

LE RAGIONI DEL DISEGNO THE REASONS OF DRAWING

Pensiero, Forma e Modello nella Gestione della Complessità
Thought, Shape and Model in the Complexity Management



38° CONVEGNO
INTERNAZIONALE
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE
DELLA RAPPRESENTAZIONE



UID UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
DIDA Dipartimento di Architettura



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE**
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

**38° CONVEGNO INTERNAZIONALE
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE
TREDICESIMO CONGRESSO UID – FIRENZE 15 • 16 • 17 SETTEMBRE 2016
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE – AULA MAGNA DEL RETTORATO Piazza San Marco, 4
AUDITORIUM DI SANTA APOLLONIA Via XXVII aprile, 25A**

Comitato Scientifico internazionale / International Scientific Committee

Caroline Astrid Bruzelius, *Duke University, North Carolina, USA – member of the American Academy of Arts and Sciences*
 Pedro Cabesos, *Universidade da Coruña, Spagna*
 Fabiana Andrea Carbonari, *La Universidad Nacional de La Plata, Argentina*
 Arivaldo Leao De Amorim, *Universidade Federal da Bahia, Brasile*
 Livio De Luca, *Direttore di Ricerca del CNRS MAP-Gamsau, Marsiglia, Francia*
 Juan José Fernandez Martin, *Universidad de Valladolid, Spagna*
 Roberto Ferraris, *Universidad Nacional de Cordoba, Argentina*
 Joseè Antonio Franco Carlos de San Antonio Gomez, *Universidad Politécnica de Madrid, Spagna*
 Joseè Antonio Franco Taboada, *Universidade da Coruña, Spagna*
 Ángela García Codoñer, *Universitat Politècnica de València, Spagna*
 Pedro Antonio Janeiro, *Universidade de Lisboa, Portogallo*
 Walsh Michael John Kir, *School of Art, Design and Media - College of Humanities, Arts, & Social Sciences of the Nanyang Technological University, Singapore*
 Cornelia Leopold, *University of Kaiserslautern, Germania*
 Juan Samuell Lladó, *Universidad de Extremadura, Spagna*
 Francisco Martínez Mindeguiá, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*
 Carlos Montes, *Universidad de Valladolid, Spagna*
 Javier Mosteiro, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*
 Pablo José Navarro Esteve, *Universitat Politècnica de València, Spagna*
 Fang Yibing, *Accademia nazionale delle scienze Pechino, Repubblica Popolare Cinese*

Comitato Scientifico Nazionale / National Scientific Committee

Piero Albisinni, *"Sapienza" Università di Roma*
 Fabrizio Ivan Apollonio, *Università di Bologna*
 Paolo Belardi, *Università di Perugia*
 Stefano Bertocci, *Università di Firenze*
 Carlo Bianchini, *"Sapienza" Università di Roma*
 Marco Bini, *Università di Firenze*
 Vito Cardone, *Università di Salerno*
 Mario Centofanti, *Università dell'Aquila*
 Emanuela Chiavoni, *"Sapienza" Università di Roma*
 Michela Cigola, *Università di Cassino e del Lazio Meridionale*
 Antonio Conte, *Università della Basilicata*
 Antonella Di Luggo, *Università di Napoli Federico II*
 Mario Docci, *"Sapienza" Università di Roma*

©

Proprietà letteraria riservata

Gangemi Editore spa
 Piazza San Pantaleo 4, Roma
 www.gangemieditore.it

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere memorizzata, fotocopiata o comunque riprodotta senza le dovute autorizzazioni.

Le nostre edizioni sono disponibili in Italia e all'estero anche in versione ebook.

Our publications, both as books and ebooks, are available in Italy and abroad.

GANGEMI EDITORE®
 INTERNATIONAL PUBLISHING

FINITO DI STAMPARE NEL MESE DI SETTEMBRE 2016
 www.gangemieditore.it

ISBN 978-88-492-3295-0

Francesca Fatta, *Università Mediterranea della Calabria*
 Paolo Giardebaggio, *Università di Parma*
 Andrea Giordano, *Università di Padova*
 Elena Ippoliti, *"Sapienza" Università di Roma*
 Francesco Maggio, *Università di Palermo*
 Anna Marotta, *Politecnico di Torino*
 Arturo Livio Sacchi, *Università Chieti-Pescara*
 Rossella Salerno, *Politecnico di Milano*
 Alberto Slegno, *Università di Trieste*
 Ornella Zerlenga, *Seconda Università di Napoli*

Peer reviewer internazionali / International peer reviewers

Pedro Cabesos, *Universidade da Coruña, Spagna*
 Andrea Fabiana Carbonari, *La Universidad de La Plata, Argentina*
 Arivaldo Leao De Amorim, *Universidade Federal da Bahia, Brasile*
 Roberto Ferraris, *Universidad Nacional de Cordoba, Argentina*
 Joseè Antonio Franco Carlos de San Antonio Gomez, *Universidad Politécnica de Madrid, Spagna*
 Joseè Antonio Franco Taboada, *Universidade da Coruña, Spagna*
 Pedro Antonio Janeiro, *Universidade de Lisboa, Portogallo*
 Juan Samuell Lladó, *Universidad de Extremadura, Spagna*
 Francisco Martínez Mindeguiá, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*
 Carlos Montes, *Universidad de Valladolid, Spagna*
 Javier Mosteiro, *Universitat Politècnica de Catalunya, Spagna*
 Pablo José Navarro Esteve, *Universitat Politècnica de València, Spagna*

Peer reviewer nazionali / National peer reviewers

Fabrizio Agnello, *Università degli Studi di Palermo*
 Giuseppe Amoroso, *Politecnico di Milano*
 Marinella Arena, *Università Mediterranea Reggio Calabria*
 Marcello Balzani, *Università di Ferrara*
 Laura Baratin, *Università di Urbino Carlo Bo*
 Salvatore Barba, *Università di Salerno*
 Cristiana Bedoni, *Università degli Studi Roma Tre*
 Marco Giorgio Bevilacqua, *Università di Pisa*
 Fabio Bianconi, *Università di Perugia*
 Enrica Bistagnino, *Università di Genova*
 Antonio Bixio, *Università degli Studi della Basilicata*
 Stefano Brusaporci, *Università degli Studi dell'Aquila*
 Adele Carla Buratti, *Politecnico di Milano*
 Massimiliano Campi, *Università degli Studi di Napoli Federico II*
 Marco Canciani, *Università degli Studi Roma Tre*
 Mara Capone, *Università degli Studi di Napoli Federico II*
 Laura Carlevaris, *"Sapienza" Università di Roma*
 Laura Carnevali, *"Sapienza" Università di Roma*
 Marco Carpicci, *"Sapienza" Università di Roma*
 Andrea Casale, *"Sapienza" Università di Roma*
 Francesco Cervellini, *Università di Camerino*
 Luca Cipriani, *Università di Bologna*
 Paolo Cini, *Università, Politecnica delle Marche*
 Luigi Cocchiarella, *Politecnico di Milano*
 Luisa Chiara Cogorno, *Università di Genova*
 Daniele Colistra, *Università Mediterranea Reggio Calabria*
 Romolo Continenza, *Università degli Studi dell'Aquila*
 Secondino Coppo, *Politecnico di Torino*
 Cesare Cundari, *"Sapienza" Università di Roma*
 Laura De Carlo, *"Sapienza" Università di Roma*
 Francesco Paolo De Mattia, *Politecnico di Bari*
 Roberto De Rubertis, *"Sapienza" Università di Roma*
 Aldo De Sanctis, *Università Mediterranea Reggio Calabria*
 Edoardo Dotto, *Università di Catania*

Fabio Fabbrizzi, *Università degli Studi di Firenze*
 Maria Linda Falcidieno, *Università di Genova*
 Federico Fallavolita, *Università di Bologna*
 Patrizia Falzone, *Università di Genova*
 Marco Fasolo, *"Sapienza" Università di Roma*
 Riccardo Florio, *Università degli Studi di Napoli Federico II*
 Giorgio Garzino, *Politecnico di Torino*
 Fabrizio Gay, *Università IUAV di Venezia*
 Gaetano Ginex, *Università Mediterranea Reggio Calabria*
 Massimo Giovannini, *Università Mediterranea Reggio Calabria*
 Guido Guidano, *Università di Genova*
 Manuela Incerti, *Università di Ferrara*
 Sereno Marco Innocenti, *Università di Brescia*
 Mariangela Luzzo, *Università di Enna*
 Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino*
 Giovanna Angela Massari, *Università di Trento*
 Giampiero Mele, *Università telematica eCampus*
 Barbara Messina, *Università di Salerno*
 Riccardo Migliari, *"Sapienza" Università di Roma*
 Giuseppa Novello, *Politecnico di Torino*
 Anna Osello, *Politecnico di Torino*
 Caterina Palestini, *Università di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio"*
 Lia Maria Papa, *Università degli Studi di Napoli Federico II*
 Leonardo Paris, *"Sapienza" Università di Roma*
 Sandro Parrinello, *Università di Pavia*
 Paolo Piumatti, *Politecnico di Torino*
 Fabio Quici, *"Sapienza" Università di Roma*
 Luca Ribichini, *"Sapienza" Università di Roma*
 Andrea Ricci, *Università degli Studi di Firenze*
 Andrea Rolando, *Politecnico di Milano*
 Michela Rossi, *Politecnico di Milano*
 Daniele Rossi, *Università di Camerino*
 Salvatore Santuccio, *Università di Camerino*
 Roberta Spallone, *Politecnico di Torino*
 Giacinto Taibi, *Università di Catania*
 Camillo Trevisan, *Università IUAV di Venezia*
 Pasquale Tunzi, *Università di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio"*
 Maurizio Unali, *Università di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio"*
 Graziano Mario Valenti, *"Sapienza" Università di Roma*
 Rita Maria Valenti, *Università di Catania*
 Cesare Verdoscia, *Politecnico di Bari*
 Chiara Vernizzi, *Università di Parma*
 Andrea Zerbi, *Università di Parma*

Comitato Organizzatore / Organizing Committee

Giovanni Anzani, Barbara Aterini, Maria Teresa Bartoli, Stefano Bertocci, Carlo Biagini, Marco Bini, Carmela Crescenzi, Cecilia Luschi, Emma Mandelli, Alessandro Merlo, Paola Puma, Marcello Scalzo, Giorgio Verdiani

Staff Tecnico - Operativo / Staff - Operative

Laura Aiello, Francesco Algotino, Andrea Aliperta, Eleonora Cecconi, Paolo Formaglini, Filippo Giansanti, Gaia Lavoratti, Giancarlo Littera, Andrea Pasquali, Francesca Picchio, Francesco Tioi

Coordinamento Scientifico / Scientific Coordination

Stefano Bertocci
 Marco Bini

**I testi e le relative traduzioni oltre che tutte le immagini pubblicate sono state fornite dai singoli autori per la pubblicazione con copyright e responsabilità scientifica e verso terzi.
 La revisione e redazione dei testi è stata dei curatori del volume.**

In copertina: Michelangelo Buonarroti - Studi di fortificazione per la Porta al Prato d'Ognissanti - Firenze, Casa Buonarroti. (per gentile concessione della Dott.ssa Pina Ragionieri direttrice del museo "Casa Buonarroti")

Levantamiento métrico digitalizado con tres metodologías distintas de los laboratorios del Sanatorio de Fontilles

Digitalised metric survey of the laboratories building at Fontilles Sanatorium using three different technologies

Eduardo María Baviera Llópez*, José Luis Denia Ríos**, Jorge Llopis Verdú***, Jorge Francisco Martínez Piqueras****

LOS LABORATORIOS SON UNO DE LOS PABELLONES MÁS EMBLEMÁTICOS DEL CONJUNTO ARQUITECTÓNICO DEL SANATORIO DE SAN FRANCISCO DE BORJA, EN FONTILLES (ALICANTE, ESPAÑA), OBJETO DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINAR (EL SANATORIO DE SAN FRANCISCO DE BORJA DE FONTILLES. MODELO DE ANÁLISIS PARA LA RECUPERACIÓN INTEGRAL DE COMPLEJOS SANITARIOS DE VALOR PATRIMONIAL. REF: HAR2013- 42060-R). ESTE ARTÍCULO DESCRIBE LA METODOLOGÍA PARA SU LEVANTAMIENTO MEDIANTE TRES TÉCNICAS DIFERENTES (LÁSER ESCÁNER TERRESTRE, FOTOGRAMETRÍA AÉREA Y TERRESTRE). LOS TRES MODELOS DIGITALES DENSOS PRESENTAN CARACTERÍSTICAS DIFERENTES Y COMPLEMENTARIAS.

PALABRAS CLAVE: LEVANTAMIENTO DIGITALIZADO, ESCÁNER LÁSER, FOTOGRAMETRÍA, DRON, FONTILLES.

Introducción

El levantamiento métrico arquitectónico ha sido desde siempre un aspecto fundamental en el estudio, la preservación y la difusión del patrimonio cultural, bien se trate de edificios patrimoniales, ruinas o yacimientos arqueológicos.

Cuanto más minuciosa y precisa sea la toma de datos, mayor será la objetividad del levantamiento y menor la abstracción e interpretación subjetiva del dibujante. Así, obtendremos resultados más próximos a la realidad que nos permitirán afrontar con mayor solidez los posteriores análisis métricos, estructurales, constructivos y patológicos.

En este sentido, la tecnología digital ha revolucionado este campo de investigación, agilizando notablemente el trabajo de campo, permitiendo una mayor y más completa toma de información geométrica y gráfica y acelerando los tiempos de procesado y edición de la misma. Los resultados obtenidos en el presente levantamiento habrían sido impensables con técnicas tradicionales, tanto desde el punto de vista de la cantidad de información como de su precisión. Las nuevas técnicas a las que nos referimos son, efectivamente, las que utilizan sensores activos como los escáneres láser, tanto los de diferencia de fase como los de tiempo de vuelo, y las que se basan en imágenes digitales (fotogrametría digital). Además, durante la última década, el uso tanto los instrumentos de medición (escáneres) como el software necesario para el procesado de los datos, se han generalizado y son cada vez más accesibles. Es también el caso de los drones cuyo uso se ha extendido en los últimos años en sectores variados (vigilancia, control de cultivos...) en los que es posible montar una cámara fotográfica y utilizarlos para el levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría aérea.

El objetivo de la presente contribución es describir la metodología de captura de la realidad empleada en cada una de las técnicas de levantamiento (escáner láser, fotogrametría terrestre y fotogrametría aérea) así como analizar, por comparación y contraste, los resultados

THE LABORATORIES PAVILION IS ONE OF THE MOST RELEVANT BUILDINGS OF THE ARCHITECTURAL ENSEMBLE OF THE SAN FRANCISCO DE BORJA'S SANATORIUM, IN FONTILLES (ALICANTE, SPAIN). IT IS THE OBJECT OF A MULTIDISCIPLINARY RESEARCH PROJECT (EL SANATORIO DE SAN FRANCISCO DE BORJA DE FONTILLES. MODELO DE ANÁLISIS PARA LA RECUPERACIÓN INTEGRAL DE COMPLEJOS SANITARIOS DE VALOR PATRIMONIAL. REF: HAR2013- 42060-R). THIS ARTICLE DESCRIBES THE METHODOLOGY TO UNDERTAKE ITS ARCHITECTURAL SURVEY THROUGH THREE DIFFERENT TECHNIQUES (TERRESTRIAL LASER SCANNER, TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY AND AERIAL PHOTOGRAMMETRY). THE RESULTING DENSE MODELS PRESENT DIFFERENT FEATURES THAT ARE COMPLEMENTARY.

KEYWORDS: DIGITALISED SURVEY, LASER SCANNER, PHOTOGRAMMETRY, UAV, FONTILLES.

Introduction

Architectural metric survey has been a fundamental aspect within the cultural heritage study, preservation and diffusion, regarding heritage buildings, ruins and archaeological sites.

The more detailed and accurate the data collection is, the greater the survey objectivity and the lower the abstraction and the draftsman subjective interpretation will be. Thus, we will obtain more reliable results which will allow us to face further metric, structural, constructive and pathological analysis.

In this sense, digital technology has enhanced this research area. Field work has been notably accelerated which not only has permitted a greater and more complete geometric and graphic data survey but also has reduced its processing and editing time. The obtained results below would not have been possible using traditional techniques, considering both the information amount and its accuracy.

The new technologies we mean are those that use both active sensors such as laser scanners (either phase shift scanners or time of flight ones) and passive sensors based on digital images (digital photogrammetry). In addition, during the last decade both the measurement instrumentation and the required data processing software have become generalised and are more and more affordable. Same thing regarding UAVs, whose use has extended to several areas such as surveillance and crops control. By installing a photographic camera on them, they also can be used for architectural survey through aerial photogrammetry techniques.

The goal of this contribution is both to describe three reality capture methodologies (Terrestrial Laser Scanning, terrestrial Structure From Motion and aerial Structure From Motion) and analyse, compare and contrast the obtained results. The object building is the Laboratories of the Fontilles Sanatorium. Thus, this contribution embodies an extension of a previous work regarding the west façade (Baviera Llópez et al., 2015), where laser scanning and terrestrial digital photogrammetry results were compared.

1/ Imagen histórica del pabellón de los laboratorios. Fuente: Archivo Histórico de Fontilles. Fondos Fotográficos. Serie 2ª N° 13. Año de edición: 1924.
1/ Historical picture of the laboratories pavilion. Source: Fontilles historical archive. Photographical Fund. Serial 2nd No. 13. Publication year: 1924.



que de ellas se obtienen. El objeto de estudio es el edificio completo de los Laboratorios del Sanatorio de Fontilles y constituye, pues, una ampliación de un trabajo previo (Baviera Llópez et al., 2015) en el que se comparaban los resultados obtenidos mediante el escáner y la fotogrametría digital terrestre únicamente de la fachada oeste de los Laboratorios.

El caso de estudio: los laboratorios

A principios del siglo XX, el sanatorio de San Francisco de Borja de Fontilles, Alicante, se funda para tratar a los enfermos de lepra. El conjunto está compuesto por más de 30 pabellones, construidos a lo largo del siglo (Marín Tolosa, Hidalgo Delgado 2014).

Los laboratorios se construyen en 1914 siguiendo el proyecto de Enrique Llopis Soriano. Al principio se diseña como un edificio exento, con muros de carga, dos crujías y una única planta. Sin embargo, durante su ejecución se amplía a dos alturas. (fig. 1)

En los años 30 se demuele el pabellón vecino y se construyen en su lugar las nuevas cocinas, anexas al antiguo pabellón. Se remodela la fachada principal para unificar la nueva construcción con la existente, en estilo moderno.

Metodología

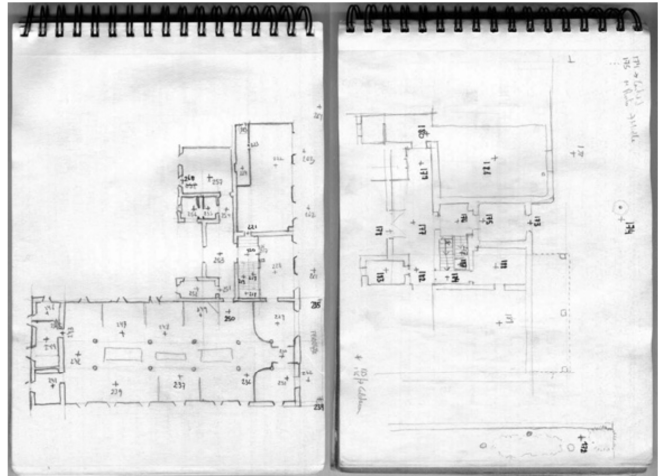
Escáner Láser

INSTRUMENTACIÓN

La toma directa de la geometría tridimensional se llevó a cabo con escáner Leica HDS6200, de la compañía Leica Geosystems, cuyo funcionamiento se basa en la “tecnología de rastreo láser ultra-rápida de diferencia de fase”, según describe la propia compañía. Este escáner mide la diferencia de fase entre luz emitida y recibida, y de este modo calcula la distancia al objeto. El haz emitido es continuo y de potencia modulada.

2/ Croquis de la planta de los laboratorios. Se indican las diferentes estaciones realizadas.

2/ Laboratories plan sketch. The scans positions are annotated.



The case study: the laboratories

In the early twentieth century, the sanatorium of San Francisco de Borja, in Fontilles, Alicante (Spain), is founded to treat leprosy. The architectural ensemble consists of more than 30 pavilions that were built during the century (Marín Tolosa & Hidalgo Delgado, 2014).

The Laboratories were built up in 1914 following a project of Enrique Llopis Soriano. At first it was a freestanding building with load-bearing walls, two bays and one floor. However, during construction was extended to one more floor. (fig. 1)

In the 30s the nearby pavilion was demolished and new kitchens were constructed instead, adjoining the old pavilion. The main façade was remodelled to unify the new building with the existing one. It was completely designed in modern style.

Methodology

Laser Scanner

INSTRUMENTATION

The three-dimensional geometric survey was undertaken with the Leica HDS6200 scanner. This scanner, developed by Leica Geosystems, uses “the ultra-high speed, phase-based laser scanning technology”, according to the company description itself. This scanner measures the phase-shift between emitted and received beam, which is continuous and power-modulated.

According to the manufacturer, the scan rate is up to 1.016.727 points per second and the scan range is 79 meters at 90% albedo and 50 meters at 18% albedo. Regarding distance measurement accuracy, 5 millimetres error (at 18% albedo in a range up to 50 meters) are guaranteed by the manufacturer.

Según el fabricante, la velocidad máxima de barrido es superior al millón de puntos por segundo (1.016.727 puntos/segundo) y llega a 79 metros de distancia, con 90% de albedo, y a 50 metros con 18% de albedo. Respecto a la precisión, el fabricante garantiza hasta 5 milímetros de error con un 18% de albedo en un rango de hasta 50 metros. Tomaremos este valor de 5 milímetros como referencia para evaluar los resultados.

TRABAJO PREVIO

Muchas veces, los instrumentos para el levantamiento se alquilan exprofeso para un trabajo concreto. Esto implica que hemos de realizar el trabajo de campo en el menor tiempo posible. Conviene, pues, dedicar un poco de tiempo a conocer el edificio que se pretende levantar, sus dimensiones aproximadas, las estancias interiores, etc. Así podremos planificar el número y posición de estaciones necesarias y optimizar el trabajo de campo.

En nuestro caso disponíamos del escáner durante una jornada para realizar el levantamiento. Se hizo un croquis, en planta, del edificio para planificar las posiciones de las diferentes estaciones a realizar (fig. 2). A cada posición en el dibujo se le asignó el número correspondiente de la nube de puntos -*scanworld*- generada por el escáner. Esto nos ayudará a planificar el registro de los escaneos durante el trabajo de gabinete.

TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó por dos técnicos en una jornada de trabajo de ocho horas. Para el levantamiento completo del edificio fueron necesarias 86 estaciones, configuradas con una resolución alta, esto es, a 10 metros de distancia respecto al escáner conseguimos una matriz de puntos con un espaciado de 6.3×6.3 milímetros. Todas las estaciones se hicieron de vuelta completa, con el máximo campo de visión que permite el escáner (360° en horizontal, 310° en vertical), y en un tiempo de 3 minutos 22 segundos, según datos del fabricante.

Las estaciones se fueron realizando según lo planificado en el croquis mencionado: en el exterior, en esquinas y frente a las fachadas, con una separación entre estación y estación de unos 15 metros; en el interior, al menos una por estancia y en los umbrales de las puertas para relacionar estancias contiguas. El objetivo es tener superficie de solape con suficiente definición para que el empalme de nubes de puntos contiguas se realice de forma satisfactoria.

En aras de agilizar el escaneo, no se usaron marcadores ni dianas, por lo que el registro se tendrá que realizar emparejando nubes, identificando puntos comunes manualmente.

TRABAJO DE GABINETE

Lo primero que hicimos fue importar la base de datos generada y almacenada en el propio escáner al ordenador de trabajo¹. Una vez importados todos los escaneos, abrimos el panel de registro, en inglés *registration*. A partir de aquí la mecánica es como sigue:

PREVIOUS WORK

Sometimes, surveying instrumentation is rented on purpose for a specific task. This means that we must do field work as fast as possible. Thus, it is convenient to study the object building beforehand (its dimensions, the interior distribution...) so we can plan the number and location of the scan-stations and optimize field tasks.

We used the laser scanner for just a working day. A building plan sketch was done in order to set the positions of each scan-station (fig. 2). Every scan-station was numbered in correspondence with its scan-generated point cloud. This will help us when registering all the scans at office.

FIELD WORK

The field work was carried out by a couple of technicians in an eight hours working day. 86 stations were needed to fulfil the whole survey. They were configured with high resolution, namely we get a 6.3×6.3 mm point grid at ten meters' range. Every scan-station was done using the maximum field of view allowed by the scanner (360° horizontal, 310° vertical) in a time of 3'22" according to the manufacturer datasheet.

Scans were being done as planned in the aforementioned sketch: outside, by the corners and in front of the facades with a 15 meters' distance between them; inside, at least one scan per room and on the doorways to relate adjacent chambers. Our aim was to have overlapping surface enough to successfully match the point clouds.

We did not use any markers in order to speed the scanning process up, so we will have to register manually every scan, identifying and matching common points.

OFFICE WORK

First of all we imported the generated database¹, which was stored in the scanner itself. Once all the scans were imported, we opened the registration panel. From here, the process is as follows:

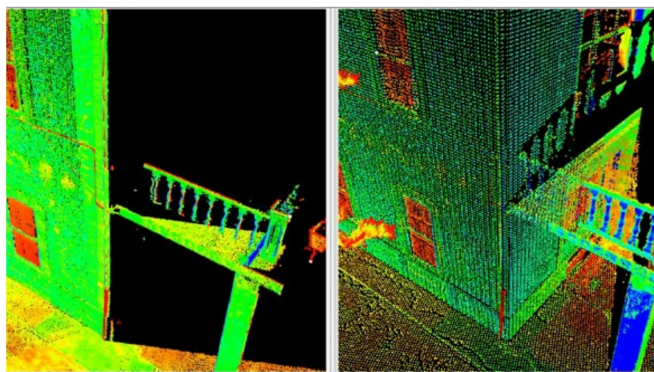
1st All the scans (*scanworlds*, as Cyclone calls them) we want to match must be added. We can add all of them at once or in batches. Not until we have all the scanworlds matched will not we be able to *freeze* the register to obtain a complete model. If we needed a partial or non-complete model, we should delete all the scanworlds not matched yet.

2nd We open simultaneously two different scanworlds. They can be successive or not: we will check the sketch. We mark common points on them, three at least, which will allow Cyclone to align both models. We should mark redundant points -six or more- so at least 3 of them were acceptable.

3rd Then we add a constraint between both point clouds. The command in question is *Add Cloud Constraint*. Provided the manually marked points are within a tolerance range, a new constraint will be

3/ Proceso de empalmado de dos *scanworlds*. Se marcan puntos comunes en ambos lados y se añade un nuevo *constraint*.

3/ Matching process of a pair of *scanworlds*. Common points are marked in both sides and then a new *constraint* is added.



1º. Hay que añadir todos los escaneos (*scanworlds*) que queramos empalmar. Podemos añadir todos los que tenemos o ir por lotes. Hasta que no tengamos todos los *scanworlds* empalmados no podremos “congelar” (*freeze*) el registro para obtener un modelo completo. Si necesitásemos un modelo incompleto o parcial, deberíamos eliminar todos los *scanworlds* que todavía no estuvieran empalmados.

2º. Abrimos simultáneamente dos *scanworlds* diferentes, normalmente sucesivos – o no, para eso consultaremos el croquis –, y marcamos puntos comunes, al menos 3, que permitan a Cyclone alinear los dos modelos. Es conveniente muchas veces indicar puntos redundantes – seis o más –, para que al menos 3 sean aceptables.

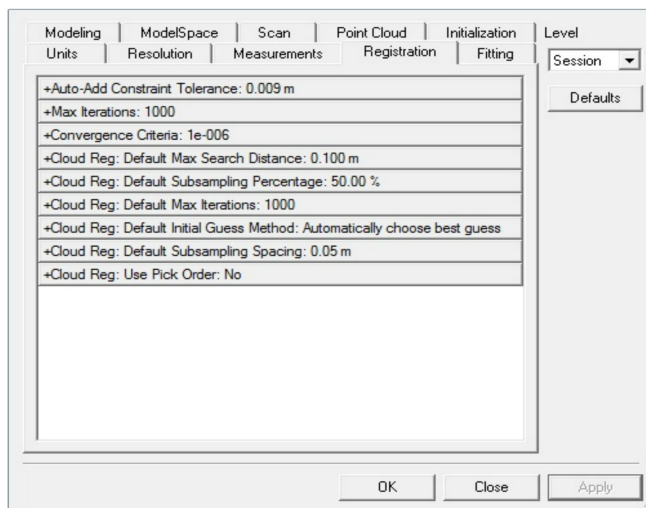
3º. Llegados a este punto añadimos una restricción o *constraint* entre ambas nubes de puntos. El comando en cuestión es *Add cloud constraint*. Si el programa es capaz de emparejar efectivamente al menos tres de los puntos indicados, añadirá el *constraint* (fig. 3). Para ello es necesario que la posición de dichos puntos sea coincidente, dentro de un rango de tolerancia, que podemos fijar en las opciones. En nuestro caso, la “distancia máxima de búsqueda” es de 0,1 m. (fig. 4)

4º Una vez establecido el *constraint*, podemos optimizar la alineación entre ambos *scanworlds*. El comando en cuestión es *Optimize cloud alignment*. Al ejecutarlo, Cyclone realizará un muestreo de los puntos de cada nube que utilizará para el cálculo. El programa calcula, de manera iterada, la desviación de cada uno de los puntos respecto al más cercano de la otra nube. En cada iteración modifica la posición relativa de los modelos y vuelve a evaluar la precisión de la unión. Tanto el número de iteraciones como el porcentaje de puntos que toma pueden establecerse desde las opciones. Cuanto mayor sea la cantidad de puntos tomada y mayor el número de iteraciones fijado, más precisa será la alineación de los modelos, pero mayor será también el tiempo de cálculo.

Finalizado el cálculo, el programa nos muestra una tabla con los datos estadísticos del proceso realizado. Nuestro criterio para dar por válido el empalme es, puesto que el error de medición individual del escáner es de 5 milímetros, de hasta 9 milímetros de error cuando no haya vegetación y las geometrías estén bien definidas y estáticas, y hasta 15 milímetros cuando en el entorno haya árboles. Si obtenemos valores mayores, repetiremos la operación.

4/ Panel de preferencias del proceso de registro en Cyclone.

4/ Preferences panel of the register process in Cyclone.



added (fig. 3). We can change the max search distance in preferences. We set it at 0.1 m. (fig. 4)

4th Once added the constraint, we can optimize the alignment between both scanworlds. The command in question is *Optimize cloud alignment*. When executing it, Cyclone performs a point sampling on both point clouds. Those sampled points are used to calculate their deviation in an iterated way. In each iteration the models relative position is modified and Cyclone calculates deviation again. Both the iterations limit and the points sampling percentage can be set in the options. The more points are taken and the more iterations, the more accurate the model alignment will be. Computation time will also be greater though.

Once the computation is finished, Cyclone shows us the statistics of the process. Since the scanner accuracy of single measurement is 5 millimetres, our criteria to accept a valid alignment will be up to 9 mm for clear geometries and up to 15 mm for those containing trees and vegetation. For higher values, we will repeat the process.

5th Next step is to register the last match so the last scanworld could be added to the general model, which already includes the registered scanworlds. We use the command *register*.

6th Hitherto we have matched manually successive scanworlds. However, after having registered, Cyclone is able to find new constraints automatically. Certainly, scanworlds not only overlap with their successive ones but also with others around. This process is performed by the command *Autoadd cloud constraint*, which repeats the fourth step for every overlapping scanworld pair. Once the *Autoadd* is finished, we repeat the step 5 to register all the new constraints.

The entire model, including all the 86 scanworlds, was finished in 40 hours. We spent 48 hours to obtain the final model, including field work. The entire model comprises 1,103,397,457 points and it has a RMS (Root Mean Square) of 27 mm.

5°. Lo siguiente es registrar el último emparejamiento, para que el último *scanworld* se añada al modelo general, que incluye los *scanworlds* ya empalmados. Para ello ejecutamos el comando *register*.

6°. Hasta ahora hemos ido empalmado manualmente *scanworlds* sucesivos. Sin embargo, después de haber realizado el *register*, Cyclone está en disposición de encontrar nuevos *constraints* automáticamente. En efecto, los *scanworlds* se solapan no solo con su sucesivo sino también con otros de su entorno. Este proceso automático se lleva a cabo con el comando *Autoadd cloud constraint* y consiste en repetir el paso 4 para todos los pares de *scanworlds* que tengan superficie en común. Al terminar el *autoadd* repetiremos el paso 5 para registrar todos los nuevos *constraints*.

El modelo completo, con el registro de los 86 *scanworlds* se terminó en 40 horas. En total se invirtieron 48 horas, incluyendo el trabajo de campo.

El modelo completo de puntos está formado por 1.103.397.457 puntos, con un error medio cuadrático de 27 mm.

Fotogrametría digital terrestre

Se realizó tanto el levantamiento fotogramétrico exterior e interior. Sabemos que esta técnica no tiene buenos resultados cuando se trata de superficies lisas, con poca textura, sin detalles, tales como la fachada sur de nuestro edificio o la mayoría de paramentos interiores (techos de escayola, paredes enlucidas, alicatadas...). No obstante, nuestra intención es ver hasta qué punto esta técnica puede llegar a ser útil, y evaluar los resultados que obtenemos.

INSTRUMENTACIÓN

Las fotografías se realizaron con una cámara réflex Canon EOS 550D, de 18 MP, y un trípode extensible de aluminio. Para controlar los cambios de color producidos por la variación de la luz solar, se utilizó un *color-checker* de grises.

Efectivamente, la cámara utilizada no es una cámara profesional, es una réflex de gama media. En parte, pretendemos demostrar cómo con una instrumentación accesible es posible obtener resultados más que aceptables.

TRABAJO DE CAMPO

Los trabajos previos necesarios son similares a los realizados para el levantamiento con el escáner láser. Conviene conocer el edificio, el número de fachadas y estancias, con el fin de estimar el tiempo necesario. Es especialmente importante considerar las orientaciones del edificio y conocer el soleamiento para tomar las fotografías cuando las fachadas están en sombra.

Para la toma fotográfica del exterior del edificio se procedió por pasadas horizontales. Una fotografía ha de solaparse al menos en un 50% con sus contiguas, tanto en horizontal como en vertical. Cuantas más veces aparezca un mismo punto en las fotografías, es decir, cuanta

Terrestrial photogrammetry

A terrestrial photogrammetric survey was performed for the interior and exterior of the laboratories. We know that this technique does not bring good results when it comes to flat surfaces whose smooth texture has no recognizable details nor shadows. That is the case of the main façade and most of the inner surfaces (plaster ceilings and walls, smooth tiled floors and walls...). However, our aim is to assess to what extent this technique may be useful and evaluate the results.

INSTRUMENTATION

The photographs were taken with a Canon EOS 550D SRL camera of 18 MP and an extendable aluminium tripod. A colour-checker was used to control the colour changes due to the sunlight variation. This is not a professional camera indeed, but a mid-range reflex camera. Partly, we aim to prove that it is possible to obtain more than acceptable results using a quite affordable instrumentation.

FIELD WORK

Preliminary tasks needed are similar to those carried out for the terrestrial laser scanning survey. It is convenient to know the building, its façades and rooms properly, in order to estimate the required time. It is especially important to consider orientations and sun exposure since it is recommended to take the pictures when the façades are in the shade.

The exterior photographs were taken along horizontal passes. Every picture need to have 50% overlap with its successive ones (horizontally and vertically). The more times the same point appears in different pictures, that is, the more photographs redundancy, the more accuracy we will get and the better the cameras orientation will be².

The uneven surroundings, the parallel building located 30 meters away and another building located north formed a tiered environment that allowed us to take almost orthogonal photographs of the façades. The roof was captured partially. The west gable was 90% captured whereas the east gable was just 20% captured and we needed to take photographs from afar using a 300 mm zoom lens³. The interior take was performed in a similar way. Photographs were made by room batches.

OFFICE WORK

After having discarded all the useless photographs, there were 680 exterior pictures and 8,339 interior ones left⁴. All of them were properly colour-balanced in Photoshop and then were saved in JPG format, with the best quality and resolution (5184 × 3456 pixels).

The Photoscan workflow starts importing all the pictures –or frames– into different groups correspondingly named chunks. These will allow us to split and order the computation. We created a chunk for the exterior pictures and one for each interior room. (fig. 5)

más redundancia de fotografías, más definición conseguiremos, y mejor será la orientación de las cámaras².

Los desniveles del entorno, el edificio paralelo situado a unos 30 metros y el edificio situado al norte conformaban un entorno escalonado que nos permitió tomar las fotografías de manera ortogonal a las fachadas. La parte del tejado fue posible capturarla parcialmente. El faldón oeste se pudo fotografiar al 90%. Para el agua este tuvimos que tomar las fotografías desde lejos con un teleobjetivo de 300 mm. de distancia focal, y aun así solo pudimos capturar el 20% de la superficie³.

Para la toma fotográfica de las estancias interiores, se procedió de manera análoga al exterior. Las fotografías se hicieron en grupos habitación por habitación.

TRABAJO DE GABINETE

Tras descartar las fotografías inservibles, nos quedamos con 680 fotografías exteriores y 8339 interiores⁴. Una vez efectuado el balance de color de cada imagen en Photoshop, se guardaron en formato JPG con la máxima calidad y resolución (5184 × 3456 pixels).

El flujo de trabajo en Photoscan se inicia importando las fotografías -o fotogramas-, que se clasifican en grupos o “pedazos” del modelo completo (*chunks*), según dispongamos nosotros, para fraccionar y ordenar el cálculo. En nuestro caso, creímos conveniente crear un *chunk* para las fotografías exteriores y uno por cada estancia interior. (fig. 5)

El proceso que se describe a continuación debe realizarse para todos los *chunks*. Photoscan ofrece la posibilidad de automatizar estas operaciones en lo que viene a llamar “proceso por lotes”, en inglés *batch process*.

Dibujamos máscaras de recorte (en Photoshop, importadas en formato PNG) para delimitar la zona de la imagen que nos interesa, evitar que el programa tome puntos innecesarios y, así, agilizar el proceso. Una vez tuvimos las imágenes en Photoscan, el primer paso fue alinearlas. Esto significa que el software debe resolver la orientación de las fotografías en el espacio. Photoscan busca puntos comunes en las fotografías y los relaciona. Para las cámaras que no se alinearon introducimos marcadores en puntos reconocibles de forma manual. El resultado, con los parámetros de “alta precisión” y “preselección de pares genérica” fue una nube de puntos dispersos.

Llegados a este punto, introducimos una serie de GCPs (Ground Control Points) para, primero, escalar y orientar el modelo tridimensional y, segundo, evaluar su precisión. Se buscaron puntos fácilmente reconocibles cuyas coordenadas se obtuvieron del modelo realizado previamente con el escáner laser. De este modo conseguimos tener ambos modelos en un mismo sistema de coordenadas.

Una vez hecho esto, le pedimos a Photoscan que optimizara los parámetros de calibración de las cámaras (f, cx, cy, k1, k2, k3, k4, aspect, skew, p1, p2) y así refinara la precisión del modelo.

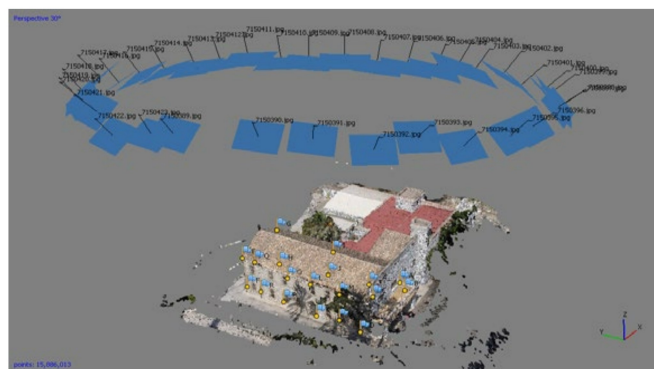
Workspace (38 chunks, 9129 cameras)
▶ Policlínica (108 cameras, 14 markers, 21,739 points) [R]
▶ Grande1 (169 cameras, 6 markers, 36,418 points) [R]
▶ Distribuidor3 (175 cameras, 8 markers, 39,939 points) [R]
▶ Distribuidor4 (117 cameras, 6 markers, 23,044 points) [R]
▶ Despacho (103 cameras, 6 markers, 17,712 points) [R]
▶ Auxiliar2 (108 cameras, 36 markers, 26,281 points) [R]
▶ RayosX (333 cameras, 27 markers, 65,777 points) [R]
▶ Revelado (73 cameras, 8 markers, 14,254 points) [R]
▶ Intermedia (73 cameras, 7 markers, 12,100 points) [R]
▶ Hall2 (67 cameras, 6 markers, 14,705 points) [R]
▶ Aseo (59 cameras, 39 markers, 8,209 points) [R]
▶ Espera (210 cameras, 5 markers, 42,038 points) [R]
▶ Auxiliar3 (23 cameras, 10 markers, 5,418 points) [R]
▶ Cocina (25 cameras, 6 markers, 4,068 points) [R]
▶ Distribuidor (277 cameras, 17 markers, 18,013 points) [R]
▶ Distribuidor2 (72 cameras, 43 markers, 14,141 points) [R]
▶ Quirofano1 (97 cameras, 10 markers, 22,682 points) [R]
▶ Quirofano2 (127 cameras, 70 markers, 8,904 points) [R]
▶ Auxiliar1 (91 cameras, 6 markers, 20,346 points) [R]
▶ Quirofano3 (158 cameras, 32 markers, 6,264 points) [R]
▶ Quirofano4 (124 cameras, 10 markers, 7,955 points) [R]
▶ Hall (177 cameras, 44 markers, 35,828 points) [R]
▶ Aseos (90 cameras, 21 markers, 21,575 points) [R]
▶ XAP (653 cameras, 26 markers, 119,328 points) [R]
▶ Habitaciones (190 cameras, 46 markers, 38,695 points) [R]
▶ Escaleras (559 cameras, 40 markers, 78,849 points) [R]
▶ Cuarto Oscuro (51 cameras, 20 markers, 15,746 points) [R]
▶ Archivo (215 cameras, 6 markers, 44,711 points) [R]
▶ Píscolabis (176 cameras, 38 markers, 30,011 points) [R]
▶ Organos (169 cameras, 30 markers, 35,338 points) [R]
▶ Auxiliar (157 cameras, 6 markers, 28,623 points) [R]
▶ Dormitorio (184 cameras, 6 markers, 36,864 points) [R]
▶ Biblioteca (348 cameras, 6 markers, 52,111 points) [R]
▶ Distribuidor (486 cameras, 6 markers, 94,885 points) [R]
▶ Auditorium (528 cameras, 136 markers, 33,665 points) [R]
▶ Laboratorios (1526 cameras, 42 markers, 313,965 points) [R]
▶ Lavabo_Baño (241 cameras, 11 markers, 48,209 points) [R]
▶ ENVOLVENTE (790 cameras, 90 markers, 108,148 points) [R]

The described process below was systematically followed for every chunk. It is possible to automatize these operations using the *batch process* in Photoscan.

In order to speed the computation times up preventing the software to take unnecessary points we used clipping masks. These were drawn in Photoshop and imported in PNG format.

Once we had all the frames in Photoscan, classified by chunks, the first step was to align them. That means that the software have to calculate the spatial orientation of every picture. The algorithm finds

6/ Posición de las cámaras del vuelo fotogramétrico.
6/ Cameras position in photogrammetric flight.



Con todo, obtuvimos un error total de 0.026924 m. Fijadas las posiciones y alineación de las cámaras, el proceso continuó con la creación de la nube de puntos densa. Para ello, establecimos los parámetros de calidad alta (utiliza puntos reconocibles en cada imagen escalada con factor 1/2) y filtro de profundidad moderado.

Fotogrametría aérea

La fotogrametría aérea se llevó a cabo con un UAV cuadricóptero⁵. Debido a la cantidad de obstáculos en el entorno (edificios de diferentes alturas, árboles, desniveles, etc.) se optó por planificar un vuelo automático. El *software* vinculado al UAV permite establecer la trayectoria que seguirá el vehículo y fijar un punto objetivo sobre el que rotar siempre encarado hacia el mismo, utilizando tecnología GPS.

Se diseñó pues un recorrido circular en derredor al edificio, a una cota de 30 metros, aproximadamente, sobre el nivel del suelo. Se distribuyeron las fotografías uniformemente a lo largo de dicha trayectoria (fig. 6). Una vez terminada la toma fotográfica, el cuadricóptero volvió en modo automático al punto de partida, desde el que, por razones de seguridad, aterrizó en modo manual.

Una vez hubimos descargado las fotografías en formato ORF y JPG obramos de manera análoga al procedimiento para la fotogrametría digital terrestre: Alineamos las fotografías, insertamos los puntos de control, optimizamos la alineación, construimos la nube de puntos densa, la malla triangulada y por último la textura.

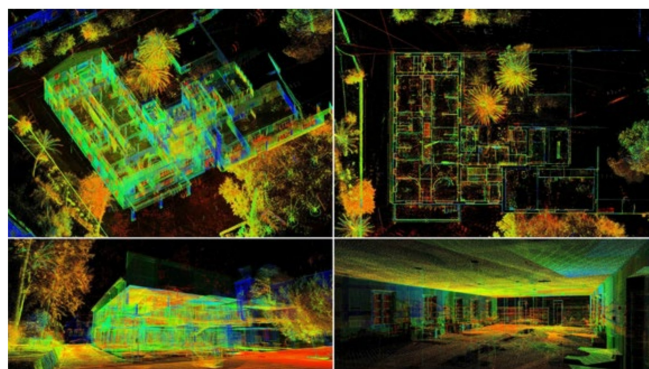
Las 35 que obtuvimos las dispusimos en un único *chunk*, de modo que el tiempo de cálculo fue muy inferior al empleado en el procedimiento de la fotogrametría digital terrestre.

Resultados

Escáner Láser

El resultado final del levantamiento mediante escáner láser 3D es el modelo de puntos completo del edificio de los laboratorios (fig. 7). Se trata de una cantidad inmensa de información, por lo que no es posible manejarla con cualquier programa de edición 3D. En Cyclone es posible crear diferentes espacios modelo (*modelspaces*) en los que eliminar parte de la información, o seccionarla sin perder los datos originales. Así, podemos obtener plantas, alzados

7/ Modelo 3D realizado mediante escaneado digital terrestre.
7/ Terrestrial laser scanning 3D model.



common points in different frames and match them. We also fixed some markers manually on the frames for those that were not aligned. Setting a *high accuracy* and a *generic pair preselection* the result was a sparse point cloud.

At this point we introduced several Ground Control Points (GCPs) in order to scale and orient the model firstly and assess its accuracy. Recognizable points were properly chosen whose coordinates were obtained from the laser-scanner model. Thus we got to have both models in the same coordinate system.

When this was done, we asked Photoscan to optimize the cameras calibration parameters (f , c_x , c_y , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , aspect, skew, p_1 , p_2) so it could refine the model accuracy.

We obtained a total error of 0.026924 m.

Once the cameras were fixed and aligned, the process continued with the creation of a dense point cloud. High quality (uses half of the recognizable points in every frame) and moderate depth filter parameters were established for this step.

Aerial photogrammetry

An aerial photogrammetric survey was performed using a quadcopter UAV⁵. Because of the number of obstacles in the environment (buildings of different heights, trees, slopes, etc.) we chose an automatic flight plan. The UAV related software permits to establish an aerial path for the drone using GPS technology (fig. 6). It is also possible to set a target point on the building so the UAV will turn around it to take the photographs.

Thus, a circular path about 30 meters high around the building was designed. The photographs were distributed evenly along the aforesaid path. Then, once finished the flight, the UAV returned to the starting point in automatic mode. From there, manual mode was set to land it safely.

Once we got the photographs in ORF and JPG format, we followed the same process as for terrestrial photogrammetry: Align cameras, introduce GCPs, optimize alignment, and build dense cloud, mesh and texture.

All the 35 frames we got, we put them in the same chunk so the calculation time needed was much less than that spent for the terrestrial photogrammetric process.



o secciones eliminando las partes que no nos interesen. Estos *modelspace*s pueden ser exportados a otros programas de similares características como ReCap, de Autodesk o Geomagic Wrap de 3DSystems usando formatos binarios tales como PTG o formatos ASCII como PTX.

Fotogrametría terrestre

El resultado final del proceso de levantamiento por fotogrametría terrestre es un modelo –o varios, si consideramos los distintos *chunks* de malla triangulada (*mesh*) con las texturas reales (fig. 8).

Efectivamente, tal y como avanzábamos en la descripción del método, cabe diferenciar entre dos tipos de modelos, a saber, aquellos cuyo objeto presenta una superficie rugosa o una textura irregular, como la fábrica de mampuestos de las fachadas oeste, norte y este, o el tejado, y aquellos cuyo objeto tiene una textura prácticamente lisa, como son la fachada sur, que está enlucida, y la mayoría de los paramentos del interior del edificio.

En referencia al primer tipo, como ya demostramos en anteriores ocasiones (Baviera Llópez et al., 2015), se reconoce la fotogrametría digital terrestre como una alternativa seria y considerablemente más económica al levantamiento digitalizado mediante escáner láser, siempre que se acompañe de una precisa toma de puntos de control. Sin embargo, respecto al segundo tipo, los algoritmos fotogramétricos son incapaces de reconocer suficiente cantidad de puntos en los fotogramas como para proporcionar un modelo tridimensional verosímil siquiera, y encontramos, en el mejor de los casos, superficies con mucho ruido, cuando deberían ser lisas. Por tanto, para este tipo de objetos la mejor solución es el levantamiento mediante escáner láser.

Results

Laser Scanner

The final result of the TLS survey process is a 3D points cloud model of the laboratories pavilion (fig. 7). As it comprises a very large amount of data, we will need specific software to manage it. Cyclone permits to create *modelspace*s where to edit and modify the model without losing the original data. So we can delete useless parts to obtain plans, elevations and cross sections. This *modelspace*s can be exported into similar software such as ReCap (Autodesk) or Geomagic Wrap (3DSystems) using binary formats like for instance PTG and PTS, or ASCII formats like PTX.

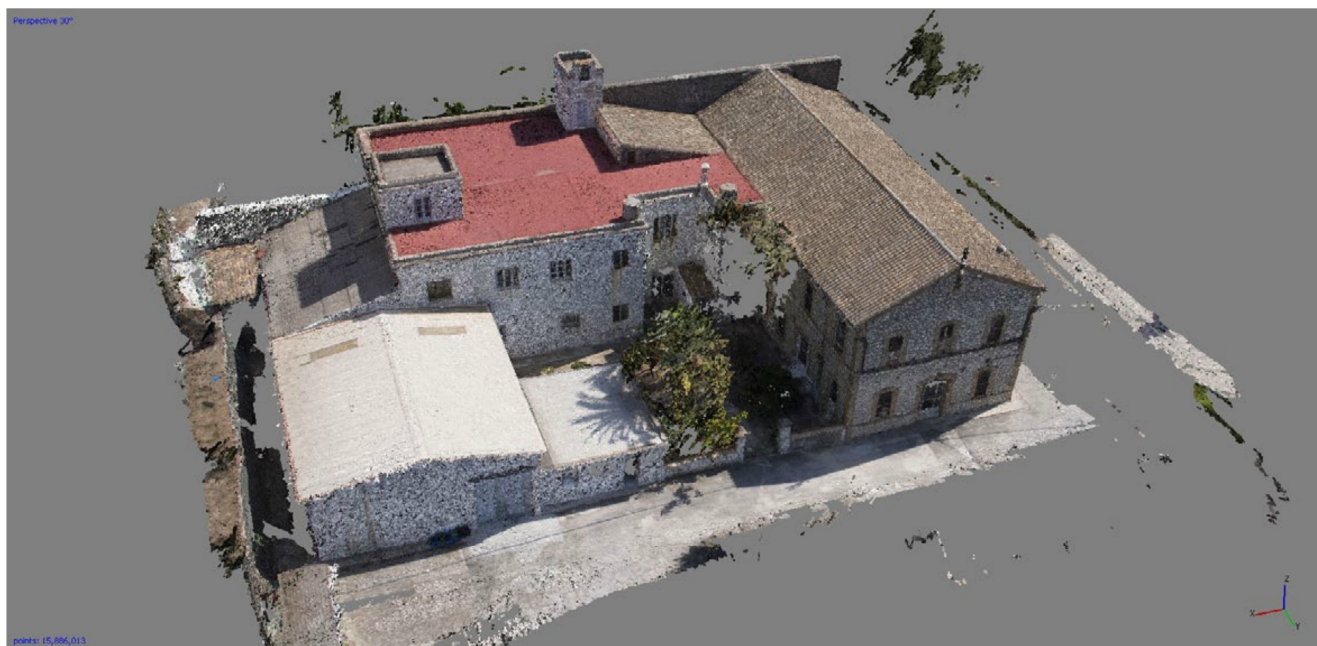
Terrestrial Photogrammetry

The final result of the terrestrial photogrammetry survey process is a mesh model with real textures. (fig. 8)

As we explained in the methods section, there must be a difference between two types of models, namely those whose object has a rough surface or an uneven texture such as the stonework of the west, north and east façades, or the tile roof, and those whose object has a smooth texture such as the plastered south façade and most of the interior wall coverings.

Regarding the first group, as we had already proved (Baviera Llópez et al., 2015), digital terrestrial photogrammetry embodies an efficient and cheaper alternative to the expensive TLS techniques provided an accurate GCPs take is performed properly.

However, regarding the second group, photogrammetric algorithms are unable to recognize enough points on the pictures to provide a credible three-dimensional model. They usually generate noisy sur-



Fotogrametría aérea

El levantamiento fotogramétrico digital aéreo también nos proporciona un modelo triangulado *mesh* del exterior de nuestro edificio. Lo más relevante es que conseguimos un modelo completo de las cubiertas. (fig. 9)

Cierto es que dicho modelo tiene menos definición que los modelos obtenidos mediante el escáner láser o, incluso, fotogrametría terrestre. Esto se debe a:

1. La cantidad de fotogramas empleados es mucho menor
2. La distancia desde la que se han hecho los fotogramas es mayor.
3. La resolución de la Olympus E-PM2 es menor que la de la Canon EOS 550 D

Conclusiones

El modelo obtenido mediante escáner láser ofrece una excelente información geométrica de todo el edificio excepto de las cubiertas. Por el contrario, no nos ofrece apenas información sobre la textura real de los objetos. El modelo obtenido mediante fotogrametría digital terrestre nos da información geométrica de considerable rigor allí donde la superficie no es lisa. Donde no lo es, genera modelos muy imperfectos.

El modelo obtenido mediante fotogrametría aérea nos proporciona un modelo general exterior menos definido que los anteriores. Sin embargo, es el único que nos da un modelo tridimensional completo de las cubiertas. Por supuesto no descubrimos nada al afirmar que la tecnología láser ofrece unos resultados mucho más interesantes desde el punto de vista del levantamiento puramente arquitectónico que la fotogrametría digital, en cualquiera de sus versiones. Sin embargo siempre cabe preguntarse si esa inmensa cantidad de información en forma de nube de puntos puede ser mejorada o, simplemente, completada de algún modo.

faces instead of smooth ones. Consequently, for this kind of objects the best option is the TLS technique.

Aerial Photogrammetry

The digital aerial photogrammetry survey also provides us with an exterior wrapping model of the laboratories pavilion. The most relevant feature is that we obtain an entire model of the roof. (fig. 9)

It is true that this model has poorer definition than those made using TLS or even SFM techniques. The reasons are:

1. There have been used much fewer photographs.
2. The distance camera-object is higher.
3. The Olympus E-PM2 resolution is slightly lower than the Canon EOS 550 D camera.

Conclusions

The TLS digital model gives us a high quality geometric data of all the building except for the roof. On the contrary, it does not provide any information about the object real textures.

The terrestrial SFM digital model provides us with somewhat accurate geometric information of rough surfaces. For smooth surfaces, the results are completely dispensable.

What is obtained from the aerial SFM technique is an exterior general model with less definition than the others. However, it is the only one which provides us with a complete roof model.

Certainly, we are not discovering anything when saying that the laser technology is the one which provides the most interesting results regarding purely architectural survey. However, we can still wonder if such a big amount of data can be improved or completed somehow.

En futuras investigaciones trataremos de concretar una metodología que integre los modelos obtenidos mediante las tres técnicas descritas aquí, aprovechando las virtudes de cada una de ellas para obtener un modelo completo del edificio de los laboratorios del Sanatorio San Francisco de Borja de Fontilles.

Agradecimientos

Al departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica (UPV), al de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría (UPV) por haber cedido sus equipos para la investigación.

Al Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica de la Universidad de Valladolid, por el dron, el vuelo y las fotografías aéreas.

Al personal del Sanatorio y a la Fundación Fontilles, por todas las facilidades que nos han brindado durante el trabajo de campo.

In future work we will aim to develop a methodology to integrate those three aforesaid models into a complete merged one, taking advantage of their special features.

Acknowledgements

First, special thanks to Architectural Graphic Expression Department (UPV), thanks to the Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry Department (UPV) for having lent their instrumentation for the research.

Second, we sincerely thank the Architectural Photogrammetry Laboratory of the University of Valladolid (Spain), for the UAV, the flight and the aerial photographs.

Last but not least, heartfelt thanks to the Sanatorium staff and the Fontilles Foundation for making things so easy during field work.

Notas

*(Investigador arquitecto en IRP-UPV) edballo@arq.upv.es

**(Profesor en ETSCCP-UPV) jdenia@cgf.upv.es

*** (Profesor en EGA-UPV) jllopi@ega.upv.es

**** (Investigador ingeniero en IRP-UPV) jormarpi@gmail.com

¹ El *software* asociado al escáner láser de Leica es el Cyclone, que para el presente trabajo se ha utilizado en su versión 6.0.

² Según la pasada se fijó la distancia focal dependiendo de la distancia hasta el objeto (24, 35 y 85 mm). La cámara se configuró en modo manual (ISO = 100) para obtener la mayor nitidez posible, apertura = f/11 y tiempo de exposición = 1/5 s.

³ Se utilizó un *color-checker* cada 5 fotografías y cuando había un cambio evidente de luz.

⁴ El modelo tridimensional fue generado con el *software* Agisoft Photoscan Profesional Edition (versión 1.1.3).

⁵ En el UAV se montó una cámara compacta Olympus E-PM2 de 16 MP, con una relación focal f/5, un tiempo de exposición de 1/2000 segundos, ISO-200 y una distancia focal de 12 mm.

Notes

*(Researcher architect at IRP-UPV) edballo@arq.upv.es

**(Professor at ETSCCP-UPV) jdenia@cgf.upv.es

*** (Professor at EGA-UPV) jllopi@ega.upv.es

**** (Researcher engineer at IRP-UPV) jormarpi@gmail.com

¹ The Leica scanner is associated with a *software* called Cyclone. For this research we used the version 6.0.

² Depending on the pass, namely, depending on the distance to the object, a different focal length was set (24, 35, 85 mm). The camera was configured manually (ISO = 100, aperture = f/11, exposure = 1/5 sec) to obtain the sharpest possible images.

³ We used a colour checker every five pictures or whenever a change of sunlight occurred.

⁴ The three-dimensional photogrammetric model was generated using Agisoft Photoscan Professional Edition 1.1.3.

⁵ A compact camera Olympus E-PM2 16MP was mounted on it. We set an f/5 focal ratio, an exposure of 1/2000 seconds, ISO-200 and a 12 mm focal length.

Bibliografía - Bibliography

- Adembri Benedetta, Cipriani Luca, Fantini Filippo, Bertacchi Silvia 2015. "Reverse designing : an integrated method for interpreting ancient architecture", 5 (January 2016), 15–32. <http://doi.org/10.2423/122394303>
- Agisoft LLC. 2015. *Agisoft Photoscan User Manual. Professional Edition, Version 1.1* [En línea] San Petersburgo, Russia, disponible en: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_en.pdf [Accesado el día 31 de Mayo de 2015]
- Baviera López Eduardo María, Navarro Esteve Pablo, Marín Tolosa Rafael E., Martínez Piqueras, 2015 "Levantamiento arquitectónico digitalizado de la fachada oeste de los laboratorios del Sanatorio San Francisco de Borja de Fontilles" en Arché. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV. Nums 8 y 9 – 2013-15, en prensa.
- Cipriani Luca, Fantini Filippo, Bertacchi Silvia 2014. "Survey and representation of vaults and cupolas : an overview on some relevant Italian UNESCO Sites"
- Martínez Piqueras Jorge F., et al. 2016. "Digital Survey to Study the Architectural Evolution of Health Complex Fontilles Through the Modeling", en XXX Salón Tecnológico de la Construcción en el marco de CEVISAMA (EXCO'16). Valencia. pp. 428-429.
- Marín Tolosa Rafael E., Hidalgo Delgado Francisco, 2014. "Sanatorio de San Francisco de Borja, Fontilles. Secuenciación Arquitectónica. Análisis y evolución de sus estructuras y técnicas constructivas" en Emerge 2014, Jornadas de Investigación en Conservación y Restauración de Patrimonio, 1, 535-544.
- Meschini Alessandra, Petrucci Enrica, Rossi Daniele, Sicuranza Filippo, 2014 "Point cloud-based survey for cultural heritage. An experience of integrated use of range-based and image-based technology for the San Francesco convent in Monterubbiano" en ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volumen XL-5.
- Kersten, T., Mechelke, K., y Maziull, L. 2015. "3D model of al Zubarah fortress in Qatar—terrestrial laser scanning vs. dense image matching" en ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, 1-8.
- Robleda Prieto, G., y Pérez Ramos, A. 2015. "Modeling and accuracy assessment for 3D-virtual reconstruction in cultural heritage using low-cost photogrammetry: surveying of the "Santa María Azogue church's front." en ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, 263-270.