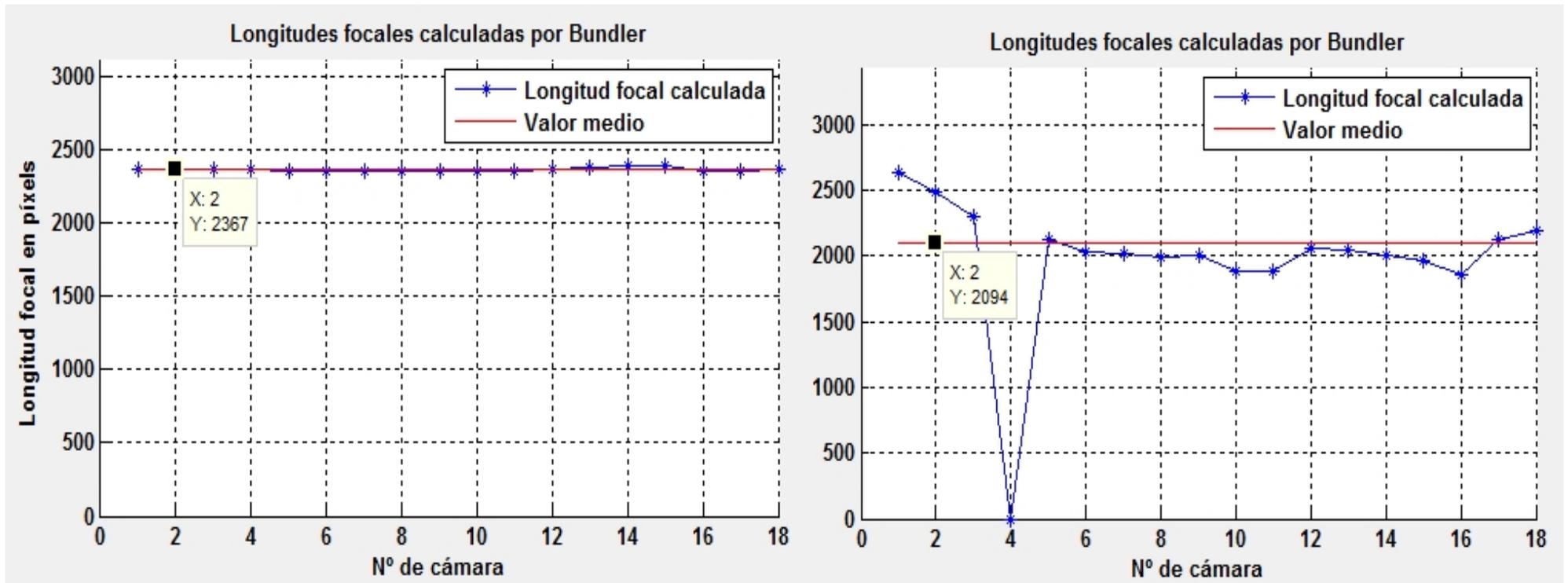
Anexos

- Estimación de distorsión radial *(POLITECNICA – arriba con EXIF | abajo sin EXIF)*



Anexos

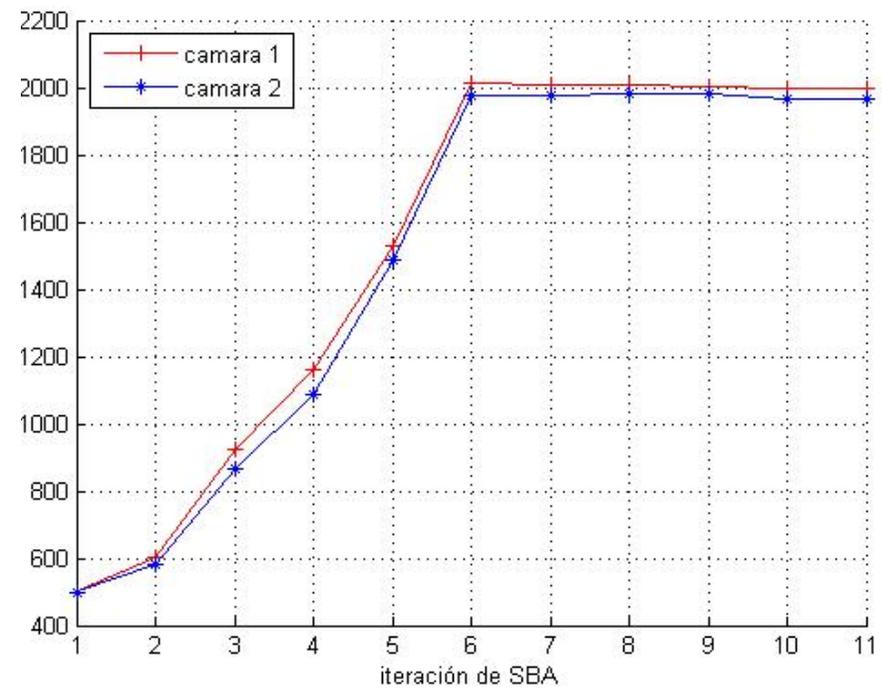
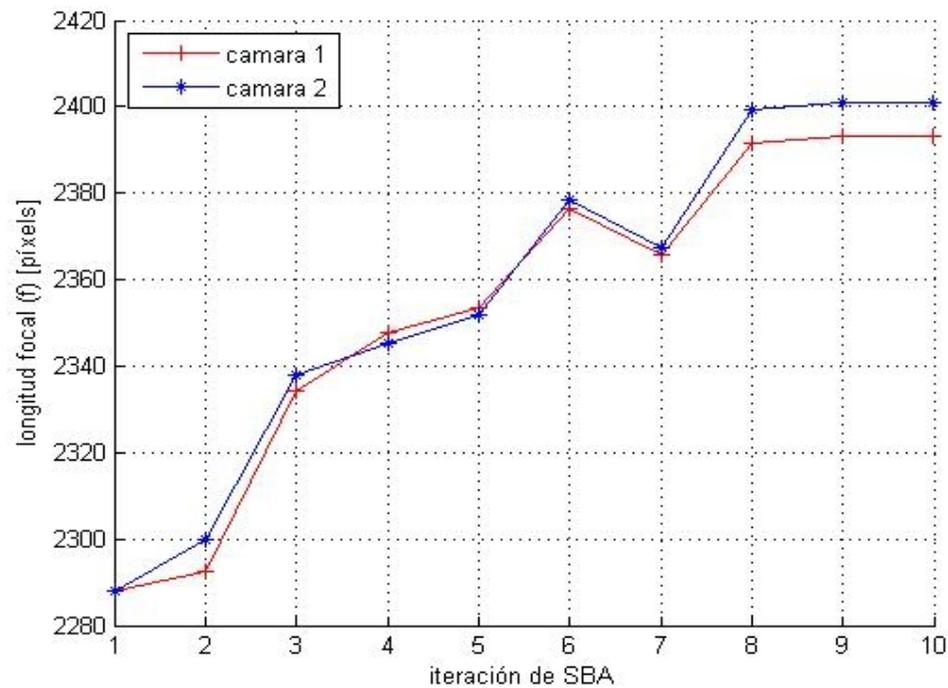
- Estimación de focales
 - Escenario: POLITECNICA (con EXIF | sin EXIF)



Anexos

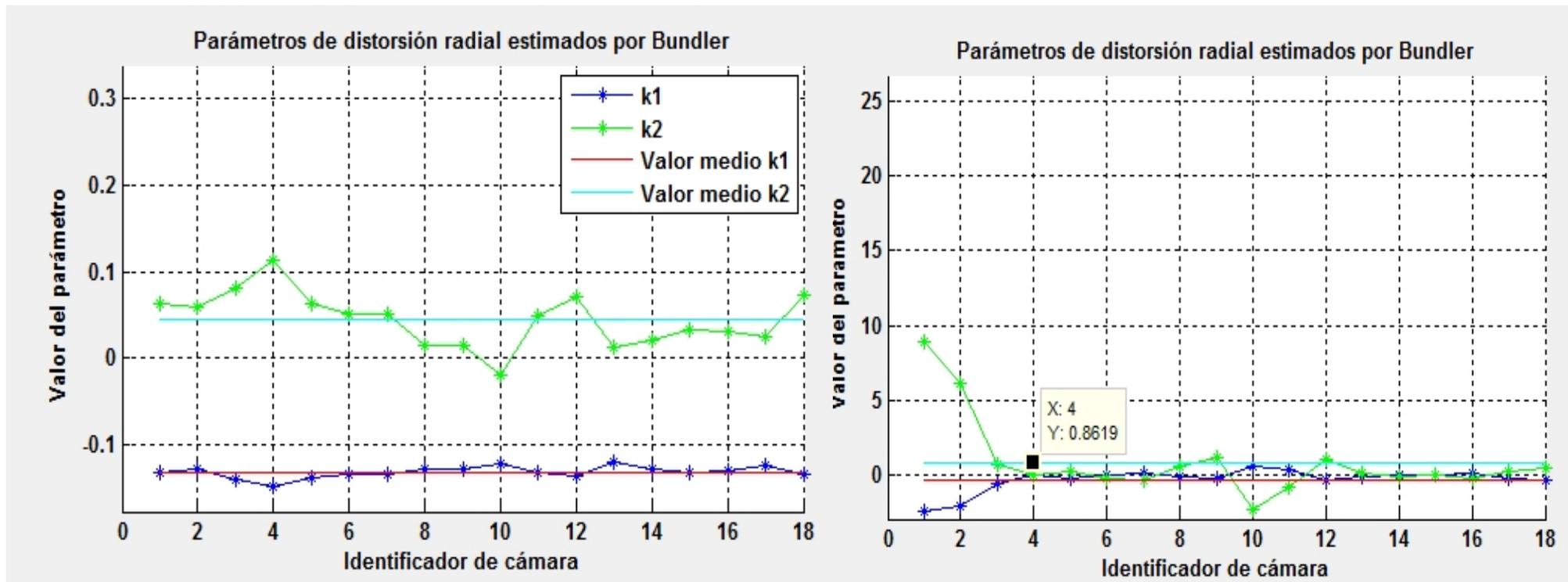
- Estimación de focales

- Escenario: POLITECNICA (con EXIF | sin EXIF) (evolución SBA)



Anexos

- Estimación de distorsión radial
 - Escenario: POLITECNICA (con EXIF | sin EXIF)



Anexos

- Errores de SfM
 - Falta de solape
 - Texturas ambiguas y repetitivas
 - Mala inicialización
 - Reverso de Necker
 - Línea base insuficiente
 - Errores en cascada
 - Mala inicialización
 - Incertidumbre elevada

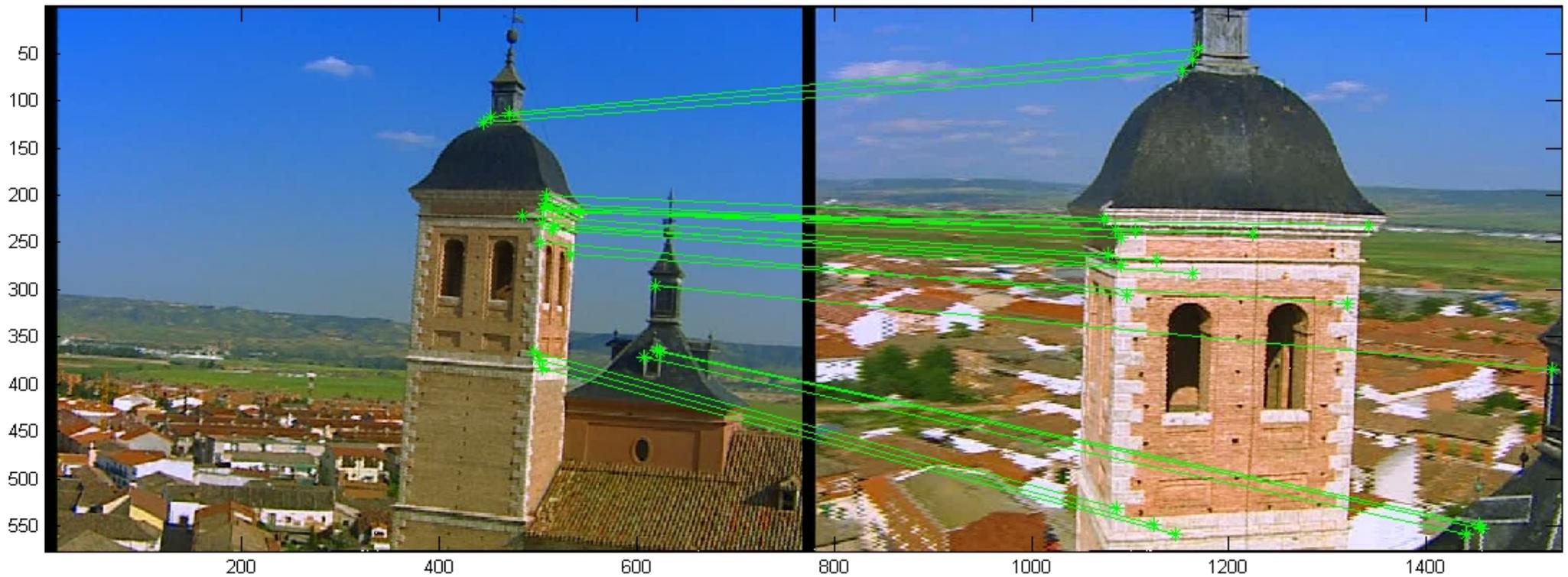
Anexos

- Bundler: Característicos (*features*) con SIFT



Anexos

- Bundler: Correspondencias (*matching*)



Resultados de reconstrucción

- SIVA

