



Universidad de Valladolid



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
(UNIVERSIDAD DE VALLADOLID)**

**PROGRAMA DE DOTTORATO DI RICERCA IN ARCHITETTURA
(UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II")**

TESIS DOCTORAL:

**Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el
modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades**

**Presentada por Óscar Jesús Cosido Cobos para optar al grado de
Doctor/a por la Universidad de Valladolid / Università Degli Studi di
Napoli "Federico II"**

Dirigida por:

Antolín Lorenzana Iban / Massimiliano Campi

UVa

Secretaría Administrativa. Escuela de Doctorado. Casa del Estudiante. C/ Real de Burgos s/n. 47011-Valladolid. ESPAÑA

Tfno.: + 34 983 184343; + 34 983 423908; + 34 983 186471 - **Fax** 983 186397 - **E-mail:** seccion.tercer.ciclo@uva.es



Universidad de Valladolid

Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el
modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS, INGENIERÍA
DEL TERRENO Y MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS

TESIS DOCTORAL:

HIBRIDACIÓN DE TÉCNICAS DE INGENIERÍA INVERSA PARA EL MODELADO PRECISO DE ESTRUCTURAS, EDIFICIOS Y CIUDADES

Presentada por **Óscar Jesús Cosido Cobos**, Ingeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad de Salamanca, Máster en Matemáticas y Computación por la Universidad de Cantabria y DEA en Urbanismo y Ordenación del Territorio por la Universidad de Valladolid.

Dirigida por **Antolín Lorenzana Iban**, Profesor del Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno y Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad de Valladolid y **Massimiliano Campi** Profesor del Departamento de Arquitectura de la Università Degli Studi di Napoli “Federico II”.

Esta Tesis Doctoral fue leída en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, el día , estando compuesto el tribunal calificador por:

Presidente

Secretario

Vocal

Obteniendo la calificación de

Valladolid,

de

de 2017



Universidad de Valladolid

Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el
modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades



“A mi madre, precursora de esta tesis”

Agradecimientos

Esta tesis es el fruto de años de investigación en lo que ahora se denomina “Tecnologías 4.0”. La investigación aplicada se estaba fraguando ahí, desde el principio de los drones, la Realidad Virtual, las impresoras 3D y el *Big Data* (cuando todavía no se denominaba así). Mucho tiempo, tiempo de cambios tecnológicos y desarrollo experimental, donde lo más importante no es la investigación realizada ni los resultados obtenidos, fueron la cantidad de personas interesantes que pude conocer.

Quiero agradecerles a mis directores de tesis, por su dedicación, esfuerzo y ánimo para terminar esta tesis. En especial a Antolín Lorenzana Iban por las oportunidades brindadas. A José Luis Lalana Soto y a José Pereda Llamas, por su ayuda con esta tesis. A Esteban Sainz Vidal por facilitar el aplicar la metodología de forma práctica. No pudiendo faltar mis agradecimientos a Óscar Ruiz López y Alberto Salcines Menezo de *3DINTELLIGENCE* por todas las aportaciones realizadas.

Pero mi mayor gratitud es para mi familia, quienes siempre están ahí, apoyándome en todo momento.

Muchas gracias a todos por acompañarme en esta aventura.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. ALCANCE DE LA TESIS	7
1.2. OBJETIVOS DE LA TESIS	12
2. ESTADO DEL ARTE	15
2.1. TECNOLOGÍA ESCÁNER – LÁSER Y FOTOGRAMETRÍA	17
2.2. TECNOLOGÍA FOTOGRAMETRÍA CONVERGENTE	18
2.3. TECNOLOGÍA UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE)	21
2.4. TECNOLOGÍA GIS (<i>GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS</i>)	22
3. DESARROLLO METODOLÓGICO	25
3.1. METODOLOGÍA.....	25
3.1.1. CAPTURA DE INFORMACIÓN.....	25
3.1.2. CORRECCIÓN DE DISTORSIONES	26
3.1.3. LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS	28
3.1.4. USO DE DRONES O UAV	31
3.1.5. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA	32
3.1.6. MODELADO 3D Y GENERACIÓN DE SUPERFICIES	35
3.1.7. TEXTURIZADO Y RENDERIZADO	38
3.1.8. CREACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS.....	41
3.1.9. MODELOS 3D DE EDIFICIOS URBANOS	43
3.1.10. REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA.....	44
4. APLICACIONES	47
4.1. ESTUDIO PRELIMINAR	47
4.1.1. NIVEL DE ESCALA DE MENOS DETALLE: SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES. NIVEL DE ESCALA DE MAYOR DETALLE: SEGMENTACIÓN DE NUBES DE PUNTOS	49
4.2. APLICACIONES 1: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PATRIMONIAL	52
4.2.1. GENERACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL SUBTERRÁNEO Y EN SUPERFICIE DE SANTANDER	54

4.2.2.	CATEDRAL DE SANTANDER.....	72
4.2.3.	MODELADO 3D DEL CLAUSTRO DE LA CATEDRAL DE SANTANDER.....	77
4.2.4.	COCHERA Y ROTONDA PARA FERROCARRILES CAJO – SANTANDER. ESTUDIO DEL PATRIMONIO INDUSTRIAL.....	82
4.2.5.	BIBLIOTECA Y CASA DE MENÉNDEZ PELAYO. VISITA VIRTUAL CON JAVA FX.	89
4.2.6.	ANILLO CULTURAL DE SANTANDER.....	92
4.2.7.	SISTEMA DE GESTIÓN PATRIMONIAL DE SANTANDER	94
4.2.8.	BASE DE INFORMACIÓN PARA EL SISTEMA DE EMERGENCIAS DEL CUERPO DE BOMBEROS DE SANTANDER	97
4.3.	APLICACIÓN 2: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS	103
4.4.	MODELOS VIRTUALES INMERSIVOS.....	105
4.4.1.	REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA PARA LA GESTIÓN DE LA PENÍNSULA DE LA MAGDALENA	106
4.4.2.	DOCUMENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL PATRIMONIO HISTÓRICO MEDIANTE HIBRIDACIÓN DE TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL E INGENIERÍA INVERSA EN GRAJAL DE CAMPOS	107
4.4.3.	MODELOS DE REALIDAD VIRTUAL PARA LA BIBLIOTECA MENÉNDEZ PELAYO	108
4.4.4.	CONMEMORACIÓN DEL 75 ANIVERSARIO DEL INCENDIO DE LA CIUDAD DE SANTANDER EN 1941 ...	109
5.	<u>CONCLUSIONES.....</u>	115
6.	<u>APORTACIONES Y TRABAJO FUTURO</u>	121
	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	128
	<u>ANEXO I. PUBLICACIONES.....</u>	151
	RELACIÓN DE ARTÍCULOS EN CONGRESOS INCLUIDOS EN ESTA TESIS.....	152
	RELACIÓN DE CAPÍTULOS EN LIBROS	153
	RELACIÓN DE ARTÍCULOS EN REVISTAS	154

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Fotografía histórica de la Plaza del Príncipe en Santander después del incendio de 1941</i>	7
<i>Figura 2. Recreación Virtual de la Plaza del Príncipe de Santander antes del incendio de 1941</i>	7
<i>Figura 3. Diferentes momentos de la evolución de la catedral, modelos virtuales.</i>	9
<i>Figura 4. Vista del modelo virtual del Palacio de la Magdalena en Santander.</i>	10
<i>Figura 5. Vista cenital del modelo virtual de la Península de la Magdalena generado</i>	11
<i>Figura 6. Ejemplo de visualización de la nube de puntos</i>	17
<i>Figura 7. Consulta al GIS Municipal sobre enclaves susceptibles de protección sobre la ortofoto de Santander.</i>	23
<i>Figura 8. Esquema formato Raw.</i>	25
<i>Figura 9. Cámara Canon G12.</i>	25
<i>Figura 10. Posiciones para la toma oblicua sobre el objeto.</i>	26
<i>Figura 11. Gráfico para entender la distorsión radial</i>	27
<i>Figura 12. Ejemplo de posiciones de las cámaras obtenidas de forma inversa</i>	28
<i>Figura 13. Imágenes aéreas tomadas por el dron.</i>	29
<i>Figura 14. Prueba de toma de fotografías sobre andamio, para una posición más centrada con la fachada.</i>	30
<i>Figura 15. Posición ideal de las cámaras para la toma de fotografías</i>	31
<i>Figura 16. Minidrones utilizados.</i>	31
<i>Figura 17. Imagen desde la cámara del minidron para modelar la</i>	32
<i>Figura 18. Vuelo con el minidron para toma de fotografías</i>	32
<i>Figura 19. Esquema Geometría Epipolar.</i>	33
<i>Figura 20. Geometría epipolar.</i>	33
<i>Figura 21. Modelo de colinealidad.</i>	35
<i>Figura 22. Nube de puntos generados con su color (RGB)</i>	36
<i>Figura 23. Modelo 3D del Edificio.</i>	37
<i>Figura 24. Modelos del pórtico de entrada y claustro de la Catedral de Santander.</i>	38

<i>Figura 25. Modelado 3D por ingeniería inversa de los muebles de la</i>	<i>39</i>
<i>Figura 26. Modelo geométrico que contempla la fachada externa</i>	<i>39</i>
<i>Figura 27. Proceso de matching entre imágenes, búsqueda de puntos homólogos.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 28. Generación del Modelo Blanco de Superficies.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 29. Finalización del Modelo. Ahora se exportará a un entorno de Realidad Virtual.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 30. Ejemplo de ortofoto de parte de la fachada del palacio.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 31. Ortofotografía Aérea del Palacio la Magdalena (9 de Mayo de 2012).</i>	<i>42</i>
<i>Figura 32. Ortofoto aérea del término municipal de Santander.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 33. Escáner – láser utilizado para las pruebas.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 34. Fabricación del dron.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 35. Vuelo del dron usado para esta tesis.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 36. Ejemplo de resultado de la aplicación de la metodología a estructuras industriales.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 37. Pasos para la generación del GIS de la Península de la Magdalena.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 38. Plano de comparación entre la ciudad enterrada y en superficie.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 39. Imagen de los restos de la muralla medieval.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 40. Fotos de los trabajos de toma de datos para modelar el documentar en 3D los restos encontrados en la Plaza Velarde de Santander.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 41. Modelo Virtual de uno de los Refugios Antiaéreos en Santander.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 42. Nubes de puntos sobre las que generar las superficies.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 43. Proceso de elaboración del Modelo Virtual del Santander Medieval.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 44. Virtualización del Santander del siglo XVIII.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 45. Yacimiento de la Plaza Porticada de Santander.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 46. Santander en 1575. Según el grabado publicado por Braun.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 47. Plano de Santander realizado por Agustín de Colosía en 1791 en el que se observan.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 48. Trabajos durante el Yacimiento Arqueológico.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 49. Equipo de Topografía.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 50. Preparación del dron.</i>	<i>69</i>

<i>Figura 51. Modelo 3D obtenido mediante la metodología propuesta.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 52. Imagen de una calzada con marcas para la mejora de la precisión en la</i>	<i>71</i>
<i>Figura 53. Modelo Digital del Yacimiento.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 54. Imágenes del Yacimiento, captura de información y resultado de la ortorrectificación</i>	<i>72</i>
<i>Figura 55. Imagen del Yacimiento, entrada a la ciudad, datado del siglo XIII, modelo 3D.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 56. Modelado 3D de la Catedral en el Siglo XIII.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 57. Modelado 3D de la estructura del Claustro de la Catedral de Santander.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 58. Imagen en perspectiva de la Catedral y Claustro en el siglo XIV</i>	<i>76</i>
<i>Figura 59. Imagen en perspectiva de la Catedral y Claustro en el siglo XIV.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 60. Escaneado Láser del Claustro de la Catedral.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 61. Una de las Imágenes resultantes de la segmentación de las imágenes.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 62. Depósito de tracción eléctrica de Cajo. Plano de demoliciones y</i>	<i>85</i>
<i>Figura 63. Depósito de locomotoras Cajo-Santander.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 64. Con Massimiliano Campi del grupo italiano durante los</i>	<i>87</i>
<i>Figura 65. Modelo Geométrico y modelo virtual de la estructura que forma la</i>	<i>88</i>
<i>Figura 66. Visita virtual 360º desde la rotonda y Escaneado 3D de toda la zona.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 67. Captura del interior del modelo 3D creado.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 68. Interior de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 69. Imágenes de los edificios del actual correos a la izquierda mientras se modelaba en.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 70. Alzado de la fachada del frente del Paseo Pereda.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 71. Imagen desde dentro del Modelo Virtual de la Plaza Porticada de Santander.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 72. Infografía del Anillo Cultural de Santander.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 73. Diagrama de clases correspondiente al negocio de la aplicación.</i>	<i>94</i>
<i>Figura 74. Imagen del mapa de Santander por Geo Server.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 75. Mapa con barra de herramientas área seleccionada.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 76. Vista de la zona de la Península de la Magdalena.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 77. Salida gráfica con las capas de información utilizadas para la base documental del.....</i>	<i>96</i>

<i>Figura 78. Infografía del Centro Botín en Santander, visto en el Modelo de GIS 3D.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 79. Creación de un mapa (Cantabria) a partir de varias capas GIS,</i>	<i>99</i>
<i>Figura 80. Imágenes del GIS para Valdecilla (arriba)</i>	<i>100</i>
<i>Figura 81. Imagen de la Base gráfica del GIS mediante una ortofoto de elaboración propia.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 82. Imagen de la Base del callejero para el GIS.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 83. Imagen de la zona de influencia de los hidrantes.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 84. Salidas gráficas del Sistema Gestor de Emergencias de Valdecilla.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 85. Estudio de posicionamiento de los camiones de</i>	<i>103</i>
<i>Figura 86. Pasarela Peatonal de Pedro Gómez Bosque en Valladolid.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 87. Infografía del Anillo Cultural.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 88. Ortofoto y alzados, obtenidos a partir de las imágenes tomadas.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 89. Ortofoto obtenidos a partir de las imágenes tomadas desde tierra,</i>	<i>106</i>
<i>Figura 90. Modelo Virtual de toda la Península de la Magdalena</i>	<i>107</i>
<i>Figura 91. Palacio en Grajal de Campos.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 92. Torre de Grajal de Campos.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 93. Infografía de los exteriores de la Virtualización de la Biblioteca Menéndez Pelayo.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 94. La Plaza porticada de Santander con el Yacimiento Arqueológico en referencia.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 95. Capturas de los videos realizados para la recreación de los refugios antiaéreos de la</i>	<i>112</i>
<i>Figura 96. Recreación virtual del entorno del actual edificio de correos.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 97. Alzado y Ortofoto del Palacio de la Magdalena.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 98. Pasarela peatonal Pedro Gómez Bosque.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 99. Vista desde una tablet de la recreación histórica en realidad aumentada.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 100. Plaza Mayor de Medina del Campo vista desde un dron.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 101. Imágenes del GIS 3D para la gestión del Patrimonio</i>	<i>120</i>
<i>Figura 102. Imágenes de la figura, a la izquierda el original,.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 103. Dron construido y usado dentro de esta tesis.</i>	<i>122</i>
<i>Figura 104. Recreación virtual de la Plaza Mayor de</i>	<i>122</i>

<i>Figura 105. Ortoalzado sacado de un modelo 3D del.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 106. Imagen del GIS 3D para la gestión del Patrimonio Desocupado de la.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 107. Modelo 3D de una pieza industrial.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 108. Panel 3D interactivo</i>	<i>124</i>
<i>Figura 109. Modelo 3D de una ménsula, parte de un puente grúa.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 110. Diagrama del algoritmo de visión artificial.</i>	<i>127</i>

RESUMEN

Uno de los temas más candentes de investigación en gráficos por computador de los últimos años es el uso de técnicas de realidad virtual y aumentada para el archivado, preservación y divulgación del patrimonio histórico y cultural. En este contexto, se plantea esta tesis relacionada con Sistemas de Gestión de la Información, GIS y Modelado 3D, Sistemas Estructurales y Patrimonio Industrial. La investigación ha consistido en el desarrollo de una metodología para la reconstrucción de estructuras mediante ingeniería inversa y su aplicación a varias escalas de trabajo diferentes. La escala de trabajo más precisa es el modelado inverso de estructuras industriales para el cálculo y modificación estructural. Otro nivel de trabajo a una escala menor es la reconstrucción de edificios con la introducción al formato **BIM** (*Building Information Modeling*), metodología de trabajo que permite la gestión integral de los proyectos de construcción, en todas sus fases y durante el ciclo de vida completa del edificio, por medio de modelos virtuales y de forma colaborativa entre los diferentes agentes intervinientes. También tiene aplicaciones en virtualización del Patrimonio Histórico, con la virtualización tridimensional de las zonas catalogadas de interés patrimonial en una ciudad, cogiendo como objeto donde probar el desarrollo realizado, tanto a la ciudad de Santander como a la villa de Medina del Campo (Valladolid). Esta nueva metodología está basada en la hibridación mediante técnicas de Sistemas de Información, Ingeniería Inversa, Procesado de Imágenes, Visión Artificial y aplicaciones de Realidad Virtual, Aumentada y Mixta. Centrándose en dos focos de aplicación, uno ha sido para la reconstrucción de estructuras industriales y, el otro, para reconstruir entornos urbanos y Patrimonio Histórico.

Para poder simular y virtualizar la evolución histórica de una ciudad es necesario representar en primer lugar el estado actual, así como su disposición espacial como base del trabajo a realizar, y a partir de ahí, retroceder en el tiempo. Así se facilita el posterior estudio de la citada evolución urbana, con el comportamiento y posición de los elementos patrimoniales dentro de su dinámica. El modelado tridimensional proporciona una herramienta valiosísima para representar o simular el desarrollo evolutivo de la ciudad.

Así se ha conseguido un avance en la hibridación de herramientas GIS con técnicas basadas en Realidad Virtual y Realidad Mixta para la gestión del Patrimonio Histórico y por otro lado la hibridación de técnicas para la reconstrucción de estructuras industriales.

La metodología principal se basa en el uso de fotogrametría a partir de cámaras digitales convencionales (no métricas), la generación de nubes de puntos a partir de esas imágenes, la segmentación automática de objetos, generación de las superficies y texturizado conservando el material original, sobre todo en el caso del patrimonio histórico. Todo el proceso se realiza manteniendo la escala de trabajo y, hasta cierto punto, sin pérdida de precisión geométrica.

ABSTRACT

Negli ultimi anni, uno dei temi di ricerca più discussi e interessanti nel campo della grafica informatica è l'utilizzo di tecniche di realtà virtuale e aumentata per l'archiviazione, la conservazione e la diffusione del patrimonio storico e culturale. In questo scenario si inserisce la presente tesi, relazionata con i Sistemi di Gestione della Informazioni, GIS e Modellazione 3d, Sistemi Strutturali e Patrimonio Industriale. La ricerca è consistita nello sviluppo di una metodologia per la ricostruzione di strutture attraverso l'ingegneria inversa e la sua applicazione a diverse scale di lavoro. La scala di lavoro più precisa si è esplicitata con la modellazione inversa di strutture industriali per il calcolo e la modifica strutturale. Un livello di analisi, su scala minore, è stato condotto mediante la ricostruzione di edifici con l'introduzione del formato BIM (Building Information Modeling), una metodologia di lavoro che consente la gestione integrale dei progetti di costruzione, in tutte le sue fasi e durante il ciclo di vita completo dell'edificio, attraverso modelli virtuali e in collaborazione con le differenti professionalità coinvolte. In aggiunta, applicazioni di virtualizzazione del Patrimonio Storico sono state sperimentate, sia per la città di Santander che per Medina del Campo (Valladolid), attraverso la virtualizzazione tridimensionale di quelle aree ritenute di interesse culturale per la cittadina, con l'obiettivo di esplicitare lo sviluppo e la trasformazione del tessuto urbano. Questa nuova metodologia risulta, dunque, basata sull'ibridazione di sistemi informativi, *reverse engineering*, elaborazione di immagini, visione artificiale e applicazioni di realtà virtuale, aumentata e mista. Concentrandosi su due possibili campi di applicazione, la tesi ha affrontato, da un lato, la ricostruzione di strutture industriali e, dall'altro, la ricostruzione di ambienti urbani e patrimonio storico.

Per simulare e virtualizzare l'evoluzione storica di una città, è necessario rappresentare in primo luogo lo stato attuale dei luoghi, nonché la disposizione spaziale del tessuto urbano da utilizzarsi come base per il lavoro di ricostruzione da svolgere andando indietro nel tempo. Questo approccio facilita lo studio successivo della evoluzione urbana, con la posizione e trasformazione degli elementi patrimoniali all'interno della dinamica evolutiva cittadina. La modellazione tridimensionale fornisce uno strumento prezioso per rappresentare o simulare lo sviluppo evolutivo della città. Ciò ha portato ad un progresso, da un lato, nell'ibridazione degli strumenti GIS con tecniche basate sulla realtà virtuale e sulla realtà mista per la gestione del patrimonio storico e, dall'altro, nell'ibridazione delle tecniche per la ricostruzione delle strutture industriali.

La metodologia principale si basa sull'utilizzo di fotogrammetria a partire da fotocamere digitali convenzionali (non metriche), generazione di nuvole di punti da queste immagini,



segmentazione automatica di oggetti, generazione di superfici e texture che preservano il materiale originale, estremamente importante soprattutto nel caso del Patrimonio Storico. L'intero processo è condotto nel rispetto delle diverse scale di lavoro e, in una certa misura, senza perdita di precisione geometrica.

1. INTRODUCCIÓN

Esta tesis doctoral surgió dentro de la colaboración continuada del doctorando con el Grupo de Investigación del departamento *C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras* de la Universidad de Valladolid, el *Instituto Universitario de Urbanística* de la misma universidad, el departamento de Arquitectura de la Università Degli Studi di Napoli “Federico II” y la empresa *3DINTELLIGENCE S.L.* Se buscaba una metodología de bajo coste, mucho más acorde con la situación de crisis vivida, que consiguiera una reducción importante de los costes derivados de la documentación digital y la gestión de la información geométrica. Además de funcionar esta metodología como soporte a trabajos de catalogación, conservación y restauración del patrimonio arquitectónico aportando documentación gráfica e implementando un Sistema de Gestión de la Información en tres dimensiones de todos los elementos patrimoniales de una ciudad, mediante la hibridación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica, fotogrametría con técnicas provenientes del campo de la visión artificial e implementando un solución basada en Realidad Mixta, Realidad Virtual y Aumentada.

Los principales analistas nacionales e internacionales coinciden en que el Sector Tecnológico, por su carácter transversal, se ha convertido, para cualquier actividad económica e industrial, en un motor de impulso muy beneficioso, afectando a la competitividad del sector industrial, con la Tecnología 4.0 y estableciendo una brecha entre aquellos que toman ventaja de su uso y aquellos otros más rezagados.

Aprovechando la experiencia previa del doctorando en la documentación del Patrimonio Histórico, se propuso empezar a estudiar esta metodología para la documentación de edificios simbólicos, después para el estudio de entornos urbanos y, por último, para aumentar el detalle sobre estructuras industriales. La principal ventaja de trabajar sobre estructuras de ámbito industrial es que se corresponden con estándares de fabricación, lo cual facilita un re-escalado multinivel y, con ello, mejoras significativas de la precisión dimensional. Siendo muy importante el modelado 3D para la aplicación de la tecnología 4.0 a la industria, a lo que se ha denominado *Industria 4.0*.

La tesis comenzó con el trabajo realizado por Cosido *et al* [1] en el que se implementan los Servicios Web del GIS Municipal para la documentación del mobiliario urbano, consiguiendo una elevada precisión métrica, ya que era muy importante mantener la precisión en las medidas de los objetos que configuraban todo el mobiliario urbano de la ciudad de Santander, España. La finalidad de gestionar el estado de conservación de todo el mobiliario urbano de la ciudad, continuó con los distintos casos prácticos que se irán analizando a lo largo de esta memoria de tesis, hasta desarrollar un completo sistema de gestión tridimensional, en paralelo a la generación de modelos precisos y su inclusión en el nuevo formato BIM (Building Information Modeling), que es un proceso basado en un modelo 3D inteligente que proporciona a los profesionales de la arquitectura, ingeniería

y construcción la visión y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructuras de manera más eficiente..

Antes de comenzar con la implementación del sistema de gestión de la información, el primer paso era realizar un levantamiento o documentación 3D de los edificios. Así se planteó la necesidad de generar una documentación completa de los edificios, incluida la parte superior de los mismos, muy difícil de capturar para fotogrametría de rango cercano. Por otro lado, la información de detalle capturada permitiría gestionar la información uniéndolo a la creación de un Sistema de Información Patrimonial, mediante la implementación de un sistema de localización mediante GIS (*Geographic Information Systems*), donde se puedan tener localizados y georreferenciados los principales edificios catalogados como Bienes Culturales. Esto permite tener un inventario digital donde poder consultar los edificios a visualizar, con una ficha de sus principales características y el inventario o modelado del edificio, tanto el interior como las diferentes fachadas del mismo. Sobre la cartografía de la ciudad se pueden ver distribuidos los edificios, así se puede seleccionar uno concreto o varios, mediante consultas alfanuméricas o espaciales al sistema, y este devolverá la ficha correspondiente al edificio con sus datos alfanuméricos y la posibilidad de visualizar el modelo 3D. Además contendrá el estudio de detalle con los planos, alzados, perfiles y todo el material gráfico necesario para, como principal finalidad, la posible reconstrucción del edificio en caso de necesidad, ya sea por una destrucción fortuita del mismo o rehabilitación. Además, todo el contenido se gestiona mediante una aplicación de móvil basada en Realidad Aumentada, desde la que se consultan los datos, incluidos los modelos de Realidad Virtual. Con este fin se ha aplicado esta metodología en las poblaciones de Santander (figura 1a y 1b), Medina del Campo y Nápoles.

La conjunción de los tres grupos de investigación de ambas Universidades, con la empresa especialista en Realidad Virtual e Inteligencia Artificial *3Dintelligence S.L.* ha permitido que la propuesta metodológica de esta tesis sea polivalente para necesidades a diferentes escalas, por ello se considera demostrado sus posibilidades de aplicación tanto a nivel de estructuras pequeñas de ámbito industrial como grandes edificaciones y entornos urbanos.

El resultado del desarrollo metodológico aquí incluido permite el 25% de la actividad de la empresa *3DINTELLIGENCE*, como consecuencia de la transferencia tecnológica y la innovación aplicada muy cerca de mercado.



Figura 1. Fotografía histórica de la Plaza del Príncipe en Santander después del incendio de 1941



Figura 2. Recreación Virtual de la Plaza del Príncipe de Santander antes del incendio de 1941.

1.1. Alcance de la tesis

Con la idea de realizar una documentación precisa de cualquier objeto, independientemente de su escala, el modelo 3D inteligente de una simple estructura o de toda una ciudad, se han documentado elementos subterráneos y en superficie. Con una cámara digital convencional y la ayuda de un dron, se han analizado las posibilidades que

tiene en análisis estructural, aumentando la escala de trabajo, llegando a poder representar inversamente pequeños detalles de estructuras muy importantes para un posible cálculo posterior. Para la evolución metodológica, comenzando por el yacimiento Arqueológico de la Plaza Velarde, actual Centro de Interpretación de la Muralla de Santander, este lugar proporciona evidencias materiales de la evolución de la ciudad, su trazado urbano y su entramado social. Desde la época anterior a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander hasta la actualidad, con la profunda transformación sufrida por el espacio que hoy ocupa la plaza tras el incendio de 1941, que tan profunda huella dejó en el consciente colectivo de sus habitantes [2]. Esta tesis aquí presentada se ha realizado entre los años 2012 y 2017, en el año 2016 se celebró el 75 aniversario del incendio de la ciudad, comenzando por el modelado 3D del yacimiento arqueológico mencionado, cuyas excavaciones han arrojado una serie de resultados que nos permiten afirmar que dichas estructuras formaban parte de la muralla de la Puebla Nueva de la villa medieval de Santander, en un tramo comprendido entre las antiguas puertas del Mar y el Portillo de Don Gutierre.

Para la generación de este modelo tridimensional inteligente de la ciudad se ha optado por un sistema de adquisición de datos a través de cámara digital convencional, probando su hibridación con el uso de escáner – láser que ofrece ventajas claras con respecto a la fiabilidad de las medidas y de la adquisición de datos rápida, a pesar de su mayor coste, hibridando con la información obtenida de las imágenes y la obtención de los modelos 3D mediante ingeniería inversa. Sumando la implementación de una capa de inteligencia que aporte la realidad aumentada necesaria para este trabajo. Otro aspecto positivo de este método es la conversión de datos para diferentes plataformas de software.

Como productos finales, se obtuvieron los modelos 3D navegables y con información cultural sobre los distintos elementos que forman el Anillo Cultural de Santander, el Palacio de la Magdalena, la Biblioteca Menéndez Pelayo y todo el patrimonio enterrado, ubicado en el subsuelo de la ciudad.

El elemento arqueológico más relevante y de mayor monumentalidad que se hace presente en este trabajo es la muralla medieval de la villa. Esta muralla, que en su estructuración perteneciente a la Puebla Nueva, tradicionalmente está fechada en torno a finales del Siglo XIII y principios del Siglo XIV fue derribada para acometer el ensanche de la ciudad hacia 1790. Posteriormente, durante la guerra civil española, se crearon una serie de refugios antiaéreos, de los cuales se han documentado dos, el ubicado al lado de la muralla de la ciudad, a escasos 100 metros de ella y otro, formado por galerías bajo la ciudad, realizado por los mineros asturianos llegados en la época a la ciudad [3].

Por otro lado, el conjunto monumental de la catedral de Santander (figura 2) constituye el mejor y más antiguo testimonio inmueble conservado del pasado histórico de la capital de Cantabria. Los monumentos integrados en este conjunto: Iglesia Baja, Colegial y

Claustro, se edificaron sobre estructuras preexistentes, romanas y medievales, que se asentaban en el cerro de Somorrostro -o de San Pedro-, accidente orográfico que se elevaba a 19 m sobre el nivel del mar desde el que se protegía el puerto situado en su vertiente norte. Con la concesión del Fuero a la villa en 1187, y el consiguiente desarrollo económico, se generaron los excedentes necesarios para la construcción de un nuevo conjunto eclesial formado por dos construcciones superpuestas, ambas de sobrio estilo gótico cisterciense [4]. Todo ello ha sido modelado y configurado dentro del modelo virtual inteligente de Santander.

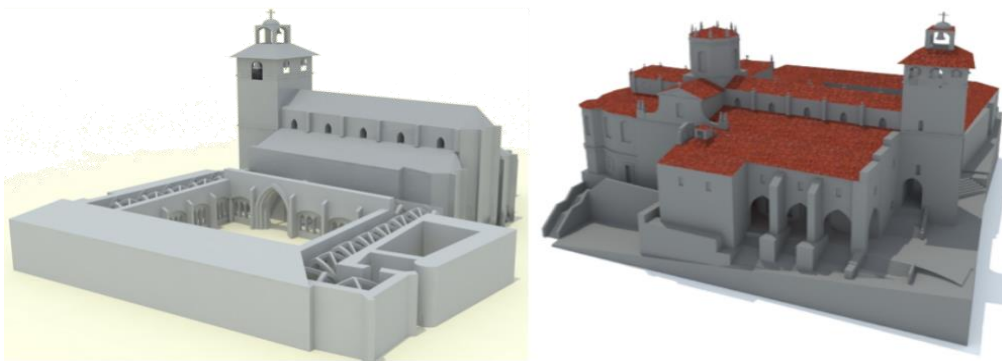


Figura 3. Diferentes momentos de la evolución de la catedral, modelos virtuales.

Por otro lado, la Península de la Magdalena (figura 3) ha sufrido un cambio de usos, desde el siglo XIX cuando era un espacio defensivo con baterías distribuidas por el espacio, a principios del siglo XX, momento en el que se cedió el uso y disfrute al rey Alfonso XIII como lugar donde pasar sus vacaciones.



Figura 4. Vista del modelo virtual del Palacio de la Magdalena en Santander.

Todo este cambio morfológico de Santander necesita de un sistema de información tridimensional, que documente fidedignamente los cambios y desarrollo del tejido urbano, como ayuda para entender cómo se ha ido modificando el trazado y los usos en el proceso evolutivo de la ciudad. Para ello se consideraron los conceptos de paisaje urbano [5] y vistas [6].

Durante la primera fase, realizada desde mayo de 2012, además del estudio completo y el levantamiento planimétrico del primer edificio, el Palacio de la Magdalena, se realizó el modelo completo de la Península de la Magdalena (figura 4), siguiendo el Plan Director de la Magdalena [7], y de las baterías defensivas preexistentes a partir de los datos de las imágenes sacadas de un dron, de forma que todas las partes de los edificios tenían su textura real. La escala a la que se trabajó todo el modelo de Ciudad permitía el uso de la fotogrametría convergente, apoyada por topografía para el enclave preciso de los modelos.

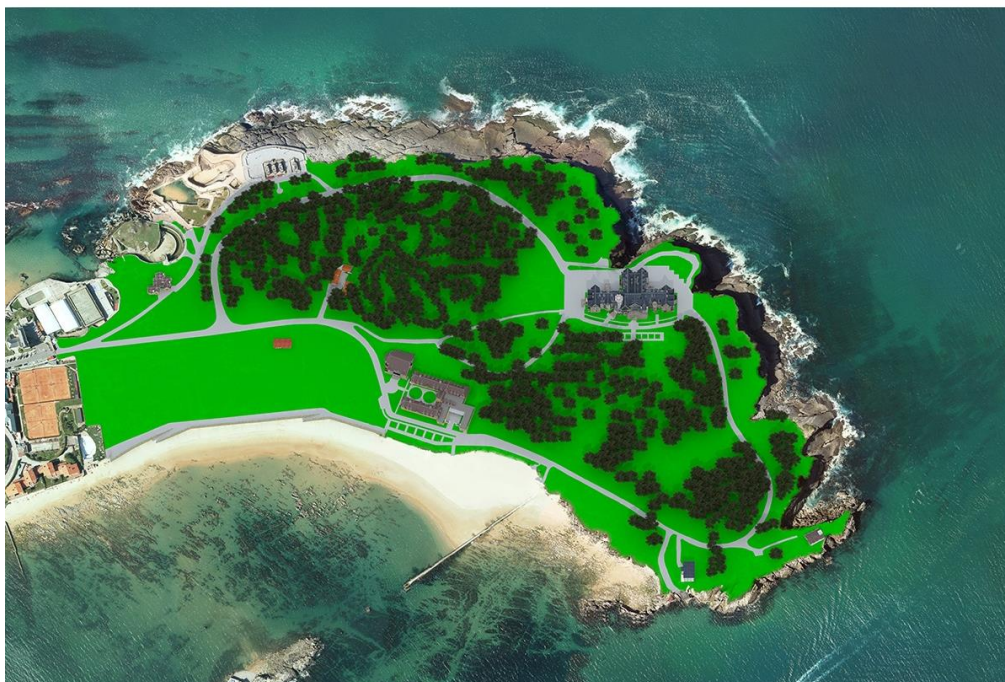


Figura 5. Vista cenital del modelo virtual de la Península de la Magdalena generado.

La segunda parte fue realizada en abril de 2014 conjuntamente con el grupo de la Università Degli Studi di Napoli “Federico II”, se hicieron pruebas con un escáner-láser para conseguir todas las aplicaciones posibles que se incluyeron en un levantamiento tridimensional, aprovechando que en la actualidad se puede considerar como el método más utilizado, bajo el uso del escáner-láser se pudo apreciar las ventajas de supervisar con sus avances tecnológicos, en las actividades de documentación, la posible erosión y variaciones en la estructura.

La última fase se realizó conjuntamente con la empresa *3DINTELLIGENCE*, modelando la globalidad de los edificios singulares de Santander, no quedando en la actualidad ninguno por terminar. Los últimos trabajos fueron los conducentes a obtener salidas multimedia e interactivos de los contenidos y los modelos de realidad virtual a los que se puede acceder desde una aplicación móvil de Realidad Aumentada.

Una vez que se validó la metodología de trabajo, otros trabajos realizados fueron sobre la reconstrucción de la Plaza Mayor en Medina del Campo y distintos elementos de la ciudad de Nápoles en Italia.

Otra aplicación ligada al grupo de investigación de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid es la reconstrucción en tres dimensiones aplicada al ámbito industrial, como puede ser la creación de modelos BIM en 3D para fabricar prototipos o la reconstrucción mediante ingeniería inversa (eje principal de este trabajo). Otro propósito de la reconstrucción en 3D con visión artificial permite analizar las características de una imagen, de tal forma que se puede detectar, localizar y reconocer

objetos en imágenes. Por ejemplo, si se recrea un modelo tridimensional de una escena, este modelo podría ser utilizado por un robot para navegar por la escena, pudiendo medir distancias reales dentro del escenario virtual, con realidad mixta.

1.2. Objetivos de la tesis

Con la fabricación y aplicación de los drones o UAV (aparatos aéreos teledirigidos) a la toma de datos mediante percepción remota y la representación gráfica tridimensional de las fachadas de estructuras y edificios a escala, se buscaba una metodología precisa para la implementación de un prototipo GIS 3D de “bajo coste”.

Los objetivos específicos marcados en la presente tesis son:

Obtención de documentación fotogramétrica:

- Construcción y aplicación de los DRONES o UAV (aparatos aéreos teledirigidos) a la toma de datos mediante percepción remota.
- Modelado 3D de estructuras y edificios mediante ingeniería inversa.
- Generación de Modelos exportables a la tecnología BIM.
- Realización de orto-imágenes de las fachadas, plantas y alzados.
- Realización de un vuelo fotogramétrico de todo Santander con resolución espacial (GSD) de 10 cm en tamaño de pixel.
- Reconstrucción inversa de estructuras.

Obtención de documentación virtual, aplicaciones de realidad mixta:

- Análisis digital de imágenes.
- Estudio de varios algoritmos de detección de zonas de interés y segmentación.
- Obtención de modelos virtuales a escala, mediante hibridación de técnicas fotogramétricas y de visión artificial.
- Representación gráfica tridimensional de las fachadas del edificio a escala.
- Reconstrucción en 3D de entornos urbanos a partir de fotogrametría convergente, utilizando la hibridación de técnicas y algoritmos de detección anteriormente implementados.

Sistema de Gestión de la Información:

- Implementación de un prototipo GIS 3D.
- Estructuración de la información en formato BIM.

- Aplicación móvil de Realidad Aumentada para gestionar los modelos de Realidad Virtual.

La metodología tiene niveles de precisión en función de la escala y necesidades. Formando objetos en formato BIM, más precisos y completos que el estándar del formato CityGML <https://www.citygml.org/>:

- Nivel 1: Estructuras industriales. Artículo en la Revista Dyna.
- Nivel 2: Edificios. Artículos en Congreso basados en el proyecto del Palacio de la Magdalena, la Biblioteca Menéndez Pelayo y la Catedral de Santander. Capítulo de un libro sobre el trabajo realizado en Grajal de Campos en Valladolid.
- Nivel 3: Ciudades. Artículos de Ciudad 3D, Yacimiento arqueológico subterráneo de la Plaza Velarde y refugios antiaéreos en Santander, Grajal de Campos y el Incendio de Santander en 1941.
- Nivel 4: Estructuras colgantes. Artículo *Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results* en el Congreso *Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering University of Seville 24-26 June 2015* y artículo *Mechanical models for an 86 m single span stress-ribbon steel footbridge and their comparison with experimental results*. Publicado en revista.
- Nivel 5: Realidad Virtual y Aumentada. Proyecto de aplicación de una reconstrucción histórica *El incendio de Santander (1941): aplicación de la realidad virtual inmersiva para la recuperación del patrimonio desaparecido*, en la revista *Patrimonio histórico de Castilla y León*, ISSN1578-5513, N° 61, 2017, págs.48-51. Además de la recreación histórica del Santander previo a 1941, se ha realizado el de la Plaza Mayor de Medina del Campo en época renacentista y un GIS 3D de la Región de la Campagna en Italia.



Universidad de Valladolid

Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

2. ESTADO DEL ARTE

“El objetivo de la fotogrametría es conseguir información tridimensional de objetos a partir de medidas efectuadas en fotografías.” [8].

Existen distintas propuestas en la literatura del proceso de reconstrucción de objetos 3D que se podrían clasificar en cuatro grupos:

1. **Técnicas multivista:** permiten extraer la información tridimensional mediante la puesta en correspondencia de las informaciones bidimensionales procedentes de dos o más captadores de imagen [9].
2. **Cámara móvil:** denominada en alguna bibliografía como técnicas de visión activa, permite extraer la información 3D a partir del flujo de imagen obtenido por un sensor, conocido el flujo de velocidades de la cámara. En este caso donde los parámetros de las cámaras cambian continuamente, y no es posible realizar una calibración clásica [10].
3. **Técnicas de luz estructurada:** son técnicas de visión activa en cuanto que modifican las condiciones del entorno. La distorsión producida por la proyección de patrones simples (rayos o planos), generados mediante luz coherente o luz láser, permite la extracción de la información tridimensional [11].
4. **Telemetría láser:** permite determinar el mapa de profundidad de la escena en base al tiempo transcurrido entre la emisión y detección de un pulso láser [12].

En 1849 el ingeniero francés Aimé Laussedat comienza a producir mapas a partir de fotogrametría terrestre (conocida con el término: arte de hacer proyección ortogonal a partir de dos perspectivas) y explica cómo obtener coordenadas objeto a partir de la intersección espacial de rayos de un par de fotografías.

En 1867 Meydenbauer instauro el término fotogrametría por primera vez. Y en 1891 se cartografió la frontera entre Canadá y Alaska gracias a la restitución fotogramétrica del capitán E. Deville.

En 1930 se crea un restituidor que ofrecía ortofotos directamente a partir de fotogramas.

Posteriormente, Gruber y Finsterwalder implantan los principios teóricos para producir instrumentos óptico-mecánicos. Entre las dos guerras mundiales, existe un gran avance de los métodos fotogramétricos que afianzan la fotogrametría como técnica para obtener cartografía [13].

En la actualidad, la medición tridimensional y posterior creación de modelos virtuales (de edificios, entornos arquitectónicos y, en general, cualquier obra civil) es una herramienta cada vez más utilizada debido a la mejora continua de la tecnología implicada (tanto a nivel software como hardware). Su campo de aplicación se está ampliando, desde las presentaciones multimedia y los modelos navegables por la red a su uso en entornos

profesionales como la arquitectura, ingeniería y construcción, donde se hace necesaria una alta precisión. La incorporación del color es una característica muy importante y a veces imprescindible para la realización de ciertos estudios.

Uno de los objetivos principales de muchos trabajos de la literatura especializada es la automatización de todo el proceso de creación de modelos texturizado tanto de objetos [14] como de edificios y entornos. Para ello se suelen utilizar puntos o marcas de control sobre el edificio que faciliten esta tarea [15], [16] o bien en los métodos fotogramétricos se buscan puntos y líneas característicos en las imágenes utilizadas [17].

La primera fase de la creación de modelados texturizados es la adquisición tridimensional. Para ello, existen diversas tecnologías, según lo que se pretende adquirir: si se trata de formas simples (planos, etc.) se resuelve habitualmente empleando fotogrametría y, para el modelado de formas complejas (detalles constructivos, relieves,...), se suele utilizar el escaneado láser [18]. La fotogrametría requiere de gran cantidad de trabajo por parte de usuarios especializados para conseguir buena calidad y precisión en el modelado tridimensional.

La segunda fase sería adquirir la información de color que se asociará a la información geométrica. Hay varias posibilidades: usar el color medido por el sensor incorporado en el propio escáner, normalmente de baja resolución, con lo que se asocia un color a cada punto o grupo de puntos medidos por el láser; otra posibilidad es utilizar una cámara digital de alta resolución que permita tomar imágenes desde cualquier posición; y, por último, usar una cámara fijada al escáner [19]. Otra posibilidad menos utilizada es medir el color usando un espectrógrafo [20], que ofrece información cromática muy fidedigna, pero la complejidad asociada a este método lo hace sólo aconsejable en casos muy específicos.

La utilización de una cámara en posición libre posibilita optimizar la iluminación y el punto de observación y, en general, ofrece mayor flexibilidad en las condiciones de la captura de imagen [21]. El inconveniente de este método es que requiere de una calibración por cada posición de la cámara (sistema manual de calibración: asignación de pares de puntos correspondientes). Con la cámara fijada al escáner-láser se pierde flexibilidad pero, a cambio, bastaría usar una sola matriz de calibración calculada con muchos puntos de calidad (determinados, por ejemplo, con ayuda de una estación total).

La fase final consiste en proyectar la información cromática obtenida de la fotografía sobre el modelo 3D. Normalmente, los modelos tridimensionales están formados por triángulos, por tanto, es necesario incorporar la información cromática a cada una de estas superficies que forman el modelo. Para llevar a cabo la proyección de la imagen hay que obtener estas líneas de proyección. Estas rectas intersectarán la imagen y la superficie del modelo tridimensional. Obtenidas las rectas de intersección, se buscan las intersecciones

producidas entre estas rectas y los triángulos que forman la superficie del modelo. Una vez obtenida una intersección se tiene que comprobar que ésta se encuentra realmente dentro del triángulo y, si esto se cumple, se asignará a ese triángulo el color que corresponde de la imagen.

Respecto al reconocimiento automático de patrones u objetos en imágenes, los intentos son muchos. Las últimas pruebas, a camino entre la visión artificial y el reconocimiento automático mediante técnicas de *Machine Learning*, han sido dadas por varios autores que pasan filtros relacionados de forma espacial, ayudados por georreferenciaciones de los objetos y uso de SVM (Máquinas de Vectores Soporte) [22], pero otros incluso están a caballo entre la visión artificial y *Machine Learning* con lo que han llamado “Poselets” [23].

2.1. Tecnología Escáner – Láser y Fotogrametría

La telemetría láser consiste en medir el tiempo de recorrido por un rayo luminoso (láser) hasta la superficie de medida. Se puede medir de dos formas: con la medida del tiempo de vuelo y el cálculo por diferencia de fase. En el primer caso los datos se obtienen midiendo el tiempo entre la emisión del impulso luminoso y la observación del retorno. En el segundo, se regula el impulso luminoso siguiendo una frecuencia determinada y se mide el desfase entre el rayo emitido y la luz retornada.

El escáner terrestre o láser 3D es un barredor óptico con extraordinarias capacidades de medida y registro de puntos (hasta 100.000 por segundo) y precisiones por debajo del centímetros. La captura masiva de datos implica el empleo de estrategias de captura y de metodologías específicas para el tratamiento de dicha información, como ejemplo la figura 5.



Figura 6. Ejemplo de visualización de la nube de puntos Scanner-Láser del teatro San Carlo de Nápoles.

La modelización 3D mediante el uso del escáner - láser terrestre es un procedimiento cada vez más extendido en el ámbito de la Geomática. La gran capacidad de medición de puntos de este instrumento posibilita el registro de información compleja. Un ejemplo de uso y capacidad de precisión es [23] donde lo aplican a escala microscópica.

2.2. Tecnología Fotogrametría Convergente

La imagen digital, como la imagen analógica, no es métrica. Es decir, no se puede derivar medidas de los objetos que aparecen en ella ni de las distancias a las que se sitúan entre sí. Se pueden visualizar, interpretar, analizar, pero no explotar métricamente.

El término “multivista” en visión se utiliza cuando existe más de una vista de una escena. A través de varias imágenes de una escena, tomadas desde distintos puntos de vista, se puede tener la idea de las características tridimensionales de la escena en estudio.

Según el número de imágenes que se emplee, se habla de visión bifocal (dos imágenes o vistas), trifocal (tres imágenes o vistas), cuadrifocal (cuatro imágenes o vistas) o n-focal (n imágenes o vistas), y en cada uno de los casos se aplica una serie de restricciones basadas en la geometría. La geometría de dos vistas es conocida también como la geometría epipolar que se explica más adelante.

Dentro de la visión estéreo también existen diferentes tipos de reconstrucción: dispersa y densa, como se comenta en [24]. La reconstrucción dispersa se basa en obtener las coordenadas tridimensionales de ciertas partes de la escena, cuya proyección en las imágenes se conocen como puntos de interés, los cuales pueden ser bordes, esquinas u otro tipo de puntos característicos. Por lo general este tipo de reconstrucción se utiliza en aplicaciones que necesitan conocer el entorno rápidamente y sin mayor detalle, por ejemplo las aplicaciones en tiempo real como la navegación de robots móviles. Por el contrario la reconstrucción densa implica obtener la totalidad de los puntos proyectados de cada objeto de la escena. Principalmente se utiliza para aplicaciones relacionadas con la representación gráfica, realidad virtual y cualquier otra cuyo objetivo sea modelar digitalmente de manera realista una escena del mundo. El principal problema de este proceso es su consumo computacional, ya que mientras la reconstrucción dispersa se centra en puntos concretos, la densa exige una correlación entre todos los puntos de la imagen.

El desarrollo de las técnicas de visión estéreo ha sido objeto de un gran esfuerzo de investigación en los últimos años. El objetivo de la visión estéreo es resolver dos problemas [25]: el problema de correspondencia consiste en decidir, para un punto del plano de imagen izquierdo, qué punto en el plano de imagen derecho le corresponde (son imágenes del mismo punto físico). El segundo problema es el problema de

reconstrucción, que trata de obtener, dados dos puntos correspondientes en ambos planos de imagen, las coordenadas 3D del punto en el espacio respecto a un sistema de coordenadas del mundo [26].

La Fotogrametría se ocupa de la obtención de información métrica (bidimensional o tridimensional) a partir de imágenes fotográficas. En consecuencia, es la tecnología que permite que, además de emplear las imágenes para reconstruir un determinado escenario, se pueda dotar de rigor dimensional.

La Fotogrametría se basa en la relación geométrica que se verifica entre los puntos del objeto (3D), los puntos imagen correspondientes (2D) y el punto de vista (objetivo de la cámara). En esencia, cada punto del objeto, su imagen fotográfica y el punto de vista verifican una condición de colinealidad: forman una recta.

Ahora bien, en función del proceso que se esté acometiendo, estos elementos geométricos merecen diferentes consideraciones. Cabe así distinguir el proceso de toma fotográfica, en el que a partir del objeto se forma la imagen y el proceso de restitución cartográfica en el que, a partir de la imagen, se forma el objeto (su representación cartográfica o virtual).

En el caso de toma, dado el objeto y dada una cámara, con una determinada geometría interna y situada en una determinada posición y orientación respecto del objeto, la imagen queda perfectamente determinada. Dadas todas las rectas que unen el objeto con el punto de vista, los puntos imagen se forman como la intersección de dichas rectas con el plano del fotograma. Así, cada fotograma contiene las direcciones relativas desde el punto de vista a cada punto del objeto fotografiado.

La reconstrucción 3D a partir de múltiples imágenes se divide en dos grandes líneas de actuación: el procesamiento estereoscópico y el procesamiento oblicuo.

En el caso utilizado aquí, el procesamiento oblicuo, el objeto se reconstruye a partir de la identificación - en al menos dos imágenes, pero deseablemente en tres - de los puntos y líneas que conforman la fisonomía del objeto.

El procesamiento oblicuo múltiple se diferencia del procesamiento estereoscópico en los siguientes aspectos:

- Pueden emplearse más de dos imágenes, lo que permite mejorar la geometría de intersección.
- Puede aplicarse globalmente a un único objeto tomando las imágenes desde múltiples posiciones y con múltiples orientaciones de los ejes de toma hasta su cobertura exhaustiva. El procesamiento del par estereoscópico está vinculado necesariamente a un plano fundamental.

- Las cámaras pueden disponerse en posiciones más libres que las correspondientes al caso estereoscópico lo que, por una parte, facilita la adquisición de imágenes y, por otro, robustece la geometría de toma.
- El procesamiento posterior exige un software más sencillo al no tener que implementar un dispositivo de formación y exploración del modelo estereoscópico.
- Como contrapartida de las circunstancias anteriores, exige que los puntos homólogos deban identificarse inequívocamente en cada una de las imágenes lo que, por una parte, hace el proceso mucho más largo y, por otra, supedita todo el proceso a la existencia de estos puntos fácilmente identificables.

Debido a lo anterior se puede decir que, en líneas generales:

- Se empleará el procesamiento estereoscópico cuando el objeto exhiba una superficie de carácter irregular y continuo (sin puntos singulares). Así, serán susceptibles de este tratamiento una persona, una estatua o un objeto con un determinado relieve.
- Se empleará el procesamiento oblicuo múltiple cuando el objeto sea más fácilmente reducible a superficies regulares y, sobre todo, cuando en él puedan identificarse puntos singulares. Así, esta técnica se aplica más en el caso de edificios arquitectónicos o en el caso de habitaciones, objetos articulados en superficies regulares (planos) conectados entre sí mediante aristas y puntos bien definidos.

A partir de la identificación de una serie de puntos y rectas correspondientes en diversas imágenes puede calcularse:

- Los parámetros internos (geometría de la cámara) y externos (posición y orientación de la cámara) de cada una de las imágenes.
- Las coordenadas 3D de los propios puntos del objeto, unidos mediante las líneas definidas sobre las imágenes.

Una vez que se ha completado este proceso puede procederse a la reconstrucción radiométrica (renderizado) de las superficies del objeto. Este proceso consiste en una proyección de cada una de las caras, identificada sobre alguna de las imágenes, sobre la cara correspondiente del objeto y sólo es posible una vez que, en el paso anterior, se han determinado las relaciones entre los puntos imagen y los puntos objeto que delimitan las respectivas caras.

Como ejemplos están el trabajo modelando castillos [27] y la labor de documentación digital llevada en museos de Catania (Italia) [28]. Otro trabajo considerado para esta tesis

es [29], donde se utiliza una metodología parecida a la de esta tesis desde 2012 a 2017, pero validándolo en precisión con unas huellas de tractor en el campo.

2.3. Tecnología UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

El término genérico moderno es Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT en español) ó Unmanned Aerial Vehicles (UAV) y abarca a las dos denominaciones. Técnicamente, los drones y los VANT/UAV son lo mismo, aeronaves no tripuladas por ningún piloto. Pueden ser guiadas por control remoto o pueden ser programadas para realizar un plan de vuelo determinado. Del mismo modo, son "vehículos" por lo que pueden adoptar la forma de un avión pero también los hay en forma de globos/dirigibles, y helicópteros con uno o varios motores.

La diferencia entonces es sólo el nombre. Los drones aéreos históricamente han sido utilizados principalmente para el rol de blanco aéreo. Es decir, volar durante un rumbo predefinido para ser atacado por armas antiaéreas (cañones o misiles) para probar la efectividad de las mismas o por otros aviones para entrenar tripulaciones en situaciones simuladas. El término *drone* (zángano) proviene de su uso inicial como pequeños aviones a hélice (que zumbaban, como los zánganos) que era usados para prácticas de fuego antiaéreo.

La función principal actual es la de portar sensores que captan información del terreno mientras el avión se desplaza sobre éste. Esa información es retenida o retransmitida en tiempo real a una estación de control, la cual tiene las tareas de analizar la información y controlar la nave [30].

Básicamente cualquier sistema UAV actual comprende:

- Aeronave no tripulada (*Unmanned Aircraft* - UA).
- Sistema de control, tal como una Estación de Control Terrestre (*Ground Control Station* (GCS)).
- Enlace de control, enlace de datos especializado.
- Otro equipo de apoyo relacionado.

Entre las principales novedades del dispositivo, en el momento en el que fue fabricado en exclusiva para este trabajo de tesis, se contaba con un nuevo modo de vuelo "automático" en el que se podían introducir rutas "ad hoc" y un puerto USB para que se puedan rescatar las tomas a 720p grabadas por su cámara mientras se encuentra en plena acción. El conjunto se completa con un barómetro para mejorar su estabilidad en las alturas y un magnetómetro 3D con el que optimizar la orientación. Sin mencionar el sistema conjunto

de GPS e Inerciales (GPS+INS) que poseen todos los sistemas utilizados para captura de información geográfica.

2.4. Tecnología GIS (*Geographic Information Systems*)

Con la progresiva madurez de la tecnología GIS, la mayor parte de las dificultades y barreras que impiden la implementación y funcionamiento óptimo de los GIS no son de tipo técnico, sino de carácter metodológico. La elaboración de un GIS tiene como componente fundamental el análisis de los datos, acorde con un modelo de datos previo. Para el caso concreto de esta tesis, ese modelo de datos se basa en la representación tridimensional del patrimonio, por lo que el salto del 2D o 2 y ½ D debe ser crucial, hacia un verdadero 3D [31]. Para que esto se produzca, el proceso de implantación o actualización de un GIS se debe acompañar de una consulta tanto a usuarios como a la organización que lo utiliza.

Una vez realizada la reconstrucción de los edificios del modo más fiel desde el punto de vista geométrico, es necesario estructurar esta información obtenida, de forma que pueda manejarse de un modo estándar con vistas a ser compartida para su uso en el mayor número de aplicaciones posibles. Además, es necesario añadir información semántica a la información geométrica que, en forma de metadatos, esté disponible para la consulta por parte del usuario de la aplicación correspondiente. Para ello es necesario emplear una estructura estandarizada que permita, sobre un esquema común, coexistir a estos dos tipos de información tan diferente (semántica y vectorial) y que a la vez sea de propósito general, sin resultar específica para ningún campo en concreto (figura 6). Existen varios formatos vectoriales 3D que pueden almacenar modelos de edificios y ciudades pero no pueden contener otros atributos y viceversa. Intentando implementar una solución a estas limitaciones técnicas, se busca una evolución hacia una herramienta no resuelta en la actualidad, como es la del GIS 3D.



Figura 7. Consulta al GIS Municipal sobre enclaves susceptibles de protección sobre la ortofoto de Santander.



Universidad de Valladolid

Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

3. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. Metodología

En los últimos años, los algoritmos para la reconstrucción de objetos reales en 3D han recibido atención significativa, no sólo en la visión artificial, sino también como herramientas para una variedad de aplicaciones en medicina, fabricación, robótica, arqueología y otros campos que requieren modelado en tres dimensiones de ambientes reales. Todos los algoritmos y técnicas utilizados se basan en la fotogrametría convergente digital, no explicados en profundidad por no ser el tema de investigación de esta tesis, pero utilizados como base del desarrollo metodológico y explicados en [32][33][34][35][36][37][38][39][40][41][42].

3.1.1. Captura de información

Todas las fotografías se efectúan con la cámara digital no métrica Canon PowerShot G12, apoyada sobre trípode de 1,60 m de altura aproximadamente, con plataforma abatible 90°.

Las fotografías se realizan en la posición indicada en la minuta del estudio de la cobertura fotográfica. El formato es RAW (figura 7).

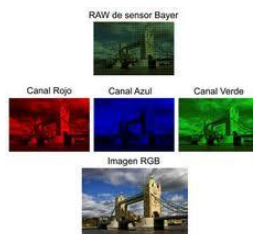


Figura 8. Esquema formato Raw.

Gracias a que la cámara (figura 8) está apoyada sobre el trípode, enfocada al infinito con la menor apertura posible de diafragma, se toman las fotografías bastante nítidas.



Figura 9. Cámara Canon G12.

Las fotografías se deben tomar alrededor del objeto, de forma convergente al mismo tal y como se ve en el gráfico de la figura 9.

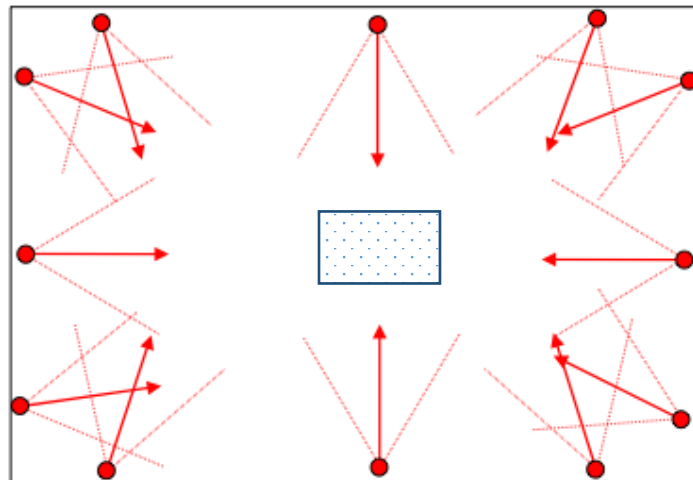


Figura 10. Posiciones para la toma oblicua sobre el objeto.

Deben ser puntos fácilmente identificables en las fotografías y en el terreno, ya que posteriormente se determinarán sus coordenadas en campo. Serán puntos imprescindibles en la toma de datos del trabajo topográfico. Por ello se eligen puntos en cantos de cornisas, esquinas de ventanas y puertas, arista de balcones, piedras con diferente color, etc.

3.1.2. Corrección de distorsiones

Concepto de Distorsión Radial

Así, la distorsión radial (figura 10) es definida como la separación (a lo largo de los radios del plano de la imagen) entre la imagen de hecho (r') y la imagen ideal (r), quedando determinada esta posición ideal por el valor de la distancia principal y el ángulo de incidencia del rayo.

$$\Delta r = r' - r = r' - f \tan(\alpha)$$

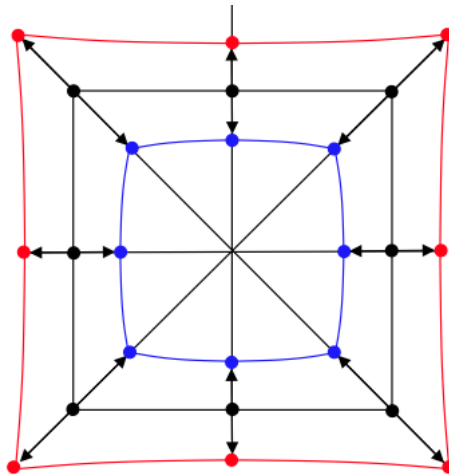


Figura 11. Gráfico para entender la distorsión radial.

Distorsión Tangencial

La distorsión tangencial se debe a la excentricidad de los múltiples sistemas ópticos, tiene una dirección normal al radio de la imagen y presenta valores más pequeños (del orden de 1/10) que la distorsión radial, con lo que sólo en los proyectos fotogramétricos de gran precisión es modelada.

Una expresión bastante habitual para esta distorsión es:

$$\Delta X = p_1 \left(r^2 + 2(X - X_p)^2 \right) + 2p_2 (X - X_p)(Y - Y_p)$$

$$\Delta Y = p_1 \left(r^2 + 2(Y - Y_p)^2 \right) + 2p_2 (X - X_p)(Y - Y_p)$$

Con (X_p, Y_p) , coordenadas del punto principal y r , la distancia desde el punto en cuestión a dicho punto principal.

Para el proceso de calibración:

N_x , es el número de píxeles en la dirección x del papel en la imagen.

N_y , es el número de píxeles en la dirección y del papel en la imagen.

S_x , es el número de píxeles en la dirección x de la imagen.

S_y , es el número de píxeles en la dirección y de la imagen.

P_x , es la longitud del papel en la dirección x .

P_y , es la longitud del papel en la dirección y .

D , distancia principal objeto medida.

f , focal aproximada introducida.

Las fórmulas aplicadas para calcular el ancho del formato (w) y el alto (h) son:

$$w = \frac{P_x}{D} \cdot \frac{f}{N_x} \cdot S_x$$

$$h = \frac{P_y}{D} \cdot \frac{f}{N_y} \cdot S_y$$

Una vez estén correlacionados los puntos óptimos, se vuelven a calibrar y estará concluida la calibración de la cámara. Ahora ya puede ser utilizada para fotografiar el objeto a modelar.

3.1.3. La toma de fotografías

Lo ideal sería dividir el edificio en pequeñas partes que fotografiar, en torno a las cuales se producirá el desplazamiento, cambiando la perspectiva. En este trabajo en concreto, aparte de las imágenes tomadas en torno al edificio, se utilizan unas imágenes aéreas oblicuas y cenitales, capturadas desde un helicóptero cuatrhélice (dron), que realizó un vuelo sobre los distintos edificios.

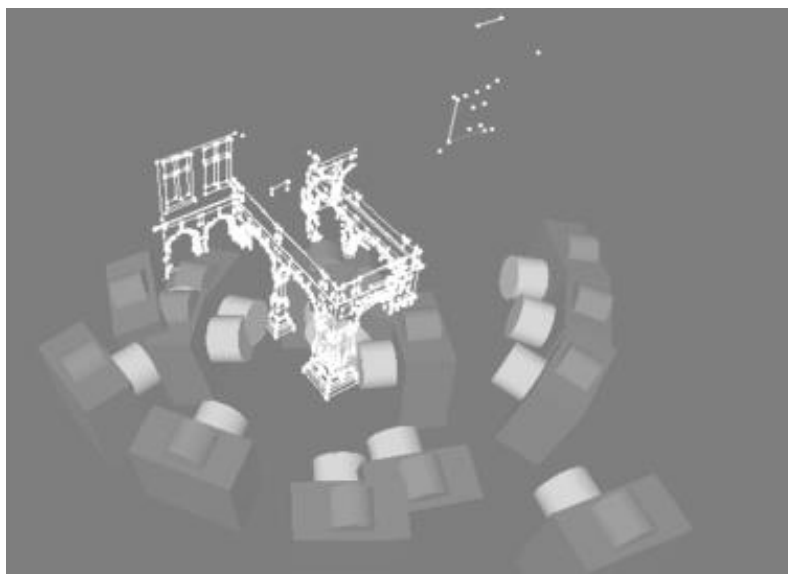


Figura 12. Ejemplo de posiciones de las cámaras obtenidas de forma inversa.

Para la geometría de restitución 3D oblicuo (Figura 11), la regla básica es que cada zona del objeto quede recogida, al menos, en tres imágenes. La mejor forma de ejecutar esta cuestión es tomar las imágenes a lo largo de un anillo en torno al objeto de manera que:

1. La distancia al mismo sea constante aproximadamente (si es posible).

2. Si el objeto o zona a documentar tiene ciertas dimensiones (por ejemplo: un perímetro superior a 50 m.) y complejidad en cada punto de toma se deben tomar tres imágenes: una perpendicular al objeto, otra encuadrando hacia la izquierda y otra hacia la derecha.
3. Entre cada dos tomas perpendiculares consecutivas debe haber recubrimiento (no inferior al 20%).
4. En las zonas en que las partes del objeto se articulan entre sí, debe sacarse partido de las fotos tomadas en diagonal (figura 12), es decir, que ofrecen el mayor recubrimiento posible del objeto.



Figura 13. Imágenes aéreas tomadas por el dron.

Siempre se buscan las condiciones ideales de luz, primeras horas del día, tratando de lograr el menor número de sombras y resaltar las texturas de los materiales. Además, hay zonas cuyo acceso resulta complicado se trata de abarcarlas de la mejor manera posible, es por eso que se valoraron diferentes formas de elevar el punto de vista, mediante andamio (figura 13), o como finalmente se hizo, con el vuelo con dron (figura 12) para llegar a zonas inaccesibles de otra forma. Respecto al vuelo, reseñar que para esta metodología se realizaron dos vuelos distintos, uno con la cámara en posición cenital y

otro con la cámara en posición oblicua, para conseguir la toma de fotografías oblicuas al edificio.



Figura 14. Prueba de toma de fotografías sobre andamio, para una posición más centrada con la fachada.

Todas las imágenes tienen entre sí puntos de convergencia, que son los que sirven para relacionar, indicándole a cada punto seleccionado con cuales coincide en las otras fotos. Ese punto estará bien referenciado si tiene el mismo identificador en todas las fotografías. Ese es el proceso de trabajo, continuar relacionando puntos que nos vayan construyendo un modelo inalámbrico, al que más adelante se le añaden las texturas. Lo que se busca es básicamente la referenciación entre fotografías, tratando de lograr visuales que formen 90° , algo geoméricamente imposible, pero tratando de aproximarse (figura 14).

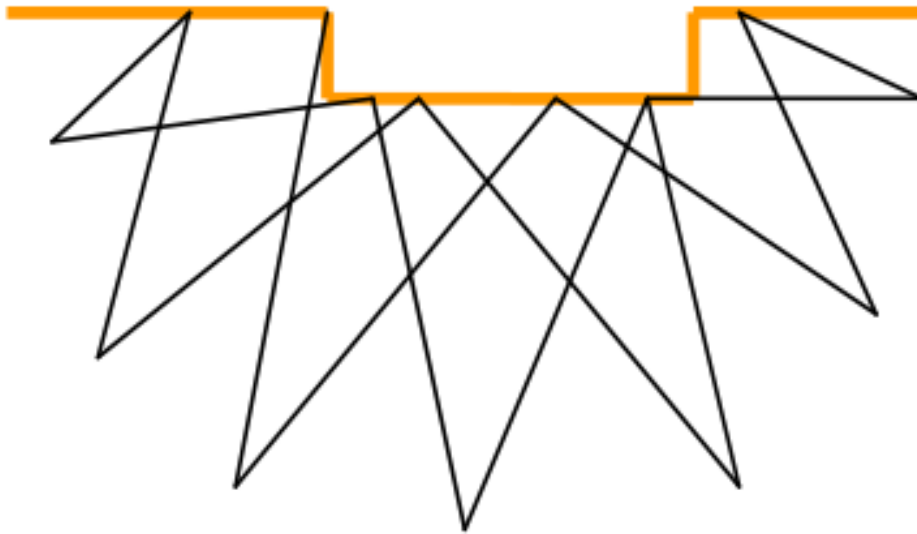


Figura 15. Posición ideal de las cámaras para la toma de fotografías.

3.1.4. Uso de DRONES o UAV

Para el caso de esta tesis se probaron varios tipos de UAV, hasta que se decidió construir un dron propio con cámara aerotransportada (la ya citada Canon G12).

Todos los aparatos han funcionado cumpliendo las expectativas, sobre todo el minidron de la marca Parrot que, con una cámara con poca resolución, ha posibilitado imágenes con calidad suficiente, cubriendo espacios inaccesibles de otra forma para la toma de imágenes.

El procedimiento para el vuelo: para el dron construido por el grupo, se realizó marcado el plan de vuelo en un programa que permita georreferenciación y después se le ha cargado, el itinerario de vuelo, al dron. Con el minidrone (figuras 15 y 16) se ha realizado de forma libre, siguiendo el criterio del operador que lo conducía. Se ha aprovechado al máximo la capacidad del aparato, mediante el uso del GPS y el sistema inercial del mismo, así como la capacidad de estabilización que tienen mediante el uso de los giróscopos.



Figura 16. Minidrones utilizados.

Además se construyó un dron adaptado a ciertas necesidades (figura 35).



Figura 17. Imagen desde la cámara del minidron para modelar la Casa de Guardeses del Palacio de la Magdalena.



Figura 18. Vuelo con el minidron para toma de fotografías.

3.1.5. Restitución fotogramétrica

Para obtener el modelo tridimensional inalámbrico del edificio (modelo 3d con aristas) se ha realizado la restitución digital del mismo con el programa *Agisoft PhotoScan* (<http://www.agisoft.com/>).

Geometría epipolar

La geometría de dos vistas es conocida como la Geometría Epipolar. Un punto M en el espacio es representado en dos imágenes como dos puntos proyectados m_1 y m_2 . Los centros ópticos de cada imagen C_1 y C_2 respectivamente como se presenta en la Figura 19 (a).

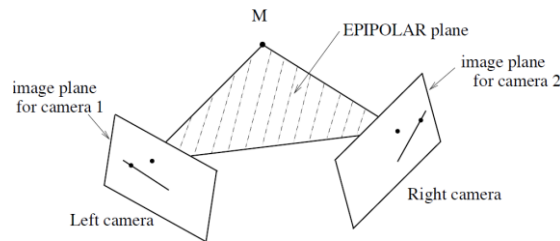


Figura 19. Esquema Geometría Epipolar.

Fuente: Jitendra Malik (Universidad de Berkley).

A partir de uno de los puntos proyectados en las imágenes no se puede determinar M , sin embargo se puede saber que el punto M debe estar en la recta que va desde el centro óptico C_1 hasta m_1 , como se ve en la Figura 19 (b). Para determinar el punto m_2 , se proyectan los posibles puntos de la recta entre C_1 y m_1 (ver Figura 19 (c)). Uno de los puntos proyectados será m_2 , sin embargo no se puede saber exactamente la ubicación, solo que m_2 pertenece a la proyección de la recta formada por C_1 y m_1 . La proyección de esta recta en la imagen se denomina recta epipolar y se puede observar en la Figura 19 (d).

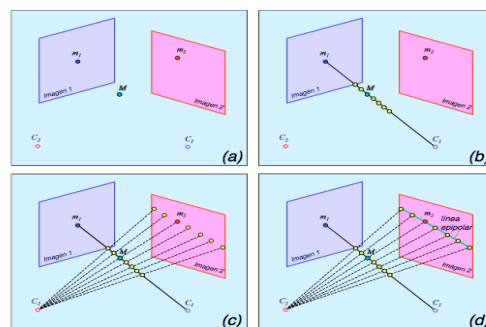


Figura 20. Geometría epipolar.

Los centros ópticos en este caso son C_1 y C_2 . A partir de m_1 solamente no se puede saber exactamente la ubicación exacta de M . A pesar de que no se pueda conocer el punto m_2 , es de gran utilidad saber que el punto correspondiente a m_1 en la segunda imagen está sobre una línea y no en cualquier zona de la imagen.

Remuestreo epipolar

Se trata de obtener un nuevo par de imágenes, equivalentes de las originales (los rayos perspectivos no son modificados), en las que la tarea de búsqueda de puntos homólogos está optimizada. En el nuevo par de imágenes:

- Las líneas epipolares coinciden con las filas de píxeles.
- Dos líneas epipolares homólogas corresponden a la misma fila de píxeles en las respectivas imágenes.

Para ello se remuestran las dos imágenes: desde el mismo punto de vista que las originales con la misma distancia de proyección (focal) que las originales sobre sendos planos (no necesariamente horizontales) que verifican que:

- Son paralelos a la base: para lo que son alterados los ángulos que determinan la inclinación de dichos planos (φ_1, χ_1) y (φ_2, χ_2) respectivamente.
- Son paralelos entre sí: para lo que se actúa sobre alguno de los ángulos en torno a la base ω_1 o ω_2 .

Nótese que no se trata del caso normal en sentido estricto (caso normal absoluto) puesto que, en este, la base es paralela al objeto (horizontal en el caso de aérea) ni, por tanto, de una rectificación doble.

No es necesario que:

- La base sea paralela al objeto u horizontal (libertad en Φ)
- La base esté orientada (libertad en X).
- Los fotogramas sean paralelos al objeto, pueden girar sobre la base (libertad en Ω).

Se trata más bien de un caso normal relativo: las dos imágenes deben hacerse concordantes con la base y entre sí. Existe, por tanto, un grado de libertad. Cualquier giro con eje la base es válido. Las matrices de rotación con las que "girar" las imágenes son las derivadas de la orientación relativa por el método de la base fija.

Resaltar que no pueden emplearse los parámetros rotacionales de la orientación externa, pues la base fotográfica puede no ser paralela al plano horizontal del terreno y, además presentar una orientación (acimut). Así, los fotogramas remuestrados, aunque horizontales, ya no serían paralelos a la base. Por la misma razón, aunque con efectos más pequeños, tampoco puede emplearse los parámetros rotacionales de la orientación relativa resuelta por el procedimiento de un proyector (izquierdo o derecho) pues en cualquiera de estas situaciones el sistema cartesiano objeto no coincide con la base sino con alguno de los dos sistemas de fotocoordenadas [43].

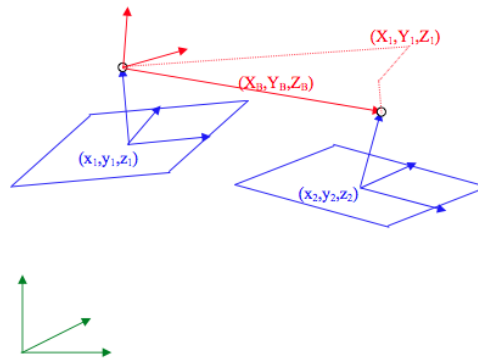


Figura 21. Modelo de colinealidad.

(x_1, y_1, z_1) : sistema de fotocoordenadas de la imagen izquierda.

(x_2, y_2, z_2) : sistema de fotocoordenadas de la imagen derecha

(X_T, Y_T, Z_T) : sistema de coordenadas terreno o absolutas

(X_B, Y_B, Z_B) : sistema de coordenadas de la base, empleado al efectuar una orientación relativa por el método de la base fija

(X_1, Y_1, Z_1) : sistema de coordenadas de la imagen izquierda empleado como sistema modelo al efectuar una orientación relativa por el método del proyector derecho.

Relaciones rotacionales entre estos sistemas: Matrices de la Orientación Externa

RE1.: del fotograma izquierdo. Expresa la relación entre (x_1, y_1, z_1) y (X_T, Y_T, Z_T)

RE2.: del fotograma derecho. Expresa la relación entre (x_2, y_2, z_2) y (X_T, Y_T, Z_T) :
Matrices de la Orientación Relativa por el método de la Base fija

RB1.: para el fotograma izquierdo. Expresa la relación entre (x_1, y_1, z_1) y (X_B, Y_B, Z_B)

RB2.: para el fotograma derecho. Expresa la relación entre (x_2, y_2, z_2) y (X_B, Y_B, Z_B) Matrices de la Orientación Relativa por el método del Proyector Derecho

RP1.: para el fotograma izquierdo. Expresa la relación entre (x_1, y_1, z_1) y (X_1, Y_1, Z_1) . Por definición es la matriz identidad.

RP2.: para el fotograma derecho. Expresa la relación entre (x_2, y_2, z_2) y (X_1, Y_1, Z_1) y, por tanto, entre (x_1, y_1, z_1) y (x_2, y_2, z_2) .

3.1.6. Modelado 3D y generación de superficies

Por último, la etapa final es la obtención de un modelo tridimensional del objeto. Para conseguir este objetivo, el software utilizado detecta características de los objetos en las

distintas imágenes para componer los puntos en común que ayudarán a formar el modelo 3D del objeto (figura 21).

Al conocer los puntos de la imagen base, es posible hallar las rectas epipolares en otra imagen mediante la matriz fundamental. Los puntos correspondientes a la imagen derecha estarán en dichas rectas, por lo que se reduce la zona de búsqueda en la imagen. Para realizar la búsqueda en la recta epipolar, se lleva a cabo una correlación entre la intensidad del punto de la imagen izquierda y sus alrededores, con los puntos que forman la recta epipolar y sus vecinos. De tal forma, que se compara para cada esquina detectada, ventanas de tamaño $N \times N$ centradas en dicha esquina, con los puntos de la recta epipolar y sus alrededores.

El software utilizado realiza este proceso de forma automática, empleando el mismo factor de confianza a todos los puntos que corresponden a esquinas y aristas en todas las imágenes y que los puntos son los mismos en todas. Además utiliza las texturas características de todas las imágenes, por eso funciona mejor en objetos rugosos e irregulares que sobre superficies especulares o transparentes.



Figura 22. Nube de puntos generados con su color (RGB).



Figura 23. Modelo 3D del Edificio.

3.1.6.1. Triangulación

Una vez obtenidos los puntos característicos en ambas imágenes, se lleva a cabo la triangulación, conocidos los parámetros de la cámara.

El resultado será una serie de puntos tridimensionales correspondientes a las superficies del objeto a reconstruir (figura 22). Un ejemplo de la reconstrucción final es la figura con el Palacio de la Magdalena, donde los puntos detectados han sido representados en el espacio.

Para esta fase se utiliza la conjunción del diagrama de *Voronoi* y el mallado mediante la triangulación de *Delaunay*, que no se explican aquí por no ser objeto de estudio en esta tesis.

Algoritmo para Triangulación y Generación de Superficies

El pseudocódigo de dicho algoritmo es:

1. Establecer P como el conjunto de vértices o puntos
2. Cálculo del diagrama de *Voronoi* de P
3. Cálculo de gráfico de *Delaunay* de P
4. Triangulación de las caras con más de tres puntos

Al finalizar el desarrollo de la metodología, se decidió abandonar la triangulación y mallado de superficies por la generación de superficies Nurbs (B-splines racionales no uniformes) es un modelo matemático muy utilizado en la computación gráfica para

generar y representar curvas y superficies. Estas superficies eran obtenidas mediante el desarrollo del método RANSAC explicado en esta tesis en capítulos posteriores a este, las superficies son generadas a partir de la segmentación de las nubes de puntos.

3.1.7. Texturizado y Renderizado

Una vez creadas las superficies mediante la triangulación o mediante *Nurbs*, se procede a la asignación de materiales a dichas superficies del objeto, que al interactuar con las fuentes de luz de la escena, permiten alcanzar efectos de visualización con el mayor realismo 3D posible.

Dentro de la metodología presentada, se unen todas las partes, buscando puntos de convergencia entre ellas. Se observó que para conseguir mayor precisión y que se acercase más a la realidad, se aumentó la precisión dando unos puntos por topografía en escalas a nivel de edificios. Cada una de las partes tenía que estar orientada y escalada, esto se consiguió eligiendo un punto como origen (0,0,0) y, a partir de él, se da una distancia a otro punto para definirle el tamaño del objeto, se orienta en los ejes X y Z, es decir, dando una altura y una profundidad, mediante tres puntos, así se va uniendo, de forma sucesiva, cada una de las partes (figura 23).

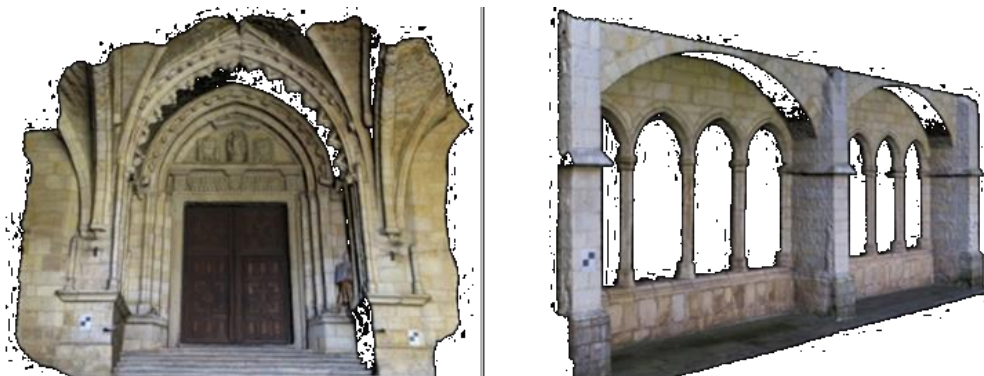


Figura 24. Modelos del pórtico de entrada y claustro de la Catedral de Santander.

También se consiguió realizar el modelado 3D de los objetos interiores de los edificios como se puede ver en la figura 24 y el resto del interior del edificio como en la figura 25.



Figura 25. Modelado 3D por ingeniería inversa de los muebles de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander.

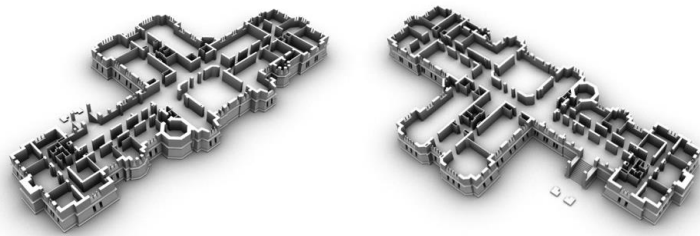


Figura 26. Modelo geométrico que contempla la fachada externa y la distribución interna del edificio.

Otro ejemplo de modelado 3D de un edificio en figura 26, 27 con el modelo completo en la figura 28:

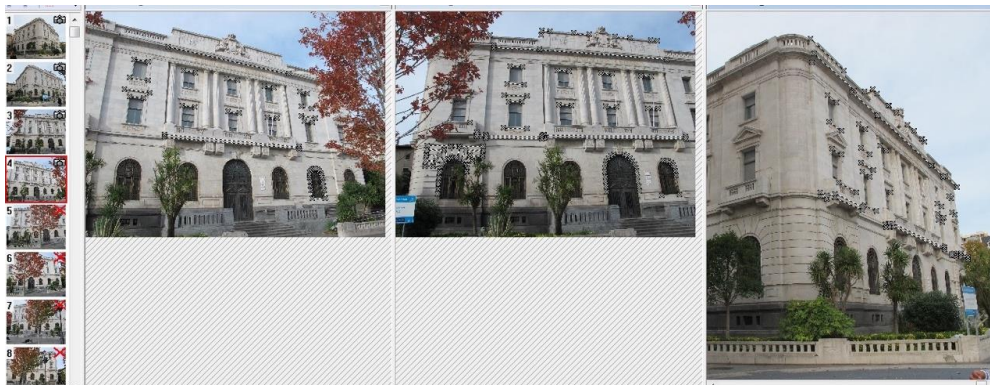


Figura 27. Proceso de matching entre imágenes, búsqueda de puntos homólogos.

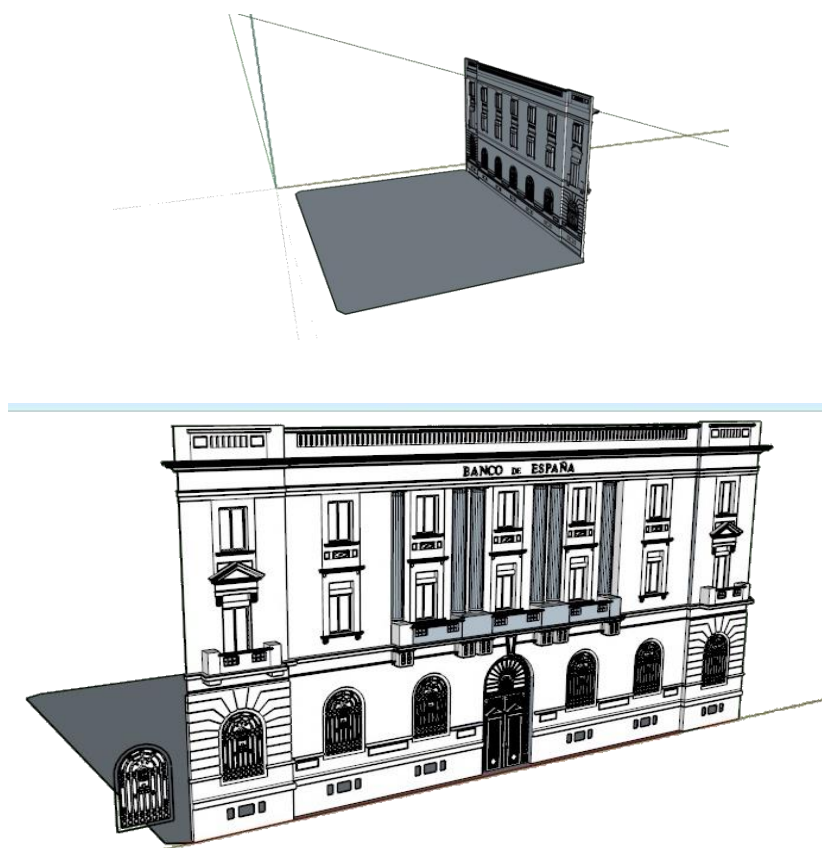


Figura 28. Generación del Modelo Blanco de Superficies.

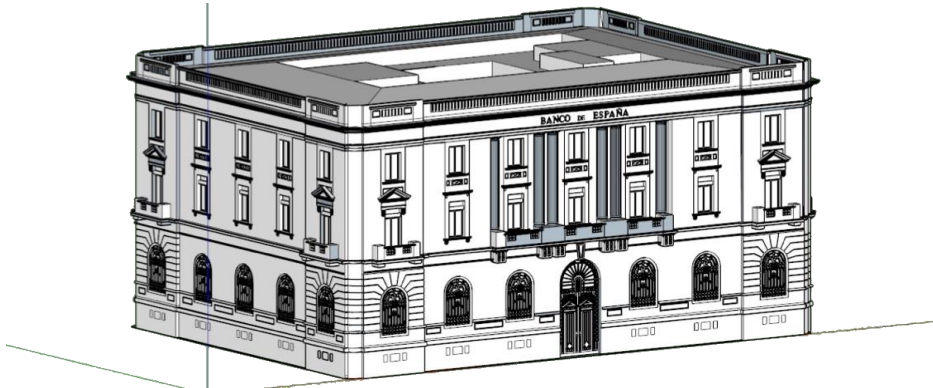


Figura 29. Finalización del Modelo. Ahora se exportará a un entorno de Realidad Virtual.

3.1.8. Creación de ortofotografías

“La ortoproyección es el proceso de transformación de una perspectiva, generalmente fotográfica, en una proyección ortogonal” [44].

Se trata de corregir el desplazamiento originado por la inclinación de la cámara y la profundidad de los elementos que aparecen en la fotografía como, por ejemplo, los balcones. Obteniendo una exactitud métrica similar a la cartografía adjuntada en la presente memoria.

Se obtiene una imagen en la que todos los elementos aparecen completamente perpendiculares a la toma y a la misma escala.

La creación de orto-imágenes se utiliza para representar los detalles que posee el edificio y que se han generalizado en la documentación gráfica, como por ejemplo la decoración y los ornamentos que aparecen en el paramento.

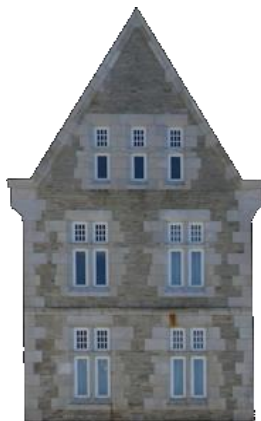


Figura 30. Ejemplo de ortofoto de parte de la fachada del palacio.

Una vez obtenida la restitución y edición de todos los elementos del edificio se realizan las orto-imágenes (figura 29).

El proceso tiene en cuenta la posición tridimensional de todas las polilíneas y puntos que se han creado en el modelo y aproxima la superficie real a una superficie matemática formada por elementos planos triangulares. Esta malla de triángulos permite interpolar entre los valores de profundidad de cada uno de sus vértices, generando un modelo digital de elevaciones.

Por último, al aplicar textura a dichos triángulos, se deforma la imagen, píxel a píxel, hasta situarla en su verdadera magnitud.

Debido a la cantidad de cambios de profundidad existentes en el edificio, la creación de orto-imágenes en el presente trabajo ha resultado complicada.

Se ha creado el modelo digital de elevaciones de cada fachada, dividido en fragmentos, según la profundidad el elemento.



Figura 31. Ortofotografía Aérea del Palacio la Magdalena (9 de Mayo de 2012).

A partir de las imágenes del dron y el minidron (tomas cenitales) se consiguió modelar la cubierta del edificio. Este modelo se utilizó para la cubierta del edificio en 3D, así como para generar la ortofotografía o imagen rectificada con la planta del edificio (figura 30). Para el resto del edificio, en todo momento se prescindió de la cubierta, trabajo que se obtuvo de las tomas cenitales.

3.1.8.1. Generación de ortofotografía aérea

Realizada la ortofoto aérea (figura 31), mediante vuelo fotogramétrico, de todo el término municipal de Santander con un GSD (resolución espacial) de 10 cm y con cuatro bandas, las tres del espectro visible (RGB) y una del Infrarrojo cercano, se completó el proceso de detalle de edificios y zonas de especial interés con el uso de drones. El uso de los drones fue previo a la actual regulación existente que prohíbe el vuelo de estos aparatos sobre zonas cercanas a un aeropuerto, tal y como es el caso de la ciudad de Santander. Para esta fase se pudo contar con la colaboración de la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander.



Figura 32. Ortofoto aérea del término municipal de Santander.

3.1.9. Modelos 3D de edificios urbanos

El producto final de esta fase ha sido la documentación digital de varios edificios considerados como patrimonio histórico, de forma que se tengan medidas de todos los elementos arquitectónicos del edificio de forma precisa.

En esta fase se pudo implementar una aproximación de detalle al Sistema de Información Patrimonial de Santander, centrándonos en la Península de la Magdalena, la Catedral y la Biblioteca Menéndez Pelayo como ámbito de estudio y representación gráfica.

Una vez realizado el modelo 3D del edificio de la Magdalena, de la Casa de Guardeses, del Edificio de Caballerizas dentro de la Península de la Magdalena, así como el edificio de la Catedral y la Biblioteca Menéndez Pelayo, se pudo concluir la capacidad de generar modelos 3D de edificios catalogados como Patrimonio Histórico, sin necesitar unos planos previos de los edificios. Para conseguir esta finalidad, se han combinado distintas tecnologías y técnicas, desarrollando un híbrido, del que ha salido una nueva metodología válida para cualquier trabajo similar, basado en la reconstrucción 3D de objetos de rango cercano.

La importancia histórico-artística de los sitios analizados requería una particular precisión en los datos y, al mismo tiempo, una notable velocidad de adquisición, debido a la reducción del tiempo en el que los operadores podían intervenir. Para cumplir estos

requisitos, se comenzó el trabajo con un escáner-láser *FARO Focus 3D*. Este escáner funciona cuando mide analizando la fase de la señal y los parámetros del escaneado, que se pueden ajustar a través de una pantalla táctil integrada en el instrumento. El instrumento tiene una cámara digital con eje óptico coaxial con el rayo de medición del láser, que posibilita colorear cada punto tridimensional adquirido con un valor de color RGB tomado de la fotografía.

El escaneado se realizó con una resolución de un punto cada 6 mm a 10 m, en un tiempo muy limitado. Al término de la fase de adquisición, se pasó a la fase de procesado de los datos con el software *Faro Scene*, que consistía en la construcción de la matriz de roto-traducción de los escaneados individuales, efectuada con la identificación de tres puntos comunes (target) o dos puntos comunes con el uso del inclinómetro entre escaneados contiguos. Paralelamente se han elaborado ortofotos (planos y secciones), importando las nubes de puntos en soporte *fls*, directamente en el software *PointCab*. Este software se detectó versátil e interesante para la administración de los puntos. De hecho, la construcción de los planos de proyección se produce en la planta simplemente mediante el trazado de una línea de sección, además de la calidad de la representación de ortofotos, considerablemente diferente de otros programas (software) más costosos y que requieren más recursos computacionales.

Esta fase se realizó entre mayo y agosto de 2014. A partir de la base generada previamente, se tomaron fotos precisas de cada parte y elemento a destacar en su catalogación. A partir de aquí se exportaron y se generaron las nubes de puntos por estereocorrelación que dieron lugar a los modelos 3D reutilizados dentro de la visita virtual 360°, realizada en esta fase y enriquecida con la realizada por el grupo de Nápoles durante la primera fase.

3.1.10. Realidad virtual y aumentada

La presentación por medio de modelos de Realidad Virtual, posibilitan que el usuario interactúe libremente con el objeto, de manera que el acercamiento y el movimiento por la maqueta virtual lo realiza según la compresión que de él va adquiriendo. Los programas navegadores, necesarios para realizar estas visualizaciones, son de diseño y disposición muy intuitiva y su aprendizaje sencillo, por lo que su manejo requiere un adiestramiento mínimo. También los modelos tridimensionales permiten la realización de visitas guiadas, que recorren los puntos significativos del modelo, y conducen al espectador directamente a ellos. En este caso se trataría de vídeo-animaciones.

Otra posibilidad es la transformación estereoscópica de la imagen del modelo, con lo que se adquiere la sensación de profundidad sin tener que realizar ningún esfuerzo de

interpretación, precisando únicamente la utilización de artefactos más o menos complejos.

La superposición de la realidad con un modelo virtual proporciona imágenes de realidad aumentada, poderosa herramienta para el estudio de reconstrucciones y restauraciones previas a su ejecución, posibilitando la evaluación de su aspecto estético, integración en el entorno e incluso el impacto visual causado, permitiendo aplicar las medidas correctoras antes de generarse los problemas.

Finalmente, estos modelos de realidad virtual facilitan la difusión a través de Internet y, por tanto, la divulgación y difusión del patrimonio.

Las posibilidades de aplicación de los desarrollos realizados son inmensas, por un lado permiten realizar la extracción de datos sobre la geometría de los elementos individuales que componen el objeto, como el tamaño de los sillares, la posición del centro de gravedad de cada uno, o en su conjunto, volúmenes, orientación,...

Para lograr este objetivo, se texturizaron todos los modelos con el software *Blender* (<https://www.blender.org>) y se animaron, de forma que se pudieron generar infografías, videos y productos multimedia con los contenidos necesarios para la divulgación de las distintas unidades que formaban este modelo 3D inteligente de la Ciudad de Santander. Además, mediante la aplicación de Realidad Aumentada *LAYAR* se prepararon una serie de escaneados de edificios simbólicos, de tal forma que desde el móvil se pueden consultar todos los edificios, modelos virtuales y recreaciones históricas realizados en torno a ese edificio en concreto. Como ejemplo, el caso de la recreación de Santander previo al Incendio de la Ciudad en 1941: (https://youtu.be/SmgJ9FB_jLc)



Universidad de Valladolid

Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

4. APLICACIONES

4.1. Estudio Preliminar

Hybridization of Convergent Photogrammetry, Computer Vision, and Artificial Intelligence for Digital Documentation of Cultural Heritage - A Case Study: The Magdalena Palace

Autores: Oscar Cosido; Andrés Iglesias ; Akemi Gálvez ; Raffaele Catuogno ; Massimiliano Campi ; Leticia Terán ; Esteban Sainz

Congreso: Cyberworlds (CW), 2014 International Conference on. Conference Location: Santander, Spain

Electronic ISBN: 978-1-4799-4677-8

CD-ROM ISBN: 978-1-4799-4678-5

DOI: 10.1109/CW.2014.58 Publisher: IEEE

Dentro de este trabajo concreto, la idea inicial consistió en comparar los costes y viabilidad de modelar la ciudad mediante técnicas de fotogrametría convergente contra la tecnología del LIDAR Terrestre (Escáner-láser), para la captura de información tanto de las fachadas como de la parte interior del edificio.

La reconstrucción 3D es el proceso mediante el cual objetos reales son reproducidos en un ordenador, manteniendo sus características físicas (dimensiones, volumen y forma). Existen diversas técnicas de reconstrucción, cuyo objetivo principal es obtener un algoritmo que sea capaz de realizar la conexión del conjunto de puntos representativos del objeto en forma de elementos de superficie. La eficiencia de las técnicas utilizadas define la calidad final de la reconstrucción.

Después de varias pruebas y visto el coste del escáner-láser se decidió prescindir de esta tecnología, reservarla sólo para edificios complejos como la Catedral y generar el proyecto mediante fotogrametría convergente, haciendo del proyecto un trabajo menos automático en la captura de la información, pero con más posibilidades de automatización en post-proceso, al tratarse de imágenes unidas con modelos 3D de nubes de puntos obtenidos por estereocorrelación, no sólo nubes de puntos obtenidas con escáner-láser (figura 32). A partir de las nubes de puntos se pudieron generar la malla de puntos de igual forma, así como el modelo 3D y mucho mejor resuelto el texturizado del modelo y la producción de la ortofoto.

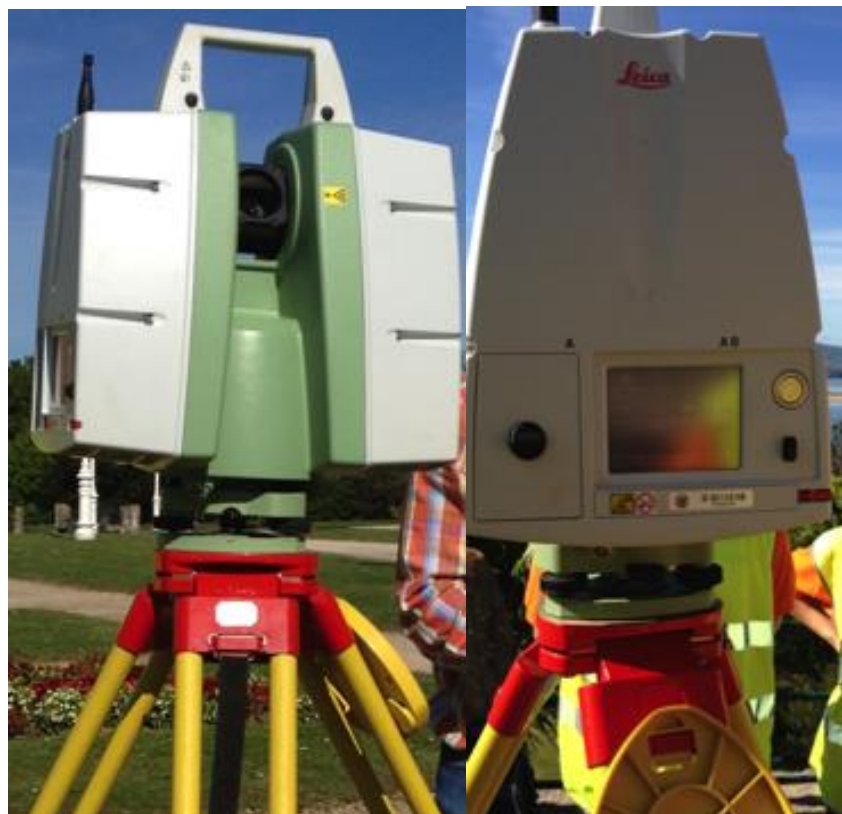


Figura 33. Escáner – láser utilizado para las pruebas.

Una vez decidida la metodología a emplear: mediante la captura de información a través de la toma de fotografías convergentes a los edificios, se investigó el integrar el sistema con la utilización de nuevos métodos de captura, así la parte de la cubierta del edificio se realizó por captura con cámara aerotransportada en un dron cuatrhélice o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), a partir de ahora dron, que se fabricó colaborando con la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander (figuras 33 y 34), integrando también la utilización de un miniUAV, a partir de ahora minidron, adquirido por el Ayuntamiento de Santander para poder estudiar la generación de modelos de “bajo coste”. Durante el desarrollo de la tesis no se encontraron publicaciones ni referencias a vuelos fotogramétricos con un aparato tan económico y una cámara HD tan sencilla.

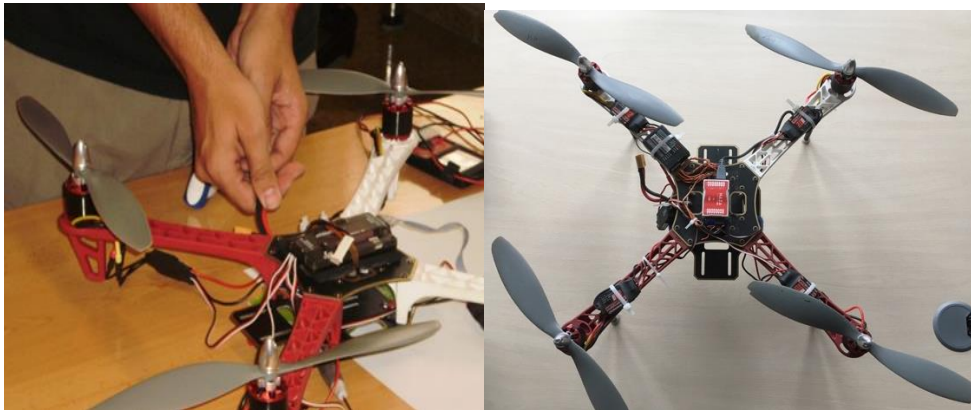


Figura 34. Fabricación del dron.



Figura 35. Vuelo del dron usado para esta tesis.

Como productos finales de este estudio preliminar se obtuvieron el modelo 3D del Palacio de la Magdalena y la ortorrectificación de las fachadas.

4.1.1. Nivel de Escala de menos detalle: Segmentación de Imágenes. Nivel de Escala de mayor detalle: Segmentación de Nubes de puntos

HIBRIDACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA Y SEGMENTACIÓN AUTOMÁTICA COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA INVERSA EN ESTRUCTURAS INDUSTRIALES

Autores: Óscar J. Cosido Cobos, Alberto Salcines Menezo, Carlos Loucera Muñecas, Antolín Lorenzana Ibán. **Editorial:** Publicaciones DYNA SL

Este artículo presenta una metodología transdisciplinar para la reconstrucción tridimensional de estructuras del ámbito industrial. El logro de esta metodología es que supone una reducción de costes y tiempo en la captura de información, al utilizar técnicas basadas en imágenes de cámaras digitales convencionales y software de procesado

fácilmente disponible, manteniendo las precisiones dimensionales requeridas para cada aplicación. Como resultado, se obtienen modelos 3D que posibilitan la documentación gráfica de estructuras de forma inversa y la realización de cálculos en base a estos modelos, así como la detección acelerada de posibles defectos o imperfecciones de la estructura (figura 35).

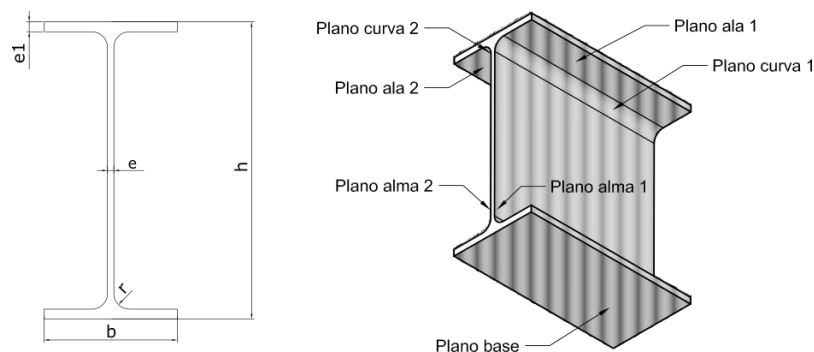


Figura 36. Ejemplo de resultado de la aplicación de la metodología a estructuras industriales.

La segmentación de imágenes es una técnica importante para el procesamiento de las mismas que implica dividir una imagen en sus partes constituyentes. Normalmente se utiliza para identificar objetos u otra información relevante en imágenes digitales. El incremento gradual en tamaño y número de imágenes digitales ha hecho necesario el uso de computadoras para procesar y analizar los datos.

Muy a menudo procesar toda la imagen es ineficiente y poco práctico, siendo esta una de las razones por las que se han investigado los "métodos de segmentación" en las últimas décadas. Estos métodos intentan identificar las diferentes regiones constituyentes de una imagen, clasificándolas de acuerdo con una característica de la imagen, por ejemplo, el valor de píxel o la respuesta de frecuencia.

La segmentación de imágenes se utiliza normalmente para localizar objetos, límites u otra información relevante en imágenes digitales. El resultado de este proceso es un conjunto de segmentos, o un conjunto de contornos extraídos de la imagen original.

El nivel en el que se realiza esta subdivisión depende de la aplicación en particular, es decir, la segmentación finalizará cuando se hayan detectado todos los objetos de interés para la aplicación.

Para este trabajo se utilizan dos tipos de métodos de segmentación de imágenes, algunos basados en ecuaciones diferenciales parciales [45][46][47] y otros basados en wavelets [48]. Las primeras ofrecen resultados de alta calidad pero requieren tiempo computacional largo, mientras que, las basadas en wavelets, permiten resultados casi instantáneos con una calidad inferior.

4.1.1.1. Clasificación

La clasificación supervisada se refiere a una clase de métodos utilizados en el análisis cuantitativo de datos de imágenes de teledetección. Estos métodos requieren que el usuario proporcione el conjunto de tipos de cubierta en la imagen, por ejemplo, agua, guijarro, bosque de hojas caducas, etc., así como un campo de entrenamiento para cada tipo de cubierta. El campo de entrenamiento típicamente corresponde a un área en la imagen que contiene el tipo de cubierta, y la colección de todos los campos de entrenamiento se conoce como el conjunto de entrenamiento o datos de verdad de tierra. A continuación, se utilizan los datos de tierra-verdad para asignar cada píxel a su tipo de cubierta más probable.

Para esta parte se probaron paquetes del software MATLAB para la clasificación de imágenes de percepción remota. Uno de los principales objetivos era proporcionar algunos de los más eficaces, y también de vanguardia, esquemas de clasificación disponibles en la actualidad y de bajo coste. MATLAB incluye la clasificación basada en el espectro, así como clasificadores que incorporan la correlación espacial dentro de las imágenes típicas. Este software es también único en el sentido de que permite al usuario crear datos reales de una determinada imagen a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI). Finalmente, el software hace que las técnicas de clasificación supervisada (segmentación) estén disponibles para la comunidad más amplia de ciencias de la imagen, que utiliza extensivamente MATLAB.

Como proceso definitivo y después de probar los métodos anteriores sobre las imágenes, se ha usado otro método aplicado directamente sobre la nube de puntos generada y que se ajusta mejor al procedimiento anteriormente descrito, *Maximum Likelihood Estimation Sample Consensus (MLE SAC)* [49] y *Random Sample Consensus (RANSAC)* [50], usado en esta tesis como método de segmentación directa de nubes de puntos. El método MLESAC es muy similar al RANSAC original, pero en lugar de elegir todos los candidatos que sean positivamente etiquetados en una iteración dada, se escogen a aquellos que maximizan la probabilidad de acierto del modelo.

Además, se pueden distinguir dos tipos de resultados en ingeniería inversa: "superficies simples " y "superficies de forma libre ", como B-Splines o NURBS. Para el segundo caso, existen muchos métodos para adaptarse a estas superficies de forma libre en una malla 3D. Aunque se ha estudiado como resolver el problema de la obtención de la superficie que mejor aproxima a la nube de puntos.

4.2. Aplicaciones 1: Implementación del Sistema de Gestión Patrimonial

Una vez realizada la reconstrucción de los edificios del modo más fiel desde el punto de vista geométrico, es necesario estructurar esta información obtenida, de forma que pueda manejarse de un modo estándar con vistas a ser compartida para su uso en el mayor número de aplicaciones posibles. Además es necesario añadir información semántica a la información geométrica que, en forma de metadatos, esté disponible para la consulta por parte del usuario de la aplicación correspondiente. Para ello, es necesario emplear una estructura estandarizada que permita, sobre un esquema común, coexistir a estos dos tipos de información tan diferente (semántica y vectorial) y que, a la vez, sea de propósito general, sin resultar específica para ningún campo en concreto. Existen varios formatos vectoriales 3D que pueden almacenar modelos de edificios y ciudades pero no pueden contener otros atributos, y viceversa. Se ha conseguido implementar una solución a estas limitaciones técnicas, resolviéndolo con la tendencia o evolución hacia una herramienta en desarrollo actual, como es el GIS 3D.

El visor GIS 3D se desarrolla a partir del existente en el Ayuntamiento de Santander en la dirección:

<http://gis.ayto-santander.es:8080/visorGISaytoSantander/visorGISaytoSantander.html#>

<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=1a66c4787d1245e1968f4767b4de3ca4>

Para poder generar el visor de datos, se tuvo que poner los datos en un Servidor GIS, (*ArcGIS Server*) sobre *Apache Tomcat*, que será el que tendrá que cargar y servir toda la información vectorial en formato *shape*, así como el resto de posibles archivos en formato *raster* (imagen) y ortofotos. Esta parte del trabajo consistió en embeber un visor de mapas que permitiese cargar capas y cuantas cosas vayan asociadas a los ficheros, usando la simbología del proyecto.

A la vez se probó con software libre, desarrollando tanto parte servidora como cliente. La interfaz buscaba, dado el perfil del usuario, la sencillez de manejo. Las herramientas deben ser las suficientes para que todos los usuarios puedan usarlas sin tener conocimientos previos de cartografía.

Como punto de partida la interfaz presentó los siguientes elementos que podrán ser modificados de forma:

- Pantalla de visión de la cartografía: con tamaño independiente para todo tipo de resoluciones de pantalla.
- Tabla de contenidos: donde se presentaron las capas. Éstas podrán ser activadas y desactivadas, tendrá la opción de transparencia y cambio de orden de las capas.

- Se muestra la información de las escala, del sistema de referencia.
- Las herramientas van en la parte superior del visor, a excepción del zoom, que aunque esté también en las herramientas, éste tiene una herramienta interactiva aparte, dentro de la zona de la pantalla de visión.
- La información de las bases de datos asociadas a los *shapes* es mostrada según la capa activa que esté situada por encima de las demás en ese momento. A través del clic del ratón sobre el elemento se mostrará la información asociada él.
- Puntos de interés: si se cliquea sobre un punto de interés, saltará un *pop-up*, con la información textual y gráfica de ese punto de interés. Esta información flotará por la interfaz. Pudiendo ser cerrada en cualquier momento por el usuario.

Las herramientas podrán ser modificadas o bien podrá aumentar su número según petición de la dirección técnica. Como punto de partida, las herramientas serán las siguientes:

- Herramientas zoom: Aumentar, reducir, zoom según escala, pantalla completa, zoom a coordenada, zoom previo, zoom siguiente.
- Herramientas información: Información sobre el elemento cliqueado.
- Herramientas medición: Medir distancia, medir área, medir ruta, borrar medición.
- Herramientas de impresión: Cualquier capa visualizado en la pantalla podrá se impresa a petición del usuario.

El software es multiplataforma (*Linux, Windows y Mac*), no debe requerir instalación y requerirá de una interfaz sencilla ya que está pensado para tareas divulgativas.

Para poder dotar de esta funcionalidad, se resolvió desarrollando la herramienta dentro de un visor basado en *OpenLayers*, que es una biblioteca de *JavaScript* de código abierto bajo una derivación de la licencia *BSD* para mostrar mapas interactivos en los navegadores web. *OpenLayers* ofrece un *API* para acceder a diferentes fuentes de información cartográfica en la red: *Web Map Services* (servicios de mapas), Mapas comerciales (tipo *Google Maps, Bing, Yahoo*), *Web Features Services*, distintos formatos vectoriales, mapas de *OpenStreetMap*, etc.

Cuando el usuario selecciona el edificio, se abre una nueva ventana con el modelo 3D del mismo.

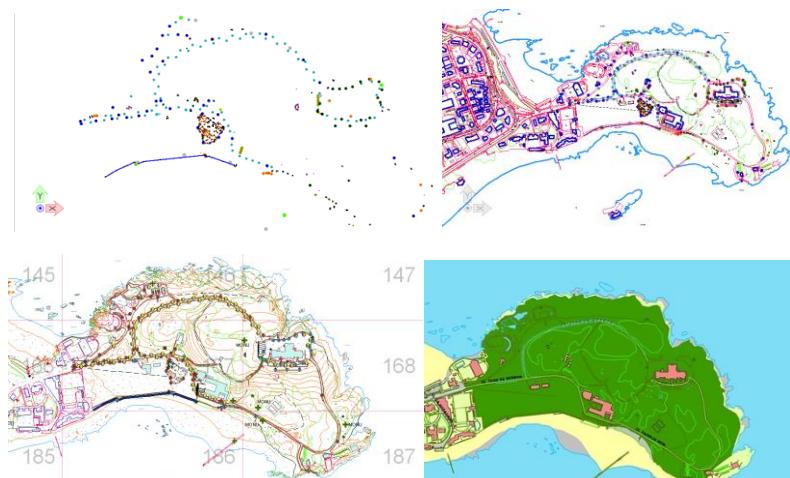


Figura 37. Pasos para la generación del GIS de la Península de la Magdalena.

Capas de Información (figura 36):

Edificios singulares, patrimonio cultural, mobiliario urbano, sistemas de protección y emergencias, especies vegetales, tráfico, tramos viarios, portales, Modelo Digital del Terreno y Ortofoto Digital de Santander.

Así, el objetivo principal de la reconstrucción 3D es obtener un modelo a partir de una imagen o varias, es decir, imitar la capacidad que tienen los seres humanos de ver un mismo objeto en 3D cuando se le muestra una imagen del objeto en 2D. Este objetivo se concibe como algo necesario para conseguir un lenguaje gráfico de comunicación entre el ordenador y el ser humano, si se estructura esa información, considerando la dimensión espacial y sus atributos se consigue implementar un GIS tridimensional.

4.2.1. Generación del Modelo Tridimensional Subterráneo y en Superficie de Santander

Hybridization of convergent photogrammetry, computer vision, and artificial intelligence for digital documentation of cultural heritage. A case study: The Magdalena Palace

Autores: Oscar Cosido, Andrés Iglesias, Akemi Gálvez, Raffaele Catuogno, Massimiliano Campi, Leticia Terán, Esteban Sainz

Congreso: CIBERWORLDS 2014

Studio e rilievo tridimensionale dei resti archeologici delle fortificazioni difensive individuate presso la Penisola della Maddalena, Santander

Autores: Gaia Caliendo, Oscar Cosido, Óscar Ruiz, Raffaele Catuogno, Massimiliano Campi, Akemi Gálvez Tomida, Andrés Iglesias Prieto, Esteban Sainz Vidal

Congreso Latinoamericano sobre patología de la construcción, tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio: REHABEND 2014, Santander (España), 1-4 de abril de 2014/ Luis M. Villegas Cabredo (dir. Congr.), 2014, ISBN978-84-616-8863-0, págs. 137-144. Indexado en SCOPUS

Actualmente existe un interés creciente por el modelado tridimensional de ciudades. Hasta ahora la mayoría de los modelos son elaborados con fines de visualización o publicidad y requieren un trabajo manual elevado. Además, estos entornos urbanos no tienen asociada ninguna información semántica ni topológica que potencie la utilidad de los mismos, limitándose a aspectos gráficos y geométricos. El disponer de un modelo 3D urbanístico con información semántica supondría un notable avance en diversos campos. La obtención de este tipo de herramientas no es sencilla, ni automática. Suele requerir de la participación de personal altamente cualificado. Otro problema que se plantea está en que la detección y ubicación automática de los edificios tampoco está resuelto.

De todo esto se deduce que el trabajo de modelar una ciudad en 3D es más que interesante. Además, este prototipo supondría poder avanzar en posibles alternativas para la detección y ubicación de las zonas urbanas. Para ello, tras estudios de viabilidad previos, se decidió optar por profundizar en la utilización de datos altamente precisos en su posicionamiento mediante sistemas novedosos como los GIS 3D para dar solución a la problemática planteada.

Como ya se ha comentado, en los últimos años se viene trabajando en temas de modelado tridimensional de ciudades. De momento, los objetivos de estos modelados son puramente visuales, no aprovechando todo su potencial (no tienen asociada ninguna información semántica ni topológica). Además la elaboración de estos modelos tridimensionales necesita de una gran dedicación de operadores humanos. El disponer de un modelo 3D urbanístico con información semántica supondría un notable avance en diversos campos. La elaboración de este tipo de herramientas es llevada a cabo por personal altamente cualificado y después de una inversión bastante alta tanto en horas como en coste. Esta dificultad estriba, en mayor medida, en que la detección y ubicación de las edificaciones no es un proceso totalmente automático.

Posibilita esta investigación el poder avanzar en posibles alternativas para la detección y ubicación de las zonas urbanas.

El primer paso es la detección, ubicación y modelización de los edificios y demás elementos partiendo de fotografías y nubes de puntos tridimensionales. El proceso actual de extracción de edificios a partir de la nube de datos original supone un esfuerzo

importante en cuanto a coste, mano de obra y tiempo. Se empleó tiempo estudiando como hibridar técnicas para simplificar el trabajo de modelado 3D. Muchos investigadores en fotogrametría, teledetección y visión por ordenador han tratado de estudiar y desarrollar dispositivos automáticos o semiautomáticos que permitan realizar esta extracción y su posterior reconstrucción. Se han hibridado las diferentes metodologías consiguiendo tiempos menores y más baratos.

El procedimiento habitual es obtener los contornos bidimensionales de los edificios a partir de la nube de puntos tridimensional y su combinación con imágenes aéreas. Utilizando herramientas software de forma manual, se obtiene un modelo tridimensional aproximado de las ciudades. Este proceso depende mucho de la habilidad del operador humano, obteniéndose resultados dispares. Para esta tesis se realizó la extracción de los edificios utilizando únicamente la información tridimensional (reducción de costes, al no necesitar contratar la toma de imágenes aéreas) y de la forma más automática posible (se reduce la cualificación del personal, se evitan errores de subjetividad, se estandariza el proceso, etc.).

También se usó la información de los MDT generados mediante correlación de imágenes, se tiene una fuente de información infrautilizada y cuyas aplicaciones fuera de la producción de ortofoto no se han planteado. Se pretende estudiar la identificación automática de elementos constructivos (edificios), realizando una búsqueda de algoritmos y procesos que actualmente se estén investigando.

Una vez concluida la extracción de edificios y efectuada la reconstrucción de cada uno de ellos, la siguiente etapa sería añadir los atributos de información (metadatos) que confieren utilidad al modelo de la ciudad más allá del aspecto puramente gráfico. Para ello, es muy importante estructurar la información según un estándar de información que pueda garantizar la interoperabilidad con otros sistemas, de modo que se pueda aprovechar su funcionalidad en los distintos campos de aplicación (telecomunicaciones, estudios de impactos medioambientales, propagación ruido, etc.). Cada aplicación específica necesita de una información semántica diferente que debe asociarse al modelo geométrico. Por ello se pensó en el modelo de información *CityGML*, pero después se optó por un sistema propio, basado en la hibridación de diferentes tecnologías, usando como base el nuevo formato *BIM*. La última etapa sería la generación de un modelo 3D de zonas urbanas mediante herramientas hibridadas.

El aumento de la demanda en la planificación urbana ha llevado a la coordinación de disciplinas como la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (GIS) para el desarrollo sostenible de las zonas urbanas. Cada vez es más importante la eficiencia energética de la ciudad, su estudio morfológico y funcional, donde no puede obviarse la importancia que tiene un análisis profundo del modelo de ciudad a través de modelos digitales del terreno y modelos digitales de superficies. Desde el punto de vista

cartográfico, la investigación en estas tecnologías van encaminadas al acceso público de los datos (normativa *INSPIRE*: <https://inspire.ec.europa.eu/>).

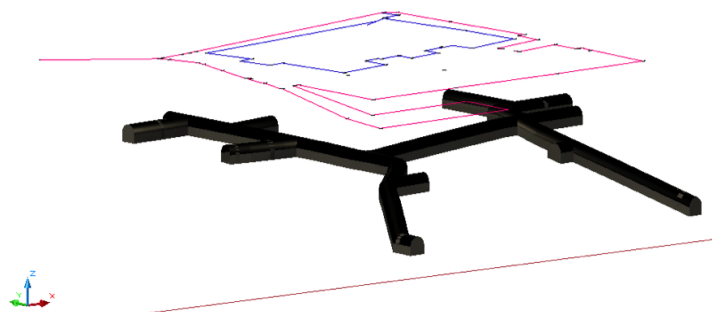


Figura 38. Plano de comparación entre la ciudad enterrada y en superficie.

Esta fase de la tesis no sólo fue ambiciosa respecto a resolver el problema o carencia de un verdadero Sistema de Información Geográfica tridimensional, sino que se pretendía llegar a una herramienta de ayuda a la planificación y publicación de planeamiento e intervenciones en la ciudad, de forma que llegue a todos los ciudadanos la información pública. Por ley, los ciudadanos podrán realizar todas sus gestiones administrativas por medios electrónicos, las administraciones públicas están obligadas a ofrecer sus servicios por Internet, móviles, televisión o cualquier medio electrónico futuro. Esta ley cuenta con el apoyo de numerosas comunidades autónomas, ayuntamientos, y representantes del sector privado, usuarios, etc. Se consiguió realizar un GIS que consideraba los elementos en superficie conjuntamente con los existentes en el subsuelo de la ciudad, figura 37...

4.2.1.1. Patrimonio enterrado de Santander



Figura 39. Imagen de los restos de la muralla medieval.



Figura 40. Fotos de los trabajos de toma de datos para modelar y documentar en 3D los restos encontrados en la Plaza Velarde de Santander.

Santander alberga numerosos tesoros enterrados, desde el antiguo puerto, trozos de la muralla medieval (figuras 38 y 39), restos de las primeras poblaciones, etc. El principal son los refugios antiaéreos de época de la Guerra Civil Española, figura 40.

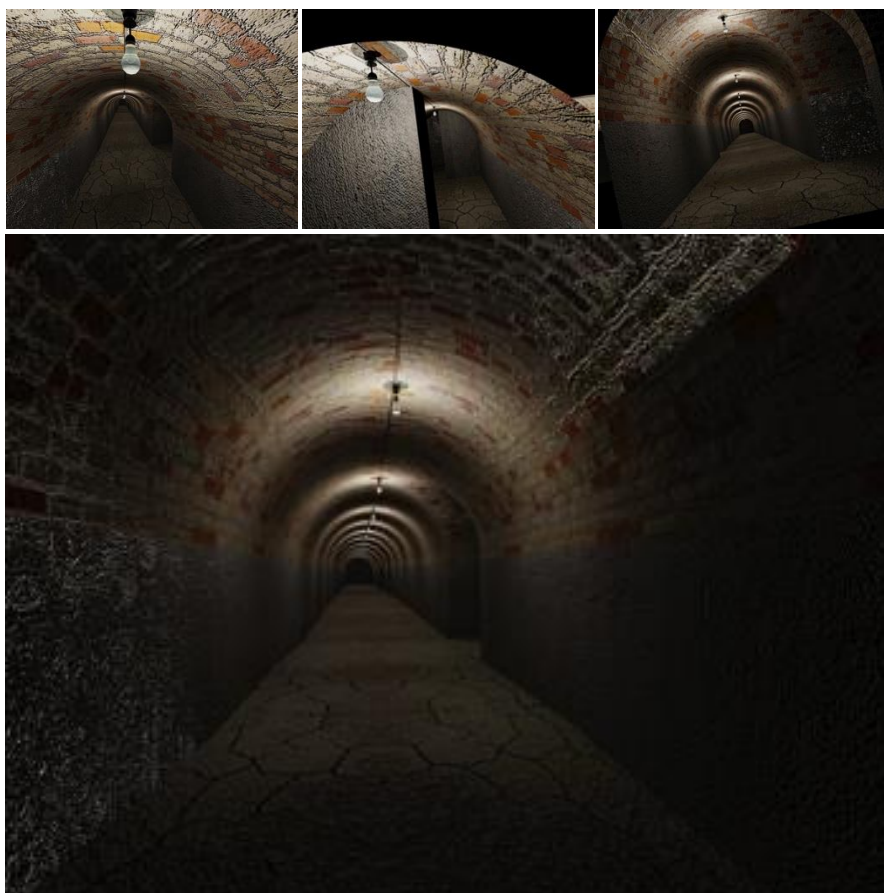


Figura 41. Modelo Virtual de uno de los Refugios Antiaéreos en Santander.

4.2.1.2. Patrimonio en superficie de Santander

Representation of the Santander Cathedral by combination of different smart techniques

Autores: Oscar J. Cosido Cobos, Leticia Terán Vega, Oscar Ruiz López, Jesús M. Sendino Posada, Pedro Sarabia, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, José Pereda Llamas, Andrés Iglesias Prieto

Congreso: 2015 Digital Heritage. Year: 2015, Volume: 1Pages: 135–138 IEEE Conference Publications

3D tour through university spaces for the management and dissemination of the cultural heritage of the University of Cantabria

Autores: Óscar Cosido, Leticia Terán, Óscar Ruíz López, Marta Sarachaga, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Nuria García Gutiérrez, Elena Martín Latorre

Congreso: 2015 Digital Heritage Year: 2015, Volume: 2 Pages: 667–670 IEEE Conference Publications

En cuanto al patrimonio en superficie, quedan vestigios desde finales del siglo XIX, pero el elemento más antiguo que queda en la ciudad es la Catedral, pudiendo ver la nube de puntos generados por fotogrametría figura 41 y modelos de superficies de la recreación histórica con el modelo de la Catedral como referencia 42 y 43.

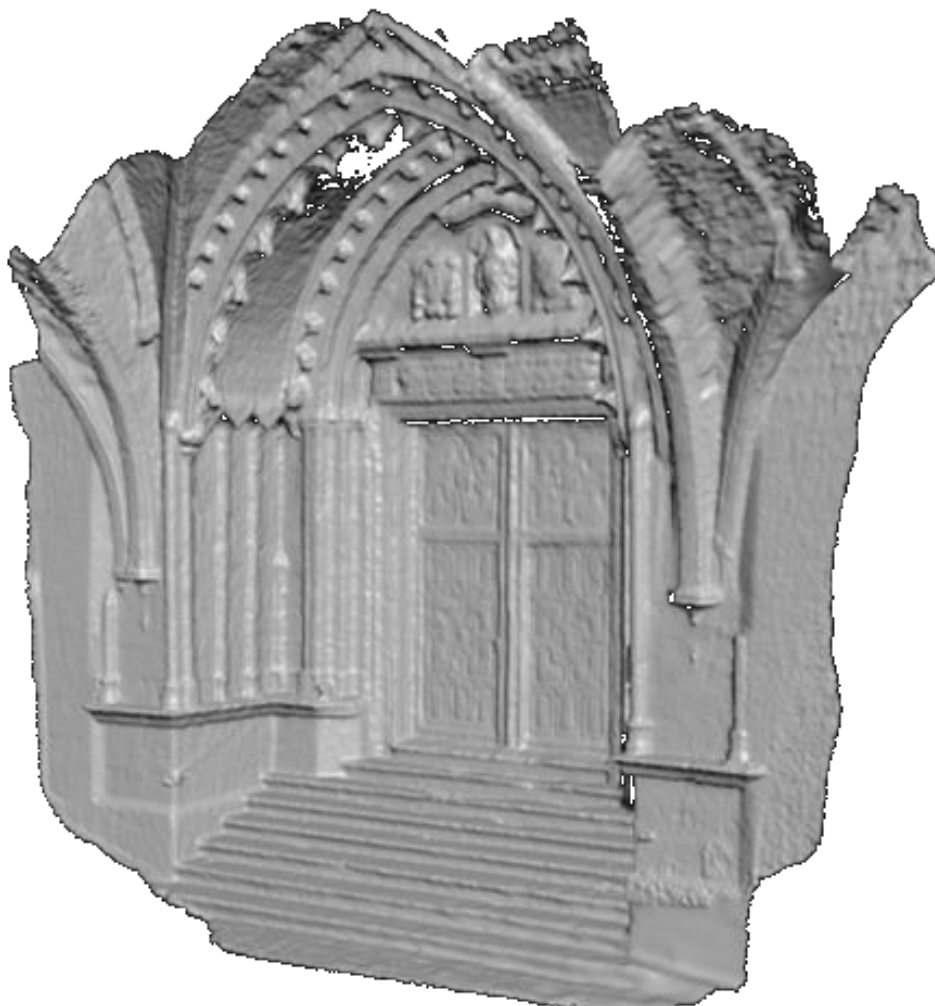


Figura 42. Nubes de puntos sobre las que generar las superficies.

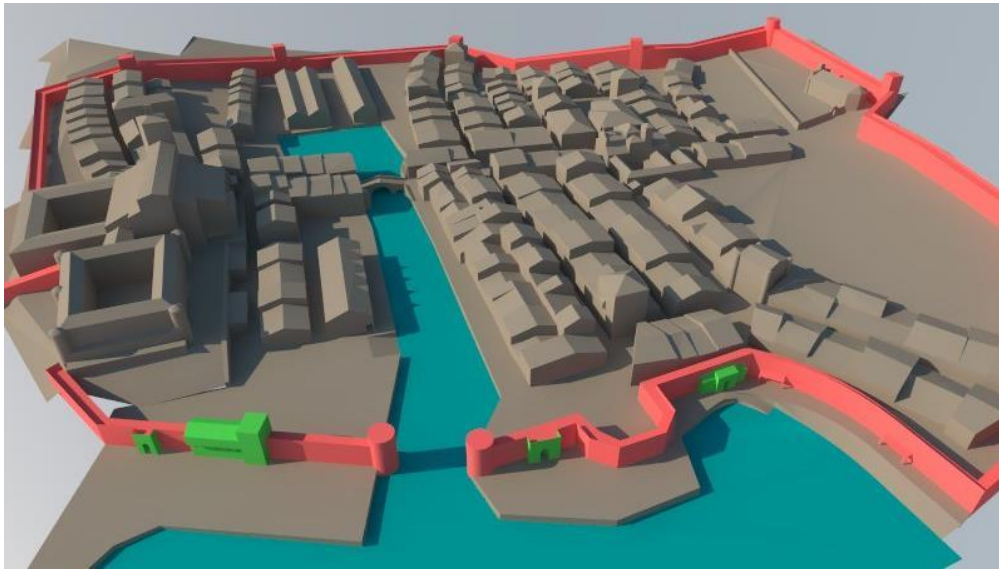


Figura 43. Proceso de elaboración del Modelo Virtual del Santander Medieval.

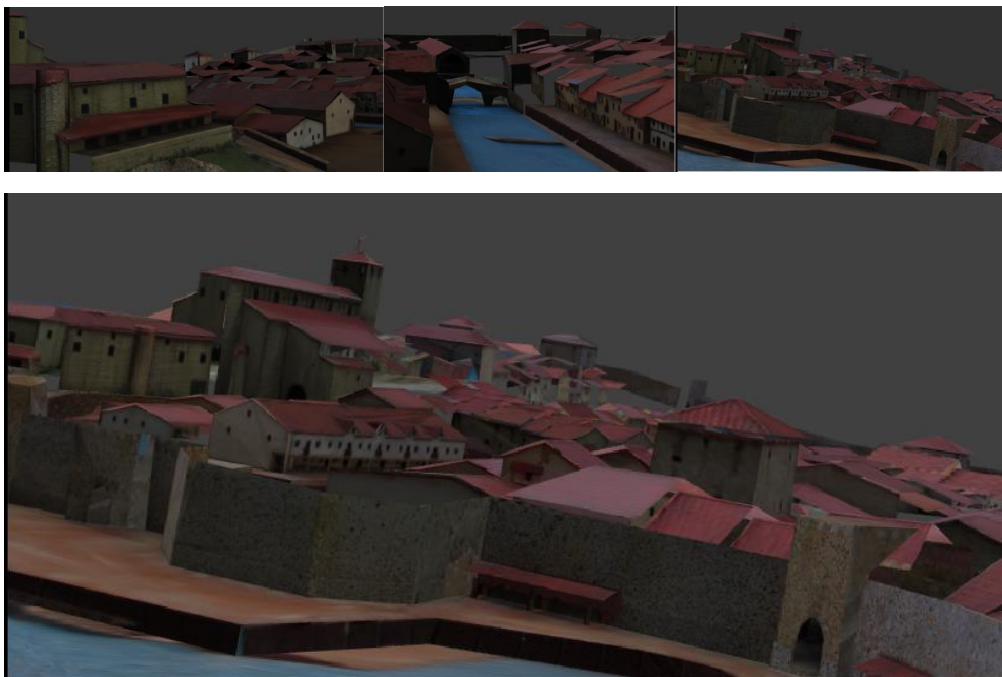


Figura 44. Virtualización del Santander del siglo XVIII.

Se aplicaron técnicas de Machine Learning como prueba para la clasificación de objetos en imágenes.

4.2.1.3. *Yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde en Santander.
Restos de la antigua muralla medieval.*

Título: Virtual documentation of different structures in the urban archaeological site of Velarde Square in Santander

Autores: Óscar J. Cosido Cobos, Pedro Sarabia Rogina, Leticia Terán Vega, Óscar Ruíz López, Diego Arévalo Casuso, Diana Vega Almazán, Esteban Sainz Vidal.

Date of Conference: 28 Sept.-2 Oct. 2015 Date Added to IEEE Xplore: 25 February 2016 Electronic ISBN: 978-1-5090-0048-7 Print ISBN: 978-1-5090-0254-2 USB ISBN: 978-1-5090-0047-0 INSPEC Accession Number:15820313 DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2015.7419600. Publisher: IEEE. Location: Granada, Spain.

El yacimiento de la Plaza Velarde o Plaza Porticada de Santander (Figura 44) nos proporciona evidencias materiales de la evolución de la ciudad, su trazado urbano y su entramado social desde la época anterior a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander hasta la actualidad, con la profunda transformación sufrida por el espacio que hoy ocupa la plaza tras el incendio de 1941, que tan profunda huella dejó en el consciente colectivo de sus habitantes. Estos trabajos arqueológicos han arrojado una serie de resultados preliminares que nos permiten afirmar que dichas estructuras formaban parte de la muralla de la Puebla Nueva de la villa medieval de Santander, en un tramo comprendido entre las antiguas puertas del Mar y el Portillo de Don Gutierre.



Figura 45. Yacimiento de la Plaza Porticada de Santander.

La Plaza de Velarde se ubica en el centro de la actual ciudad de Santander y es una de sus plazas emblemáticas. Su ubicación se inscribe dentro de lo que se consideraba el recinto amurallado de la villa medieval, aunque hasta el momento no existían evidencias físicas de este amurallamiento en la zona que nos ocupa. El yacimiento arqueológico ocupa 450 m² de la esquina Sureste del espacio destinado a la plaza, anexo al espacio porticado

definido por el actual edificio de la Agencia Tributaria. Las dimensiones del espacio que se destinaron a la excavación arqueológica suponen un rectángulo de 30 metros de longitud en dirección Norte y 15 metros de anchura en dirección Oeste desde la mencionada esquina de la plaza. La existencia en la actualidad de una plaza en este espacio no coincide en absoluto con la morfología urbana del área de ubicación del yacimiento en época medieval, dado que toda esta zona se vio profundamente afectada por las remodelaciones que sufrió el urbanismo del centro histórico de Santander tras el incendio acontecido en 1941. Para poder documentar todas las estructuras que iban apareciendo en el yacimiento arqueológico, se decidió utilizar técnicas de fotogrametría convergente a partir de imágenes de cámaras digitales y cámaras embarcadas sobre un dron.

En el año 2006, las obras de acondicionamiento de la Plaza de Velarde en el centro actual de Santander sacaron a la luz unos importantes vestigios materiales que han permitido a los investigadores, gracias al método arqueológico, documentar más de ocho siglos de historia de la ciudad. Para los trabajos de documentación se utilizaron las técnicas de más modernas entre las que se incluyeron la toma de imágenes desde drones y la posterior hibridación de técnicas de fotogrametría convergente con *Machine Learning*, así como la inclusión en los cálculos computacionales de los datos topográficos obtenidos mediante métodos topográficos (Estación total y *GPS*).

Las estructuras más antiguas reconocidas durante los trabajos de excavación, realizados en varias fases, corresponden a la muralla medieval que se construyó a partir de la concesión del Fuero a la ciudad por Alfonso VIII y su esposa Doña Leonor en 1187. La cerca, de unos nueve metros de altura y casi tres de anchura, protegía tanto la Puebla Vieja, situada en torno al monasterio de los Santos Mártires, edificio emplazado bajo la actual catedral, como a la Puebla Nueva, ampliación del antiguo asentamiento hacia el noreste, al otro lado de la ría de Becedo (figura 45).

El recinto, de unos 1.500 m de perímetro, se abrían al menos siete puertas torreadas, algunas con cadalso; portillos, adarve, merlones, cubos y foso. Como se ha podido comprobar durante la excavación arqueológica, la villa contaba intramuros con cierto planteamiento urbanístico: disponía de rampas, calles y terrazas en las que se levantaban las modestas viviendas de las gentes del común, torres, palacios y casas fortificadas. En el área excavada se han podido identificar, además de los restos de un importante tramo de muralla situado en el este de la villa, otros correspondientes a la denominada Puerta de la Mar o del Peso de la Harina, del Portillo de Don Gutierre y de las cimentaciones de algunas torres señoriales.

A mediados del siglo XVIII, factores políticos, económicos y administrativos se conjugaron hasta cambiar radicalmente la situación de declive en el que se encontraba la todavía villa –y su muralla– desde el siglo XVI. La apertura de los caminos hacia el

interior de la Península, la liberación del tráfico de Indias, la creación del Obispado de Santander (1754), la concesión del Título de Ciudad a la población (1755) y la creación del Consulado de Mar y Tierra (1785), favorecieron el despegue económico de la ciudad que, ante el aumento de población, pronto se quedaría pequeña.

Los sucesivos proyectos de ampliación de los muelles para el tráfico con las Colonias en el frente marítimo y la creación de ensanches con nuevos barrios y plazas, que en un primer momento se desarrollaron hacia el este, supuso el principio del fin de la muralla. Ésta, además de perder su capacidad defensiva, constituía un serio impedimento físico tanto para la expansión del tejido urbano, como para el decoro y saneamiento del caserío que aún se encerraba entre los viejos muros. Según se ha podido comprobar en la excavación arqueológica, los muros de la defensa se poblaron de construcciones postizas de muy baja calidad. Al derribarse la muralla en este sector de la ciudad, entre los años 1766 y 1835 (figura 46), se abrió la Plaza de la Aduana o del Príncipe, lugar que no terminó de urbanizarse completamente hasta finales del siglo XIX. Era un espacio con comercios y viviendas burguesas de muy buena calidad, de las que se conservan parte de las cimentaciones. También se descubrieron conducciones, saneamientos y los restos de unos urinarios públicos de comienzos del siglo XX que han podido musealizarse.

Este espacio desapareció durante el incendio de 1941, siniestro que asoló la ciudad destruyendo buena parte del caserío antiguo de la ciudad. La Plazuela del Príncipe y calles aledañas: Arcillero, Tableros, Compañía, Rua Chiquita, Blanca, etc., se convirtieron en un cúmulo de escombros. A partir de esa fecha la ciudad experimentó un gran cambio en su fisonomía. En este espacio se edificó la actual Plaza de Pedro Velarde, concebida en principio para alojar las sedes administrativas más importantes de la ciudad: Ayuntamiento, Gobierno y Hacienda. Desde el año 2014, santanderinos y visitantes pueden disfrutar de buena parte los testimonios históricos, recuperados tras largos años de investigación multidisciplinar, en el Centro de Interpretación de la Muralla de Santander, espacio museográfico integrado en el “Anillo Cultural” de la ciudad.



Figura 46. Santander en 1575. Según el grabado publicado por Braun. *Civitates Orbis Terrarum*. En el círculo, situación de la Puerta de la Mar.

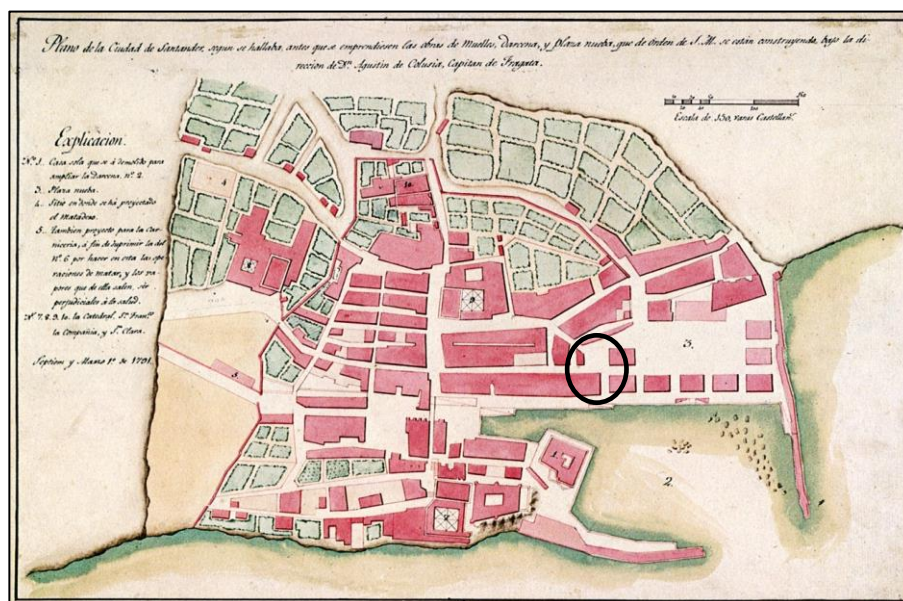


Figura 47. Plano de Santander realizado por Agustín de Colosía en 1791 en el que se observan los restos de la muralla medieval. En el círculo, lugar de la excavación arqueológica.

Una buena cartografía arqueológica constituye la premisa indispensable para programar la investigación, encontrando un justo equilibrio entre las excavaciones de emergencia y los proyectos para sitios no amenazados con el fin de centrar objetivos específicos de conocimiento. El volcado de las informaciones arqueológicas producidas en las ciudades nos permite, a posteriori, llevar a cabo esas cartografías temáticas de gran utilidad en la

gestión del Patrimonio de nuestras ciudades. De esta manera, los datos obtenidos en las intervenciones arqueológicas realizadas en la Plaza Velarde han sido gestionados mediante su inclusión en un GIS. Para ello es de vital importancia que la recogida de datos que se produzca en estas intervenciones obedezca a unos parámetros predefinidos que permitan una adecuada combinación de los datos procedentes de diversas intervenciones. En primer lugar, es indudable que es imprescindible que la información espacial acerca de los elementos arqueológicos (muebles e inmuebles) se encuentre expresada en los mismos sistemas de referencia, ya que de esta manera se pueden conjuntar todos estos datos de manera eficaz. Así mismo, resulta necesario que los datos registrados acerca de estos elementos obedezcan a unos estándares que permitan un estudio comparado.

La idea de generar ortofotos era precisamente la de tener la posibilidad de incluir la planimetría con textura incluida dentro de un GIS, que permitiera ir viendo cada una de las estructuras en referencia con el resto de las que iban a apareciendo, viendo el solape de estas estructuras según las distintas épocas.



Figura 48. Trabajos durante el Yacimiento Arqueológico.

Cronológicamente, la intervención arqueológica en la Plaza Velarde de Santander (figura 47), nos permite conocer la evolución diacrónica de la villa medieval santanderina, desde los momentos previos a la urbanización del espacio en el que se asienta el yacimiento en los siglos XII y XIII hasta la conformación de su actual fisonomía, con la construcción de la actual plaza a partir de 1942. De este modo se han encontrado evidencias de la ocupación de este espacio con carácter previo a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander tras la concesión del fuero en 1187, también del proceso de amurallamiento de la villa y de la conformación de las calles adyacentes a la misma. También nos permite este yacimiento registrar las evidencias materiales de las diferentes remodelaciones que se han sucedido en este espacio con desde finales de la Edad Media y en época Moderna, con cambios de pavimentación de las calles, construcción de infraestructuras diversas

para el desalojo de aguas tanto pluviales como procedentes de edificaciones y la adaptación del terreno para la construcción de edificios. También la etapa contemporánea dejará huella material en el yacimiento, con la construcción de canalizaciones y unos aseos públicos que afectarán directamente a la muralla medieval. Por último, la amortización del espacio para la construcción la Plaza Velarde tras el incendio de 1941 sellará el yacimiento y permitirá la conservación de las estructuras que se encontraban en el subsuelo, al ser amortizadas mediante el relleno de esta área.

El elemento arqueológico más relevante y de mayor monumentalidad que se hace presente en este yacimiento es la muralla medieval de la villa. Esta muralla, que en su estructuración perteneciente a la Puebla Nueva tradicionalmente está fechada en torno a finales del Siglo XIII y principios del Siglo XIV, fue derribada para acometer el ensanche de la ciudad hacia 1790. La necesidad de crecimiento de la ciudad motivó el proyecto y realización de un ensanche a mediados del siglo XVIII, siguiendo el proyecto de Agustín de Colosía.

El volcado de las informaciones arqueológicas producidas en las ciudades nos permite, a posteriori, llevar a cabo esas cartografías temáticas de gran utilidad en la gestión del Patrimonio de nuestras ciudades. De esta manera, los datos obtenidos en las intervenciones arqueológicas realizadas en la Plaza Velarde han sido gestionados mediante su inclusión en un Sistema de Información Geográfica. Para ello es de vital importancia que la recogida de datos que se produzca en estas intervenciones obedezca a unos parámetros predefinidos que permitan una adecuada combinación de los datos procedentes de diversas intervenciones. En primer lugar, es imprescindible que la información espacial acerca de los elementos arqueológicos (muebles e inmuebles) se encuentre expresada en los mismos sistemas de referencia, ya que de esta manera se pueden conjuntar todos estos datos de manera eficaz. Así mismo, resulta necesario que los datos registrados acerca de estos elementos obedezcan a unos estándares que permitan un estudio comparado.

Se eligió realizar la toma fotográfica sobre las 8:00 horas y 13:00 horas aproximadamente, debido a la gran afluencia de gente que trabajaba en el yacimiento fuera de este horario restringido. Como en todos los trabajos realizados, las fotografías se efectúan con la cámara digital no métrica *Canon PowerShot G12*, apoyada sobre trípode, con plataforma abatible 90°. También se combinaron con imágenes procedentes de un dron propiedad de la Escuela Taller del Ayuntamiento de Santander. Dichas fotografías son impresas y analizadas, para determinar la posición, como mínimo de 3 puntos de control mayor. Estos puntos son necesarios para realizar el proceso de orientación externa.

Para poder reconocer los puntos de forma automática en las imágenes se combinó el uso de dianas con el de marcas generadas mediante elementos no duraderos y fácilmente eliminables. Eran puntos fácilmente identificables en las fotografías y en el terreno, ya

que posteriormente se determinaron sus coordenadas en campo. Son puntos imprescindibles en la toma de datos del trabajo topográfico. Por ello se eligen puntos en esquinas de muros y marcas fácilmente reconocibles.

Una vez realizada la cobertura fotográfica y estudiados los puntos marcados en los objetos, se establecen y se marcan en el terreno las bases de la red a partir de las cuales se realizó el levantamiento del yacimiento. La red está formada por un total de 4 bases de estación distribuidas. Para esta fase se combinó la utilización de un GPS TRIMBLE y una Estación Total tipo LEICA modelo TC805L, además de prisma circular y flexómetro (figura 48).



Figura 49. Equipo de Topografía.

La tolerancia del trabajo de campo es un valor que nos permite desechar las medidas que lo sobrepasen, no considerándolas. Ésta se calcula a partir de una serie de errores accidentales producidos por el instrumental y el método que se utiliza. Nuestra tolerancia calculada era de 2 cm en altimetría y 1 cm en planimetría. Nuestra Red fotogramétrica se generó por densificación de la Red Topográfica Municipal.

Para poder automatizar el proceso de la metodología empleada, aunque después se usó auto-calibración, se tuvo que calibrar la cámara, siguiendo los siguientes pasos:

1. Toma fotográfica para la calibración.
2. Medición de las dimensiones básicas de la malla.
3. Introducción de aproximaciones iniciales.
4. Marcación manual de los 4 puntos de control básicos de la malla.
5. Cálculo automático de la calibración.

Debido al método y software utilizado, *Agisoft PhotScan*, una vez se correlacionaron los puntos fueron considerados óptimos.

Dado los dos niveles de trabajo o diferentes escalas dentro de un yacimiento (el yacimiento en general y los objetos en él encontrados), se decidió dividir en pequeñas partes que fotografiar, en torno a las cuales se hizo un desplazamiento, cambiando la perspectiva. Para este trabajo en concreto, a parte de las imágenes tomadas entorno al yacimiento, se utilizaron unas imágenes aéreas oblicuas y cenitales, capturadas desde un helicóptero cuatrhélice (dron), que realizó un vuelo sobre el yacimiento (figura 49).

Para el modelado 3D de las distintas estructuras y objetos encontrados, se utilizó sólo la cámara terrestre, dado que no eran lo suficientemente grandes como para necesitar el uso del dron.



Figura 50. Preparación del dron.

Para la geometría de restitución 3D oblicuo, la regla básica es que cada zona del objeto quede recogida, al menos en tres imágenes. La mejor forma de ejecutar esta cuestión es tomar las imágenes a lo largo de un anillo entorno al objeto con la distancia al mismo constante, pero dada la irregularidad del yacimiento, se tuvo que utilizar mucho más la parte de reconocimiento automático de marcas estáticas, en detrimento de la fotogrametría (figuras 49 y 50).

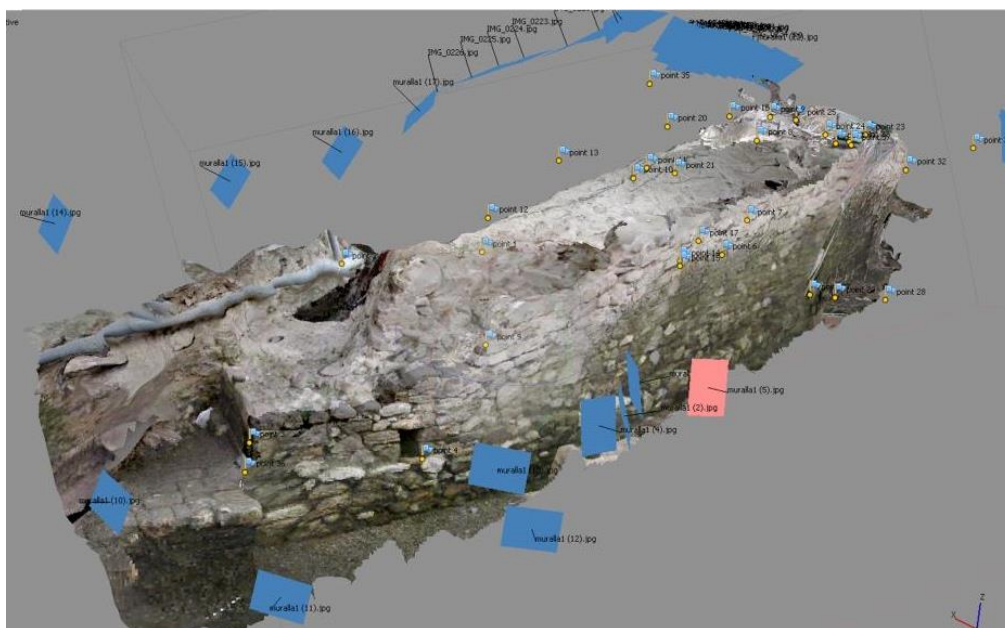


Figura 51. Modelo 3D obtenido mediante la metodología propuesta.

En este yacimiento se tuvo que ir más al reconocimiento automático de marcas (figura 51) mediante técnicas de *Machine Learning* dejando en menor grado las técnicas de análisis fotogramétrico. Se intentó respetar en todo momento la posición mínima de las imágenes: una perpendicular al objeto, otra encuadrando hacia la izquierda y otra hacia la derecha. Para la fase de procesado fotogramétrico y composición del modelo 3D, viendo que en las zonas donde las partes del objeto se articulan entre sí, se debía sacar partido de las fotos tomadas en diagonal, es decir, que ofrecen el mayor recubrimiento posible del objeto.



Figura 52. Imagen de una calzada con marcas para la mejora de la precisión en la generación del modelo 3D desde las imágenes.

Estudio y utilización de Técnicas de Machine Learning

Para la detección automática de las marcas distribuidas en el yacimiento se han utilizado distintos algoritmos basados en técnicas de *Machine Learning*: Redes Neuronales y Maquinas de Vectores Soporte, aunque ejecutado un esquema de correspondencia dada la simplicidad y suficiencia demostrada tras el establecimiento de la descripción relacional de las entidades de correspondencia y la forma de medir el grado de semejanza. La forma empleada finalmente para encontrar la solución es mediante un árbol de búsqueda. En la Visión Computacional e Inteligencia Artificial, se utilizan con éxito tres métodos de búsqueda [51].

Los árboles están formados por nodos y arcos, que comienzan en un nodo raíz, y descienden a través de los nodos antecesoros, hasta alcanzar los nodos hoja. La conexión entre dos nodos se realiza a través de arcos. Las primitivas $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ de una descripción relacional se denominan unidades y las primitivas de la descripción que se quiere hacer corresponder, es decir $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ se llaman etiquetas. La dimensión o profundidad del árbol se define por el máximo camino con el menor costo.

Hasta aquí solo se ha utilizado la descripción de las primitivas y la correspondencia, ya descrita, es simplemente correspondencia basada en características, realizada mediante el

uso de un árbol de búsqueda (en oposición por ejemplo al método Ψ -s). El siguiente paso considera las relaciones entre las primitivas.

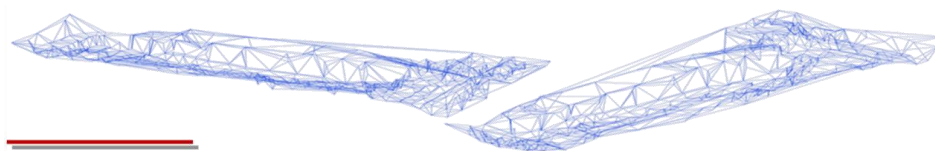


Figura 53. Modelo Digital del Yacimiento.

Los métodos anteriores fueron utilizados para la identificación de puntos y características homólogas (figura 51), con la finalidad de generar la nube de puntos por estereocorrelación que determine la base geométrica del yacimiento arqueológico (figura 52) y de los objetos a modelar (figuras 53a y 53b).



Figura 54. Imágenes del Yacimiento, captura de información y resultado de la ortorrectificación



Figura 55. Imagen del Yacimiento, entrada a la ciudad, datado del siglo XIII, modelo 3D.

4.2.2. Catedral de Santander

Capítulo de Libro:

Título: Estudio y modelado 3D de parte del conjunto monumental de la Catedral de Santander para la comprensión de la evolución histórica de la ciudad.

Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Antonella Di Luggo, Oscar Jesus Cosido Cobos, Pedro Sarabia |

Italian survey & international experience: Edizione cartonata con copertina rigida dorso tondo cucita filorefe

Volume di grande formato di oltre 1.000 pagine in edizione italiano e inglese riccamente illustrato a cura della segreteria del 36° Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione - Undicesimo Congresso Uid - Parma 18 • 19 • 20 Settembre 2014 - Sede Centrale Dell'università Degli Studi Di Parma I 8 de septiembre de 2014

Como centro del estudio de las vistas relevantes en la ciudad, el conjunto monumental de la catedral de Santander constituye el mejor y más antiguo testimonio inmueble conservado del pasado histórico de la capital de Cantabria. El conjunto ha sufrido a lo largo de su historia muchas vicisitudes que han dejado su huella en la actualidad. Las tragedias de la explosión del Cabo Machichaco, a finales del siglo XIX y, sobre todo, el incendio de la ciudad de 1941, modificaron en gran medida su estructura original, que ya había sido enriquecida con capillas y accesos a lo largo de las edades media y moderna.

Los monumentos integrados en este conjunto: Iglesia Baja, Colegial y Claustro, se edificaron sobre estructuras preexistentes, romanas y medievales, que se asentaban en el cerro de Somorrostro o de San Pedro, accidente orográfico que se elevaba a unos 15 m sobre el nivel del mar, desde el que se podía proteger el puerto situado en su vertiente norte.

Durante las intervenciones arqueológicas realizadas en el conjunto monumental de la Catedral durante 1982-1983, dirigidas por González Echegaray y Casado Soto, se excavaron varias estructuras de cronología romana atribuidas a construcciones relacionadas con la preparación y defensa del espacio habitable situado en la parte más alta del cerro, entre las que destacan:

- Un muro de 8 m de longitud y profundidad superior a los 4 m, construido con bloques sin labrar, orientado oeste-sureste. Estos restos se han interpretado como una plataforma de preparación de la cima del cerro como base de futuras construcciones, habilitada en el cambio de Era.
- Gran estructura de mampostería de 2,60 m de anchura que formaba parte de un edificio de carácter defensivo, asociado a una calle de 3 m de anchura y a un *hipocastum*. La construcción se ha datado a principios del siglo IV.

Por encima de estas construcciones se descubrieron los restos de una antigua iglesia que precedió a las que se conservan en la actualidad.

Para poder modelar la evolución histórica de la ciudad, primero se tienen que representar los restos actuales y como se disponen en el espacio. Sin esta base no es posible el estudio posterior de la citada evolución urbana con el comportamiento y posición de los elementos patrimoniales dentro de su dinámica.

El modelado tridimensional de los elementos más antiguos de la catedral de Santander sirve para poder representar o simular la evolución constructiva de la propia catedral y de la Puebla Vieja medieval, origen de la actual ciudad de Santander.

Antecedentes

Sobre estos restos arqueológicos se edificó un modesto monasterio en el que se cobijaron los restos de los niños mártires Emeterio y Celedonio. Según la tradición el monasterio de San Emeterio fue fundado por Alfonso II en el año 791. La iglesia - *ecclesia* - de San Emeterio - *trasaqua* - aparece citada en el segundo testamento de Ordoño I (857) como una decanía de la iglesia de Latas.

La abadía y el puerto de San Emeterio también se mencionan en un documento apócrifo de 1068 en el que consta una donación del rey Sancho II. Aparece también en otros documentos de la catedral de Burgos y en un pergamino de 1099 en el que se cita una concesión al abad y monasterio de San Emeterio. También aparece en un privilegio de 1120 otorgado por Alfonso VII a la catedral de Burgos en el que aparecen los nombres de los abades de la iglesia santanderina. Por aquellos años, en 1131, el monasterio se transformó, por decisión de Alfonso VI en Iglesia Colegial, pasando a disfrutar del patronazgo real y cierta independencia del obispado de Burgos, en lo relativo a nombramientos y otras cuestiones.

Con la concesión del Fuero, y el consiguiente desarrollo económico de la villa, se generaron los excedentes necesarios para la construcción del conjunto eclesial que estuvo formado por dos construcciones superpuestas, de sobrio estilo gótico cisterciense. La iglesia inferior - que fue destinado a santuario de Los Mártires - puede datarse en el primer tercio del siglo XIII, hacia 1230; la obra de la superior - antigua abadía de los Mártires San Emeterio y Celedonio - luego, como se vió, Colegial de los Cuerpos Santos, ya estaba avanzada a comienzos del siglo XIV.

La Iglesia Baja

La Iglesia Baja, o Iglesia de los Mártires, se finalizó en la primera mitad del siglo XIII (figura 54), hacia el año 1230, y se incluye estilísticamente en los primeros momentos del gótico del norte peninsular o protogótico. Es apenas perceptible desde el exterior, a excepción de su entrada. Contaba con tres naves, divididas en cuatro tramos, rematadas por ábsides poligonales. La planta del edificio es similar a la de la iglesia de Tamarite de Litera, Huesca. Tenía dos entradas abiertas al norte, bajo el pórtico. Junto a uno de estos accesos se levantó en el siglo XIV el Palacio del Abad. En su interior se conservan las reliquias de los santos riojanos.

La Colegial de los Cuerpos Santos

Data de finales del siglo XIII y puede encuadrarse en el estilo del gótico cisterciense. Está superpuesta parcialmente a la anterior; también cuenta con tres naves, divididas en cinco tramos y dos pisos. La nave central, de mayor altura que las laterales, se iluminaba con cinco vanos ojivales intercalados entre los contrafuertes de las fachadas norte y sur. Su ábside central, aunque en el plano de Zuyer (1660) aparece como semicircular, probablemente era poligonal, como los laterales, semejante a los de la Iglesia baja. Su aspecto exterior pudo ser similar al de la iglesia del monasterio cisterciense de Valbuena (Valladolid) y el de la colegiata de San Pedro (Soria). A sus pies se eleva la torre del campanario que en origen data del siglo XIV, aunque posteriormente fue ampliado elevando en varias plantas su fábrica.

El Claustro

Está situado al oeste de la iglesia colegial, es de planta trapezoidal y se finalizó hacia el año 1340. Contaba con varias capillas, como las dedicadas a San Pedro y Santiago, hospital y sala capitular. En origen su techumbre era de madera, aunque más tarde ésta se sustituyó por una bóveda de crucería simple (figura 54, 55, 56a y 56b).



Figura 56. Modelado 3D de la Catedral en el Siglo XIII.

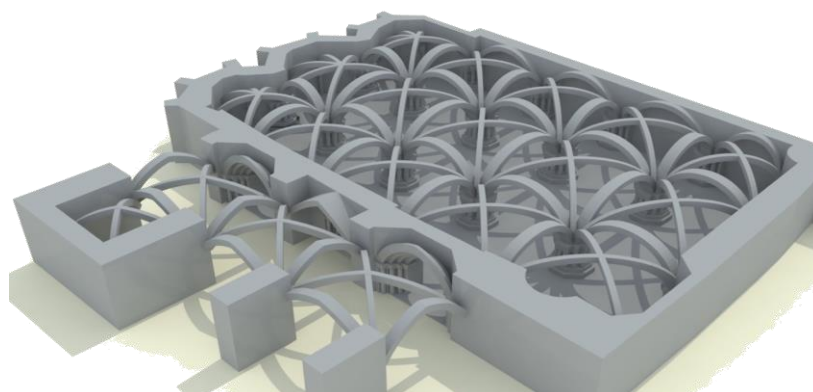


Figura 57. Modelado 3D de la estructura del Claustro de la Catedral de Santander.

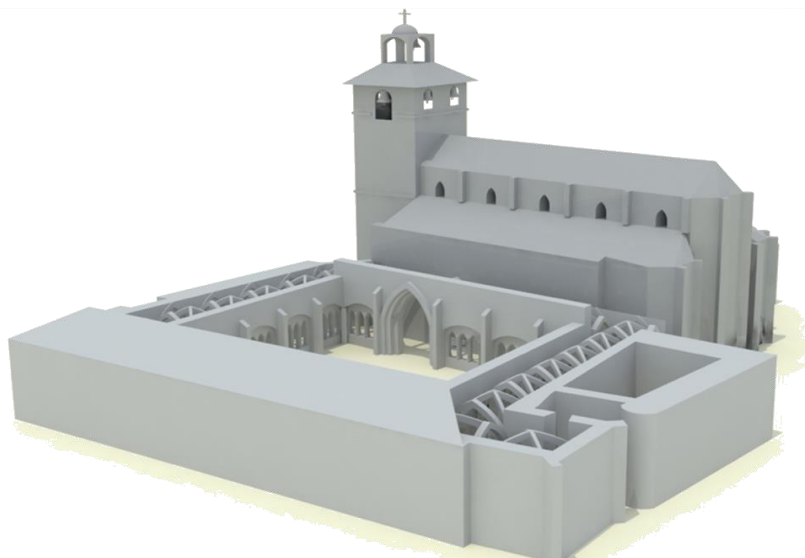


Figura 58. Imagen en perspectiva de la Catedral y Claustro en el siglo XIV

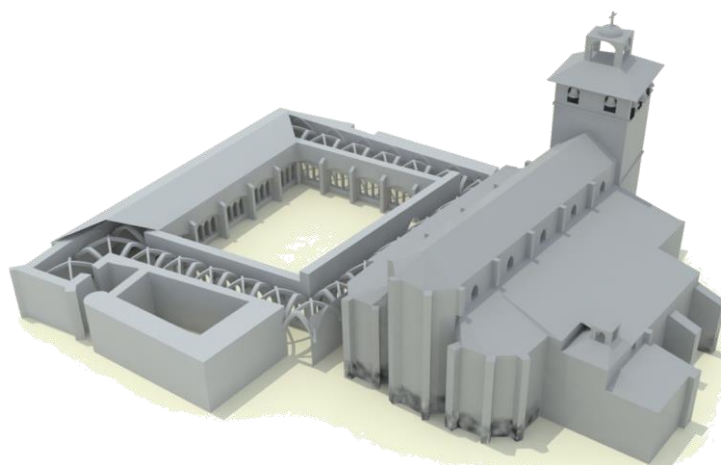


Figura 59. Imagen en perspectiva de la Catedral y Claustro en el siglo XIV.

4.2.3. Modelado 3D del Claustro de la Catedral de Santander

Título: Representation of the Santander cathedral by combination of different smart techniques

Autores: Ó Cosido, LT Vega, M Campi, R Catuogno, ÓR López, JMS Posada, *et al.*

Congreso: Digital Heritage, 2015 1, 135-138

Desarrollo

Entre los diversos efectos de los trabajos descritos en el presente apartado del documento global de la tesis, se presentan a continuación los principales:

- supervisar, con los avances en las actividades de documentación, la posible erosión y degradación
- análisis del claustro de la Catedral de Santander de una forma no invasiva
- obtener modelos tridimensionales para el uso del sitio de forma remota
- desarrollar una base de datos para la catalogación y acceso a la información, para compartir entre grupos de investigación internacionales.

Para el estudio de la Catedral de Santander se propuso una técnica útil para obtener información cualitativa y cuantitativa, a través del análisis de los datos adquiridos por un dispositivo remoto: un sensor que no tiene contacto con el objeto y que organiza el flujo de la adquisición de información, registro, análisis y almacenamiento de los datos en una forma tal que permita también la colaboración remota.

La información obtenida debe ser compartida e interpretada por los investigadores en diferentes ubicaciones geográficas y con diferentes aplicaciones prácticas. El modelo que se consideró más adecuado para este tipo de colaboración fue, sin duda, el modelo 3D, hecho posible por tomas de escáner láser sucesivas, con un muy alto grado de uniones solapadas.

La elección, entonces, recae en el sistema de adquisición de datos a través de un TLS (*Terrestrial Laser Scanner*, Escáner Láser Terrestre), que ofrece ventajas claras con respecto a la fiabilidad de las medidas y de la adquisición de datos rápida. Otro aspecto positivo de este método es la conversión de datos para diferentes plataformas de software utilizado para cualquier tipo de diseño asistido o diseño gráfico. Esta versatilidad es especialmente ventajosa cuando la colaboración internacional requiere plataformas de uso que no siempre coinciden.

Desarrollo del Trabajo

La importancia histórico-artística del sitio analizado requería una particular precisión en los datos y, al mismo tiempo, una notable velocidad de adquisición, debido a la reducción del tiempo en el que los operadores podían intervenir. Para cumplir estos requisitos, se ha escogido una instrumentación de levantamiento que consiste en un escáner-láser FARO Focus 3D. Su sensor tiene un rango de medición de la distancia nominal entre 60 cm y 120 m, con una precisión en la medición de la distancia del orden de ± 2 mm a 25 m y una resolución angular igual a 0.009° , con una velocidad de adquisición igual a 976.000 puntos/segundo.

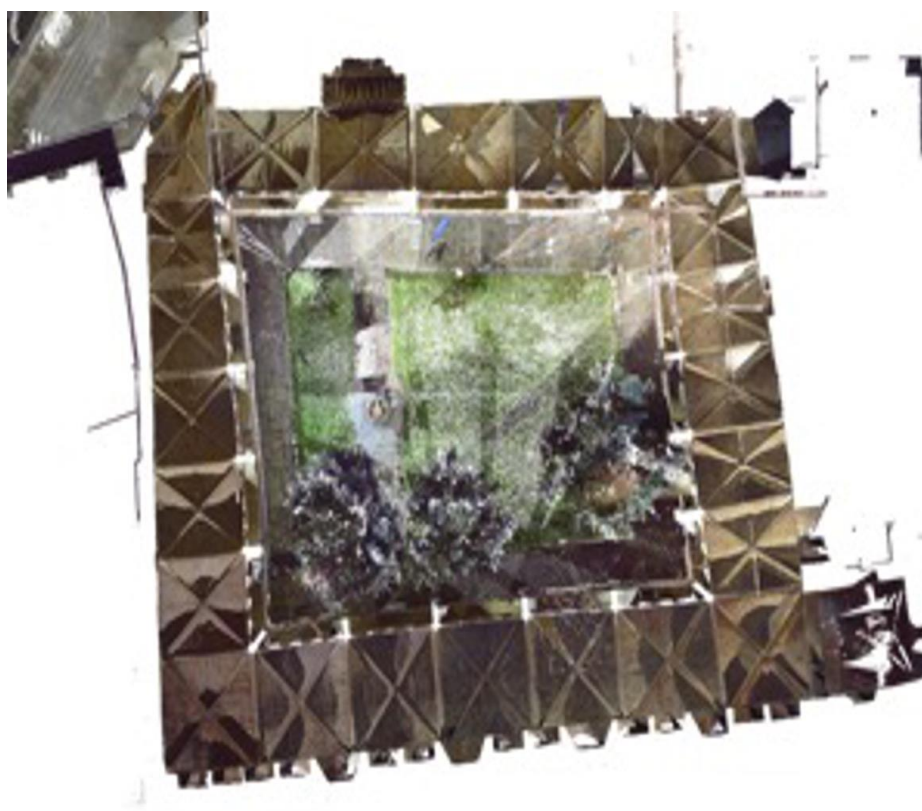


Figura 60. Escaneado Láser del Claustro de la Catedral.

Este escáner funciona cuando mide analizando la fase de la señal y los parámetros del escaneado, que se pueden ajustar a través de una pantalla táctil integrada en el instrumento. En comparación con otros tipos de escáner, este tiene un peso (5 kg incluyendo la batería interna), que ha permitido el transporte de una manera muy práctica: el equipo ha sido transportado en avión en la cabina de pasajeros con los operadores, como equipaje de mano sin ningún tipo de permisos especiales. La puesta en estación con un trípode fotográfico en lugar de uno topográfico es posible gracias a la presencia de un compensador interno, que es capaz de medir la dirección de la vertical, facilitando en gran

medida toda la operación. El instrumento tiene una cámara digital con eje óptico coaxial con el rayo de medición del láser, que posibilita colorar cada punto tridimensional adquirido con un valor de color RGB tomado de la fotografía.

El objetivo de la investigación era la de realizar un levantamiento tridimensional altamente detallado del Claustro de la Catedral de Santander (figura 57), con una resolución de un punto cada 6 mm a 10 metros, en un tiempo muy limitado. Después de haber examinado la morfología del objeto del levantamiento se han identificado catorce posiciones de escaneado, útiles para cubrir el sitio con superposición parcial y con de paso de adquisición de 6 mm, utilizando 45 placas para la georreferenciación de nubes de puntos individuales. El resultado fue una nube formada por 265 millones de puntos.

Al término de la fase de adquisición, se pasó a la fase de procesado de los datos con el software *Faro Scene*, que consistía en la construcción de la matriz de roto-traduccion de los escaneados individuales, efectuada con la identificación de tres puntos comunes (*target*) o dos puntos comunes con el uso del inclinómetro entre escaneados contiguos. El siguiente paso consistía en exportar en soporte *pod* la nube de puntos obtenida, para ser procesados con el software *Pointools* por *Berkeley*, para proceder con el análisis del modelo a través de secciones dinámicas y temas de color.

Paralelamente se han elaborados ortofotos (planos y secciones), importando las nubes de puntos en soporte *fls*, directamente en el software *PointCab*. Este software se detectó versátil e interesante para la administración de los puntos. De hecho, la construcción de los planos de proyección se produce en la planta simplemente mediante el trazado de una línea de sección, además de la calidad de la representación de ortofotos, considerablemente diferente de otro software más costoso y que requiere más recursos computacionales.

En total fueron adquiridas 14 tomas con el escáner-láser, y, después del reajuste, se hizo una operación de post-edición con las nubes estructuradas, con el fin de reducir al mínimo las áreas de solapamiento entre escaneados contiguos, reduciendo así el tamaño del archivo de la nube de puntos. A continuación se procedió a la extracción de las secciones a través del corte de la nube de puntos y la proyección sobre un plano. Para esta operación se utilizó *PointCab*. La creación de ortofotos se puede hacer a la resolución deseada, con la superación de las limitaciones de la resolución manejable con el hardware disponible. De hecho, la gestión de los puntos tiene lugar dentro de *PointCab* a través de la realización de *tiles*, que segmentan la imagen en la fase de proyección. Con este software es posible editar toda la nube de puntos, cruzándola con los planos de corte, a lo largo de cualquier eje de referencia.

Para compartir el modelo 3D obtenido de las tomas con escáner-láser de una manera accesible a los grupos de investigación ubicados entre Italia y España, se llevó a cabo mediante *Faro web-Share*, un software para el uso de contenidos en la red de Internet,

que permitió la colocación del modelo en la web mediante un servidor de datos, utilizando como formato de intercambio de datos el E57, como protocolo para la consulta de la base de datos y *TomCat* como servidor de aplicaciones, para gestionarlo. Teniendo implementadas las aplicaciones tanto del lado del *servidor* como del lado del *cliente*.

Las herramientas proporcionadas por el programa elegido hacen que la interfaz sea verdaderamente un instrumento de levantamiento en tiempo real. Con este procedimiento metodológico se puede compartir el modelo arquitectónico con otros investigadores, con el fin de planificar nuevas investigaciones posteriores al estudio que aquí se presenta.

4.2.3.1. Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Warren McCulloch, Walter Pitts y Frank Rosenblatt, neurólogo, matemático y psicólogo respectivamente fueron los pilares fundamentales en la construcción de un modelo capaz de utilizar los recursos de un computador para hacer que estos aprendieran tal cual lo hacen los humanos. El resultado: las redes neuronales artificiales, un paradigma dentro de la inteligencia artificial que emula el comportamiento de las redes neuronales biológicas.

Estas redes, capaces de procesar información compleja, ofrecen una alternativa en aplicaciones donde resultaba muy arduo el modelado matemático. El desarrollo de neuro-controladores, sistemas autoguiados, reconocimiento de rostros, identificación del cáncer en sus primeros estadios, estudios económicos y financieros son solo alguna de las tantas aplicaciones de esta herramienta.

En esta sección se observará la capacidad de aprendizaje de una red neuronal del tipo Perceptrón Múlticapa para el reconocimiento de los diferentes elementos que existen en cada fachada de la catedral, utilizando para tal fin las herramientas de MatLab y su “Neural Network Toolbox”. Este algoritmo de retropropagación utiliza la técnica de gradiente descendiente con momento y tasa de aprendizaje adaptativo y ofrece el entrenamiento necesario para distinguir e identificar, en este caso, entre puertas y ventanas, en diferentes imágenes de la catedral de Santander.

Este modelo tiene la posibilidad de n entradas (inputs), cada una relacionada con pesos sinápticos (*weights*), que en conjunto con una función de activación generan una salida (*outputs*).

- Entradas: Señales a ser procesadas por la red neuronal.
- Pesos Sinápticos: Valores numéricos constantes que ponderan los valores de entrada de una neurona artificial. Representa la intensidad de la sinapsis entre las neuronas.

- Salidas: Resultado del procesamiento de los datos introducidos a la red neuronal. Esta salida es posteriormente comparada con unos “objetivos”.
- Función de Activación: Función matemática que transforma la entrada total en la respuesta de una neurona artificial.

4.2.3.2. *Perceptrón Múlticapa y backpropagation*

La red perceptrón múlticapa es entrenada de forma supervisada mediante el algoritmo backpropagation, también conocido como “regla delta generalizada”. Al hablar de red backpropagation se hace referencia al algoritmo de aprendizaje y no a la propagación de las señales durante el funcionamiento de la red.

Backpropagation consiste en propagar el error hacia atrás durante el entrenamiento, es decir, de la capa de salida hacia la capa de entrada, pasando por las capas ocultas. Por sus características, esta red puede aprovechar al máximo las funcionalidades de los sistemas de cómputos basados en múltiples procesadores.

Se basa en el cálculo del gradiente negativo del error cuadrático medio de la salida, para obtener el error de los pesos sinápticos. El error se calcula primero para la capa de salida, en base a éste se calcula el error de la siguiente capa, continuando así hasta llegar a la entrada; por último se actualizan los pesos sinápticos de cada capa de acuerdo a sus valores de error. A diferencia de otros algoritmos de entrenamiento, la regla delta generalizada no necesita hacer una buena aproximación de los pesos sinápticos iniciales.

Como algoritmo de segmentación se probaron varios métodos, resultando como el más óptimo el método de Chan-Vese, por su capacidad de realizar las segmentaciones más complejas de forma muy rápida (en este caso, las segmentaciones se llevaron a cabo en segundos). Tras este procedimiento se obtuvieron imágenes donde las ventanas aparecen coloreadas de la siguiente forma:

- Ventanas: negro. Perfila lo que se ha denominado “ventana” por su tamaño.
- Puertas: rojo. Realmente detecta la ausencia de material.
- Paredes: verde o azul. El verde detecta el musgo de la piedra. El azul la piedra.

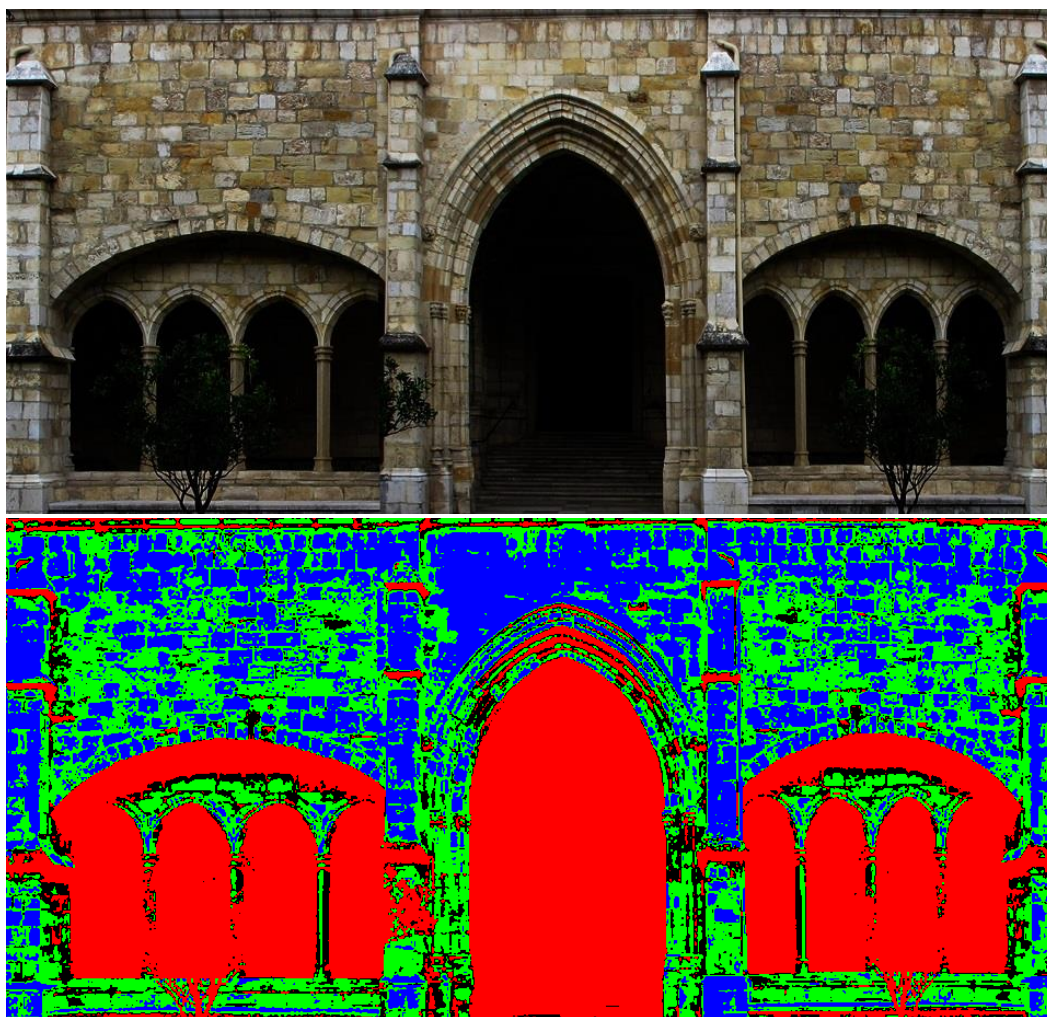


Figura 61. Una de las Imágenes resultantes de la segmentación de las imágenes

En el caso de la red neuronal, de tipo perceptrón multicapa, primero se crea y entrena, introduciendo un grupo de imágenes (9 concretamente): Y posteriormente, mediante otro script, se cargan las imágenes con las que se pretende trabajar para poder identificar los diferentes patrones. Tanto el algoritmo de segmentación como la red neuronal programada, funcionan en este caso a la perfección, y de forma muy rápida y eficaz.

4.2.4. Cochera y rotonda para ferrocarriles Cajo – Santander. Estudio del patrimonio industrial.

Título: Documentation and 3D modeling of railway industrial heritage: Study of the Cajo-Santander locomotive shed.

Autores: Óscar J. Cosido Cobos, José Luis Lalana Soto, Leticia Terán Vega, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Lucía Hernández Ramírez, José Pereda Llamas, Esteban Sainz Vidal.

Congreso: Digital Heritage 2015: 169-172

El ferrocarril constituye uno de los capítulos fundamentales del patrimonio industrial, y dentro de la explotación técnica ferroviaria, uno de los elementos más característicos en la época de la tracción a vapor son los depósitos de locomotoras. Las particulares exigencias de la locomotora de vapor, unidas a las características del servicio ferroviario precisaron el desarrollo de un sistema de explotación, y unas instalaciones en las que concentrar la organización y las operaciones necesarias para asegurar la tracción de los trenes: los depósitos. En lo fundamental, y aunque existe una variada casuística según las circunstancias concretas de cada caso, la época, el país o la propia compañía ferroviaria, hasta el punto de que se puede afirmar que no hay dos depósitos iguales, el esquema y la organización básicas de este tipo de establecimientos fue similar en cualquier red ferroviaria del mundo.

Las funciones de un depósito de locomotoras abarcaban, pues, cuestiones muy diversas: la organización y distribución del trabajo del personal de conducción (maquinistas y fogoneros) y de las máquinas, según el tipo de servicio que se tenía que realizar y las características de la infraestructura, las labores de mantenimiento habitual que precisaba la locomotora así como la preparación para el servicio activo (encendido, orientación), el abastecimiento de las materias primas que consumía (combustible, agua, grasa, arena...) y la reparación de las averías, normalmente las que se producían en el servicio habitual, aunque en ciertos casos con capacidad para llegar hasta las grandes reparaciones.

En la época de la tracción a vapor, el depósito de máquinas era, por tanto, una pieza esencial en la explotación técnica ferroviaria, y, además de un establecimiento industrial concreto, hay que tener presente también que era una estructura organizativa, la cabeza de una organización jerárquica y una demarcación territorial: cualquier punto de una línea férrea pertenecía a un depósito, y a lo largo de la misma podían existir instalaciones auxiliares, que dependían del depósito de referencia (en el caso de Cajo, la reserva de tracción de Reinosa y el puesto fijo de Alar). Para hacernos una idea de la importancia relativa de cada uno de estos establecimientos, y aunque los números varían ligeramente según la fuente que se consulte, en 1942 el depósito de Cajo mantenía una dotación de 44 locomotoras de vapor, y contaba con 253 trabajadores en total, de los cuales 209 estaban en Cajo, 28 en la reserva de Reinosa y 16 en el puesto fijo de Alar.

Con la retirada del servicio de las locomotoras de vapor, que en la red de ancho ibérico española se terminó en 1975, y la dificultad de adaptación de este tipo de instalaciones a las exigencias de los nuevos vehículos ferroviarios, buena parte de estos establecimientos han ido desapareciendo, algunos porque han seguido en funcionamiento, y para ello han tenido que sufrir profundas transformaciones, y la mayor parte de ellos porque ya no eran necesarios para los nuevos modos de tracción ferroviaria. Así, a día de hoy, sólo un

reducido número de los aproximadamente 50 depósitos que existían en las diversas compañías que conformaban la red de ancho ibérico en 1941, la época de creación de red nacional (Renfe), siguen existiendo, en diferentes grados de conservación.

Uno de ellos es el Depósito de Santander-Cajo, una instalación que, siguiendo una práctica común en pequeñas compañías ferroviarias, se construyó con la misión de servir de depósito y de talleres generales por el Ferrocarril de Isabel II, que desde comienzos de la década de 1850 había iniciado la construcción de una línea férrea entre Alar del Rey (Palencia) y Santander, enlazando el final del Canal de Castilla con el puerto de Santander. La construcción de la línea no se completaría hasta 1866, sobre todo por las dificultades del tramo Reinosa-Bárcena, pero se fueron abriendo diversos tramos a la circulación y proyectando y construyendo las instalaciones necesarias para la explotación. Cayetano González de la Vega, ingeniero jefe de la compañía y autor del proyecto del depósito y los talleres, anunció, en la Memoria sobre el estado y progreso de las obras de la sección Reinosa-Bárcena presentada a la Junta General de Accionistas de 1865, que “se ha terminado también el nuevo depósito de locomotoras de Cajo, así como el desmonte que ha sido necesario ejecutar entre este edificio y el de los talleres de reparación. Este depósito se halla ya en servicio, y establecidas las principales vías de comunicación entre una y otra dependencia, así como la segunda entre dicho depósito y la estación de Santander”. El cocherón original, el construido a partir del proyecto de Cayetano González de la Vega en la década de 1860, tenía una forma muy poco habitual, ya que albergaba en el interior de una pequeña rotonda de forma elíptica dos plataformas giratorias, constituyendo así un ejemplo de diseño único en nuestro país, pero del mismo apenas se conserva documentación (figura 58). Hacia 1955 el conjunto de las instalaciones ferroviarias de Cajo fue profundamente remodelado, demoliendo la configuración antigua y levantando los edificios que hoy existen.

Todavía hoy siguen funcionando, aunque las características actuales de la explotación ferroviaria y del material rodante han cambiado fundamentalmente las necesidades del mantenimiento, y con ellas las de las instalaciones a él dedicadas.

El actual cocherón de locomotoras se levantó hacia 1955 (figura 59), y aunque carece de la particularidad del depósito original, constituye, por diversas cuestiones, una valiosa muestra de la arquitectura industrial ferroviaria y un testimonio de las formas de edificar y de trabajar en la época en que fue construido, encajada entre las antiguas formas de tracción, todavía hegemónicas en ese momento, y las nuevas, y participando de ambos mundos.

Como parte de un plan de electrificación de la línea, se proyectó la remodelación del conjunto del depósito de Cajo, sustituyendo las antiguas instalaciones. De hecho, el depósito de Cajo, que había mantenido en torno a 45-50 locomotoras de vapor desde la

creación de Renfe, fue el primer caso en el que desapareció este modo de tracción, ya que desde 1955 ya no tuvo dotación de este tipo de máquinas.

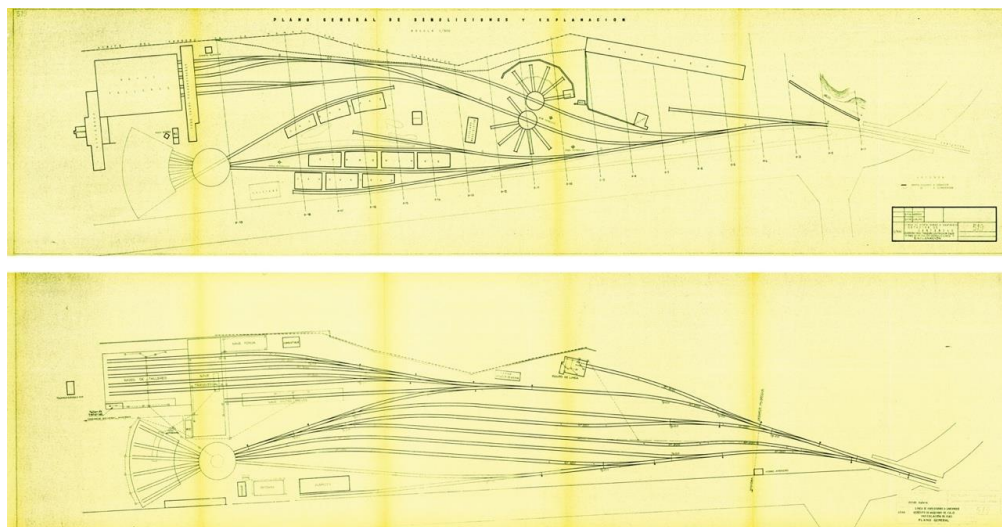


Figura 62. Depósito de tracción eléctrica de Cajo. Plano de demoliciones y explanación (superior) y disposición general (inferior), 1955.

Fuente: Archivo Histórico Ferroviario, Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Pero las nuevas instalaciones, aunque fueron levantadas para locomotoras eléctricas, se diseñaron siguiendo todavía los criterios clásicos de la tracción vapor, incluyendo las salidas para humo o la abundancia de iluminación natural.

La forma general del edificio, una sección de rotonda en torno a un puente giratorio, se corresponde con la más extendida en el mundo para las locomotoras de vapor, ya que permitía integrar, en un espacio mínimo, el cocherón y el aparato para orientar adecuadamente la locomotora (como norma general, las locomotoras de vapor debían de prestar servicio con la chimenea por delante), garantizando la independencia de maniobras de cada una de las máquinas guardadas en el cocherón.

Ahora bien, se trata de una disposición pensada fundamentalmente para tracción a vapor, puesto que las locomotoras diésel o eléctricas cuentan con dos cabinas de conducción, y no necesitan ningún elemento externo para cambiar el sentido de marcha, por lo que desaparece la principal ventaja de esta disposición general. Es más, se plantea la cuestión de que es necesario electrificar el puente giratorio, de forma que una locomotora eléctrica pueda pasar por él sin perder la tracción, algo muy poco frecuente en España, aunque relativamente común en otros países europeos, como Italia [52].

En realidad, sin esta coexistencia de criterios heredados y nuevos, que probablemente tienen también un sentido práctico, puesto que así se podía intervenir en una locomotora de vapor que llegase a Santander, aunque no perteneciera oficialmente al depósito, para las máquinas eléctricas hubiera sido más adecuado, barato y eficiente, un cocherón de tipo rectangular, que además habría sido adaptable a la evolución del parque ferroviario,

compuesto cada vez más por ramas indeformables en lugar de la clásica composición de locomotora y coches o vagones.

Por otra parte, en un plano formal y estético, y vinculado al contexto socioeconómico en que se diseñó y construyó, el cocherón de Cajo es una muestra de lo que se puede denominar ‘estilo’ que caracteriza a todos los edificios construidos por la compañía en esta época, muchos de los cuales han sido ya abandonados o demolidos.

En resumen, a pesar de que el depósito de Cajo es relativamente reciente y en general poco conocido, es un valioso testimonio tanto de un tipo de establecimiento industrial característico de la explotación ferroviaria -el depósito de máquinas-, como de una época, y antes de que pueda ocurrirnos de nuevo lo que aconteció con el antiguo cocherón, sin duda único, es esencial acometer una de las primeras labores a realizar en materia de patrimonio edificado: documentar con el máximo detalle y rigor posible, y para ello se cuenta hoy con medios que nos permiten abordar esta labor con un grado de definición impensable hasta hace poco tiempo.



Figura 63. Depósito de locomotoras Cajo-Santander.

Aprovechando el uso de las diferentes tecnologías y metodologías empleadas por parte de los distintos grupos participantes en el proyecto. Se aprovechó para integrar la potencia del escáner-láser y juntarlo con el trabajo de fotogrametría. Pudiendo hacer el modelo completo del depósito de Cajo Santander, con los distintos subproductos y salidas gráficas

necesarias para poder documentar el entorno del Depósito de Locomotoras y la Rotonda donde los trenes dan la vuelta y se colocan en las diferentes vías de salida.

Al inicio del proyecto, se marcaron las partes más interesantes a desarrollar mediante técnicas de fotogrametría convergente o con el escáner-láser. Para la parte de Fotogrametría usando un dron de fabricación propia y una cámara digital Canon G12. De forma que se puede hacer el modelo global del edificio. Para la parte donde se decidió emplear el escáner-láser, con el modelo de FARO Focus 3D.



Figura 64. Con Massimiliano Campi del grupo italiano durante los trabajos de captura de la información.

La importancia histórica del sitio analizado requería una particular precisión en los datos y, al mismo tiempo, una notable velocidad de adquisición, debido a la reducción del tiempo en el que los operadores podían intervenir. Para cumplir estos requisitos, para una parte del trabajo, se escogió una instrumentación de levantamiento que consiste en un escáner-láser FARO Focus 3D. Su sensor tiene un rango de medición de la distancia nominal entre 60 cm y 120 metros, con una precisión en la medición de la distancia del orden de ± 2 mm a 25 metros y una resolución angular igual a 0.009° , con una velocidad de adquisición igual a 976.000 puntos/segundo.

Este escáner funciona cuando mide analizando la fase de la señal y los parámetros del escaneado, que se pueden ajustar a través de una pantalla táctil integrada en el

instrumento. En comparación con otros tipos de escáner, este tiene un peso (5 kg incluyendo la batería interna), que nos permitió el transporte de una manera muy práctica: el equipo fue transportado en avión, en la cabina de pasajeros con los operadores, como equipaje de mano sin ningún tipo de permisos especiales. La puesta en estación con un trípode fotográfico en lugar de uno topográfico es posible gracias a la presencia de un compensador interno, que es capaz de medir la dirección de la vertical, facilitando en gran medida toda la operación. El instrumento tiene una cámara digital con eje óptico coaxial con el rayo de medición del láser, que posibilita colorear cada punto tridimensional adquirido con un valor de color RGB tomado de la fotografía.

Al término de la fase de adquisición, se pasó a la fase de procesado de los datos con el software Faro Scene, que consistía en la construcción de la matriz de roto-traducción de los escaneados individuales, efectuada con la identificación de tres puntos comunes (target) o dos puntos comunes con el uso del inclinómetro entre escaneados contiguos. El siguiente paso consistía en exportar en soporte pod la nube de puntos obtenida, para ser procesados con el software *Pointools* por *Berkeley*, para proceder con el análisis del modelo a través de secciones dinámicas y temas de color. Con estos datos se generaron las visitas 360° que a su vez permitían medir dentro del modelo generado. La parte de aplicación principal fue la rotonda donde las locomotoras daban la vuelta, que en la actualidad sirve para cambiar las locomotoras de un grupo de vías a otro.



Figura 65. Modelo Geométrico y modelo virtual de la estructura que forma la rotonda localizada en Cajo-Santander.

A partir de aquí se exportaron y se generaron las nubes de puntos por estereocorrelación que dieron lugar a los modelos 3D reutilizados dentro de la visita virtual 360°, realizada en esta fase y enriquecida con la realizada por el grupo de Nápoles durante la primera fase.

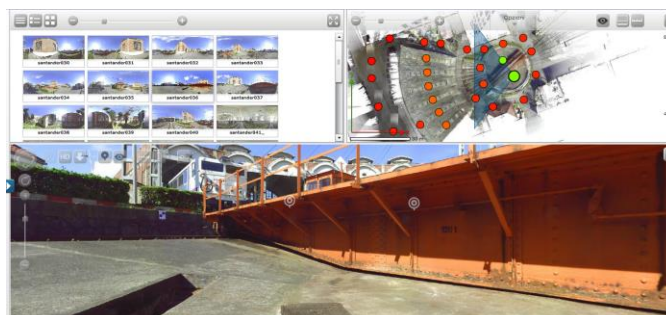


Figura 66. Visita virtual 360° desde la rotonda y Escaneado 3D de toda la zona.

En la parte realizada por fotogrametría, se utilizaron los datos para generar el modelo 3D con el que poder hacer el modelo geométrico que ayudó a la salida de los planos del edificio catalogado como depósito de locomotoras (figuras 62 y 63).

4.2.5. Biblioteca y casa de Menéndez Pelayo. Visita virtual con JavaFX.

Título: Virtualización de Museos y edificios singulares mediante ingeniería inversa y JavaFX. El caso de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander.

Autores: Óscar J Cosido Cobos; José Pereda Llamas; Leticia Terán Vega; Andrés Iglesias Prieto.

Congreso AR&PA 2014

JavaFX es un conjunto de gráficos y paquetes de comunicación que permite a los desarrolladores para diseñar, crear, probar, depurar y desplegar aplicaciones cliente enriquecidas que operan constantemente a través de diversas plataformas.

Partiendo de los conocimientos adquiridos en [53] y [54], se desarrollo esta aplicación, que fue una de las primeras en mover objetos 3D a través de escenas usando esta incipiente tecnología de JAVA.

Las APIs de gráficos 3D de JavaFX proporcionan una biblioteca de gráficos en tres dimensiones para la plataforma JavaFX. Ahora con JavaFX 8 (*Oracle, Java Development Kit (JDK) 8*: (<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/>) se puede obtener una verdadera escena 3D con luces regulables, cámara y modelos como objetos del lenguaje. Con la llegada del hardware GPU se ha disminuido el apoyo al idioma específico para la representación 3D de forma que el rendimiento en JavaFX está a la par, con las implementaciones de terceros de las versiones anteriores de Java.

JavaFX Scene Graph

El gráfico de la escena (Scene Graph) de JavaFX es el marco subyacente que renderiza las interfaces gráficas de usuario a la pantalla. Se trata de una estructura de datos en árbol que se ocupa, en un momento dado, de qué objetos se deben mostrar y cómo renderizarlos. Una clase de escena (Scene class) es la clase de contenedor base para todo el contenido en el escenario gráfico.

Importación del Modelo

Aunque los importadores no son proporcionados por JavaFX, varios formatos como el OBJ si se proporcionan como parte del proyecto OpenJFX (*OpenJFX Project*: <http://openjdk.java.net/projects/openjfx/>). MeshView, una clase para definir superficies con datos de malla 3D, toma todas las mallas en un grupo. Los materiales pueden ser añadidos con o sin imágenes de textura, a través de la clase PhongMaterial.

Navegación a través del Modelo

Navegando por el modelo se pueden simular, en términos de movimiento de la cámara, el efecto de zoom, y/o efectos de rotación y traslación.

Por lo general, los modelos de los edificios son muy grandes en lo que se refiere a los datos cargados en la memoria (vértice, caras, mallas, materiales, texturas), y se requiere un equilibrio entre los detalles de visualización y la facilidad de uso al navegar por el modelo 3D. Por eso, cuando el usuario utiliza el zoom, gira o traslada el modelo, puede ser necesario apagar las texturas.



Figura 67. Captura del interior del modelo 3D creado.

Caso: Biblioteca Menendez Pelayo

Figura anterior (figura 64) muestra la biblioteca Menéndez Pelayo utilizando una aplicación de JavaFX. 10556 mallas han sido utilizadas (1.5 millón de triángulos), un fichero *obj* de 132 MB y 32 MB en imágenes de texturas.

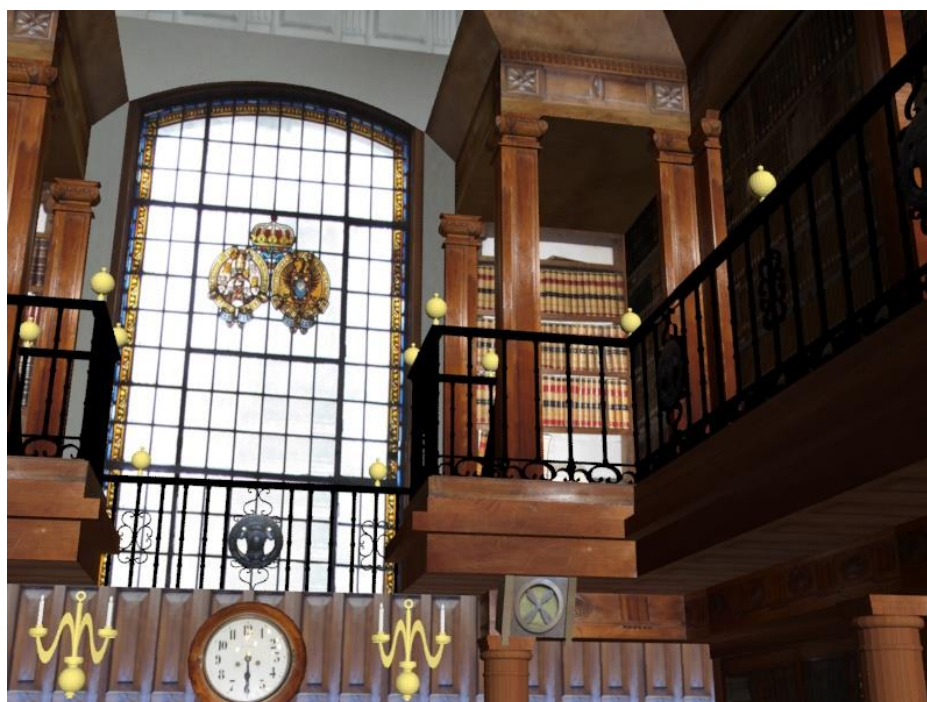


Figura 68. Interior de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander.

Figura anterior (Figura 65) muestra el interior de la biblioteca (2841 mallas, 2.4 millón de triángulos, un fichero obj de 143 MB y 90 MB de imágenes de textura), cuando se utilizan las texturas, mientras que la Figura siguiente muestra un modelo gris sin texturas, más conveniente para el renderizado cuando se realizan transformaciones con la cámara.

4.2.6. Anillo Cultural de Santander

Título: Prototipo de ciudad 3D: integración documental del patrimonio enterrado y en superficie dentro de Santander

Autores: Oscar Cosido, Óscar Ruiz, Jesús de José, David Piquero, Andrés Iglesias Prieto, Esteban Sainz Vidal

Congreso Latinoamericano sobre patología de la construcción, tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio: REHABEND 2014, Santander (España), 1-4 de abril de 2014 / Luis M. Villegas Cabredo (dir. Congr.), 2014, ISBN 978-84-616-8863-0, págs. 224-229. Indexado en SCOPUS

Para la finalización de los trabajos de documentación 3D de toda la ciudad histórica faltaban edificios como el Banco de España, el actual edificio de correos (figura 66) o el frente marítimo que forma el Paseo de Pereda con los edificios del ensanche del XIX y que sobrevivieron al incendio (figura 67), para todo ello inspirados en los trabajos visto en [55].

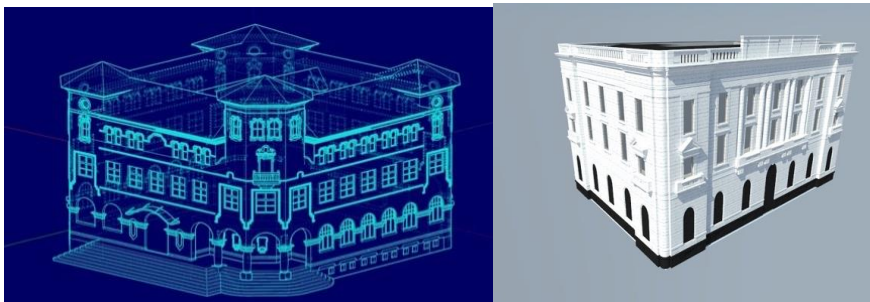


Figura 69. Imágenes de los edificios del actual correos a la izquierda mientras se modelaba en 3D y del antiguo Banco de España a la derecha ya finalizada la virtualización.



Figura 70. Alzado de la fachada del frente del Paseo Pereda.



Figura 71. Imagen desde dentro del Modelo Virtual de la Plaza Porticada de Santander.



Figura 72. Infografía del Anillo Cultural de Santander.

En la figura 68, el modelo virtual del estado actual de la Plaza Velarde de Santander y en la infografía de la figura 69 la disposición espacial del Anillo Cultural de Santander, con todos los edificios de la ciudad de Santander estudiados en esta tesis, a falta del Palacio de la Magdalena por pillar alejado espacialmente de la zona del Anillo Cultural de la ciudad.

4.2.7. Sistema de Gestión Patrimonial de Santander

Título: Studio e rilievo tridimensionale dei resti archeologici delle fortificazioni difensive individuate presso la Penisola della Maddalena, Santander

Autores: Gaia Caliendo, Oscar Cosido, Óscar Ruiz, Raffaele Catuogno, Massimiliano Campi, Akemi Gálvez Tomida, Andrés Iglesias Prieto, Esteban Sainz Vidal

Congreso Latinoamericano sobre patología de la construcción, tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio: REHABEND 2014, Santander (España), 1-4 de abril de 2014 / Luis M. Villegas Cabredo (dir. congr.), 2014, ISBN 978-84-616-8863-0, págs. 137-144. Indexado en SCOPUS

Se he realizado un inventario e implementación de toda la documentación gráfica y alfanumérica entorno a Santander, para ello se comenzó utilizando como base el Plan Director de la Magdalena y se ha extendido al resto del Municipio de Santander.

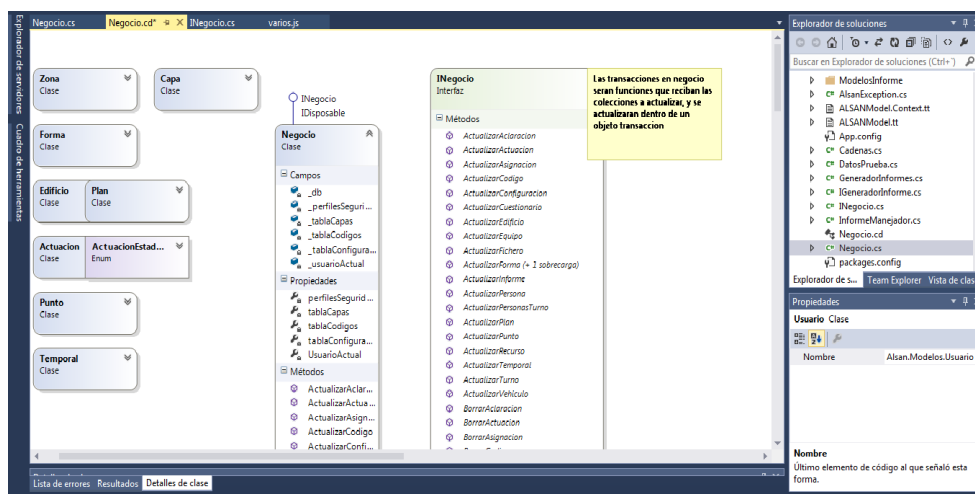


Figura 73. Diagrama de clases correspondiente al negocio de la aplicación.

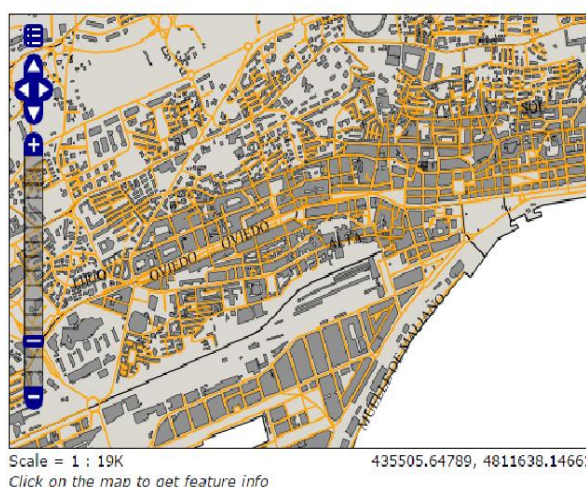


Figura 74. Imagen del mapa de Santander por Geo Server.

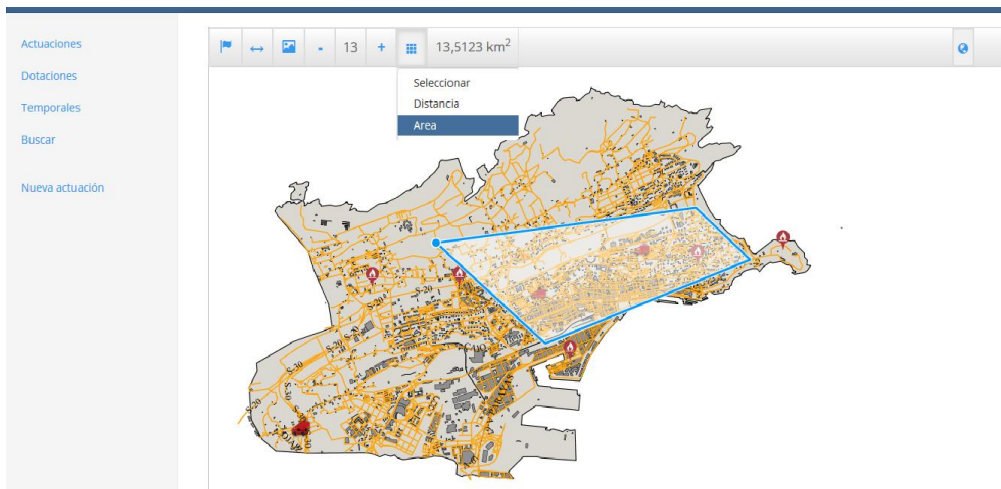


Figura 75. Mapa con barra de herramientas área seleccionada.



Figura 76. Vista de la zona de la Península de la Magdalena.

Infraestructura y Vegetación

Península de la Magdalena



Figura 77. Salida gráfica con las capas de información utilizadas para la base documental del Sistema de Gestión Patrimonial para la Península de la Magdalena.

Entre las figuras 70, 71, 72, 73 y 74 se puede ver la evolución del GIS de Santander, previo a la implementación del GIS 3D. Además, se ha definido y catalogado todo el Anillo Cultural de la ciudad de Santander en 3D, dando paso al GIS 3D como se puede ver en la figura 75.

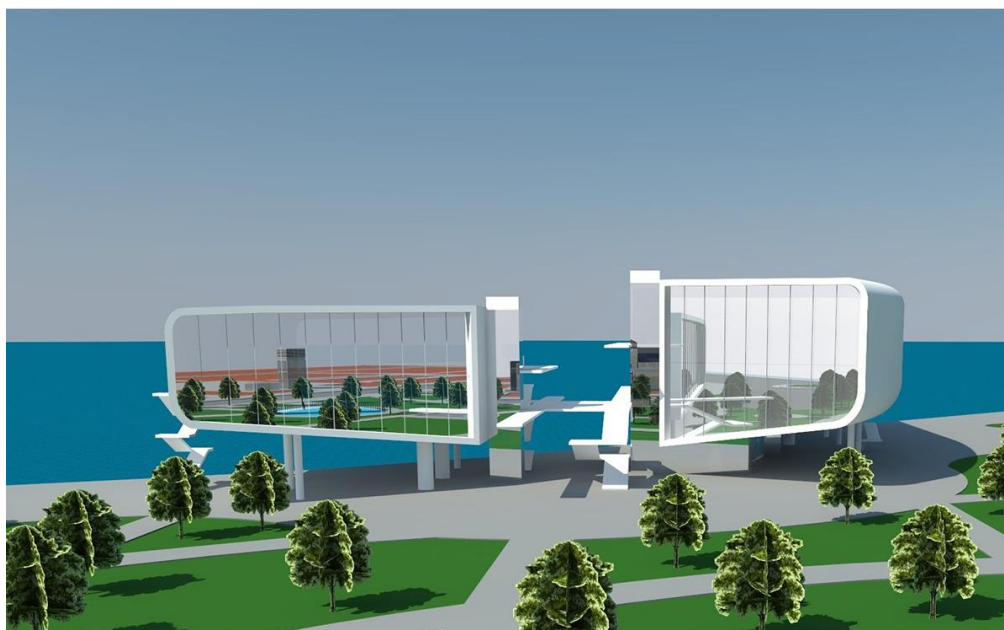


Figura 78. Infografía del Centro Botín en Santander, visto en el Modelo de GIS 3D.

4.2.8. Base de Información para el Sistema de Emergencias del Cuerpo de Bomberos de Santander

Título: Gobernanza empresarial de tecnologías de la información

Autores: Óscar J. Cosido Cobos *et al.*

ISBN:978-84-8102-760-0 **Colección:** Difunde

Se ha puesto en valor la Casa de Salud Valdecilla de 1929, apoyado por el Plan de Emergencias para el actual Complejo Hospitalario. Quedando todo documentado en un GIS que ha sido cedido a los Bomberos del Ayuntamiento de Santander, así como a protección civil del Gobierno de Cantabria.

En situaciones de emergencia, la coordinación de recursos requiere de procedimientos y herramientas que faciliten a los distintos cuerpos cooperativos el acceso a la información necesaria en el menor tiempo posible para tomar mejores decisiones.

Los sistemas de información geográfica de código abierto y los estándares destinados a la difusión de información geográfica se encuentran en un estado de madurez tal que permiten dar respuesta a este escenario, facilitando la construcción de soluciones tecnológicas adecuadas para la prevención, gestión y seguimiento de este tipo de situaciones de emergencia.

Esta parte de la tesis trata de compartir la experiencia en el desarrollo de un sistema de información geográfica de apoyo a la gestión de emergencias integrado en una solución vertical de extendido uso en el ámbito nacional. Para ello, se utilizaron las claves tecnológicas y funcionales del GIS, haciendo especial hincapié en las ventajas que proporciona el empleo de estándares abiertos en el intercambio y explotación de información en un contexto tan exigente.

Los Servicios Públicos de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamentos constituyen un elemento fundamental en la intervención frente a cualquier tipo de situación de emergencia. Así está reconocido generalmente en la totalidad de las disposiciones legales y reglamentarias existentes en nuestro país en el campo de la protección civil y las actuaciones en emergencias: planes territoriales de emergencia, planes especiales, procedimientos de actuación, etc. Pero, aparte de este sustento jurídico, está la labor que día a día los servicios de bomberos desarrollan con la intervención directa para el control de siniestros, donde constituyen con carácter casi exclusivo la fuerza operativa, es decir, el recurso que directamente afronta y combate el incendio, el accidente químico o el rescate y salvamento de víctimas. Así la gestión eficiente de las emergencias, minimizará sus tiempos de respuesta y por lo tanto mejorará la forma en la que éstas se resuelven.

Por ello es de vital importancia dotar a estos equipos con la última tecnología, con el fin de facilitar su labor.

El objetivo de esta parte fue dotar al Cuerpo de Bomberos de Santander, con una herramienta GIS que ayude en la gestión de urgencias y emergencias. Dicha herramienta, que trata la información de forma georreferenciada, formará parte de su Sistema de Gestión de Urgencias y Emergencias, junto a otras aplicaciones, de las que ya dispone el departamento, tales como la localización de los camiones y dotaciones del parque mediante un localizador GPS.

Entre los objetivos fundamentales de una herramienta de este tipo destacan los siguientes:

- Aportar la cartografía base que permita conocer datos básicos del municipio, como por ejemplo localizar cualquier punto en el mapa para poder dictaminar con exactitud si el lugar del incidente pertenece o no al área jurisdiccional.
- Incorporar capas específicas con información técnica, que ayuden en la toma de decisiones y minimicen la improvisación durante la Gestión del Incidente.
- Permita un acceso rápido y fácil, desde la misma aplicación, a los protocolos modelizados (fichas de actuación) de activación y gestión de los Planes de Actuación.
- Las fichas de actuación recogen la información sobre los componentes del Comité Municipal de Emergencia y sus funciones asignadas durante la emergencia. (Información no gráfica que se ordenará en una Base de Datos alfanumérica).
- Favorezca la interrelación y comunicación entre los diferentes servicios y departamentos que intervienen o no en las emergencias, permitiendo el acceso a la información.

Los sistemas GIS son una de las herramientas con mayor impacto en todo lo relativo a la gestión de emergencias, debido a la eficacia con la que cubren la necesidad de gestionar información precisa y actual del terreno, tanto en tareas de planificación, donde se analizan posibles riesgos, como en el momento de la resolución de procesos en curso.

Hace décadas que los responsables y técnicos de estos servicios se dieron cuenta de que hacía falta mucho más que recibir el aviso de una emergencia, para resolverla con eficacia, y agilidad. Como la distancia desde la base de Bomberos al punto donde se sitúa la emergencia, por donde es el camino más corto y rápido, que tipo de accidentes geográficos existen tanto en el camino como en las inmediaciones...

Todo esto junto con otras cuestiones como el gran volumen de información a tratar, la especialización en determinadas actuaciones... sólo podía resolverse apoyándose en nuevas herramientas de trabajo tecnológicamente más avanzadas.

El éxito de estas aplicaciones se debe en gran parte al Sistema de Información Geográfico (GIS) que aporta la Base de Datos Cartográfica Georreferenciada sobre la que trabajan (figura 76). Para la aplicación desarrollada, primero se estudia toda la información disponible, después se elaboran y se digitalizan las capas específicas...etcétera.

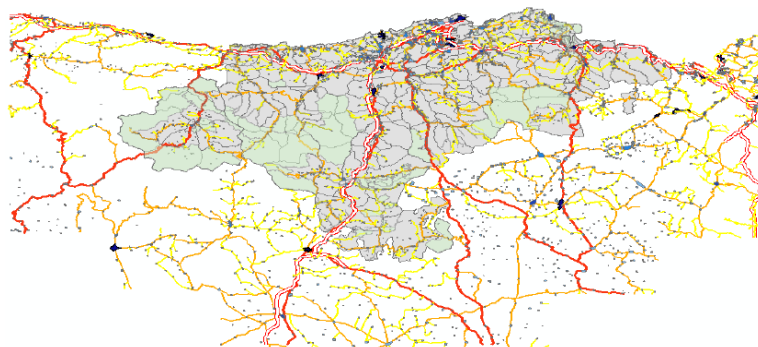


Figura 79. Creación de un mapa (Cantabria) a partir de varias capas GIS, que contienen municipios, autopistas, carreteras, ríos...

En [56] también buscan desarrollar una aplicación GIS para emergencias, en este caso diseñada para ambulancias, que se basaba en la integración de tecnologías GIS, GPS y GSM. Las tecnologías GPS y GSM se utilizarán para transmitir la posición exacta de las ambulancias al GIS que opera en el Centro de Operaciones. La integración de estas tecnologías permite la gestión de los vehículos como camiones, patrullas y ambulancias.

En el caso de los Bomberos, cada camión estaba equipado con un receptor GPS para determinar su posición exacta sobre la base de la señal transmitida por los satélites. Además, tienen un módem GSM para transmitir su posición a la estación base en el Centro de Operaciones. Esto se logrará a través de la red GSM. Por otra parte, a través de la red GSM otros datos útiles, así como mensajes de voz, se puede transmitir. Cada camión también estará equipado con un ordenador o un terminal de datos móvil para visualizar la ruta calculada por el GIS (figura 77) operativo en el centro de operaciones. Así el Centro de Operaciones intercambia datos con las ambulancias a través de la red GSM. Recibirá las posiciones de la ambulancia y utilizará el GIS para realizar diversas funciones. La ruta óptima calculada para una ambulancia específica será transmitida a la misma. En el Centro de Operaciones habrá un ordenador dedicado a la comunicación con las ambulancias y otro para el funcionamiento del GIS. Además, habrá uno o más ordenadores para el funcionamiento del sistema de gestión de base de datos (DBMS) que contiene datos utilizados por el GIS. Otro trabajo en el mismo sentido se puede leer en [57].



Figura 80. Imágenes del GIS para Valdecilla (arriba) y a escala del todo el término municipal (abajo).

En el desarrollo de la aplicación se han empleado tecnologías de última generación como HTML 5, servicios de Sistemas de Información Geográfica y control de flotas mediante GPS. En la ejecución del proyecto se han empleado metodologías ágiles así como el patrón de diseño por capas.

4.2.8.1. Implementación del GIS para emergencias

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GIS PARA LA GESTIÓN DE LAS EMERGENCIAS DE UN PARQUE DE BOMBEROS APLICADO AL CASO DE SANTANDER

Autores: Óscar J. Cosido Cobo, Leticia Terán Vega **Libro:** Gobernanza empresarial de tecnologías de la información **ISBN:** 978-84-8102-760-0 **Colección:** Difunde



Figura 81. Imagen de la Base gráfica del GIS mediante una ortofoto de elaboración propia.

Este GIS está compuesto de una serie de capas donde cada una de ellas representa una parte de la realidad. Como base gráfica tiene una capa en formato RASTER es una ortofoto a escala 1/5000 de la ciudad de Santander, de producción propia. Se utiliza como capa base, para dar un contexto a las capas sucesivas y poder hacernos una idea mejor de donde están situadas geográficamente (figura 78).

Para el resto de las capas vectoriales, la información comprende todo el municipio de Santander, con información de calles, portales, mobiliario urbano y todo lo que es necesario para el correcto desarrollo de la aplicación gestora de las emergencias (figura 79).



Figura 82. Imagen de la Base del callejero para el GIS.

El desarrollo del proyecto se ha basado en dos niveles de escala, la del municipio de Santander y la de los edificios públicos, como ejemplo: el Hospital de Valdecilla, en ambos casos el formato es vectorial y al nivel de los edificios públicos se llega mediante su vínculo en la parte correspondiente del GIS Municipal (figura 80).

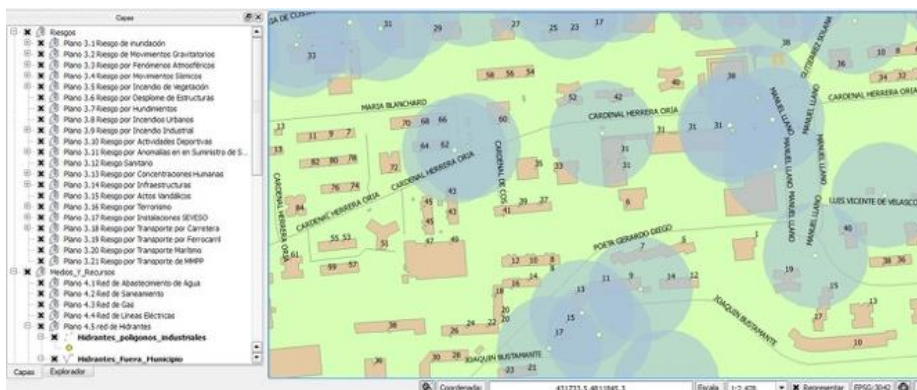


Figura 83. Imagen de la zona de influencia de los hidrantes.

Para el nivel municipal lo más importante a reseñar es la existencia de una capa de información con los hidrantes de todo el municipio.

A nivel de los edificios públicos, aparecen las posiciones que tienen que adoptar los camiones de bomberos, así como el recorrido que debería seguirse con la manguera de los bomberos dentro del edificio. Por otro lado se señalizan las columnas secas, diferenciándolas de las húmedas. También se marcaron los distintos sectores de seguridad dentro del edificio, así como las rutas de escape y los ascensores de uso exclusivo para emergencias (figuras 81 y 82).

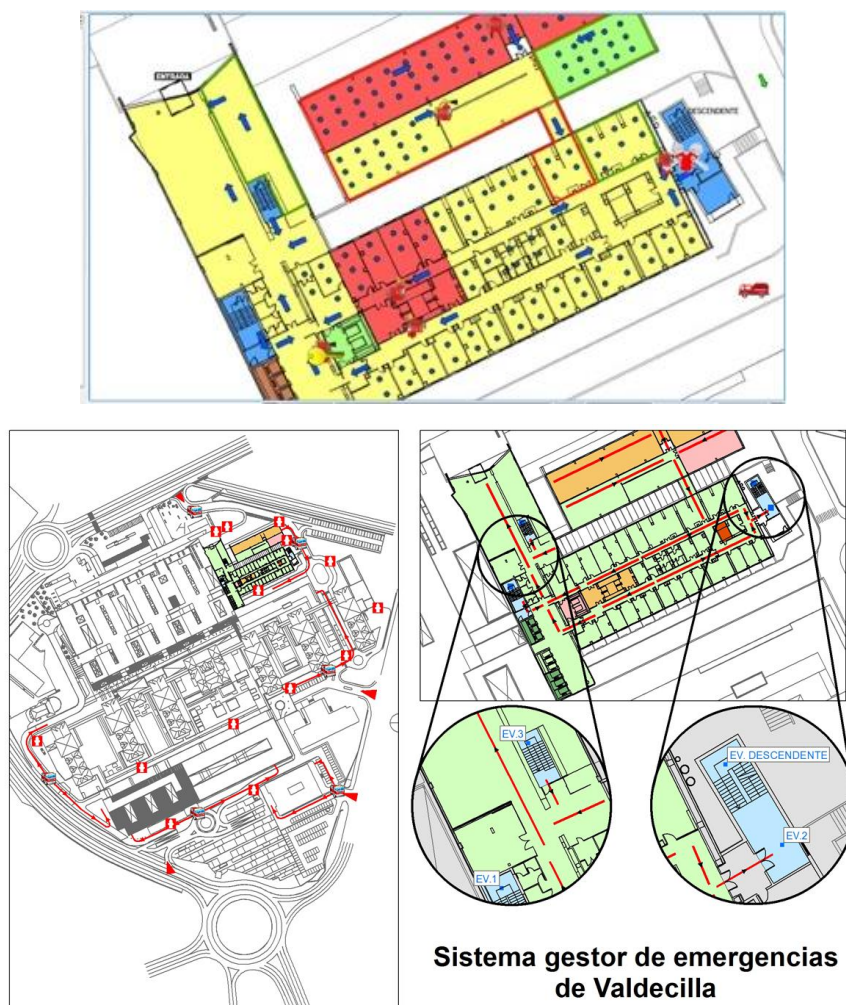


Figura 84. Salidas gráficas del Sistema Gestor de Emergencias de Valdecilla.

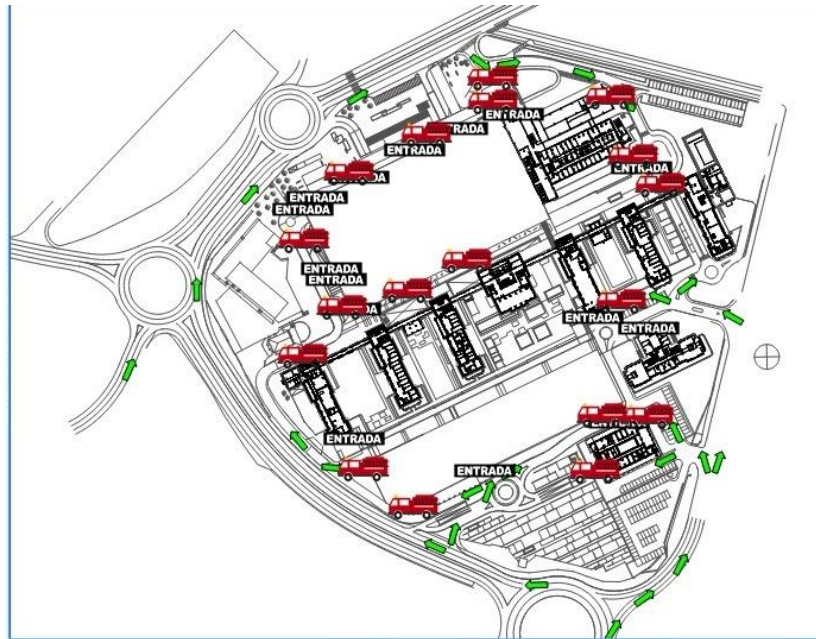


Figura 85. Estudio de posicionamiento de los camiones de Bomberos en el entorno del Hospital Marqués de Valdecilla.

4.3. Aplicación 2: Estudio del comportamiento de estructuras

Título: Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results

Autores: Castaño, Javier; Cosido, Óscar; Pereda, José; Cacho-Pérez, Mariano; Lorenzana, Antolín

Congreso: Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering University of Seville. 24-26 June 2015.

La aplicación de la geomática al estudio del comportamiento de estructuras colgantes es otra aplicación metodológica de la presente tesis doctoral. Se ha utilizado para la comprensión geométrica de las deformaciones y distorsiones que producen las vibraciones, los esfuerzos a los que se ve sometida una estructura al ejercer una fuerza sobre ella.

Se estudia la respuesta para el problema estático, modal y dinámico correspondiente a una pasarela colgante. Las ecuaciones de equilibrio que describen el problema son ecuaciones diferenciales no lineales que se resuelven numéricamente usando el método de elementos finitos. El objetivo de este trabajo es presentar un modelo computacional adecuado para dicha estructura y comprobar su aplicabilidad en la predicción, no sólo del comportamiento estático, sino también de los parámetros modales y estimar su respuesta dinámica. A medida que la pasarela es monitoreada y representada geoméricamente con

precisión y de forma continua, ha sido posible medir el movimiento de su flecha e identificar modos naturales. Estos datos experimentales se han utilizado para actualizar el modelo de elementos finitos.

Mechanical models for an 86 m single span stress-ribbon steel footbridge and their comparison with experimental results

Autores: M. Cacho-Pérez, J. Castaño, O. Cosido, A. Lorenzana

Editorial: Enviado a *Journal of Bridge Engineering*

Una pasarela peatonal colgante, es una estructura de tensión en la que los elementos de suspensión (cables o placas) están sometidos a una tracción incrustada en la cubierta debajo de la superficie, siguiendo un arco de catenaria entre los soportes.

Aunque la tensión agrega rigidez a la estructura, el puente resultante es intrínsecamente dinámico y tiende a balancearse y rebotar, dando lugar a un interesante estudio modal y dinámico afectado por no-linealidades, donde las condiciones de servicio son usualmente llenas de vibraciones.

Centrándose en la pasarela peatonal de Pedro Gómez Bosque en Valladolid (figura 83), una estructura colgante de 600 m, se presentan los modelos teóricos y computacionales correspondientes y se comparan con los datos experimentales disponibles.

La respuesta mecánica típica bajo su propio peso (catenaria) se modifica para tener en cuenta el alargamiento y los efectos térmicos.

Las ecuaciones de equilibrio que describen el problema son ecuaciones diferenciales ordinarias que requieren ecuaciones no lineales acopladas para calcular el valor de la tensión en un extremo y luego el resto de los parámetros. La comprensión de la respuesta estática no lineal es muy importante, no sólo para la determinación de la configuración de equilibrio deformada, sino también para su influencia tanto en el análisis modal como en la respuesta dinámica. Para este proyecto, la metodología incluida en esta tesis doctoral para poder hacer un análisis preciso del comportamiento estructural de la pasarela colgante. De esta manera, ha sido posible identificar los modos naturales y correlacionarlos con los analíticos en un rango de temperaturas ambientales habituales (-5 °C, +35 °C).



Figura 86. Pasarela Peatonal de Pedro Gómez Bosque en Valladolid.

4.4. Modelos virtuales inmersivos

La relación de edificios modelados y espacios virtualizados para validar la aplicación de la metodología presentada para la generación de modelos virtuales inmersivos y la navegación virtual por estos modelos de forma precisa (figura 84).



Figura 87. Infografía del Anillo Cultural.

4.4.1. Realidad virtual y aumentada para la gestión de la Península de la Magdalena

El primero de todos los edificios fue el Palacio de la Magdalena, comenzado en Mayo de 2012 y terminado durante el año 2013. Después se continuó con el resto de los edificios que forman la península de la Magdalena (figuras 85 y 86).



Figura 88. Ortofoto y alzados, obtenidos a partir de las imágenes tomadas desde tierra, unidas a las tomadas desde el dron.



Figura 89. Ortofoto obtenidos a partir de las imágenes tomadas desde tierra, unidas a las tomadas desde el dron.

Con todos los edificios de la Magdalena realizados, procediendo a localizar las baterías defensivas que había en época anterior a la construcción del edificio (figura 87).



Figura 90. Modelo Virtual de toda la Península de la Magdalena desde distintas perspectivas.

4.4.2. Documentación tridimensional del Patrimonio Histórico mediante hibridación de técnicas de visión artificial e ingeniería inversa en Grajal de Campos

Capítulo del libro: El conjunto histórico de Grajal de Campos (Editores: M^a. D. Campos Sánchez-Bordona y J. Pérez Gil, coords.), Universidad de León, en prensa.

Autor: Óscar J. Cosido Cobos

Este trabajo surgió dentro de la colaboración continuada entre el departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación de la Universidad de Cantabria, la empresa 3DINTELLIGENCE y el Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid.

El trabajo, propuesto por el Ayuntamiento de Grajal de Campos, consistió en aportar una nueva metodología de trabajo para la documentación digital del patrimonio orientada al urbanismo, buscando una reducción importante de los costes derivados de la documentación digital del patrimonio histórico, como soporte a trabajos de catalogación, conservación, difusión y restauración del patrimonio arquitectónico, aportando documentación gráfica y modelado 3D del conjunto histórico mediante la hibridación de técnicas fotogramétricas con técnicas provenientes del campo de la visión artificial.

Se puede considerar este proyecto de colaboración como un trabajo de investigación, con una importante componente de transmisión tecnológica hacia la sociedad. El producto final de este trabajo es la documentación digital de un conjunto declarado patrimonio histórico, de algunos de cuyos elementos no existían alzados previos, de tal manera que se pueden conservar sus parámetros formales en un momento determinado de forma precisa.

Para la obtención de estos modelos se han combinado diferentes técnicas de tratamiento de imágenes y modelado 3D de objetos de rango cercano, hibridando técnicas fotogramétricas con las provenientes del campo de la visión artificial, como resultados se pueden ver las siguientes figuras (figura 88 y 89).



Figura 91. Palacio en Grajal de Campos.

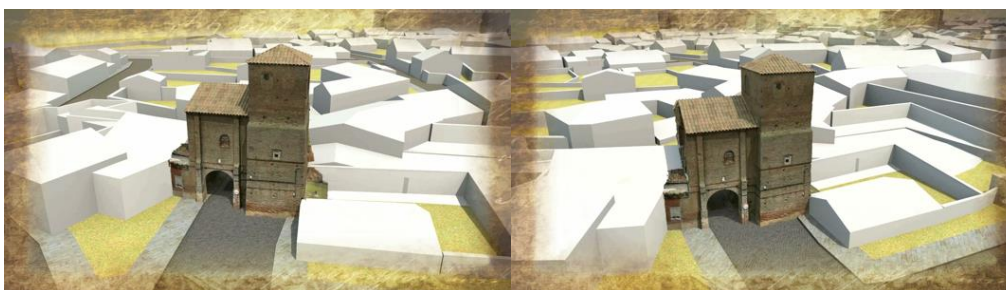


Figura 92. Torre de Grajal de Campos.

4.4.3. Modelos de Realidad Virtual para la Biblioteca Menéndez Pelayo

Para la Biblioteca Menéndez Pelayo (figura 90), se virtualizaron tanto los exteriores como los interiores de la Biblioteca y de la casa de este escritor, filólogo, crítico literario e historiador.

Título: Immersion in virtual 3D buildings and museums, by reverse engineering and JavaFX

Autores: José Pereda, Oscar Cosido, Antolín Lorenzana, Leticia Terán. **Congreso:** CIBERWORLDS 2014



Figura 93. Infografía de los exteriores de la Virtualización de la Biblioteca Menéndez Pelayo.

Aprovechando la documentación íntegra del Yacimiento Arqueológico de la Plaza Velarde de Santander, donde aparecieron los restos de la muralla medieval, de la musealización del antiguo refugio antiaéreo de la Guerra Civil española y de la aparición de concepto del Anillo Cultural de Santander, realizando un levantamiento 3D de toda la zona, generando distintos contenidos multimedia y de Realidad Virtual.

4.4.4. Conmemoración del 75 aniversario del Incendio de la Ciudad de Santander en 1941

El incendio de Santander (1941): aplicación de la realidad virtual inmersiva para la recuperación del patrimonio desaparecido

Autores: Pedro Miguel Sarabia Rogina, Oscar Cosido Cobos

Revista: Patrimonio histórico de Castilla y León, ISSN :1578-5513, N°. 61, 2017, págs. 48-51

Ante la conmemoración del 75 aniversario de un incendio que supuso un antes y un después para los ciudadanos y el tejido urbano de Santander, se compuso un grupo multidisciplinar para la realización de una recreación fidedigna de la ciudad previa al incendio. Como producto final se ha obtenido un modelo virtual de la parte central de la ciudad de Santander, la que mayor devastación sufrió tras el terrible incendio. Para realizar este proyecto y con la coordinación de un historiador, se contó con un grupo de expertos que analizaron el tejido urbano perdido mediante la documentación gráfica y escrita preexistente, desde un punto de vista estructural, urbanístico, paisajístico e

histórico, de forma que la recreación virtual realizada se aproxima mucho a la vida urbana de principios del siglo XX.

Entre los días 15 y 16 de febrero de 1941 se produjo una profunda borrasca en el Atlántico que pudo alcanzar en el centro de la depresión los 950 mbar. Esta situación ciclónica se incluye dentro de la escala de huracanes Tipo 3 de la clasificación *Saffir-Simpson* (1969), caracterizada por bajas presiones de 945-964 mbar y vientos del Sur de 178 a 209km/hora. Los anemómetros locales no soportaron la intensidad de los vientos, aunque en la misma jornada en la estación de San Sebastián se registraron rachas de 180 km/hora. Un huracán similar al de 1941 se produjo en Santander el año 1999 con vientos de 167 km/hora¹.

Hacia las 19 horas del sábado día 15 el viento imposibilitó la circulación de tranvías y el tránsito normal de viandantes. A esa misma hora la balandra “*Sada*”, fondeada en la bahía, colisionó con los muelles. Apenas una hora más tarde el viento alcanzó los 144 km/h. No mucho después la ciudad quedó prácticamente a oscuras; casi al mismo tiempo que se inicia un incendio en la calle Cádiz, nº 20. No se sabe con certeza su origen, aunque se han barajado diferentes hipótesis: cortocircuito, problemas en la chimenea del inmueble o a un fuego accidental producido en alguna de las viviendas del edificio. Las llamas se propagaron con rapidez por la antigua Puebla Vieja que ocupaba el histórico Cerro de Somorrostro. De madrugada, la ciudad quedó partida en dos a la altura de La Ribera, actual calle Calvo Sotelo; las llamas habían avanzado hacia el norte con una violencia inusitada, alcanzando la calle Santa Clara. Entre las 13 y 15 horas del domingo 16 se consiguió controlar el avance del fuego con la apertura de cortafuegos a la altura de las calles Tantín y Sevilla. No fue hasta el lunes cuando llegaron los bomberos de Madrid. Uno de los miembros de la dotación de la capital, Julián Sánchez, sería la única víctima mortal contabilizada en el siniestro. La superficie arrasada por las llamas se aproximó a las 13 hectáreas. Por el oeste el fuego alcanzó la altura de la actual Plaza del Ayuntamiento; por el norte, las calles Tantín y San José; por el este, las calles Sevilla y Plaza del Príncipe y, por el sur, la calle Cádiz. En el incendio desaparecieron 376 edificios, decenas de calles, 6 iglesias y conventos, 1.783 viviendas, 508 comercios, 155 hoteles, bares y pensiones, imprentas, periódicos, etc. Cerca de 10.000 santanderinos se quedaron sin hogar, 1.000 propietarios perdieron su patrimonio y unas 7.000 personas acabaron en el paro².

¹ Vicente Aupi. “El incendio de Santander” *Guía del Clima en España*. Edit. Omega, p.75. 2005

² Santiago Toca. “Santander en Llamas”. *Altamira* 1971, Vol.2, pp. 6-42. Santander, 1971.

La reconstrucción de la ciudad. Los movimientos de tierras realizados una vez extinguido el fuego afectaron especialmente a los dos sectores más antiguos de la población, tal y como se recoge en la Memoria redactada en 1941: “*Proyecto de Urbanización de zona siniestrada por incendio y de enlace con la población*”: la zona comprendida entre las calles de Rúa Mayor y Rúa Menor que unían las Calzadas Altas con la zona donde está emplazada la catedral, que quedó prácticamente destruida por el fuego, y la situada al norte de la antigua calle de Atarazanas. Estas obras supusieron desescombros de 147.745, 68 m³ y desmontes del suelo urbano 344.618, 42 m³. El 5 de abril de 1941 se crearon la Junta de Reconstrucción y el Tribunal Arbitral de Seguros y el cargo de Delegado Especial para la Reconstrucción de la Ciudad, nombramiento que recayó en Joaquín Reguera Sevilla [58]. En la reconstrucción participaron, entre otros organismos, la Dirección General de Regiones Devastadas, la Obra Sindical del Hogar y el Instituto Nacional de la Vivienda. Gran parte de las obras de reconstrucción se sufragaron con una subvención estatal de 33.784.702, 03 ptas., a las que se añadieron 20.161.033, 93 ptas., procedentes de una suscripción nacional. La Ley de 26 de septiembre de 1941 obligó a las compañías aseguradoras a abonar los pagos contraídos (64.643.305, 02 ptas.). Ese mismo mes se autorizó al Ayuntamiento a iniciar los expedientes de expropiación paso previo para abonar las indemnizaciones a los damnificados. Como medida de urgencia se realojó provisionalmente a la población afectada en hoteles, viviendas particulares, Palacio de la Magdalena, etc. Además se construyeron barracones provisionales para que los comerciantes afectados pudieran continuar con su actividad. No mucho más tarde se puso en marcha un plan que proyectaba la construcción de 1.000 nuevas viviendas que se situarían en su mayoría en lugares relativamente alejadas del centro de la ciudad: Barriadas de Carlos Ruíz y Canda Landáburu, grupos de los Santos Mártires, Santa Teresa, Pero Niño, Poblado Pesquero, etc [59]. Dentro del Plan de Reconstrucción urbanístico, acometido con posterioridad, se reubicaron las estaciones de ferrocarril y se mejoraron los accesos desde el centro urbano a la zona portuaria de Maliaño. Para ello se finalizaron las obras del túnel del Pasaje de Peña (1943), paso proyectado durante la Segunda República como “*Túnel del Pueblo*”, y se abrieron los tramos meridionales de las calles Lealtad e Isabel II, al oeste de la Catedral.

Consecuencias. El incendio destruyó buena parte del casco histórico de la ciudad, sobre todo el espacio correspondiente a las Pueblas Nueva y Vieja de la villa amurallada surgida del Fuero otorgado por Alfonso VIII en 1187. Nacieron nuevos barrios aislados en zonas periféricas de la ciudad y se creó una zona comercial y un espacio político administrativo en torno a la Plaza de Velarde. En lo social [60] se produjo cierta segregación de la población, cuyo ejemplo más significativo fue la construcción del Poblado Pesquero Sotileza para las gentes de la mar, colectivo que antes de la catástrofe residía junto a Puertochico. Para muchos santanderinos y visitantes de la ciudad es difícil imaginar el aspecto que tuvo la ciudad antes de producirse el incendio de 1941. En muchos aspectos,

a partir del desastre surgió un nuevo paisaje urbano muy diferente al existente hasta esa fecha. A través de las nuevas tecnologías se puede mostrar una imagen aproximada de lo que fue la capital de la actual Cantabria hace 75 años (figura 92 a la izquierda).

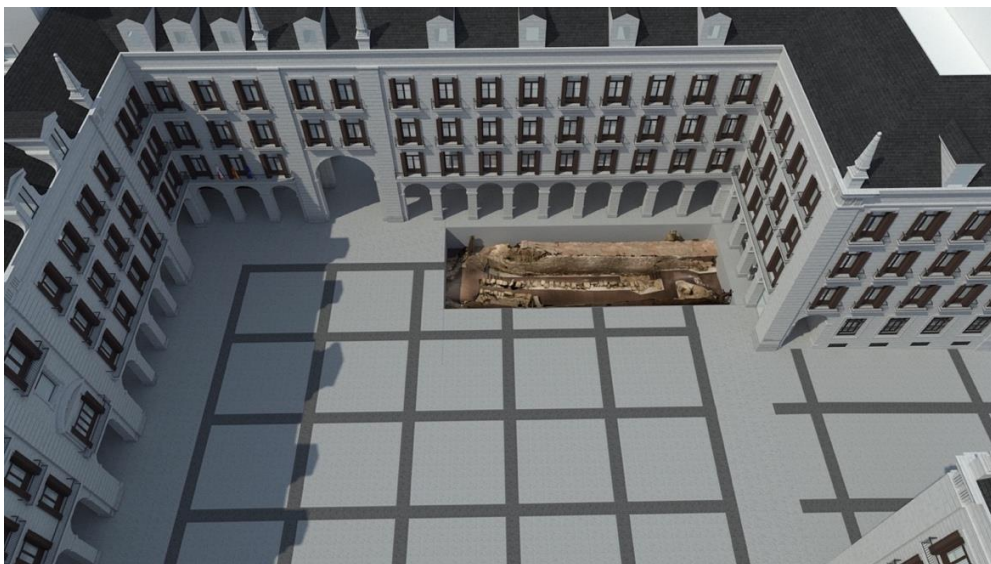


Figura 94. La Plaza porticada de Santander con el Yacimiento Arqueológico en referencia.

Por otro lado, dentro de varios proyectos centrados en el subsuelo de la ciudad como el Yacimiento Arqueológico de los restos de la Muralla Medieval de la ciudad (figura 91), o los refugios antiaéreos que fueron realizados durante la Guerra Civil Española (figura 92 a la derecha), se continuó documentando todas las estructuras en superficie y enterradas de Santander.



Figura 95. Capturas de los videos realizados para la recreación de los refugios antiaéreos de la Guerra Civil española.

Como resultado final, se han creado unos modelos inmersivos que son accesibles por el usuario en diferentes soportes: gafas VR, móviles y tabletas, gracias a una aplicación de móvil para Realidad Aumentada. El funcionamiento es muy simple, el usuario se localiza en un punto determinado, escanea un edificio y desde ahí, girando $A = 4\pi \text{ sr}$ ($\text{sr} =$ Unidad de medida de ángulos sólidos del Sistema Internacional, de símbolo sr , que equivale a un ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera, abarca sobre la superficie de ésta un área equivalente a la de un cuadrado de lado igual al radio de la esfera), coloquialmente se denomina a A como giro de 360 grados. Así se verá como era el paisaje previo al incendio y así poder contrastarlo con el existente en la actualidad. Una inmersión en el pasado (figura 93).



Figura 96. Recreación virtual del entorno del actual edificio de correos.



Universidad de Valladolid

Hibridación de técnicas de ingeniería inversa para el modelado preciso de estructuras, edificios y ciudades



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

5. CONCLUSIONES

Esta tesis comenzó con el estudio de altas precisiones para el inventariado de mobiliario urbano dentro del GIS del Ayuntamiento de Santander, siguió con la producción de una ortofotografía aérea con una resolución espacial de 10 cm como GSD (resolución espacial), prosiguió con el estudio del uso de los Drones o UAVs, donde se ha comparado la utilización de un modelo de UAV más grande con la utilización del más pequeño y ligero del mercado para la toma de fotografías desde el aire, con muy buenos resultados, aunque se terminó montando un dron propio para poder embarcar una cámara digital con control remoto. Una vez logrado un buen sistema de captura de datos, se continuó con la generación automática y optimizada de los modelos 3D de objetos catalogados como bienes patrimoniales, para su uso y gestión mediante la implementación de un prototipo de Sistema de Información Patrimonial (tecnología GIS 3D). El trabajo realizado no sólo ha permitido la consecución de los distintos objetivos planteados, sino que ha supuesto el citado prototipo de tecnología GIS 3D, suponiendo una aproximación más hacia la necesidad de gestionar la información de forma 3D o 4D. Así la investigación continuó con la posibilidad de modelar objetos de forma precisa a diferentes escalas de trabajo, independientemente del tamaño de estos objetos. Por se divide la experimentación realizada por niveles de complejidad y necesidades de precisión en la restitución de los objetos reales. Una vez mostrada la versatilidad de la metodología conseguida, se aplicó a distintas escalas en dos ámbitos muy diferentes pero prolijos, como son los espacios urbanos y el sector de las piezas y estructuras industriales.

Dentro de esta tesis se han acumulado años de trabajo de colaboración entre investigadores para desarrollar un prototipo de captura de información aérea de precisión, para su uso con fines patrimoniales, urbanísticos y cartográficos en un entorno GIS 3D. Especial relevancia tiene la capacidad de usos estructurales en el análisis de estructuras industriales, llegando a conseguir su uso para la modelización de pasarelas colgantes sometidas a distintas fuerzas.

Basado en las aplicaciones en patrimonio y urbanismo, a escala de los edificios, debiendo destacar la capacidad de generar modelos 3D de edificios catalogados como Patrimonio Histórico, sin necesitar unos planos previos de los edificios, lo que permite documentar geoméricamente cualquier objeto en ausencia de planos.

Para el caso de estructuras se han aumentado mucho las precisiones. Unido al conocimiento del grupo de la Universidad de Valladolid, especializados en estructuras industriales, estructuras colgantes y sus comportamientos, se decidió trabajar sobre estructuras de detalle como fue el caso de unas ménsulas pertenecientes a un puente-grúa, así como al caso de la estructura de un seguidor solar, comprobando la fiabilidad del

método propuesto. Por otro lado, se aplican las técnicas al estudio de los modos de una estructura colgante, una pasarela peatonal sobre el río Pisuerga a su paso por Valladolid.

Para la aplicación en patrimonio, una vez realizado el modelo virtual de los edificios de los que no había unos planos previos, a través de técnicas de ingeniería inversa, se ha generado un modelo virtual inteligente sobre el que poder consultar todos los elementos y datos sobre el patrimonio histórico de la zona. La hibridación ha consistido en el uso de los Drones o UAVs, las técnicas de fotogrametría convergente, la automatización de parte del proceso mediante el uso de algoritmos implementados para su uso en visión artificial y la posibilidad de trabajar a diferentes escalas. Se han modelado inversamente desde objetos pequeños a modelos 3D a escala de ciudad y su gestión mediante la implementación de un prototipo de Sistema de Información Patrimonial (tecnología GIS 3D). El trabajo realizado ha culminado con el citado prototipo de tecnología GIS 3D, suponiendo una aproximación más hacia la necesidad de gestionar la información de forma 3D o 4D.

Otro avance que se ha consolidado es la posibilidad que da el desarrollo de la fotogrametría juntándola a técnicas de visión artificial. Aunque no se pueden ignorar los beneficios del uso del escáner-láser frente a otros métodos en términos de precisión y en tiempo de procesado: el escáner-láser ofrece la posibilidad, en un tiempo muy limitado, de adquirir una gran cantidad de datos espaciales, con los que es posible reconstruir la geometría del objeto detectado. Para esta tesis se ha utilizado un 5% el escáner-láser, frente al 95% de uso de la fotogrametría unida a algoritmos basados en optimización y clasificación. Para la base del trabajo se optó por un escaneado, pero para el resto del proyecto se utilizó la hibridación de técnicas de fotogrametría convergente y visión artificial para la obtención de los modelos 3D que completarían las visitas 4π sr (estéreo-radianes) conocidas como visitas 360°, haciendo que el resultado fuera preciso y compensado en tiempo y coste final. En la comparativa se ha visto que no hay una técnica mejor que otra, de hecho, la hibridación de técnicas nos ha permitido una metodología generadora de un modelo adecuado para cada escala y distintas necesidades, dependiendo de la relación coste *versus* tiempo.

Otro avance ha sido comprobar que existe una estrecha relación entre las intervenciones arqueológicas realizadas en espacios urbanos y la puesta en valor de los restos arqueológicos que en ellas se pueden documentar. A este respecto, destacar que es de vital importancia la valorización del patrimonio relacionado con los procesos de formación de los espacios urbanos. Por ello, los programas de musealización de restos arqueológicos deben ir de la mano de los proyectos de investigación de la Arqueología Urbana y formar un complejo que permita a la sociedad el disfrute de los monumentos y un mayor conocimiento de su pasado. Evidentemente, *sólo podemos apreciar de manera global aquello que conocemos y, sobre todo, aquello que entendemos*. Es importante que

las musealizaciones lleven aparejado un programa explicativo que permita dar a conocer a la sociedad todos los aspectos del fenómeno histórico-cultural que ha dado lugar a los restos musealizados, de manera que sea fácilmente inteligible para un público no especializado en la materia, revalorizadores de los espacios urbanos para aumentar nuestro conocimiento del pasado.

Desde el punto de vista más ingenieril, en esta tesis se han podido probar distintas técnicas de modelado 3D mediante técnicas inversas y al finalizar esta tesis se podría presumir que se ha modelado desde pequeñas estructuras, figuras y objetos hasta toda una ciudad como es el caso de la totalidad del Santander Antiguo, absolutamente todas las estructuras incluidas en el mismo fueron documentadas en 3D, conservando su geometría, escala y proporciones, además de la textura original, por lo que el objeto quedará registrado fidedignamente para siempre.



Figura 97. Alzado y Ortofoto del Palacio de la Magdalena.

Dentro de los proyectos de estudio de la evolución de la ciudad, el modelado tridimensional del Patrimonio Histórico es muy importante para la comprensión de la dinámica de crecimiento desde el origen histórico. En el caso de Santander, donde los cambios morfológicos han sido muy grandes, el estudio del cambio morfológico de la Catedral, de la Plaza Porticada o de la Península de la Magdalena, como espacios más representativos de Santander, nos ha ayudado a comprender los distintos eventos surgidos a lo largo de la historia. Por otro lado, se disminuye la escala para trabajar en la implementación de un Sistema de Gestión del Patrimonio cultural de Santander.

La necesidad de divulgación hace que la Realidad Virtual, unida a aplicaciones móviles de Realidad Aumentada, permita interaccionar con todo el sistema de gestión de una forma divulgativa y amena. Se ha conseguido que todos los modelos 3D conjuntamente con su información y metadatos, sea navegable en entornos inmersivos, gracias a la realidad mixta, haciendo que desde un móvil se pueda visualizar más información que la que da la propia realidad, esta última unida a una pantalla de móvil ayudan a una comprensión completa de los entornos, ya sea para un uso industrial, urbano, patrimonial o turístico.

Respecto a la metodología conseguida, funciona para distintos niveles de precisión en función de la escala y necesidades. Formando objetos en formato BIM, más precisos y completos que el estándar del formato CityGML <https://www.citygml.org/>

- Nivel 1: Estructuras industriales. Artículo aceptado en la Revista Dyna.
- Nivel 2: Edificios y patrimonio. Artículos en Congreso basados en el proyecto del Palacio de la Magdalena, la Biblioteca Menéndez Pelayo y la Catedral de Santander. Capítulo de un libro sobre el trabajo realizado en Grajal de Campos en Valladolid.
- Nivel 3: Ciudades. Artículos de Ciudad 3d, Yacimiento arqueológico subterráneo de la Plaza Velarde y refugios antiaéreos en Santander, el Incendio de Santander en 1941. Se realizó un GIS 3D con todas las estructuras encontradas en el yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde, estructuradas por siglos de datación y posición espacial.
- Nivel 4: Estructuras colgantes (figura 95). Artículo en congreso: *Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results* y artículo: *Mechanical models for an 86 m single span stress-ribbon steel footbridge and their comparison with experimental results*.



Figura 98. Pasarela peatonal Pedro Gómez Bosque

- Nivel 5: Realidad Virtual y Aumentada: **Recreación virtual de la ciudad de Santander previa al incendio de la ciudad publicado en revista: El incendio de Santander (1941) aplicación de la Realidad Virtual inmersiva para la recuperación del patrimonio desaparecido. Revista: Patrimonio Histórico de Castilla y León. (figura 96).**



Figura 99. Vista desde una tablet de la recreación histórica en realidad aumentada.

Además de la recreación histórica del Santander previo a 1941 que puede verse en https://youtu.be/SmgJ9FB_jLc , se ha realizado el de la Plaza Mayor de Medina del Campo en época renacentista: <https://youtu.be/dgRsF6OMyGs>. Donde se explica cómo funciona la parte implementada de Realidad Aumentada desde el móvil, gracias a un móvil y la aplicación (app) *Layar*: <https://youtu.be/oxVhQEfPnJw> .



Figura 100. Plaza Mayor de Medina del Campo vista desde un dron.

En cuanto al trabajo actual, en el momento de depósito de esta tesis, se viene trabajando en la documentación del patrimonio abandonado de la región de la Campagna en Italia, utilizando todas estas técnicas de modelado 3D, BIM, GIS 3D y Realidad Virtual para poder analizar y catalogar los edificios tal y como se puede ver en las imágenes de la siguiente figura.

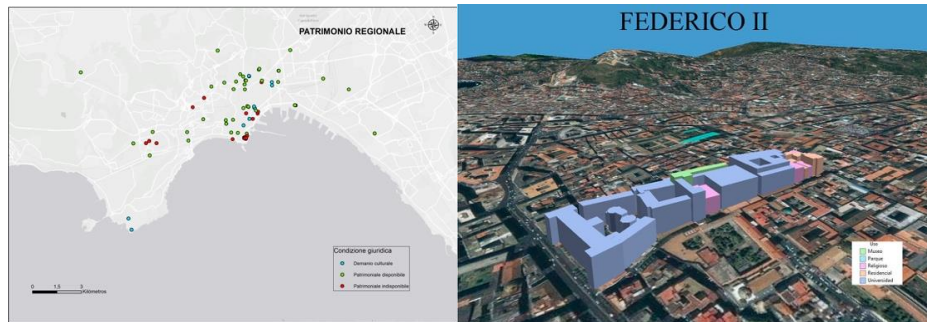


Figura 101. Imágenes del GIS 3D para la gestión del Patrimonio Desocupado de la Región de Campagna (Italia).

6. APORTACIONES Y TRABAJO FUTURO

Los desarrollos realizados dentro de esta tesis se caracterizan por su transdisciplinariedad, aunque se han centrado en las aplicaciones de la tecnología 4.0, consiguiendo poner cerca de mercado la mayoría de la investigación aplicada sobre esta tecnología desarrollada. Demostradas las distintas aplicaciones, durante la tesis se trabajó en el ámbito industrial, la documentación digital del patrimonio cultural y sistemas de gestión para ciudades. Culminando los desarrollos con la producción bajo técnicas basadas en tecnología 4.0 y el desarrollo de técnicas de GIS 3D.

Patrimonio Cultural. En esta parte se trabaja para conseguir documentar con precisión las distintas figuras, estructuras, edificios y entornos urbanos considerados como patrimonio cultural, intentando recrear de forma automática como eran en épocas anteriores.

- Reproducción de piezas deterioradas, rotas o desgastadas. A partir de nubes de puntos generadas mediante fotogrametría convergente, se generan las superficies que aproximan al objeto real. Reproduciendo la figura original con la que se calcula la reconstrucción y aplicando los algoritmos de optimización de las nubes de puntos a la figura original, se reproduce en formato virtual con la posibilidad de una posterior impresión 3D de las figuras u objetos. Como ejemplo, la reconstrucción de una figura policromada mediante ingeniería inversa. Se hace por piezas, de forma que a partir del modelo 3D del original, se pueda tener el modelo virtual y la reproducción física a escala o a tamaño real, tal y como se puede ver en la siguiente figura:



Figura 102. Imágenes de la figura, a la izquierda el original, a la derecha la impresión 3D de la reconstrucción a tamaño real y escala

- Creación de drones para la toma de datos desde el aire. Se probaron distintos modelos comerciales para la toma de datos desde el aire, así como la creación de un modelo propio, para ello se usó la controladora *ARDUPILOT*, tras numerosas pruebas, se

decidió dejar la controladora NAZA como definitiva ante la mayor facilidad de uso y estabilidad en el vuelo.



Figura 103. Dron construido y usado dentro de esta tesis.

- Visitas Virtuales. Se están realizando recreaciones históricas mediante visitas virtuales en 4π sr (coloquialmente conocidas como visitas 360 grados) como los trabajos ya citados en la tesis, realizados en Santander o en Medina del Campo.



Figura 104. Recreación virtual de la Plaza Mayor de Medina del Campo en época renacentista.

- Nuevos formatos en patrimonio: inclusión de los objetos y estructuras patrimoniales en formato BIM, los cuales sirven para gestionar de forma inteligente el patrimonio representado:

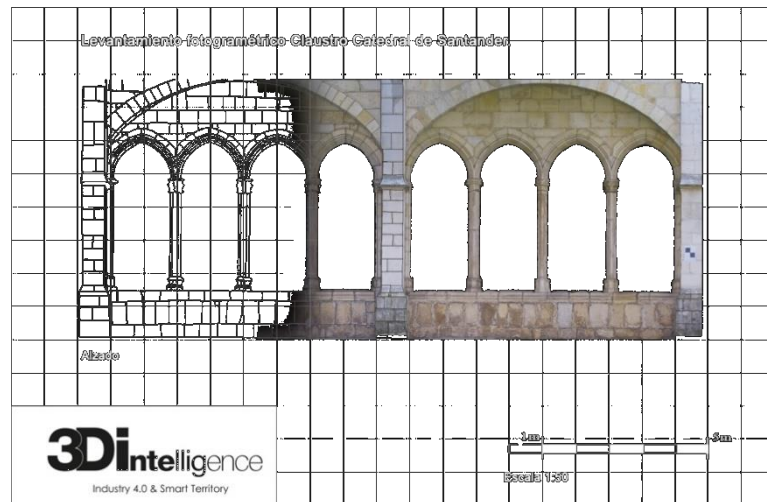


Figura 105. Ortoalzado sacado de un modelo 3D del claustro de la Catedral de Santander.

- Desarrollo: GIS 3D. Pensando en entornos urbanos, se ha realizado un estudio sobre todo el patrimonio desocupado en la región de Campagna (Italia), teniendo en bases de datos toda la información con los atributos necesarios para analizar los distintos inmuebles desocupados, quedando toda la información está estructurada y georreferenciada en 3D.



Figura 106. Imagen del GIS 3D para la gestión del Patrimonio Desocupado de la Región de la Campagna (Italia). Volumetría de un Palacio en Salerno

Industria 4.0. En esta parte se refleja el trabajo desarrollado para la obtención de objetos 3D de forma rápida y precisa. Reproducción de piezas industriales y partes de estructuras con alta precisión.

- Reproducción de piezas para el sector industrial. Ya se han hecho pruebas con un par de empresas para generarles piezas impresas en 3D y/o moldes de piezas de alta precisión. También se han reproducido piezas industriales mediante ingeniería inversa, por ejemplo: recambios de maquinaria.

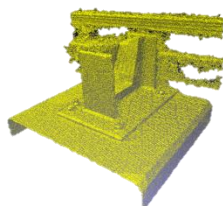


Figura 107. Modelo 3D de una pieza industrial

- Paneles inteligentes anti-vandalismo. Se han generado unos prototipos ya comercializables con la empresa *3DINTELLIGENCE* de unos paneles táctiles 3D orientados a la representación de zonas turísticas de ciudades, con un nuevo material anti-vandalismo, este mobiliario es producido mediante modelado 3D y está pensado para entornos turísticos. La producción es mediante impresión 3D aditiva de moldes y encofrado de un material (mezcla ponderada de hormigón + resinas + siliconas + fibra de vidrio) que se ha desarrollado con otra empresa especialista en prefabricados (Arque S.L.). Se dispone de un modelo de paneles que permiten mostrar información tridimensional. Mediante una colaboración con el centro tecnológico *TECNALIA* se ha conseguido que esta superficie sea táctil y por lo tanto comuniquen información. También se está colaborando con la Fundación *ONCE*, para que, junto a sus rehabilitadores, se consigue hacer accesibles los contenidos en 3D de estos paneles. En la siguiente figura se puede ver a la izquierda el resultado del proceso de impresión aditiva y a la derecha el panel con el nuevo material anti-vandalismo.



Figura 108. Panel 3D interactivo

- **Análisis tridimensional de estructuras.** Cerca de mercado con la metodología de análisis de estructuras mediante ingeniería inversa. Conjuntamente con el grupo del Dpto. C.A.I.T. *Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructura* de la Universidad de Valladolid.

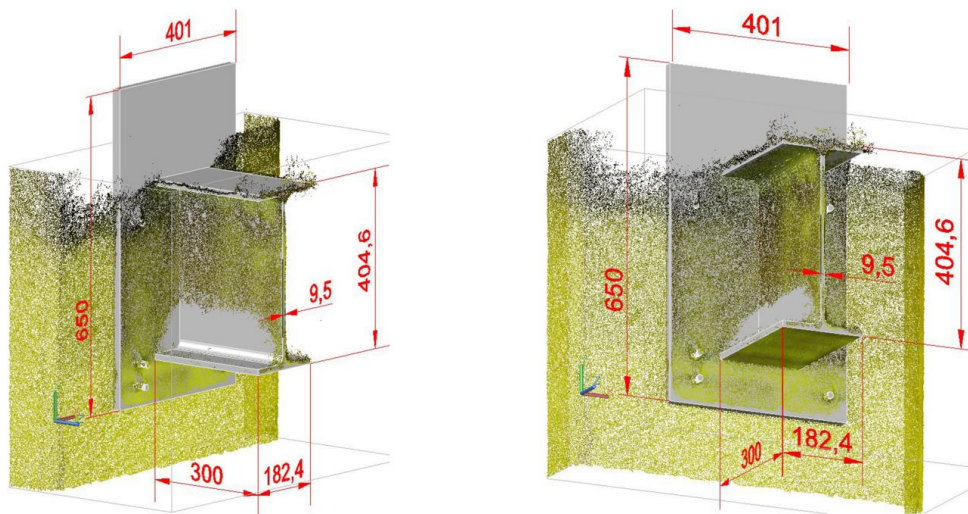


Figura 109. Modelo 3D de una ménsula, parte de un puente grúa.

- **Visitas Virtuales:** Se están recreando visitas virtuales en 4 π sr como el trabajo realizado conjuntamente con la marca de coches HONDA: <https://youtu.be/1W2J7gWlQJk>
- **Big Data:** Además, se continúa aplicando técnicas de *Machine Learning* sobre video, dando buenos resultados. En esta línea, la detección en tiempo real y mediante técnicas de realidad aumentada, se ha redactado el artículo aceptado en el congreso CMMoST 2017.

Título: Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking

Autores: Cosido, Óscar J.; Salcines, Alberto; Ruiz, Óscar; Lorenzana, Antolín;

Congreso: CMMoST (Mechanical Models in Structural Engineering), 2017.

Algunos de los casos más recientes y famosos de problemas derivados de la interacción humano-estructura son el del *Millennium Bridge* en Londres [61] y el Puente Solferino

en París [62]. Además, las estructuras modernas tienden a ser más ligeras y flexibles y por tanto más proclives a dicha influencia. Esta situación ha fomentado la investigación en torno al concepto de interacción humano-estructura, convirtiéndose ésta en un terreno multidisciplinar en el que convergen áreas como en cálculo de vibraciones en estructuras, la biomecánica para el modelado del comportamiento cinemático y dinámico del cuerpo humano, desarrollo de sensorica para la medición y localización de fuerzas o la psicología para el modelado del comportamiento de grupos de personas.

En [63], sus autores realizan una revisión de las técnicas disponibles para la medición y caracterización de las fuerzas o GRF (*Ground reaction Forces*) ejercidas al caminar por las personas sobre estructuras, dividiéndolas en técnicas de medida directa e indirecta.

La medida directa de las GRF es frecuentemente utilizada para modelar las fuerzas generadas por los sujetos. Se utilizan dispositivos sensorizados con transductores de fuerza y presión como cintas de correr, plataformas de fuerza y plantillas con sensores de presión.

La medida indirecta de las GRF se basa en los modelos obtenidos mediante los experimentos realizados con medida directa. Una vez obtenidos los modelos que describen el comportamiento dinámico del movimiento humano, la medida indirecta consiste en utilizar técnicas de captura de movimiento o rastreo (*tracking*) tanto activas como pasivas para posicionar a las personas sobre la estructura durante el experimento.

El problema de localización de las GRF sobre la estructura es interesante en cuanto a que el efecto que éstas tienen en la dinámica del sistema es dependiente del punto de aplicación. Las técnicas habituales para localizar a los sujetos en entornos fuera de laboratorio son el *tracking* óptico basado en marcadores pasivos o activos y el *tracking* mediante sistemas microelectromecánicos inalámbricos.

Con este estudio se ha realizado una primera aproximación a la localización de pisadas mediante visión por computador. El objetivo final es poder encontrar una metodología barata y eficaz, que sirva de ayuda a la identificación de las fuerzas inducidas por personas cuando se desplazan sobre estructuras.

El trabajo se ha centrado en el estudio de una situación muy restringida de laboratorio con la que se pretende establecer unas bases para la continuidad en esta investigación. Concretamente, se han utilizado las técnicas de substracción de fondo, segmentación por color, rastreo multiobjeto (Figura 99) por detección y análisis de señal para detectar las zapatillas de un sujeto a lo largo de una secuencia de video y localizar espacialmente los lugares donde este pisaba. Los resultados para secuencias sin ocultamiento ni abarrotamiento han sido muy buenos, en cambio en secuencias con ocultamiento además de éste, se acentúa el problema de abarrotamiento ya que el descriptor utilizado para ambas zapatillas, el color, es el mismo, provocando pérdidas de información. Estos

problemas pueden solventarse ajustando los parámetros de rastreo para cada secuencia en detrimento de alcanzar una metodología más generalista. Para este trabajo se ha utilizado como referencia los trabajos de [64][65][66][67], llegando a una solución robusta y funcional.

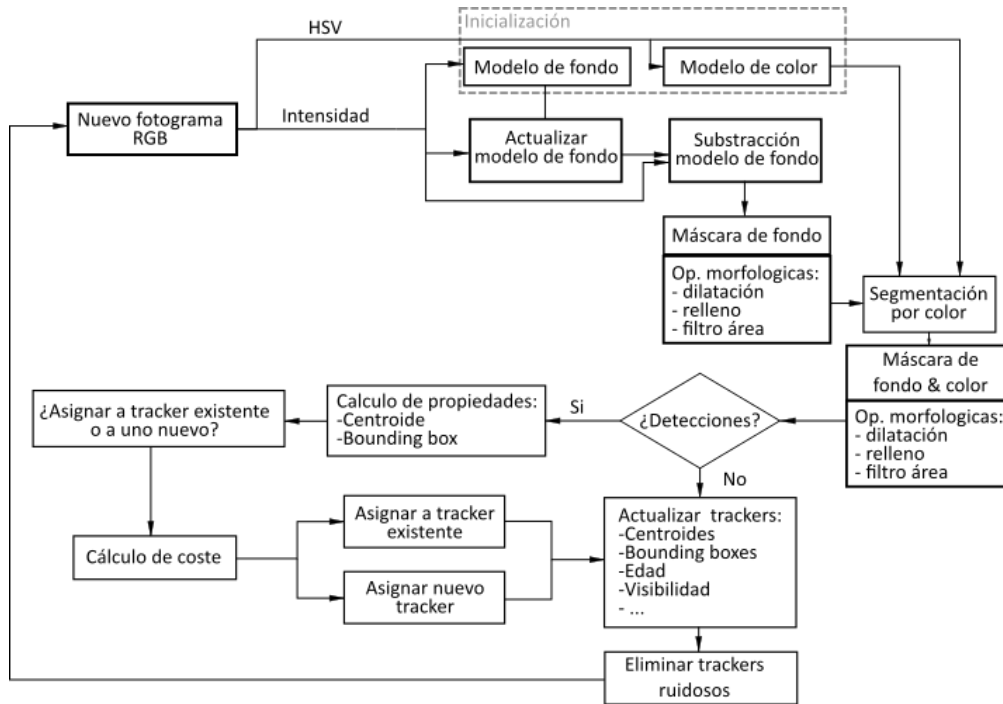


Figura 110. Diagrama del algoritmo de visión artificial.

Se puede considerar a esta tesis, fruto de la colaboración entre varios organismos, como son el CEFEM del Ayuntamiento de Santander, el grupo de Estructuras del Dpto. C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras y el Instituto Universitario de Urbanística, ambos de la Universidad de Valladolid, el Instituto Urban/Eco y el Departamento de Arquitectura de la *Università Degli Studi di Napoli “Federico II”* y la empresa de tecnología e industria 4.0 *3DINTELLIGENCE S.L.* Resultando esta tesis como un trabajo de investigación Aplicada, Desarrollo e innovación, con una importante componente de transmisión tecnológica hacia el mundo industrial y tecnológico. Se ha basado en el modelado tridimensional de estructuras industriales, la documentación y difusión del Patrimonio Cultural, la Realidad Aumentada y Virtualización, algoritmos de segmentación automática en nubes de puntos provenientes de fotogrametría y reconstrucción inversa de estructuras a diferentes escalas. Todo el trabajo se ha realizado colaborando con la *Start-Up 3DINTELLIGENCE S.L.* de forma que las aplicaciones de esta tesis puedan ser aprovechadas para su uso y aplicación en proyectos reales, muy cerca de mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: “Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander”. ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [2] Casado Soto, J.L. “1941. El Incendio de Santander. Cantabria en Imagen, Santander”. 2001. Febrero
- [3] Fernández González, L. 2001. Santander. Una Ciudad Medieval. Santander en Edades. Revista de Historia, volumen 2, 2º semestre 1997, pp. 35-56, Santander.
- [4] Casado Soto, J.L.; POLO, J. La Catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado. Edit. Edilesa, León. . 2002
- [5] Lalana Soto J.L. “El Paisaje Urbano Historico: Modas Paradigmas y Olvidos”. Revista Ciudades N° 14. Año 2011, pp. 15-38.
- [6] Lalana Soto J.L., Santos Ganges L. El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano. VIII Congreso Ibérico de Urbanismo. Portugal, Octubre 2011.
- [7] Sainz et al. “Plan Director de la Magdalena”. 2012
- [8] Buill, F., Núñez, M.A.,Rodríguez, J.J. (2007). Fotogrametría arquitectónica. Editorial Edicions UPC.
- [9] Seitz, S. M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., & Szeliski, R. (2006). A comparison and evaluation of multiview stereo reconstruction algorithms. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society, Vol. 1, 519n528.
- [10] Andrew I. Comport, Éric Marchand, François Chaumette .Robust modelnbased tracking for robot vision.. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS’04, Sendai, Japan, September 2004.
- [11] P. Fechteler, P.Eisert. “Adaptive Color Classificatcion for Structured Light Systems”. Image Processing Department, Einsteinufer 37, Dn 10587 Berlin, Germany. [6] A. Kirchner, Th. Heinrich. 1998. Model based detection of road boundaries with a laser scanner, Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Vehicles, Vol. 1, Stuttgart, Germany,pags. 93– 98.
- [12] Lerma, J.L. (2002). Fotogrametría moderna. Analítica y digital. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. p. 37n38
- [13] Andreetto M., Brusco N., Cortelazzo G., (2003) “Automatic 3D modeling of textured cultural heritage objects”, Department of Information Engineering, University of Padova.
- [14] Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F., (2001) “A new software for the automatic registration of 3D digital models acquired using laser scanner devices”, Politecnico di Torino.
- [15] Grammatikopoulos L., Kalisperakis I., Karras G., Kokkinos T., Petsa E., (2004) “Automatic multinimage phototexturing of 3d surface models obtained with laser scanning”. CIPA International Workshop on Vision Techniques Applied to the Rehabilitation of City Centres, Lisbon, 25n27 October 2004.
- [16] ElnHakim, S. F., Beraldin, J.nA., Lapointe, J.nF., (2002) “Towards Automatic Modeling of Monuments and Towers”, IEEE Proceedings of the International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, Padova, Italy.
- [17] Remondino, F., ElnHakim, S.F., (2006) “ImagenBased 3D Modeling: A Review”. The Photogrammetric Record Journal. Volume 21, Number 115, pp. 269n291.
- [18] Williams N., Low K., Hantak C., Pollefeys M., Lastra A., (2004) “Automatic Image Alignment for 3D Environment Modeling”, University of North Carolina.

- [19] Ikari A., Masuda T., Mihashi T., Matsudo K., Kuchitsu N., Ikeuchi K., (2005) "High Quality Color Restoration using Spectral Power Distribution for 3D Textured Model," 11th International Conference on Virtual Systems and Multimedia.
- [20], [44] Pérez, A., Lerma, J.L., Martos, A., Jordá, F., Ramos, M., Navarro, S., (2007). Generación automática de ortofotografías verdaderas en Arquitectura. Séptima Semana Geomática de Barcelona, España.
- [21] Feldenzs Zwalb, Girshick Mcallester, (2010) "Deformable Parts Models". IEEE Pami.
- [22] Bourder et al., (2009). "Poselets", ICCV 2009.
- [23] Maté-González, M.Á., Aramendi, J., Yravedra, J., Blasco, R., Rosell, J., González-Aguilera, D., Domínguez-Rodrigo, M., "Assessment of statistical agreement of three techniques for the study of cut marks: 3D digital microscope, laser scanning confocal microscopy and micro-photogrammetry". *Journal of Microscopy*. Volume 267, Issue 3, September 2017, Pages 356-370
- [24] Krotkov, E.P., "Active Computer Vision by Cooperative Focus and Stereo", Springer Verlag, NY, 1989.
- [25] Ahuja, N. "Active Stereo: Integrating Disparity, Vergence, Focus, Aperture, and Calibration for Surface Estimation", IEEE Trans. on Pattern Ana. & Mach. Intell. Vol. 15, No. 10, Octubre 1993.
- [26] "Multiple View Geometry", de Richard Hartley y Andrew Zisserman
- [27] Kersten et al., "3D Acquisition, Modelling and Visualization of North German Castles by Digital Architectural Photogrammetry" ISPRS WG V/2 Scene Modelling an Virtual Reality.
- [28] Beraldin et al., "Virtual Reconstruction of Heritage Sites: Opportunities and Challenges Created by 3D Technologies" (2005). International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage.
- [29] Kenarsari, A.E; Vitton, S.J; Beard, J.E, "Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry". *Journal of Terramechanics*. Volume 74, December 2017, Pages 1-11
- [30] Niethammer et al., "UAVnbased remote sensing of landslides"(2010). International Archives of Photogrammetry, RemoteSensing and Spatial Information Science p. 496n501.
- [31] Cosido, Oscar & López, Conrado "Stereowebmap: 3D Cartography Server" GISCOAST 2007.
- [32] Atkinson, KB. 1997 "Close Range Photogrammetry and machine vision" Whitties Publishing. Bristol.
- [33] Kasser, M; Egels, Y. 2002. "Digital Photogrammetry" London. Taylor & Francis.
- [34] Granshaw, S.I. 1980 Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry ENGINEERING PHOTOGRAMMETRY. University College London.
- [35] Linder W. 2003. "Digital Photogrammetry. Theory and applications". Springer.
- [36] H. Moravec. "Obstacle avoidance and navigation in the real world by a seeing robot rover". Technical Report CMUnRIn TRn3, CarnegienMellon University, Robotics Institute, Septiembre,1980.
- [37] Deriche, Giraudon. A computational approach for corner and vertex detection (1993). International Journal of Computer Vision
- [38] Harris, Chris, Stephens, Mike, 1988. A combined corner and edge detector. In: Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, pp 147n151.
- [39] Kitchen and Rosenfeld, 1982. Grey level corner detection. Pattern Recognition Lett. 95n102.
- [40] Zuniga, O.A. and Haralick, R.M. 1983. Corner detection using the facet model. Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, p. 30n37.
- [41] Koenderink, J.J. and Richards, W. 1988. Twondimensional curvature operators. J. of the Optical Society of America, 5:7:1136n 1141.
- [42] R. Mehrotra , S. Nichani , N. Ranganathan, Corner detection, Pattern Recognition, v.23 n.11, p.1223n 1233, 1990

- [43] Kraus, K., 1993. Photogrammetry. Ferd Dummler Verlag, Bonn, Germany.
- [45] Bar L, Chan T, et al., "Mumford and Shah Model and its Applications to Image Segmentation and Image Restoration", *Handbook of Mathematical Methods in Imaging*, Springer Science + Business Media LLC, p.1095-1157, ISBN: 978-0-387-92919-4, (2011).
- [46] Vineetha G R, Darshan G, "Level Set Method for Image Segmentation: A Survey", *Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)* e-ISSN: 2278-0661, p- ISSN: 2278- 8727. Vol.8, Issue 6, p.74-78, (2013).
- [47] Lass C, "On correctness of first and second order fast marching method", *Central European Journal of Computer Science*, Vol. 1, p.154-166, (2011).
- [48] Jiang X.-Y., Zhao R.-C., "Texture segmentation based on incomplete wavelet packet frame", In: Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol. 5, Wan, p. 3172-3177, (2003).
- [49] Fishler M, Bolles R. "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography". *Graphics and Image Processing*. (1981) ACM 0001-0782/81/0600-0381 381.
- [50] Torr P, Zisserman A. "MLESAC: A New Robust Estimator with Application to Estimating Image Geometry". *Computer Vision and Image Understanding* Vol.78, 138-156 (2000).
- [51] Richard H, Andrew Z. View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN: 978-0-521-54051-3
- [52] Lalana Soto, José Luis y Santos y Ganges, Luis (2013): "Retos metodológicos en el estudio, evaluación y tratamiento del patrimonio ferroviario", en VI Congreso para la conservación del patrimonio industrial y de la obra pública en España, organizado por TICCIH-España y celebrado en Madrid del 12 al 15 de junio de 2013.
- [53] Dea, C., Heckler, M., Grunwald, G., Pereda, J. & Phillips, S., "JavaFX 8 Introduction by Example", Apress, 2nd Edition, June 2014, ISBN 978-1-4302-6460-6.
- [54] Hartley, R. y Zisserman A., "Multiple View Geometry", Cambridge University Press, Marzo 2004.
- [55] Kersten et al., "3D Acquisition, Modelling and Visualization of North German Castles by Digital Architectural Photogrammetry" (2004) .ISPRS WG V/2 Scene Modelling an Virtual Reality.
- [56] Zapata, Natalia; "Herramienta GIS de Apoyo a la Gestión de Emergencias de Protección Civil en el Municipio de Sant Boi", Universidad Politécnica de Cataluña. Febrero 2013.
- [57] K.Atha Van; S.Jagadeeshw Aran, G.Balasubramanian, N.Dinesh, G.Abhilash, G.Gokul, "Automatic Ambulance Rescue System", International Journal Of Advanced Technology & Engineering Research, 2012.
- [58] Joaquín Reguera Sevilla. *La reconstrucción de Santander. El tratamiento jurídico de una catástrofe. Problemas de derecho público y privado en la reconstrucción de la ciudad de Santander*. UIMP.Santander,1950
- [59] Ramón Rodríguez Llera. *La reconstrucción urbana de Santander*. Santander, 1972
- [60] José Luis Casado Soto. *El incendio de Santander*. Santander, 2001
- [61] P. Dallard, A. J. Fitzpatrick, A. Flint, S. Le Bourva, A. Low, R. M. ridsdill Smith y M. Willford, "The London Millennium Footbridge," *The Structural Engineer*, vol. 79, no 22, pp. 17-33, 2001.
- [62] A. N. Bleckherman, "Autoparametric Resonance in a Pedestrian Steel Arch Bridge: Solferino Bridge, Paris". *Journal of Bridge Engineering*, vol. 12, no 6, pp. 669-676, 2007.
- [63] V. Racic, A. Pavic y J. M. William Brownjohn, "Moder facilities for experimental measurement of dynamic loads induced by humans: A literature review". *Shock and Vibration*, vol. 20, pp. 53-67, 2013.
- [64] S. Avidan, "Support Vector Tracking". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no 8, pp. 1064-1072, 2004.

- [65] J. Jeong, T. Sung Yoon y J. Bae Park, “*Mean shift tracker combined with online learning-based detector and Kalman filtering for a real-time tracking*” *Expert Systems With Applications*, no 79, pp. 194-206, 2017.
- [66] A. Sobral y A. Vacavant, “*A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos.*” *Computer Vision and Image Understanding*, no 122, pp. 4-21, 2014.
- [67] M. Bocian, J. Brownjohn, V. Racic, D. Hester, A. Quattrone y R. Monnickendam, “*A framework for experimental determination of localised vertical pedestrian forces on full-scale structures using wireless attitude and heading reference systems*”. *Journal of Sound and Vibration*, vol. 376, pp. 217-243, 20

ANEXO I. PUBLICACIONES

RELACIÓN DE ARTÍCULOS EN CONGRESOS INCLUIDOS EN ESTA TESIS

1. Implementation and deployment of geographical information system services in the municipality of Santander. Cosido, O., De José, J., Piquero, D., Iglesias, A., Sainz, E. Proceedings - 2011 International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2011. 5959570, pp. 267-270
2. Automatic calculation of bicycle routes by combining meta-heuristics and GIS techniques within the framework of smart cities. Cosido, O., Loucera, C., Iglesias, A. Conference and Exhibition - 2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances, SmartMILE 2013. 6708196
3. Hybridization of convergent photogrammetry, computer vision, and artificial intelligence for digital documentation of cultural heritage-A case study: The Magdalena palace. Cosido, O., Iglesias, A., Galvez, A., (...), Teran, L., Sainz, E. Proceedings - 2014 International Conference on Cyberworlds, CW 2014. 6980785, pp. 369-376
4. Hibridación de las técnicas de escáner-láser, fotogrametría convergente, visión artificial y el uso de drones para la documentación inteligente de la Catedral de Santander. Oscar J. Cosido Cobos, Oscar Ruiz López, Jesús M. Sendino Posada, Pedro Sarabia, Leticia Terán Vega, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, José Pereda Llamas, Antolín Lorenzana Ibán. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.
5. Documentación 3D del patrimonio industrial ferroviario, estudio del depósito de locomotoras de Cajo - Santander. Oscar J. Cosido Cobos, José Luis Lalana Soto, Oscar Ruiz López, Jesús M. Sendino Posada, Leticia Terán Vega, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, José Pereda Llamas, Esteban Sainz Vidal. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.
6. Virtualización de Museos y edificios singulares mediante ingeniería inversa y JavaFX. El caso de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander. Óscar J Cosido Cobos ; José Pereda Llamas; Leticia Terán Vega; Andrés Iglesias Prieto; Esteban Sainz Vidal. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.
7. Navegación 3D y virtualización de los espacios universitarios para la gestión y difusión del patrimonio cultural de la Universidad de Cantabria. Óscar J. Cosido Cobos, Leticia Terán Vega, Jesús M. Sendino Posada, Óscar Ruiz López, Nuria García Gutierrez, Elena Martín La Torre, José Pereda Llamas. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.
8. Hibridación de técnicas de modelado 3d y GIS para la gestión de edificios universitarios: El campus de la universidad de Cantabria. Ruiz, O., Cosido, O.J., Gálvez, A., Iglesias, A. REHABEND 2014, pp. 2277-2283.
9. Studio e rilievo tridimensionale dei resti archeologici delle fortificazioni difensive individuate presso la penisola della maddalena, Santander. Caliendo, G., Cosido, O.J., Ruiz, O., (...), Iglesias, A., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 137-144
10. Prototipo de ciudad 3d: integración documental del patrimonio enterrado y en superficie dentro de Santander. Cosido, O.J., Ruiz, O., De José, J., (...), Iglesias, A., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 224-229
11. Documentación tridimensional del patrimonio histórico mediante hibridación de técnicas de visión artificial e ingeniería inversa: El palacio de la Magdalena en Santander. Cosido, O.J., Catuogno, R., Gálvez, A., (...), Campi, M., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 2207-2214
12. Nueva metodología para la documentación tridimensional de estructuras arqueológicas con alta definición, el caso del yacimiento arqueológico de la plaza porticada en Santander. Cosido, O.J., Jiménez, J.I., Ruiz, O., (...), Iglesias, A., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 145-152
13. Documentation and 3D Modeling of Railway Industrial Heritage: Study of the Cajo-Santander Locomotive Shed. Oscar Jesús Cosido Cobos, José Luis Lalana Soto, Leticia Terán, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Lucia Hernández Ramírez, José Pereda Llamas and Esteban Sainz Vidal. Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594
14. Representation of the Santander Cathedral by Combination of Different Smart Techniques. Óscar J. Cosido, Leticia Terán, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Óscar Ruiz, Jesús M. Sendino, Pedro Sarabia, José Pereda and Andrés Iglesias. Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594.

15. 3D tour through university spaces for the management and dissemination of the cultural heritage of the University of Cantabria. Cosido, Ó., Terán, L., López, Ó.R., (...), Gutiérrez, N.G., Latorre, E.M. 2015 Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594, pp. 667-670
16. Virtual Documentation of Different Structures in the Urban Archaeological Site of Velarde Square in Santander. Oscar Jesús Cosido Cobos, Pedro Sarabia, Leticia Terán, Óscar Ruiz, Diego Arévalo Casuso, Diana Vega Almazán and Esteban Sainz Vidal Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594
17. Realidad Aumentada y Virtualización 3d de Ciudades para la Gestión y Divulgación del Patrimonio Cultural Enterrado y en Superficie. Óscar J. Cosido Cobos; Esteban Sainz Vidal; Maximiliano Campi; Pedro Sarabia Rogina; Andrés Iglesias Prieto; Raffaele Catuogno; Valeria Cera. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.
18. Sistema de Información Patrimonial para la Gestión de Espacios Singulares dentro de una SmartCity. Óscar J. Cosido Cobos; Esteban Sainz Vidal; Andrés Iglesias Prieto; Maximiliano Campi; Valeria Cera. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.
19. Realidad Aumentada para la Reconstrucción Virtual de la Ciudad de Santander previa al incendio de 1941. Óscar J. Cosido Cobos, Óscar Ruíz López, Pedro Sarabia Rogina, Henar Sánchez Ortiz de Galisteo, Antolín Lorenzana Iban, Maximiliano Campi, José Luís Lalana Soto. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.
20. Sistema de Documentación Virtual del Patrimonio para la gestión y difusión del Patrimonio Cultural de la Universidad de Cantabria. Nuria García Gutierrez, Óscar J. Cosido Cobos, Óscar Ruiz López, Henar Sánchez Ortiz de Galisteo, Alessia di Manso, Maximiliano Campi. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.
21. Static, modal and dynamic behaviour of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results. Castaño, Javier; Cosido, Óscar; Pereda, José; Cacho-Pérez, Mariano; Lorenzana, Antolín. CMMoST2015.
22. Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking. Cosido, Óscar J.; Salcines, Alberto; Ruiz, Óscar; Lorenzana, Antolín. Congreso CMMoST 2017.

RELACIÓN DE CAPÍTULOS EN LIBROS

1. Implementación de un Sistema GIS para la Gestión de las Emergencias de un Parque de Bomberos Aplicado al Caso de Santander. Autor: Óscar J. Cosido Cobos Libro: Gobernanza empresarial de tecnologías de la información. ISBN: 978-84-8102-760-0. Editores: Ángel Cobo Ortega y Adolfo Alberto Vanti. Páginas: 675. Fecha de edición: 2015. Encuadernación: Tapa blanda
2. Estudio y modelado 3D de parte del conjunto monumental de la Catedral de Santander para la comprensión de la evolución histórica de la ciudad. Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Antonella Di Luggo, Oscar Jesus Cosido Cobos, Pedro Sarabia. Italian survey & international experience: Edizione cartonata con copertina rigida. ISBN13: 9788849229158. ISBN10: 8849229151. Año: 2014. Ub.int: T003c.
3. Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa en Grajal de Campos. Autor: Óscar J. Cosido Cobos. Libro: El conjunto histórico de Grajal de Campos. Editores: M^a. D. Campos Sánchez-Bordona y J. Pérez Gil, coords., Publicación: Universidad de León, en prensa.



RELACIÓN DE ARTÍCULOS EN REVISTAS

1. El incendio de Santander (1941), aplicación de la Realidad Virtual inmersiva para la recuperación del patrimonio desaparecido Autores: Pedro Miguel Sarabia Rogina, Oscar Cosido Revista: Patrimonio histórico de Castilla y León, ISSN 1578-5513, Nº. 61, 2017, págs. 48-51. Idioma: español
2. Hibridación de la Fotogrametría y Segmentación Automática como Herramienta de Ingeniería Inversa en Estructuras Industriales. Autores: Óscar J. Cosido Cobos, Alberto Salcines Menezo, Carlos Loucera Muñecas, Antolín Lorenzana Ibán. Revista: DYNA. Factor de Impacto: 0.302, Q4. Año: 2017 actualmente en prensa.
3. Mechanical models for an 86 m single span stress-ribbon steel footbridge and their comparison with experimental results. Autores: M. Cacho-Pérez, J. Castaño,, O. Cosido, A. Lorenzana. Enviado a Journal of Bridge Engineering, factor de impacto 1.39. Año: 2017.

Implementation and deployment of geographical information system services in the municipality of Santander. Cosido, O., De José, J., Piquero, D., Iglesias, A., Sainz, E. Proceedings - 2011 International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2011. 5959570, pp. 267-270

<http://ieeexplore.ieee.org/document/5959570/>

Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander

Oscar Cosido^{1,2}, Jesús de José¹, David Piquero¹, Andrés Iglesias², Esteban Sainz¹

¹Santander City Council, Santander, SPAIN

²Department of Applied Mathematics and Computational Sciences
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, University of Cantabria
Avda. de los Castros, s/n, 39005, Santander, SPAIN

Abstract

This paper reports an on-going research project focused on the implementation and deployment of geographical information system services. The project is carried out in the Municipality of Santander with the goal to promote new technologies and bring geo-referenced data and information about the city to its citizens through the city council corporate website. The paper describes briefly the main steps of our methodology, the objectives to be attained and the tools used in the process. The system is currently available on the web and represents a major step in the use of cartographic technology by the general public.

1. Introduction

In recent years we have witnessed impressive technological advances in geo-referencing and visualization of spatial data, information management and dissemination of data over the Internet. Thanks to these changes, services provided on the server side can support automated processes that were unthinkable or very expensive only a few years ago. Examples of such processes are spatial analysis and geo-processing, which are important tools for decision making. Geographic Information Systems (GIS) provide users with centralized access to geo-referenced data and alphanumeric data managed by relational databases, along with customized applications that allow access to spatial functionalities [1, 3, 4].

Because of the increasing maturity of GIS technology, most of the difficulties and barriers to the implementation and optimal performance of a GIS are no longer technical, but methodological. Development of a GIS requires to undertake the analysis of the data, which should be consistent with a previous data model. In our case, the data model is based on the representation of cities. The implementa-

tion and update of a GIS must be combined with a query to both users and organizations using it in order to figure out what it would be a gradual implementation and training for different types of users. In this project we found that the demand for GIS functionality grows once the system is implemented, so the highest effort was done after the completion of its implementation.

1.1. Main Goals

The project is aimed at making available to citizens the geo-referenced information of the city of Santander. The primary goal is that any citizen can see the status and location of the key elements for the development of urban life of Santander such as information panels, health centers, administrative offices, monuments, etc. We focus our GIS technology development on modeling, spatial analysis and decision-making about spatial planning and urban management, while adhering to the guidelines of the Open Geospatial Consortium and INSPIRE directive from the European Union [6]. Other goals are the development of a platform for exchange of information with citizens as well as the study of the city from the standpoint of a precise geometric representation with early detection of geometric pathologies in the city. This platform allows citizens to query their questions about the city (such as virtual tourist routes, for instance) at home via the Web. Another objective is to apply the platform for urban management and planning and the deployment of urban data on the Web, thus promoting access to public information and querying by the citizens.

2. Methodology

Basic approaches for Geographical Information Systems (GIS) classify information into two abstraction mapping references types: vector data and raster data. The former accounts for quantitative properties that are usually repre-



Figure 1. Steps of nail placement on streets for surveying (l-r): drilling, placement and geo-location.

sented by arrays of numerical type; this representation facilitates the visualization and management through different types of tables, for instance. The latter mainly accounts for qualitative properties usually represented by attributes, and is characterized by its reliability on the representation of reality and their subsequent symbolization. Relational data structures for relational database management systems (based on SQL) can manage both types of information simultaneously. Advanced GIS allow us to reference both types of information onto maps for easy classification, geocoding and visualization, with regard to the integration into the most commonly used standards in the European Union.

The basis of any GIS project is a model for geometric and semantic description of the city and its environment. Its goal is to enable urban planning managers, architects, mobile service providers, manufacturers of navigation systems, and other professionals to be aligned with data structures and exchange data more easily. Semantic information allows thematic consultations, for example, for certain types of buildings (office buildings, medical complexes, etc.) and automatic analysis of geographic data (geoprocessing).

Project tasks has been organized into three major steps, which are described in next paragraphs.

2.1. Topography

Topography is the technology to capture spatial data by determining the position of any feature through direct measurements, which may include distances, directions (angles) and elevations. Our project has captured information using Total Station and GPS survey precision, in order to make a survey at 1/500 scale of all street furniture and changes in urban morphology as arbors, street widening, etc. The goal is to store all available information throughout the city including street furniture and all elements of public property within the municipality. Such elements are then properly geo-referenced, located and photographed, so as to know their location and current conservation status.

Firstly, we proceed with the placement of topographic vertices (drilling and insertion of nails in concrete or as-

phalt) for the local survey network and calculation of coordinates (see Figure 1). These markers are very useful for subsequent use in urban construction, deformation monitoring, urban mapping projects, orthophotography, etc. Data collected on the field are clouds of points digitally stored for visualization. With the help of sketches drawn *in situ*, such points are then identified and geo-referenced to the elements photographed during the process of capture information. This task is accomplished through tele-detection by using low-orbit satellites (about 1000 km) and high-orbit (about 20000 km) global positioning system (GPS) satellites. In particular, GPS provides a very precise location on the earth's surface for both static (accurate positioning) and dynamic (navigation) people carrying a GPS receiver. GPS technology is based on trilateration methods: three distances from points with known position (satellites) used to place (3D coordinates) of a point. These distances are determined by measuring the time it takes for a beam to travel from sender to receiver or analyzing the phase difference between the time ray emission and reception. In fact, because of the enormous distances to be measured and, consequently, the demand for quality in the receivers, it is necessary to involve four satellites in the process. At this stage, the GPS was calibrated to fit data with our local survey network. In addition, annotation of topographic points or vertices was carried out for later query through the online GIS viewer of the Municipality of Santander.

2.2. Cartography

Cartography is the technology to represent data collected and processed by topographic and photogrammetric surveying procedures onto a reference system. Nowadays, the classical 2D mapping on paper has evolved into interactive multimedia, 3D CAD (Computer Aided Design) and more recently, into Virtual Reality and Augmented Reality. Modern cartography is also closely integrated with geographic information systems. Given the cloud of points and the sketches obtained in the previous step, this step consists of obtaining a graphical representation and integration of

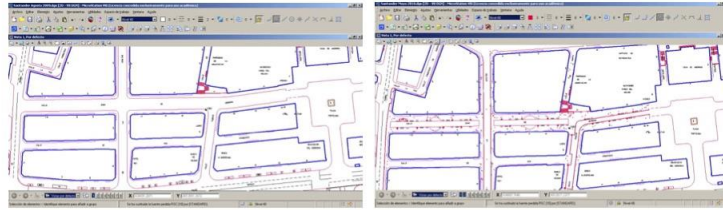


Figure 2. Cartography of the city of Santander: (left) Previous cartography (as of 2009); (right) updated cartography with street furniture (2010).

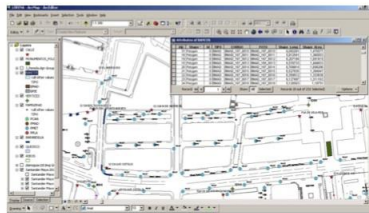


Figure 3. GIS visualization: map layers and table of attributes.

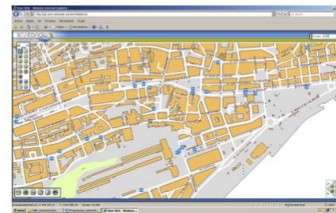


Figure 4. GIS viewer of the Municipality of Santander.

all urban assets. This step has been carried out with popular software package *MicroStation* [2]. In this project, our previous cartography, depicted in Fig. 2 (left), has been enriched with street furniture, as shown in Fig. 2 (right).

2.3. GIS

Previous steps, while necessary, do not yet allow us to identify an item and see its properties such as conservation status or otherwise. For this, we need to construct a cartographic database by using a GIS program. The map database is characterized by the fact that each record in the database is associated with a graphical element which is, in turn, a representation of a real world object.

Tasks during this phase include the development of a central repository of data (comprised of alphanumeric and graphical corporate information following a centralized, unified, standardized structure and ensuring no duplication of information) and functionally-independent web service applications of horizontal use. A modular structure facili-

tates the orderly growth of the system and its functionalities. They include: a visualization module (the Santander Municipality GIS Viewer [7]), a relational database-oriented searching engine, geocoding, metadata searching (for optimal search of information in a GIS and a portal for spatial data infrastructure), format conversion, user customization, automatic GIS update and report generation (including mixed alphanumeric and map data) and user's manual.

Although specifically designed to visualize and query spatial information data, GIS viewers are the most improved GIS component in recent years. They can save and manage sessions, change the symbols within the layers, perform spatial clustering, search for areas of influence, query the information related to a layer through data model navigation, etc. As for the choice of a free, popular desktop client with average functionality, we use ArcGIS 9.3 [5], as it provides nice features regarding data integration from both the DB Access and remote services of WMS, WCS or WFS source. It also offers advanced analysis functions (cartographic editing, spatial queries, connections between tables

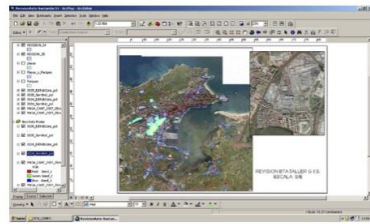


Figure 5. Sheet layer and street furniture.

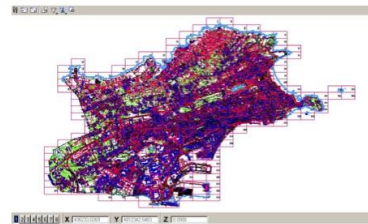


Figure 6. Cartography of the city of Santander.

and so on), and user customization.

Finally, to meet the needs of expert users, we also rely on proprietary desktop clients to perform advanced functions not supported by the system components mentioned above. To this goal, we use ArcGIS Desktop, which is connected to the spatial database through ArcGIS Server Enterprise Basic. This service plays the role of spatial middleware and simultaneously manages the storage, maintenance and exploitation of geographic information using the mechanisms of Oracle Spatial, Access or any database manager. There is also a structure, called "catalog", that manages the information necessary for the logical operation of the system, acting as a database which defines all elements and relations between them: users, modules, applications, permissions, layers, and styles. This architecture is able to provide remote services for public access to geospatial data.

Distinction should be done in this project between our GIS tool, designed for internal use within our organization, and the Spatial Data Infrastructure (SDI) module, which arises from the need to open our geo-referenced data and information to citizens. We have accomplished, therefore, two distinct but integrated projects.

In all our developments, we have followed the guidelines of the Cartographic Standards Committee of the Geographic High Council, which has closely monitored the technological and methodological changes in the cartographic process and, more importantly, given the conceptual evolution from paper and digital mapping to geographical information in the form of geographic data sets to be loaded into a GIS or integrated into a SDI. In this way, we have achieved our primary goal of harmonization of geographical databases.

3. Conclusions

In this paper we report the on-going research currently carried out in the Municipality of Santander with the goal to promote new technologies and bring our geo-referenced

data and information to citizens through our city council corporate website. The system, focused on the implementation and deployment of geographical information system services, is currently available on the web and represents a major step in the use of cartographic technology by the general public. We seek to make our citizens feel that technology is at their disposal; to this aim, it must be useful, accessible and intuitive to use. The cartographic work and provision of information in GIS format has followed these public service objectives.

The "New Technologies" employment workshop, specialized in GIS and city cartography, is an innovative educational project sponsored by the Municipality of Santander and co-funded by the Regional Government of Cantabria and the European Social Fund. Authors would like to thank those institutions and the University of Cantabria for their generous support.

References

- [1] Aronoff, S.: *Geographic Information Systems: a Management Perspective*. WDL publications (1989)
- [2] Bentley's MicroStation web site: www.bentley.com
- [3] Chang, K.-T.: *Introduction to Geographic Information Systems*. McGraw Hill (2002)
- [4] Demers, M.N.: *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons, New York (1997)
- [5] Esri's ArcGIS web site: www.esri.com/products/index.html
- [6] INSPIRE Directive web site: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
- [7] Santander GIS viewer: <http://gis.aytosantander.es:8080/visorGISaytoSantander/visorGISaytoSantander.html>

Automatic calculation of bicycle routes by combining meta-heuristics and GIS techniques within the framework of smart cities. Cosido, O., Loucera, C., Iglesias, A. Conference and Exhibition - 2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances, SmartMILE 2013. 6708196

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6708196/>

Automatic calculation of bicycle routes by combining metaheuristics and GIS techniques within the framework of smart cities

Oscar Cosido
Dpt. of Applied Mathematics and
Computational Science
Universidad de Cantabria
Santander, Cantabria, España 39005
Email: oscar.cosido@unican.es

Carlos Loucera
Dpt. of Applied Mathematics and
Computational Science
Universidad de Cantabria
Santander, Cantabria, España 39005
Email: carlos.loucera@alumnos.unican.es

Andrés Iglesias
Dpt. of Applied Mathematics and
Computational Science
Universidad de Cantabria
Santander, Cantabria, España 39005
Email: iglesias@unican.es

CEFEM: Ayuntamiento de Santander

Abstract—The automation of a city's underlying dynamic system analyses is one of the most important tasks in a Smart City. A route selection system to avoid traffic congestion where cycle tracks are integrated parts of the traffic design is an example of such a dynamic system. Ongoing traffic analysis is of vital importance for environmental and tourist reasons. Until recently, traffic data was analyzed by experts; today the huge amount of data gathered through the use of city sensors and other instruments makes this a boundless analysis for the human brain. In this paper we propose a novel method to find a cycle route in an automatic way by making use of the vast traffic and environmental information gathered in a small area of Santander. We construct our model using Soft Computing and GIS techniques, and then we resolve the resulting multi-objective NP-hard problem with population-based bio-inspired meta-heuristics

I. INTRODUCTION

The modern city could be seen as a living environment with a grade of intelligence derived from the importance of Information Technologies (ICTs) as evidenced in the vast array of sensor networks, Geographic Information System (GIS) and other infrastructures that are connected between them and the physical city through the internet; the resulting entity is the so called Smart City. At the present time humanity stands in a crossroads, on one hand cities keep growing at a fast pace and on the other hand it is necessary to preserve certain environment due to its social, cultural or scenic value. Until recently, in order to calculate an environment's anthropic impact it was needed a huge amount of human work involving such activities as periodic reports of the area, surveys, traffic experiments etc... The resulting data is terribly imprecise containing a lot of information in natural language form making it a very difficult task to deal with traditional computing techniques.

Our main goal consist of developing a methodology to deal with the computational automation of cycle routes generation and the associated anthropic impact. In recent years a new multi-disciplinary technique known as *Soft Computing* has

arose to computationally deal with all these imprecise data.

In this paper we take a look at the future of the proposed methodology's potential by making use of the GIS data shared by Santander's City Council we have attained our first goal: to build automatic descriptions of some complex phenomena through the use of Computational Theory of Perceptions (CTP) (see Zadeh's seminal paper *From computing with numbers to computing with words. From manipulation of measurements to manipulation of perceptions* [1]) and pass it as the input to a system designed to detect traffic flow conditions and the automatic computation of paths for bicycles based on traffic variance, state of the roads, crossroads and cycle routes.

The main inspiration to this work are Zadeh's seminal paper and Gracián Triviño's CTP research group at the European Centre of Soft Computing. CTP provides a framework to develop computational systems with the potential of computing with the meaning of *natural language* expressions, i.e. with the capacity of computing with imprecise descriptions of the world in a similar way that humans do it. To take a glimpse of the Soft Computing amazing possibilities, and see the fundamentals of our CTP work, we recommend to read [2], financial reports computationally generated from data taken from the Spanish Securities Market Commission, [3], generating linguistic descriptions about relevant features of the Mars Surface; of special relevance to our work are [4] (generated linguistic reports about the traffic on roundabout) and [5] (assessing reports in truck driving simulators).

Another goal, closely related to the main project, is to develop for Santander the CTP work presented in [6].

This paper is structured as follows. The current section provides an overview of our project in the Smart Cities framework and some state of the art. The next section describes the connections between urban planning, through the computation and analyses of cycle routes, and the Smart City framework. In section three we present the hybrid GIS and CTP techniques. Next we formalize the mathematical problem constructed in

the previous section. This paper ends with some conclusions and future work.

II. URBAN PLANNING AND SMART CITIES

Smart cities, as defined in the previous section, are a fast growing concept that tries to capture the future city vision, a journey to a self sustainable city. But there is also a factor of competitiveness [7] in today's pursuit of such an innovative concept; this is remarkably true in cities with a long standing bet for tourism, as in the case of Santander. The deep and not so subtle relationship between urban planning and a smart city's viability, see [8], illustrates the pressing need to focus the future city development towards an ICT's management center.

Some of the most famous ICT's companies, for example IBM, have defined a smart city as the *next step to what was Industrial Revolution*, sharing a three-phase architecture:

- 1) Data gathering.
- 2) Insight: a common and coordinated response (software exists but it is needed to integrate it into the *city*)
- 3) Conceptual map of the city: on one hand we can incorporate some sort of intelligence into the city [6] or in the other hand we can see a city as an entity with some built-in capability to perceive [8].

SmartSantander [9] is a perfect example of a Smart City, it is one of the big five approved projects in the **Seventh Framework Programme for Research by the European Commission**, under **The Future of the Internet** category. There are over 20.000 devices installed all around the city, measuring the air and water quality, luminosity, car parks, loading bays occupation, traffic flow, CO₂, noise level, etc ... Another good example of a Smart City is Málaga [10] where various ICT initiatives (energy management, communication strategies and public transport) are gearing Málaga towards the dreamed self sustainability.

In summary, we define a Smart City as a new living urban-space that in order to *perceive, learn* and *understand* what's happening around the city makes use of a growing ICT infrastructure, and then it can take better and faster decisions with all the gathered data. One common mistake is to only understand the Smart City as a technology advance; further from reality, the basic idea behind the Smart City it's efficiency at every part of the city, from a better resources management to the sustainability for both, the city and its citizens.

III. INTELLIGENT SYSTEM TO CYCLE ROUTES SELECTION

In the present paper we provide a small subset of the planned work, a prototype based on temporal data. We focus our project on *La Magdalena's peninsula*, one of the most beautiful landscapes in Santander.

Our design requires as an input the traffic data, as we will see these data contain some difficulties to compute information (*natural language variables*) so it is needed to encode it in such a way that we loss neither quantity nor quality but we can build mathematical models with it. This computational achievement is done via Soft computing techniques.

To analyse the traffic over a continuous period of time we have chosen a subset of the variables proposed in [11], the traffic has been measured with a band (also known as a car counter) and the help of a survey man who also has registered the vehicles typology.

A brief explanation of the data-gathering methodology follows.

A. Data-Gathering

The data was gathered from Sainz's *Plan director de la Magdalena* [11]. The traffic study consists of:

- 1) Quantitative information, percentage based, about private car's authorization gathered by the Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) at three different dates (August 2010).
- 2) Traffic capacity, cars with typology (private car, taxi, police car, etc ...) entering the zone at the previous dates.
- 3) Vehicles accessing the zone, day by day, from 5th to 31st (of August/2008).
- 4) Other vehicle data: Traffic data distributed in terms of timetables, daily traffic intensity (percentage)
- 5) Traffic composition by category and by in-service vehicles (type of service).
- 6) Occupation ratio for private cars, parking place occupation and traffic flow of private cars.

The principal variables to be considered are:

- Traffic/day
- Occupation ratio
- Typology
- Timetable distribution of traffic

At this point we can make use of CTPs techniques with all the gathered information in order to build a complex description of traffic that has allowed us to compute its impact on the environment and the repercussions over bikes traffic.

B. GIS and Soft Computing, an hybrid methodology

In order to compute the best cycle routes we need an accurate representation of Santander's paved way network; we decided to make use of a mathematical graph, one of the best ways to represent a city's cycle routes, roads, etc ... To build the graph three different entities are needed, namely: a set of nodes, a set of arcs connecting the nodes and a set of attributes providing information about both, nodes and arcs. For a more formal description see the next section.

The set of nodes and arcs, so called skeleton of a graph, has been built almost exclusively by making use of the existing GIS infrastructure, see fig. 1 for a visualization. We completed the associated geospatial database with the Computational Theory of Perceptions (CTP) work previously done.

With a view to further complete the GIS associated database we have considered three types of citizen: tourist, sportsmen and casual citizen.

Each user gives a different *weight* to each paved way based upon its characteristics, classified with subjective (beauty,



Fig. 1. Magdalena's Peninsula GIS visualization

cultural content and patrimonial value) and measurable parameters (accessibility, traffic intensity, street's shape, gradient).

The subjective parameters are collectively codified through the use of a powerful soft computing technique known as Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).

Our design has been planned out with an eye towards the future i.e. it's easy to follow the same methodology to add more variables into the database and then into the graph.

IV. MATHEMATICS AND COMPUTATION

A. Experiment Overview

The experiment can be divided in three main phases, namely:

- 1) Gather, pre-process and prepare data.
- 2) Build a multi-objective graph.
- 3) Resolve the multi-objective graph.

The first phase, as seen in the previous section, consists of gather data from various sources (GIS, Human Experts, Sensor Network), pre-process the data (normalization, cleaning, transformation i.e. the usual data mining techniques, see for example [12]) and finally complete the resulting dataset with Soft-Computing techniques.

Like many real world problems, the automation of finding a cycle route in such a complex system as a city involves several, usually conflicting, objectives. In order to model the inherent complexity of a city's communication network, a small portion of Santander in our proposal, we build a graph by making use of the GIS data.

Let $\mathcal{G} = (N, E)$ be the resulting graph where N represents the set of nodes and $E \subseteq N \times N$ the set of edges, also known as *arcs*; $\{f_i : \mathcal{G} \rightarrow \mathbb{R}\}_{i=1}^{i=n_f}$ the n_f objective functions to be minimized, $\{w_i : E \rightarrow \mathbb{R}\}_{i=1}^{i=n_w}$ the n_w functions that map each edge to its set of weights, also known as costs, and $\{\nu_i : N \rightarrow \mathbb{R}\}_{i=1}^{i=n_\nu}$ the n_ν functions that map each node to its set of attributes. The minimization of $\{f_i\}_{i=1}^{i=n_f}$ is classified as *NP-hard*, to resolve the problem we propose an adaptation of the Ant Colony Optimization (ACO) and Multi Objective Ant Colony Optimization (MOACO) algorithms as presented in [13] and [14], [15] respectively.

In the interest of clarifying the above mathematical representation of the problem to be resolved we present a few examples.

- 1) Node attributes

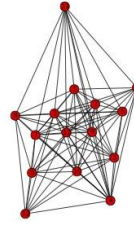


Fig. 2. A graph with 18 nodes and 88 edges

- Traffic flow significance
 - Tourism relevance
 - Danger level
 - Capacity
 - Number of vehicles
- 2) Edge weights
 - Distance between the nodes connected by the arc
 - Average time estimated to traverse the arc
 - Maximum traffic flow
 - Arc gradient
 - 3) Objective functions
 - Effort: a linear combination of *Distance*, *Gradient* and *Time*
 - Environmental impact
 - Dangerousness: a measurement of the danger level of a given solution

B. Building a graph

The *graph phase* has two clearly differentiated stages. On one hand it is strictly necessary to construct the *graph skeleton*, $\mathcal{G} = (N, E)$, and the associated set of weights, costs, and attributes and on the other hand we have to mathematically build the objective functions. See fig. 2 for an example graph.

As previously seen, \mathcal{G} is based on the GIS data.

To build up a solution we need two set of nodes, a set $O = \{o_1, \dots, o_{n_o}\} \subset N$ labelled as *origins* and another one $G = \{g_1, \dots, g_{n_g}\} \subset N$ labelled as *goals*, holding $O \cap G = \emptyset$. It should be noted that if $n_f = |G| = |O| = 1$ we are dealing with a traditional *shortest path* problem, if $n_f > 1$ a *multi-objective shortest path* and so on.

In order to compute $\{\nu_i\}_{i=1}^{i=n_\nu}$ and $\{w_i\}_{i=1}^{i=n_w}$ we have developed a classification system:

- Direct Attributes** Those that can be directly computed, as for example *node capacity*, *edge distance*, *arc gradient* etc ...
- Expert Attributes** Those that can be computed through Soft Computing techniques (mainly Fuzzy Inference System (FIS)) based on expert's data. For example: *Tourism relevance*
- Neuro Attributes** Those attributes where there isn't enough expert's knowledge gathered we build

an ANFIS. For example we compute an *edge's dangerousness* (a real number) by using some attributes (*danger level* of the edge's associated nodes, *average Traffic flow* etc ...) as input parameters for the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).

C. Multi Objective Optimization

For a multi objective problem there does not exist a single solution that minimizes all the involved objective functions, so there must be trade-offs between the conflicting objectives. Thus the solution of a multi objective problem is a set of solutions.

If x and y are two given solutions, x is said to dominate y if $\forall i \in \{1, \dots, n_f\} : f_i(x) \leq f_i(y)$ and $\exists j \in \{1, \dots, n_f\} : f_j(x) < f_j(y)$ where $\{f_i\}_{i=1}^{n_f}$ are the n_f objective functions to be minimized.

The set of all non dominated solutions is called the *Pareto Set*.

D. Bio inspired meta-heuristics

The increasingly complexity of computational problems is very difficult to solve with traditional optimization algorithms, in recent years a new set of algorithms based on specialized meta-heuristics has emerged as a way to resolve the problem. The range of real problems solved through the use of such algorithms is astonishing, from curve fitting in manufacturing facilities [16] to medicine [17]. The MOACO algorithm belongs to a subset of those meta-heuristics, the bio inspired ones, more specifically Swarm Intelligence Optimization (SIO) since it is based on the collective behavior of a population of ants.

The *traditional* algorithm is based on the studies of the collective behaviour of *real world* ants within a colony. Lets suppose that the ants are in search of a food source, initially they wander randomly, when one ant finds a food source it returns to the colony's nest lying down a pheromone trail. When other ants find such a path they can stop the random walking, follow the trail and reinforce it with their own pheromones. The stronger a pheromone trail is, the easier it will to another ant to follow it. Over time, pheromones start to evaporate making longer paths less suitable than shortest ones, thus avoiding the first paths encountered (in mathematical terms the ants avoid locally optimal solutions).

We follow the indications proposed in [14] to build up an easy to modify algorithm.

We have developed a generic algorithm with n_f pheromone matrices, one for each objective function: $\{\tau_i\}_{i=1}^{n_f}$. Each ant is what we call a *multi-ant* since it search n_O paths, a path ends when it reaches any *goal*-labelled node. To better understand the algorithm we provide a sample *pseudocode* in 1.

To compute the non dominated subset of solutions of a given set and its refinement we have implemented the *Fast Non Dominated Sort* and *Crowding Distance Assignment* algorithms presented in [18].

Algorithm 1 Main algorithm

```
sol ← []
Initialize the  $n_f$  pheromone matrices
Initialize each multi-ant contributed pheromone
while Stopping criteria not met do
5: Build a solution for each multi-ant in colony
   Calculate each multi-ant contributed pheromone
   Update pheromone matrices
   Extend sol with each multi-ant
   Ensure that sol only holds the non-dominated multi-ants
10: Refine sol with the Crowded Comparison Operator
   Reset each multi-ant contributed pheromone
end while
return sol
```

V. CONCLUSION

The Smart City framework study and definition done during completion of this prototype, has allowed us to discover the vast amount of Applied Soft Computing and Intelligent Data Management (mainly GIS) techniques that can be employed in order to automate a city's events monitoring and management; from this paper's intelligent cycle route management to the future contribution to such a vital area as urban planning.

The hybrid techniques (GIS, CTP, SIO) developed trough this paper a promising future for geospatial technological developments as we expect to reduce its inherent fuzziness by the model precision with meta-heuristics techniques.

A. Future Work

Presently we are conducting our research towards the development of a complete computational tool for **Intelligent System to Cycle Routes Management** in collaboration with the Instituto Universitario de Urbanística (IUU) (Universidad de Valladolid); with such an expert team is possible to increase the tool scope (security, prevention and natural risks management)

ACKNOWLEDGEMENT

We want to thank **Gracián Triviño** and his research team at the *European Centre for SoftComputing* to guide us along the Computational Theory of Perceptions (CTP) world; **Luis Santos y Ganjes** and **José Luis Lalana** at the Instituto Universitario de Urbanística (IUU) of *Universidad de Valladolid* for the orientation received to develop an urban planning application.

The *Centro de Formación y Empleo del Ayuntamiento de Santander (CEFEM)* deserve special thanks for sharing the data, without whom it would have been impossible to even start the prototype.

REFERENCES

- [1] L. Zadeh, "From computing with numbers to computing with words. from manipulation of measurements to manipulation of perceptions," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 46, no. 1, pp. 105-119, Jan. 1999. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=739259>



- [2] S. Mendez-Nunez and G. Trivino, "Combining semantic web technologies and computational theory of perceptions for text generation in financial analysis." *IEEE*, Jul. 2010, pp. 1–8. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5583974>
- [3] A. Alvarez-Alvarez, D. Sanchez-Valdes, and G. Trivino, "Automatic linguistic description about relevant features of the mars' surface." *IEEE*, Nov. 2011, pp. 154–159. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6121647>
- [4] G. Trivino, A. Sanchez, A. S. Montemayor, J. J. Pantrigo, R. Cabido, and E. G. Pardo, "Linguistic description of traffic in a roundabout." *IEEE*, Jul. 2010, pp. 1–8. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5584060>
- [5] L. Eciolaza and G. Trivino, "Linguistic reporting of driver behavior: Summary and event description." *IEEE*, Nov. 2011, pp. 148–153. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6121646>
- [6] A. Alvarez-Alvarez, D. Sanchez-Valdes, G. Trivino, . Snchez, and P. D. Surez, "Automatic linguistic report of traffic evolution in roads," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 12, pp. 11293–11302, Sep. 2012. [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417412006227>
- [7] A. Caragliu, C. Del Bo, and P. Nijkamp, *Smart cities in Europe*. Vrije Universiteit, Faculty of Economics and Business Administration, 2009.
- [8] L. G. Anthopoulos and A. Vakali, "Urban planning and smart cities: Interrelations and reciprocities," in *The Future Internet*, D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell, M. Naor, O. Nierstrasz, C. Pandu Rangan, B. Steffen, M. Sudan, D. Terzopoulos, D. Tygar, M. Y. Vardi, G. Weikum, F. Ivarez, F. Cleary, P. Daras, J. Domingue, A. Galis, A. Garcia, A. Gavras, S. Karnourkos, S. Krco, M.-S. Li, V. Lotz, H. Miller, E. Salvadori, A.-M. Sassen, H. Schaffers, B. Stiller, G. Tselentis, P. Turkama, and T. Zahariadis, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, vol. 7281, pp. 178–189. [Online]. Available: http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-642-30241-1_16
- [9] "SmartSantander," [Accessed 2013-10-08 19:00:43]. [Online]. Available: <http://www.smartsantander.eu/>
- [10] "Smart city malaga," [Accessed 2013-10-08 19:03:42]. [Online]. Available: <http://smartcitymalaga.com/>
- [11] E. Sainz, "Plan director de la magdalena," 2011.
- [12] I. H. Witten, *Data mining: practical machine learning tools and techniques*, 3rd ed., ser. Morgan Kaufmann series in data management systems. Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2011.
- [13] M. Dorigo, *Ant colony optimization*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2004.
- [14] M. Lopez-Ibanez and T. Stutzle, "The automatic design of multiobjective ant colony optimization algorithms." *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 16, no. 6, pp. 861–875, Dec. 2012. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6151110>
- [15] P. Cardoso, M. Jesus, P. Guerreiro, P. Ribeiro, A. Marquez, and J. Portillo, "Two multi-criteria evolutionary algorithms for a multi-path evacuation problem." 2012. [Online]. Available: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Prague/ECC/ECC-20.pdf>
- [16] A. Galvez and A. Iglesias, "A new iterative mutually coupled hybrid GAPSO approach for curve fitting in manufacturing." *Applied Soft Computing*, vol. 13, no. 3, pp. 1491–1504, Mar. 2013. [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1568494612002918>
- [17] D. S. Goodsell and A. J. Olson, "Automated docking of substrates to proteins by simulated annealing." *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, vol. 8, no. 3, pp. 195–202, 1990.
- [18] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II." *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, vol. 6, no. 2, pp. 182–197, Apr. 2002.



Hybridization of convergent photogrammetry, computer vision, and artificial intelligence for digital documentation of cultural heritage-A case study: The Magdalena palace. Cosido, O., Iglesias, A., Galvez, A., (...), Teran, L., Sainz, E. Proceedings - 2014 International Conference on Cyberworlds, CW 2014. 6980785, pp. 369-376

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6980785/>

Hybridization of convergent photogrammetry, computer vision, and artificial intelligence for digital documentation of cultural heritage. A case study: The Magdalena Palace

Oscar Cosido^{1,2}, Andrés Iglesias^{1,3}, Akemi Gálvez¹, Raffaele Catuogno⁴, Massimiliano Campi⁴, Leticia Terán⁵, Esteban Sainz²

¹Dpt. of Applied Mathematics & Computational Sciences, Universidad de Cantabria
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Avda. de los Castros, s/n, 39005, Santander, SPAIN

²Municipal Center for Training and Employment (CEFEM)
Santander City Council, Santander, SPAIN

³Department of Information Science, Faculty of Sciences, Toho University
2-2-1 Miyama, 274-8510, Funabashi, JAPAN

⁴Dpt. of Architecture, Università Degli Studi di Napoli Federico II, Naples, ITALY

⁵A12 Design, Santander, SPAIN

Abstract—Digital documentation of cultural heritage is a very important issue that is receiving increasing attention from the scientific community. The availability of accurate 3D models of historical buildings is crucial to preserve our cultural heritage, because it allows us to reconstruct them in case of fortuitous collapse or intentional demolition or damage. In this paper, we present a new approach for the digital documentation of cultural heritage. Our approach is based on a hybridization of different techniques for data capture and processing and image analysis, with the aim of obtaining 3D models from images and the texturing of these models. In particular, we rely on convergent photogrammetry as way to acquire information about the real objects for generation of 3D models. We also apply computer vision and artificial intelligence techniques for further processing of all acquired data. As a result, we have developed a new way to obtain digital documentation of cultural heritage from data by using accurate reverse engineering techniques. Our methodology has been successfully applied to the digital documentation of a famous historical building in the city of Santander: the Royal Palace of Magdalena, the conference venue of this conference Cyberworlds'2014.

Keywords-Digital documentation; cultural heritage; historical buildings; convergent photogrammetry; 3D models

I. INTRODUCTION

Cultural heritage is one of the most important legacies we can give to our future generations. Many cultural assets (buildings, monuments, artworks, books, etc.) are so valuable that we want to protect and preserve them for current and future generations. They are also often unique and irreplaceable, so it is very important to ensure we take all available measures to ensure their proper documentation and preservation. From this point of view, the digital documentation of cultural heritage is a very important task for effective preservation.

Algorithms for digital reconstruction of real 3D objects are receiving significant attention during the last few years,

not only in computer vision but also as valuable tools for a variety of applications in medicine, manufacturing, robotics, archeology, and many other fields that require modeling of three-dimensional real environments. For instance, the availability of accurate 3D models of historical buildings is crucial to preserve our cultural heritage, because it allows us to reconstruct them in case of fortuitous collapse or intentional demolition or damage.

In addition, overlaying reality with a virtual model provides augmented reality images, a very powerful tool for the study of reconstructions and restorations prior to its construction, enabling the assessment of its aesthetic appearance, the integration into the environment, and even studies on its visual impact. It also allows the prompt application of corrective actions before the problems actually appear. Finally, these virtual reality models facilitate the online disclosure and dissemination of cultural heritage over the Internet anytime and anywhere. There are many other possible applications of this technology. For instance, to obtain valuable information by data extraction about the geometry of the individual elements of the object, e.g. the size of the blocks of a building, the position of their center of gravity, volume, orientation, and so on.

In this paper, we present a new approach for the digital documentation of cultural heritage. Our approach is based on a hybridization of different techniques for data capture and processing and image analysis, with the aim of obtaining 3D models from images and the texturing of these models. In particular, we rely on convergent photogrammetry as way to acquire information about the real objects for generation of 3D models. We also apply computer vision and artificial intelligence techniques for further processing of all acquired data. As a result, we have developed a new way to obtain digital documentation of cultural heritage from data by using accurate reverse engineering techniques.



Figure 1: Aerial photograph of Magdalena Palace.

Our methodology has been successfully applied to the digital documentation of a famous historical building in the city of Santander: the Royal Palace of Magdalena (see Figure 1), the conference venue of this conference Cyberworlds'2014. It is very important to remark that, although the building is relatively modern (it was constructed during the period 1908-1912), there are no previous blueprints or technical drawings of this building, beyond the original freehand drawings of the architects of the building (see Figure 2) and a few rough drawings of the internal reform accomplished in the 90s. With our approach, we have been able to carry out a very accurate documentation of the palace. In fact, our image information has been processed and stored metrically, so we can obtain the exact measures of all architectural elements directly from the images without the need of a physical contact with the building.

II. STATE OF THE ART

There are several approaches described in the literature for the reconstruction of 3D objects. Roughly, they can be classified into four groups:

- 1) Multi-view techniques: they allow to generate three-dimensional models from a set of images, typically acquired by using two or more image sensors. If two or more images are available, then the position of a 3D point can be found as the intersection of two or multiple projection rays through triangulation. These methods require accurate camera calibration prior to the image acquisition step. Once the images are obtained, depth determination is performed in order to compute the missing depth of such images. A central step is the correspondence between pairs of images finding matches between them so that the position of the matched elements can then be triangulated in 3D space. The reader is referred to [1] for a nice survey about multi-view techniques.
- 2) Mobile Camera techniques: also known as active vision techniques, they allow to extract 3D information



Figure 2: Original drawing by Magdalena Palace's architects.

from data obtained through the flight of a moving camera through the scene. Note that in this case, camera parameters are constantly changing, so the classical camera calibration is no longer possible [2].

- 3) Structured light techniques: they use 3D scanning devices to obtain measurements of the three-dimensional shape of an object using projected light patterns and a camera system. They are based on the distortion effect produced by the projection of simple patterns, generated by coherent light or laser light, from other perspectives than that of the projector to extract the three-dimensional geometric information of the surface shape [3]. They are also active vision techniques in the sense that we can manipulate the viewpoint in order to analyze the environment and obtain better information from it.
- 4) Laser telemetry techniques: they determine the depth map of the scene based on the elapsed time between the emission and detection of a laser pulse sent to a target and is reflected back onto a receiver [4].

Currently, the creation of virtual models from 3D measurements of real objects is increasingly used due to the continuous improvement of the technology involved. Its scope is expanding, from multimedia presentations and navigable network models to the use in professional environments such as architecture, engineering, and construction, where high accuracy is required. The addition of color and textures is also a very important feature.

One of the main objectives of many works in the literature is the automation of the whole textured process [5]. Control points or marks on the building are often used for this purpose [6]. Also we can look for points and characteristic lines with the photogrammetric methods in images [7]. The first phase in the textured pattern creation is the three-dimensional acquisition. There are various technologies to do it depending on what we intend to acquire: if we have simple shapes, it is solved using photogrammetry and for complex shapes modeling, scanning laser is usually preferred. Photogrammetry requires a lot of work of specialized users to achieve the desired quality and accuracy in three-dimensional modeling.



The second phase is to acquire the color information that will be associated with the geometric information. Again, we have several possibilities: a low-resolution solution is to use the color measured by incorporating a sensor in the scanner; we can also use a high-resolution digital camera to take pictures from every position; finally, we can use a camera attached to the scanner [8]. A less used possibility is to measure color using a spectrograph [9], which provides very accurate color information, but the complexity associated with this method make it only advisable in very specific cases. The use of a camera in free position make possible to optimize the illumination and the observation point and generally offers more flexibility in terms of image capture. The drawback of this method is that it requires a calibration for each camera position (manual calibration system: assigning pairs of corresponding points). With a camera attached to the scanner we lose flexibility; however, it is sufficient to use a single exchange matrix of calibration calculated with many points of quality (determined, for example, using a total station).

The final phase is to project the color information from the photograph on the 3D model. Normally, the three-dimensional models are formed by triangles, therefore, it is necessary to incorporate the color information to each surface of the pattern. There are many proposals regarding the automatic recognition of patterns or objects on images. A recent one combines artificial vision and automatic recognition using Machine Learning techniques, using pass filters related in spatial form aided by geo-referencing of objects and the use of SVM (Support Vector Machines) [10].

III. OUR METHOD

Our method is based on the hybridization of different techniques for data capture and processing and image analysis to obtain 3D models and their textures from images.

A. Phase 1: Data capturing with convergent photogrammetry and drone flights.

Our starting point is the creation of a topographical network using GPS and a total station. To this aim, we make an exhaustive review of available documentation and cartography of the area and the building. We need to know, a priori, the distances of the facades, width of the streets and woodland position. Then, using laser distance or total station, we obtain the raising of the approximate position of woodland, urban furniture, the perimeter of the building, the length and height of building facades, etc. to generate the planning of the photographic shoot. From the schematic drawing of the building facades with a CAD program, we carry out the study of the photographic coverage, taking into account the characteristics of the digital camera: frame size, pixel size, and the desired scale to obtain the final cartography, which in this case is in a 1:100 scale.

Once photographic coverage is planned, we should establish the basis of the network of the survey, which will be used as stations from which we make the radiation of the control points. Then, we performed data acquisition by combining techniques of terrestrial photogrammetry and flights with drones and micro-drones. The decision to use convergent photogrammetry was taken after a comparative analysis of the costs and the feasibility of modeling the building by using alternative techniques such as terrestrial LIDAR technology (laser-scan) to capture information of the facades and the interior of the building. Our approach makes the project less automatic for information capture, but with more possibilities of automation in processing because we deal with images of 3D models formed by clouds of points obtained by stereo-correlation for mesh generation. The stereo-correlation technique uses the principle of binocular vision that means the measurement of the same object following two different angles. It allows to measure the 3D geometry of an object or the displacement for each coordinates of the surface by recording a pair of stereoscopic pictures relating to each stage of deformation. On the other hand, structured light and laser telemetry techniques yield very accurate models but are highly dependent on the geometry of the object and need very controlled environments. On the contrary, the stereoscopic vision based on triangulation between a point of the scene and, at least, two projections of this point on images taken from different perspectives, is one of the most widely used techniques for three-dimensional reconstruction, due to its robustness and its lower computational and economic cost. Our solution of taking convergent photographs to the building also simplifies model texturing and orthophoto production.

On the other hand, we also integrate new methods of data capture into our system. For instance, information acquisition of the facades and the roof of the building was performed by using an airborne camera in a four-airscrew drone. The goal was to capture the facades by taking photos with an oblique flight, and the roofs with aerial or normal position of the perspective beam of the camera to the roof. Our system is comprised of the unmanned Aircraft (UA), control systems such as the Ground Control Station (GCS), devices for information storage and transfer, and other support equipment. The drone also carries sensors that capture information from the field during flight. This information is either retained in the drone flash memory device or transmitted in real time to a control station via Wi-Fi, the unit responsible of information analysis and of control of the ship [11]. A very interesting option of the drone is the "automatic" flight mode in which we can introduce our own previously-designed routes. Other features include a USB port connection, so you can rescue the footage recorded by your camera at 720p. during full action, pressure sensors, gyroscopes, and a miniaturized inertial measurement unit tracking the pitch, roll and yaw, an ultrasonic altimeter for



Figure 3: (left) micro-drone flight; (right) image of the roof from its frontal camera.

use in stabilization, and a 3D magnetometer to optimize the orientation. Furthermore, the GPS + INS system contains all the sub-systems used to capture geographic information. We also tested the use of a micro-drone to analyze the generation of low-cost models (see Figure 3). This option is specially attractive because it provides a very economical alternative to the expensive professional drones and its smaller size allows a closer approximation to the building without risk of collision. On the negative side, the micro-drone provide less flexibility for camera movement and its mounted camera has less resolution.

B. Phase 2: Point cloud optimization and stereo-correlation

Next step involves the application of computer vision techniques to the restitution of the three-dimensional wireless model, the two-dimensional representation of the facades and the creation of the orthoimagery of the building. An image contains a lot of data, most of which provides very little information to interpret the scene. A computer vision system should, as a first step, extract in the most robust and effective form possible, certain features that give us as much information as possible. These features must satisfy (among other conditions) that:

- their extraction from the image must not involve an excessive cost to the system in which it is integrated. Total extraction time must be as small as possible.
- their location must be very precise. Also, feature error estimation must be as small as possible.
- they must be robust and stable.

Next paragraphs discuss the extraction of features we used in image analysis (points, lines and circles).

1) *Point extraction*: From the computational point of view, two approaches have been proposed to detect this type of geometric features:

- Methods that obtain the points as intersection of edges or as substantial changes of the slope between two edges, and thus are preceded by an extraction of edges.
- Methods that works directly on gray images, i.e., not require prior extraction of edges.

A typical method for extracting characteristic points is given by the vanishing points, which are the geometric and structural support of an image in perspective or oblique. In this sense, they represent points of interest that are determined by the intersection of edges or vanishing straight lines. They can be computed by straight intersection method, a very simple approach (arguably the simplest one) but limited to determine the intersection of two straight perspectives. In general, the efficiency of these methods depends directly on the quality of the method used for obtaining edges. In case the edge detection algorithm do not locate the edge points correctly, it can hardly detect vanishing points exactly. Also, this pre-processing of the edges adds extra computation time to the process.

Another approach for obtaining feature points is described in [12]. Given a rectangular window, the operator calculates the exchange value of the image intensity when we move this window slightly. A corner is then characterized by high intensity changes. The drawback is that this approach is highly sensitive to noise. In a later work [13] this approach is extended by incorporating knowledge of edge and multi-resolution, and an analytical study of the corner model. That work was later expanded in [14] with a new method for detecting characteristic points that exhibits robustness against noise. The method is performed in a similar way to that in Moravec operator, but by calculating the first-order derivatives of the image. However, the location of the points is not entirely accurate.

The alternative to vanishing points methods is given by the corner points. Three methods to detect corners are presented in [15]. Schematically, the consists of:

- 1) using the product of intensity gradient and the gradient direction at a point of the image as a measure of "corner degree".
- 2) using the difference between the gradient directions of neighboring points, which are perpendicular to the gradient direction of the point, as a measure of "corner degree".
- 3) locating 2 points, A and B in a 3×3 neighborhood with similar value of gray to the point C under consideration. The difference in the direction between the vectors CA and CB is a measure of "corner degree".

Once this measure is applied, we delete the false candidates to maintain only the single point in the neighborhood. A similar approach is taken in [16] where corners are detected at the points where significant changes of gradient occur along the edges. In [17], [18], [19], their authors define the operators for the calculation of curvature on a particular neighborhood using the first, second and third order derivatives, of any Gaussian function. In [20] 12 different masks are used to detect different types of corners. They make use of an edge detector to eliminate false candidates. In [21] the concept of space scale is introduced and the location of



Figure 4: Detection of main lines of the building.

corners is determined studying the characteristics of these in the space. The work in [22] is also based on the concept of scale space to determine the location of a corner. Finally, the approach in [23] provides a fast and robust against noise method (not using image derivatives) and the location of the characteristic points provide good results. In a second step, the algorithm finds the most likely corner point within the window of interest. This is relatively simple: the point is determined as the weighted center of gravity of all points within the window, with the product of the gradient of rows and columns as weight.

2) *Line extraction*: The gradient and Laplacian methods by themselves, do not provide a quality solution for the extraction of lines. To overcome this limitation, we apply the Hough transform for lines. We define a line as a collection of edge points that are adjacent and have the same direction. The Hough transform is an algorithm that takes a collection of edge points found by an edge detector and it searches all lines on which these edge points are. The basic idea is to convert the edge points to the parameter space. The Hough transform is an algorithm of "voting", resulting of the set of points that are part of a straight line. From this point of view, the array of counters in the parameter space can be estimated by a histogram. Total final votes, will be a coordinate counter, that will indicate the relative probability of the null hypothesis that a line with a set of parameters exists in the image. It consists of next steps: (1) detection of the edge pixels of the straight line using a edges filter; (2) set up of a dimensional parameter space, the search space and a sufficiently accurate quantization; (3) sweep the image so that each edge pixel leads to a straight line: the cells for which "passes" this line receive a "vote". In theory, all the pixels belonging to the same line (in the spatial representation) are straight (in the domain of parameters) that are cut in the same cell (in the representation of parameters): the straight line will be the most voted cell. The Hough transform has several important features. Firstly, as all points are processed independently, it deals well with

occlusions. Secondly, it is relatively robust to noise, since the erroneous points will not contribute consistently and only generate background noise.

3) *Circle extraction*: The point-line duality exploited in the Hough transform for lines can also be exploited for circles. If we know the radius, the domain of the parameters of each circle consists of the coordinates of the center of the circle, so each circle is represented by a point and symmetrically, a point in the spatial domain is represented in the parameter domain by a circle, formed by all points representing all the circles (spatial domain) which can pass through the point (spatial domain). Thus strategy to extract circles by the Hough transform consists of: (1) edge pixels detection of the circles by an edge filter; (2) set up of a domain of parameters whose dimensions are the proper search space and a sufficiently accurate quantization: the quantization of the pixels in the original image, (3) we sweep the image so that each pixel labeled as edge produces a circle with radius K centered on itself. The cells belonging to the circle receives a "vote".

C. Phase 3: Generation of the definitive 3D model, orthorectification of the images and 3D model texturing.

After setting the relational description of the entities of correspondence and how to measure the degree of similarity, we compute a correspondence scheme. The most common way to find the solution is using a tree of search [24]. Trees are formed by nodes and arcs. Starting at a root node, they descend through the ancestor nodes to reach the leaf nodes. The connection between two nodes is performed through arcs. The primitives $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ of a relational description are called units and the primitives of the description that you want to match, i.e., $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ are called tags. The size or depth of the tree is defined by the maximum path with the lowest cost.

The final step is to obtain a three-dimensional model of the object. To achieve this goal, once cards or artificial marks of the object are detected in the image, we obtain the corresponding points to those corners in the rest of

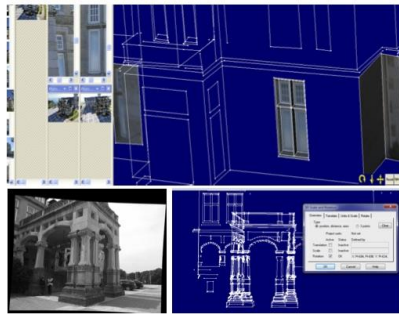


Figure 5: (top) Rendering of a window; (bottom) photo and model of the portico.

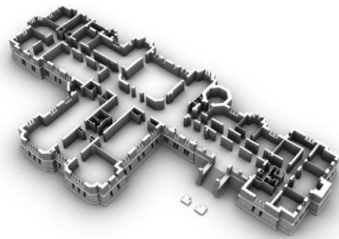


Figure 6: Geometric model with facade and internal layout.

the images. By knowing the basic points of the image, we compute the epipolar straight lines in the other image using the fundamental matrix. The corresponding points to the right image will be on those lines, so that the search area in the image is reduced. To search the epipolar straight lines, a correlation between the intensity of the point on the left image and its surroundings is set up, with the points that form the epipolar straight line and its neighbors. So that, we compare each detected corner, windows size $N \times N$ centered on that corner, with the points of the epipolar line and surroundings. Once the surfaces are created by triangulation, we allocate the materials onto these surfaces. We also compute light interaction between the 3D model and the light sources of the scene for more realistic viewing effects. We also improved the wire mesh model by exporting it to a CAD program and cleaning and correcting the fault lines of the building. A 3D model was also achieved for the



Figure 7: Untextured 3D model.



Figure 8: Orthophotos of the Magdalena Palace.

interior of the building.

1) *Orthophotographs creation*: At this step we perform orthoprojection to transform a perspective in an orthogonal projection. The goal is to correct the displacement caused by the tilt of the camera and the depth of the items in the image, for example, the balconies. Obtaining a correctness metric similar to the cartography attached in the present work. With this procedure, we obtain an image in which all the elements appear completely perpendicular to the viewpoint and with the same scale. The process takes into account the



Figure 9: Aerial orthophotography of the Magdalena Palace.

three-dimensional position of all polylines and points that have been created in the model, and fits the real surface to a mathematical surface formed by flat triangular elements. This triangle mesh allows interpolation between depth values of each vertex, generating an elevation digital model. Finally, applying texture to these triangles, image is deformed, pixel by pixel until it reaches a reliable magnitude. The creation of orthoimages for this work has been very difficult due to the amount of existing changes in the depth of building (see Figure 8). This forced us to sub-divide each facade into several fragments, depending on the depth element. The roof was treated separately, by using the aerial shots taken from the drones (see Figure 9). Figure 8 shows two screenshots of the 3D model with orthophotos. Finally, we have also generated a stereoscopic model for full 3D visualization through anaglyph glasses (see Figure 11 for two examples of this kind of images).

IV. FUTURE WORK

This work provides the basis for future development of a framework on which for digital documentation of cultural heritage and its 4D representation, where we can aggregate spatially localized attributes to the 3D representation, such as the temperature emitted by the building or others [25]. In addition we also plan to apply machine learning techniques to improve the automation process of our methodology.

ACKNOWLEDGEMENT

This research has been supported by the Computer Science National Program of the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness, Project Ref. #TIN2012-30768. We also acknowledge the support and assistance from the staff of the Magdalena Palace and the CEFEM center of Santander City Council, the University of Cantabria, and the School of Industrial Engineering and the Institute of Urban Planning of the University of Valladolid.



Figure 10: Textured 3D model (facade).

REFERENCES

- [1] Seitz, S. M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., Szelski, R.: "A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms". *Proc. of Comp. Vision & Pattern Recognition 2006*. IEEE CS, Vol. 1 (2006) 519-528.
- [2] Andrew I. Comport, Eric Marchand, Francois Chaumette, "Robust model-based tracking for robot vision". *IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04*, Sendai, Japan, September, 2004.
- [3] Fechteler, P., Eisert, P.: *Adaptive Color Classification for Structured Light Systems*. Image Processing Department, Berlin, Germany.
- [4] Kirchner, A. Heinrich, T.: "Model based detection of road boundaries with a laser scanner". *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Vehicles*, Stuttgart, Germany (1998) 93-98.
- [5] Andreetto M., Brusco N., Cortelazzo G.: *Automatic 3D modeling of textured cultural heritage objects*, Department of Information Engineering, University of Padova (2003).
- [6] Grammatikopoulos L., Kalisperakis I., Karras G., Kokkinos T., Petsa E.: "Automatic multi-image photo-texturing of 3d surface models obtained with laser scanning". *CIPA Int. Workshop on Vision Techniques Applied to the Rehabilitation of City Centres*, Lisbon (2004).
- [7] El-Hakim, S. F., Beraldin, J.-A., Lapointe, J.-F.: "Towards Automatic Modeling of Monuments and Towers". *IEEE Proc. of Int. Symp. on 3D Data Processing Visualization and Transmission*, Padova, Italy (2002).
- [8] Williams N., Low K., Hantak C., Pollefeys M., Lastra A., *Automatic Image Alignment for 3D Environment Modeling*, University of North Carolina(2004).
- [9] Ikari A., Masuda T., Mihashi T., Matsudo K., Kuchitsu N., Ikeuchi K.: "High Quality Color Restoration using Spectral Power Distribution for 3D Textured Model", *11th International Conference on Virtual Systems and Multimedia* (2005).
- [10] Zwalb, F., Mcallester, G.: "Deformable Parts Models". *IEEE Pami* (2010).
- [11] Niethammer et al.: "UAV-based remote sensing of land-slides". *Int. Archives of Photogrammetry, RemoteSensing and Spatial Information Science*, 496-501, 2010.

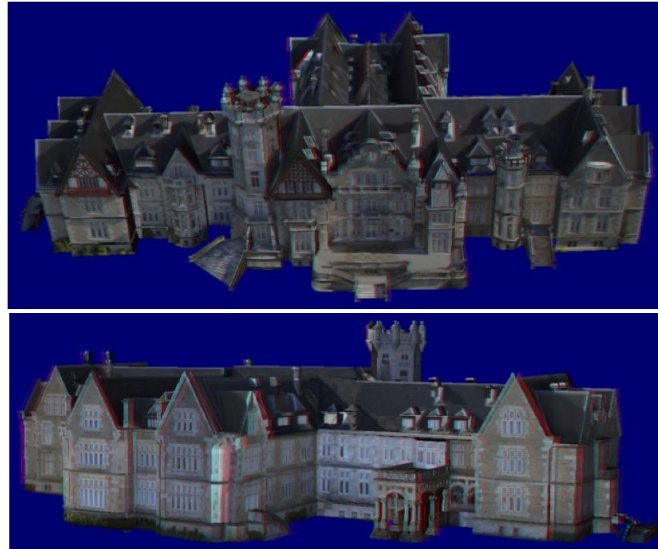


Figure 11: Two views of the stereoscopic model of the Magdalena Palace.

- [12] Moravec, H.: *Obstacle avoidance and navigation in the real world by a seeing robot rover*. Technical Report CMU-RI-TR-3, Carnegie-Mellon University (1980).
- [13] Deriche, R., Giraudon, G.: "A computational approach for corner and vertex detection". *Int. J. of Computer Vision*, 10 (1992) 101-124.
- [14] Harris, C., Stephens, M.: "A combined corner and edge detector". *Proc. of Fourth Alvey Vision Conference*, Manchester (1988) 147-151.
- [15] Kitchen, Rosenfeld: "Grey level corner detection". *Pattern Recognition Lett.* (1985) 95-102.
- [16] Zuniga, O.A., Haralick, R.M.: "Corner detection using the facet model". *Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition* (1983) 30-37.
- [17] Koenderink, J.J., Richards, W.: "Two-dimensional curvature operators". *J. of the Optical Society of America*, 5(7) (1988) 1136-1141.
- [18] Mehrotra, R., Nichani, S., Ranganathan, N.: "Corner detection", *Pattern Recognition*, 23(11) (1990) 1223-1233.
- [19] Dreschler, L., Nagel, H.H.: "Volumetric model and 3D trajectory of a moving car derived from monocular TV-frame sequence of a street scene". *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 20(3) (1981) 199-228.
- [20] Rangarajan et al.: "Optimal corner detector". *Computer Vision Graphics Image Processing*, 48 (1989) 230- 245.
- [21] Vasselie, B., Giraudon, G., Berthod, M.: "Following corners on curves and surfaces in the scale space". *Proc. of the European Conference on Computer Vision* (1994) 109-114.
- [22] Alvarez, L., Morales, F.: "Affine morphological multiscale analysis of corners and multiple junctions". *International Journal of Computer Vision* (1997) 95-107.
- [23] Smith, S.M., Brady, J.M.: "A scene segmenter; visual tracking of moving vehicles". *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (1994) 191-204.
- [24] Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., Lu, A.: "Techniques for data hiding", *IBM Systems J.* 35(3-4) (1996) 313-336.
- [25] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: "Implementation and deployment of geographical information system services in the municipality of Santander". *Proc. of ICCSA'2011, IEEE CS* (2011) 267-270.



Hibridación de las técnicas de escáner-láser, fotogrametría convergente, visión artificial y el uso de drones para la documentación inteligente de la Catedral de Santander. Oscar J. Cosido Cobos, Oscar Ruiz López, Jesús M. Sendino Posada, Pedro Sarabia, Leticia Terán Vega, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, José Pereda Llamas, Antolín Lorenzana Ibán. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.



Hibridación de las técnicas de escáner-láser, fotogrametría convergente, visión artificial y el uso de drones para la documentación inteligente de la Catedral de Santander

Oscar J. Cosido Cobos^{1,2}, Oscar Ruiz López³, Jesús M. Sendino Posada³, Pedro Sarabia², Leticia Terán Vega^{1,3}, Massimiliano Campi⁴, Raffaele Catuogno⁴, José Pereda Llamas⁵, Antolín Lorenzana Ibán⁵

¹ Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
Universidad de Cantabria
39005, Santander, España

² CEFEM, Ayuntamiento de Santander
39009, Santander, España

³ 3D INTELLIGENCE S.L.
Santander, Spain

⁴ DiARC, Department of Architecture
University of Naples FEDERICO II
Via Forno Vecchio, 36
80134 Napoli (Italy)

⁵ Dpto. C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce 59. 47011 Valladolid

oscar.cosido@unican.es, oscar.ruiz@3dintelligence.es, jesus.sendino@3dintelligence.es,
pedrosarabia137@yahoo.es, leticia.teran@3dintelligence.es, campi@unina.it, raffaele.catuogno@gmail.com,
pereda@eii.uva.es, ali@eii.uva.es

Resumen

Dentro de la ciudad de Santander, podemos encontrar dos partes históricas diferenciadas, la Puebla vieja, parte más antigua de la ciudad, donde se ubica la catedral y la puebla nueva. Se ha montado un equipo de trabajo para el estudio y levantamiento arquitectónico del edificio histórico, mediante la colaboración surgida entre la empresa 3D Intelligence, La Universidad de Cantabria, la Università degli Studi di Napoli “Federico II” y la Escuela - Taller del Ayuntamiento de Santander, así se han ido generando una serie de proyectos para la documentación digital del Patrimonio de la Ciudad de Santander [COSIDO et al. - 2014] como comienzo del análisis y modelado tridimensional de la evolución histórica de la ciudad. Para ello hemos utilizado una nueva metodología para la comprensión del Paisaje Urbano Histórico [LALANA - 2011], intentando validar los conceptos más novedosos en el campo del patrimonio cultural [LALANA y SANTOS - 2011].

Palabras Clave



Catedral de Santander; Drones; Fotogrametría; Visión Artificial

Abstract: Inside the Santander city, we can find two different historical areas, the “Puebla Vieja”, the oldest part of the city where is located the cathedral, and the “Puebla Nueva”. A team of work was created for the study and for the architectural survey of the historic building. By means of the emerged collaboration between the 3D Intelligence company, the University of Cantabria, the university “Degli Studi di Napoli - Federico II”, and the school-workshop foundation of Santander, a serie of projects for the digital documentation of the Santander city heritage [COSIDO et al. - 2014] have been generated as the beginning of the three-dimensional modeling and analysis of the historical evolution of the city. For this we used a new methodology for understanding the Historic Urban Landscape [LALANA - 2011], trying to validate the newest concepts in the field of the cultural heritage [LALANA y SANTOS - 2011].

Keywords: Drones; Machine Vision; Photogrammetry; Santander Cathedral

1. Introducción

El conjunto monumental de la catedral de Santander constituye el mejor y más antiguo testimonio inmueble conservado del pasado histórico de la capital de Cantabria. El inmueble ha sufrido a lo largo de su historia muchas vicisitudes que han dejado su huella en la actualidad. Las tragedias de la explosión del Cabo Machichaco, a finales del siglo XIX, los problemas de asentamiento del edificio principal y, sobre todo, el incendio de la ciudad de 1941, modificaron en gran medida su estructura original, que ya había sido ampliada con capillas, accesos y otras obras menores a lo largo de las edades Media y Moderna. Es sede de la diócesis de Santander a partir de 1754.

Los monumentos integrados en este conjunto: Iglesia Baja, Colegial y Claustro, se edificaron sobre estructuras preexistentes, romanas y medievales, que se asentaban en el cerro de Somorrostro -o de San Pedro-, accidente orográfico que se elevaba a 19 m sobre el nivel del mar desde el que se protegía el puerto situado en su vertiente norte.

Durante las intervenciones arqueológicas realizadas en el conjunto monumental de la Catedral, durante las campañas de los años 1982 y 1983 se excavaron varias estructuras de cronología romana atribuidas a construcciones relacionadas con la preparación y defensa para las estructuras que se levantaron en el lugar a partir del cambio de Era.

Por encima de estas construcciones se descubrieron los restos de una antigua iglesia fundada por Alfonso II en el año 791. La construcción, *ecclesia* de San Emeterio *trasaqua*, aparece citada en el segundo testamento de Ordoño I (857) como una decanía de la iglesia de Latas.

La abadía y el puerto de San Emeterio también se mencionan en un documento apócrifo de 1068 en el que consta una donación del rey Sancho II. Se cita en otros documentos de la catedral de Burgos y en un pergamino algo posterior en el que figura una concesión al abad



3.3 Desarrollo de la tercera fase del Trabajo

Esta fase fue realizada entre la empresa 3D Intelligence y la Universidad de Cantabria. Esta fase se realizó entre mayo y agosto de 2014. Para ello se cogieron fotos precisas de cada parte y elemento a destacar en su catalogación. Se desarrollaron modelos 3D inteligentes a partir de la segmentación de objetos en las imágenes y su clasificación mediante técnicas de Machine Learning. Mediante los algoritmos experimentales desarrollados para este proyecto, que tuvieron como base la implementación de Redes Neuronales.



Fig. 3: Resultado del proceso de Segmentación del frontis del sepulcro de Escalante

A partir de aquí se exportaron y se generaron las nubes de puntos por estereocorrelación que dieron lugar a los modelos 3D reutilizados dentro de la visita virtual 360°, realizada en esta fase y enriquecida con la realizada por el grupo de Nápoles durante la primera fase.



Fig. 4: Resultado final de los modelos 3D Inteligentes. A la izquierda entrada a la Colegial desde el claustro, a la derecha panda sur del claustro.

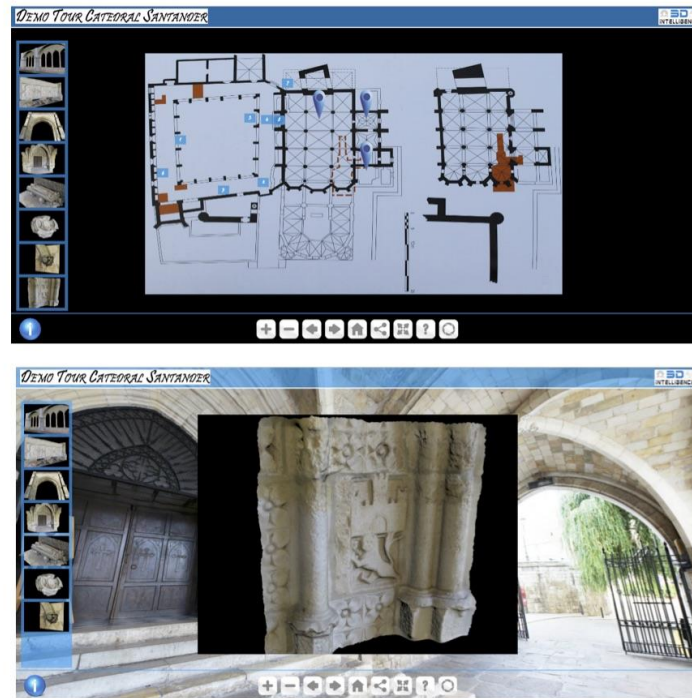


Fig. 5: Visita virtual 360° de la Catedral, con los modelos 3D obtenidos por nuestra metodología.

4. Conclusiones

No se pueden ignorar los beneficios del uso del Escáner-Láser frente a otros métodos en términos de precisión y en tiempo de procesado: el escáner láser ofrece la posibilidad, en un tiempo muy limitado, de adquirir una gran cantidad de datos espaciales, con los que es posible reconstruir la geometría del objeto detectado. Para cada pulso de láser emitido por el escáner, el sensor adquiere, junto con los datos de topología, el valor de la reflectancia. Este valor nos permite distinguir los distintos materiales presentes; la combinación de los datos del sensor y una cámara, en la mayoría de los casos integrados, permite colorear los puntos de la nube.



Documentación 3D del patrimonio industrial ferroviario, estudio del depósito de locomotoras de Cajo – Santander. Oscar J. Cosido Cobos, José Luis Lalana Soto, Oscar Ruiz López, Jesús M. Sendino Posada, Leticia Terán Vega, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, José Pereda Llamas, Esteban Sainz Vidal. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.



Documentación 3D del patrimonio industrial ferroviario, estudio del depósito de locomotoras de Cajo – Santander.

Oscar J. Cosido Cobos^{1,2}, José Luis Lalana Soto^{3,4}, Oscar Ruiz López³, Jesús M. Sendino Posada³, Leticia Terán Vega^{1,3}, Massimiliano Campi⁵, Raffaele Catuogno⁵, José Pereda Llamas⁶, Esteban Sainz Vidal²

¹Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
Universidad de Cantabria
39005, Santander, España

²CEFEM, Ayuntamiento de Santander
39009, Santander, España

³3D INTELLIGENCE S.L.
Santander, Spain

⁴Instituto Universitario de Urbanística
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid
Avda. Salamanca, 18
47014 - Valladolid, España

⁵DiARC, Department of Architecture
University of Naples FEDERICO II
Via Forno Vecchio, 36
80134 Napoli (Italy)

⁶Dpto. C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce 59. 47011 Valladolid

oscar.cosido@unican.es, jlalana@ono.com, oscar.ruiz@3dintelligence.es, jesus.sendino@3dintelligence.es, pedrosarabia137@yahoo.es, leticia.teran@3dintelligence.es, campi@unina.it, raffaele.catuogno@gmail.com, pereda@eii.uva.es, esainz@santander.es

Resumen

Los trabajos de documentación tridimensional del patrimonio industrial de Santander, que se llevan a cabo por iniciativa propia de los autores del artículo, cuentan con la colaboración de la Escuela – Taller del Ayuntamiento de Santander, la Universidad de Cantabria, la Universidad Degli Studi di Napoli “Federico II”, la Universidad de Valladolid y la empresa Renfe Operadora. Dentro de este proyecto se ha realizado la documentación del depósito de locomotoras de Cajo, pieza clave del patrimonio industrial ferroviario de Santander.

Palabras Clave

Depósito de Locomotoras; Patrimonio Industrial; Fotogrametría; Escáner - Láser

Abstract*: The works of three-dimensional documentation of the industrial heritage of Santander, which are carried out on the initiative of the authors of the article have the cooperation of the School - Workshop of the City of Santander, University of Cantabria,



La característica principal del uso del Escáner - Láser fue la rapidez de captura de la información y descarga en postproceso. La primera parte, se realizó con el sistema de adquisición de datos a través de un TLS (Terrestrial Laser Scanner, Escáner Láser Terrestre), que ofrece ventajas claras con respecto a la fiabilidad de las medidas y de la adquisición de datos rápida. Otro aspecto positivo de este método es la conversión de datos para diferentes plataformas de software utilizado para cualquier tipo de diseño asistido o diseño gráfico. Esta versatilidad es especialmente ventajosa cuando la colaboración internacional requiere plataformas de uso que no siempre coinciden.

Para el resto del proyecto utilizamos la hibridación de técnicas de fotogrametría convergente y visión artificial para la obtención de los modelos 3D que completarían las visita 360º realizada. En la comparativa hemos visto que no hay una técnica mejor que otra, de hecho, la hibridación de técnicas nos ha permitido un modelo adecuado para cada escala y distintas necesidades.

Dentro de los proyectos de estudio de la evolución de la ciudad, el modelado tridimensional del Patrimonio Histórico es muy importante para la comprensión de la dinámica de crecimiento desde el origen histórico. En el caso de Santander, donde los cambios morfológicos han sido muy grandes, el estudio del cambio morfológico de la Catedral nos ha ayudado a comprender los distintos eventos surgidos a lo largo de la historia. Este trabajo es continuación de los trabajos conducentes al modelado 3D completo de la ciudad de Santander y se pretende sumar al resto del Modelado 3D de ciudades puesto en marcha.

Agradecimientos

Queremos agradecer este artículo a la colaboración internacional surgida entre la Università Degli Studi di Napoli "Federico II", al departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación de la Universidad de Cantabria y al CEFEM del Ayuntamiento de Santander. Especialmente a Esteban Sainz Vidal por su apoyo incondicional a este proyecto.

Bibliografía

Artículo en revista científica o congreso:

- [1] Cosido O., Catuogno R., Glvez A., Iglesias A., Loucera C., Cappellini V., Campi M., Sainz E. *Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa: El Palacio de la Magdalena en Santander*. Rehabend 2014.
- [2] Lalana Sato J.L. *El Paisaje Urbano Histórico: Modas Paradigmas y Olvidos*. Revista Ciudades N° 14. Año 2011, pp. 15-38.
- [3] Lalana Soto J.L., Santos Gangles L. *El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano*. VIII Congreso Ibérico de Urbanismo. Portugal, Octubre 2011.
- [4] Casado Soto, J.L. Febrero 1941. El incendio de Santander. Cantabria en Imagen, Santander. 2001.
- [5] Casado Soto, J.L.; Polo, J. La catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado. Edit. Edilesa, León. 2002.



University of Naples "Federico II" University of Valladolid and the company Renfe Operator. Within this project has been made the documentation of locomotive depot Triggerfish, key industrial heritage railway Santander piece.

Keywords:

Tank Locomotives; Industrial Heritage; photogrammetry; Scanners - Laser

1. Introducción

El ferrocarril constituye uno de los capítulos fundamentales del patrimonio industrial, y dentro de la explotación técnica ferroviaria, uno de los elementos más característicos en la época de la tracción vapor son los depósitos de locomotoras. Las particulares exigencias de la locomotora de vapor, unidas a las características del servicio ferroviario precisaron el desarrollo de un sistema de explotación, y unas instalaciones en las que concentrar la organización y las operaciones necesarias para asegurar la tracción de los trenes: los depósitos. En lo fundamental, y aunque existe una variada casuística según las circunstancias concretas de cada caso, la época, el país o la propia compañía ferroviaria, hasta el punto de que se puede afirmar que no hay dos depósitos iguales, el esquema y la organización básicas de este tipo de establecimientos fue similar en cualquier red ferroviaria del mundo.

Las funciones de un depósito de locomotoras abarcaban, pues, cuestiones muy diversas: la organización y distribución del trabajo del personal de conducción (maquinistas y fogoneros) y de las máquinas, según el tipo de servicio que se tenía que realizar y las características de la infraestructura, las labores de mantenimiento habitual que precisaba la locomotora así como la preparación para el servicio activo (encendido, orientación), el abastecimiento de las materias primas que consumía (combustible, agua, grasa, arena...) y la reparación de las averías, normalmente las que se producían en el servicio habitual, aunque en ciertos casos con capacidad para llegar hasta las grandes reparaciones. [Lalana Soto, José Luis - 2011].

En la época de la tracción a vapor, el depósito de máquinas era, por tanto, una pieza esencial en la explotación técnica ferroviaria, y, además de un establecimiento industrial concreto, hay que tener presente también que era una estructura organizativa, la cabeza de una organización jerárquica y una demarcación territorial: cualquier punto de una línea férrea pertenecía a un depósito, y a lo largo de la misma podían existir instalaciones auxiliares, que dependían del depósito de referencia (en el caso de Cajo, la reserva de tracción de Reinosa y el puesto fijo de Alar). Para hacernos una idea de la importancia relativa de cada uno de estos establecimientos, y aunque los números varían ligeramente según la fuente que se consulte, en 1942 el depósito de Cajo mantenía una dotación de 44 locomotoras de vapor, y contaba con 253 trabajadores en



total, de los cuales 209 estaban en Cajo, 28 en la reserva de Reinoso y 16 en el puesto fijo de Alar.

Con la retirada del servicio de las locomotoras de vapor, que en la red de ancho ibérico española se terminó en 1975, y la dificultad de adaptación de este tipo de instalaciones a las exigencias de los nuevos vehículos ferroviarios, buena parte de estos establecimientos han ido desapareciendo, algunos porque han seguido en funcionamiento, y para ello han tenido que sufrir profundas transformaciones, y la mayor parte de ellos porque ya no eran necesarios para los nuevos modos de tracción ferroviaria. Así, a día de hoy, sólo un reducido número de los aproximadamente 50 depósitos que existían en las diversas compañías que conformaban la red de ancho ibérico en 1941, la época de creación de red nacional (Renfe), siguen existiendo, en diferentes grados de conservación. [Wais San Martín, Francisco - 1987].

Uno de ellos es el Depósito de Santander-Cajo, una instalación que, siguiendo una práctica común en pequeñas compañías ferroviarias, se construyó con la misión de servir de depósito y de talleres generales por el Ferrocarril de Isabel II, que desde comienzos de la década de 1850 había iniciado la construcción de una línea férrea entre Alar del Rey (Palencia) y Santander, enlazando el final del Canal de Castilla con el puerto de Santander. La construcción de la línea no se completaría hasta 1866, sobre todo por las dificultades del tramo Reinoso-Bárcena, pero se fueron abriendo diversos tramos a la circulación y proyectando y construyendo las instalaciones necesarias para la explotación. Cayetano González de la Vega, ingeniero jefe de la compañía y autor del proyecto del depósito y los talleres, anunció, en la Memoria sobre el estado y progreso de las obras de la sección Reinoso-Bárcena presentada a la Junta General de Accionistas de 1865, que “se ha terminado también el nuevo depósito de locomotoras de Cajo, así como el desmonte que ha sido necesario ejecutar entre este edificio y el de los talleres de reparación. Este depósito se halla ya en servicio, y establecidas las principales vías de comunicación entre una y otra dependencia, así como la segunda entre dicho depósito y la estación de Santander”.

En 1874, el Ferrocarril de Alar a Santander fue absorbido por la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España, aunque el depósito de Cajo se mantuvo a cargo de la tracción en la línea Alar-Santander (más el ramal de Quintanilla a Barruelo), y así siguió también tras la creación, en 1941, de una empresa nacional -Renfe- que integraba toda la red de ancho ibérico española. [Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España - 1940].

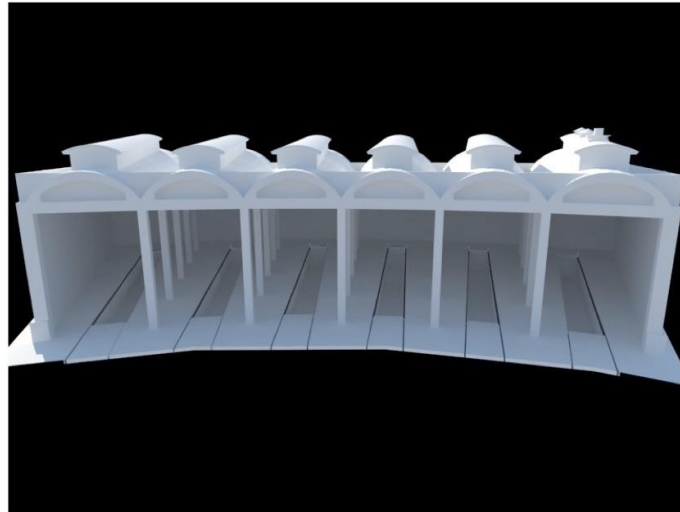
En un depósito de locomotoras el edificio más visible y característico, que además es el que articula la ordenación de todos los elementos que lo componen, es el cocherón donde se estacionan las máquinas que están siendo revisadas o reparadas, de ahí que en español se le suele denominar con el mismo término (‘depósito’) que al conjunto de la instalación, al igual que ocurre, por ejemplo, con el vocablo ‘estación’.

El cocherón original, el construido a partir del proyecto de Cayetano González de la Vega en la década de 1860, tenía una forma muy poco habitual, ya que albergaba en el interior de una pequeña rotonda de forma elíptica dos plataformas giratorias, constituyendo así un ejemplo de diseño único en nuestro país, pero del mismo apenas se conserva documentación. Hacia 1955 el conjunto de las instalaciones ferroviarias de Cajo fue profundamente remodelado, demoliendo la configuración antigua y levantando los edificios que hoy existen.

Todavía hoy siguen funcionando, aunque las características actuales de la explotación ferroviaria y del material rodante han cambiado fundamentalmente las necesidades del mantenimiento, y con ellas las de las instalaciones a él dedicadas.



En la parte realizada por fotogrametría, utilizamos los datos para generar el modelo 3D con el que poder hacer el modelo geométrico que nos ayudó en la salida de los planos del edificio catalogado como depósito de locomotoras.



Modelo Geométrico simple del depósito de locomotoras de Cajo-Santander

Conclusiones

Para este proyecto utilizamos la hibridación de técnicas de fotogrametría convergente escáner – láser para la obtención de los modelos 3D que completarían las visita 360° realizada. En la comparativa hemos visto que no hay una técnica mejor que otra, de hecho, la hibridación de técnicas nos ha permitido un modelo adecuado para cada escala y distintas necesidades.

Dentro de los proyectos de estudio de la evolución de la ciudad, el modelado tridimensional del Patrimonio Histórico Industrial es muy importante para la comprensión de la dinámica de crecimiento desde el origen funcional. En el caso de Santander, donde los cambios morfológicos han sido muy grandes, el estudio del cambio morfológico de la configuración ferroviaria nos ha ayudado a comprender el crecimiento urbano hacia el interior. Este trabajo es continuación de los trabajos conducentes al modelado 3D completo de la ciudad de Santander y se pretende sumar al resto del Modelado 3D de ciudades puesto en marcha por iniciativa propia del grupo de trabajo.



Bibliografía

- [1] Archivo General de la Administración.
[2] Archivo Histórico Ferroviario y Biblioteca Ferroviaria - Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Libros:

- [3] Cueto Alonso, Gerardo J. (2013): "La renovación del espacio ferroviario de Cajo (Santander, Cantabria) durante el primer franquismo", en *VI Congreso para la conservación del patrimonio industrial y de la obra pública en España*, organizado por TICCIH-España y celebrado en Madrid del 12 al 15 de junio de 2013.
[4] Lalana Soto, José Luis (2011): "Los depósitos de locomotoras en España: una visión desde el patrimonio", *Transportes, Servicios y Telecomunicaciones* n° 20, pp. 188-205.
[5] Lalana Soto, José Luis y SANTOS Y GANGES, Luis (2013): "Retos metodológicos en el estudio, evaluación y tratamiento del patrimonio ferroviario", en *VI Congreso para la conservación del patrimonio industrial y de la obra pública en España*, organizado por TICCIH-España y celebrado en Madrid del 12 al 15 de junio de 2013.
[6] NORTE [Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España] (1940): *Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España (1858-1939): Historia, actuación, concesiones, ingresos, gastos y balance*. Espasa Calpe, Madrid.
[7] Wais San Martín, Francisco (1987): *Historia de los ferrocarriles españoles*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Madrid. 3ª edición.



Virtualización de Museos y edificios singulares mediante ingeniería inversa y JavaFX. El caso de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander. Óscar J Cosido Cobos ; José Pereda Llamas; Leticia Terán Vega; Andrés Iglesias Prieto; Esteban Sainz Vidal. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014.



Virtualización de Museos y edificios singulares mediante ingeniería inversa y JavaFX. El caso de la Biblioteca Menéndez Pelayo en Santander.

Óscar J Cosido Cobos ^{1,2}; José Pereda Llamas³; Leticia Terán Vega¹; Andrés Iglesias Prieto¹; Esteban Sainz Vidal²

¹ Dpto. Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
Universidad de Cantabria
Avda. de los Castros s/n
39005, Santander, España

² Centro de Formación y Empleo Municipal(CEFEM) , Ayuntamiento de Santander
Marqués de la Ensenada, s/n (Antiguo Instituto del Barrio Pesquero), 2ª Planta
39009, Santander, España

³ Dpt. De resistencia de materiales y estructuras, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce, 59
47011, Valladolid, España

oscar.cosido@unican.es, pereda@eii.uva.es, leticia.teran@3dintelligence.es, iglesias@unican.es,
esainz@santander.es

Resumen

Con la escuela taller de nuevas tecnologías de Santander, se ha llevado a cabo recientemente, la virtualización de las zonas históricas y culturales de especial relevancia de la ciudad. El siguiente paso será la creación de recorridos digitales a través de estos edificios. Para lo que se está utilizando un gran número de técnicas de modelado en 3D, incluyendo la fotogrametría y la visión por ordenador, con el fin de proporcionar los modelos. Con el uso de la nueva tecnología JavaFX 3D también estamos desarrollando nuevas formas de navegación a través de estos modelos.

Palabras Clave:

Modelado 3D, fotogrametría, visión por ordenador, JavaFX 3D

Abstract*: During in-school workshops on new technologies recently developed at the City of Santander, the virtualization of historical and cultural regions of special relevance to the city have been achieved.

The next step will be the creation of digital tours over these buildings. A wide number of techniques of 3D modeling are being used, including photogrammetry and computer vision, in order to provide the models. With the use of the new 3D JavaFX technology we are also developing new ways of navigation through these models.

Keywords: 3D modeling, photogrammetry, computer vision, JavaFX 3D



1. Introducción

Los principales analistas coinciden en que el Sector Tecnológico, por su carácter transversal, se ha convertido, para cualquier actividad económica e industrial, en un motor de impulso muy beneficioso, afectando a la competitividad del sector y estableciendo una brecha entre aquellos que toman ventaja de su uso y aquellos otros más rezagados.

Con este objetivo de mejorar la competitividad de las empresas y la productividad de las administraciones, se propuso la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías, en el que los trabajadores del sector tecnológico, principalmente desempleados, puedan aumentar sus conocimientos a la vez que realizan una serie de proyectos para el Ayuntamiento de Santander, orientados a mejorar de forma global los servicios ofrecidos a los ciudadanos. De esta manera, se crea un beneficio mutuo tanto para el trabajador como para el Ayuntamiento [1].

Como Objetivos principales del taller de empleo se persigue:

- Aprendizaje de las técnicas de fotogrametría Convergente
- Modelado 3D de patrimonio histórico a partir de fotografías digitales
- Publicación de esos modelos 3D realizados en entornos urbanos

Por ello, la característica más importante de esta Escuela - Taller es la utilidad pública, como servicio de información urbana supramunicipal hacia el ciudadano. Los ciudadanos y visitantes de la ciudad podrán consultar la localización de los servicios y equipamientos sociales dentro del término municipal de Santander. Se pretende poner al servicio del ciudadano las Nuevas Tecnologías, este participará como usuario final de las mismas.

En los últimos años, los algoritmos para la reconstrucción de objetos reales en 3D han recibido una atención significativa, no sólo en la visión artificial, sino también como herramientas para una variedad de aplicaciones en medicina, fabricación, robótica, arqueología y otros campos que requieren modelado en tres dimensiones de ambientes reales.

Se planteó el estudio de una nueva metodología de visualización tridimensional de objetos que, dada la versatilidad de aplicaciones potenciales, tendría algunas aplicaciones en el área de ingeniería biomédica.

Nuestra motivación principal son las aplicaciones geomáticas o geo-informáticas, como pueden ser la reconstrucción de ciudades, edificios históricos o museos para visitas virtuales permitiendo al usuario la visión georreferenciada y escalada del lugar.

Otra motivación de los autores, es la reconstrucción en tres dimensiones aplicada al ámbito industrial, como puede ser la creación de modelos CAD en 3D para luego fabricar prototipos o la reconstrucción mediante ingeniería inversa (y su gestión espacial, eje principal de este trabajo). También ligado con el perfil docente de los autores, el propósito de la reconstrucción en 3D en visión artificial permitirá analizar las características de una imagen, de tal forma que se podrá detectar, localizar y reconocer objetos en imágenes. Por ejemplo, si se recrea un modelo tridimensional de una escena, este modelo podría ser utilizado por un robot para navegar por la escena.

El producto final de este trabajo es la documentación digital de un edificio considerado como patrimonio histórico, de forma que su fortuito derrumbe o demolición no impida el poder volver a construirlo de forma precisa como si de una réplica se tratase.



- [1] Ayuntamiento de Santander: www.ayto-santander.es
- [2] Servicio Cántabro de Empleo: www.empleacantabria.com
- [3] Visor GIS del Ayuntamiento de Santander:
<http://gis.aytosantander.es:8080/visorGISaytoSantander/visorGISaytoSantander.html>
- [4] Oracle, Java Development Kit (JDK) 8: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/April2104>.
- [5] OpenJFX Project: <http://openjdk.java.net/projects/openjfx/>
- [6] Biblioteca Menéndez Pelayo: <http://www.bibliotecademendezpelayo.org>

Artículo en revista científica o congreso:

- [7] Ahuja, N. "Active Stereo: Integrating Disparity, Vergence, Focus, Aperture, and Calibration for Surface Estimation", IEEE Trans. on Pattern Ana. & Mach. Intell. Vol. 15, No. 10, Octubre 1993.
- [8] Andreetto M., Brusco N., Cortelazzo G., (2003) "Automatic 3D modeling of textured cultural heritage objects", Department of Information Engineering, University of Padova.
- [9] Beraldin et al., "Virtual Reconstruction of Heritage Sites: Opportunities and Challenges Created by 3D Technologies" (2005). International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage.
- [10] El-Hakim, S. F., Beraldin, J.-A., Lapointe, J.-F., (2002) "Towards Automatic Modeling of Monuments and Towers", IEEE Proceedings of the International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, Padova, Italy.
- [11] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: "Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander". ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [12] Cosido, Oscar & López, Conrado "Stereowebmap: 3D Cartography Server" GISCOAST 2007.
- [13] Dea, C., Heckler, M., Grunwald, G., Pereda, J. & Phillips, S., "JavaFX 8 Introduction by Example", Apress, 2nd Edition, June 2014, ISBN 978-1-4302-6460-6.
- [14] Hartley, R. y Zisserman A., "Multiple View Geometry", Cambridge University Press, Marzo 2004.
- [15] Kersten et al., "3D Acquisition, Modelling and Visualization of North German Castles by Digital Architectural Photogrammetry" (2004) .ISPRS WG V/2 Scene Modelling an Virtual Reality.
- [16] Krotkov, E.P., "Active Computer Vision by Cooperative Focus and Stereo", Springer-Verlag, NY, 1989.
- [17] Niethammer et al., "UAV-based remote sensing of landslides"(2010). International Archives of Photogrammetry, RemoteSensing and Spatial Information Science p. 496-501.

Navegación 3D y virtualización de los espacios universitarios para la gestión y difusión del patrimonio cultural de la Universidad de Cantabria. Óscar J. Cosido Cobos, Leticia Terán Vega, Jesús M. Sendino Posada, Óscar Ruiz López, Nuria García Gutierrez, Elena Martín La Torre, José Pereda Llamas. Congreso Bienal AR&PA. Valladolid, 2014. (Incluidas 3 de varias páginas).



Navegación 3D y virtualización de los espacios universitarios para la gestión y difusión del patrimonio cultural de la Universidad de Cantabria

Óscar J. Cosido Cobos ^{1,2}, Leticia Terán Vega ^{1,3}, Jesús M. Sendino Posada ³, Óscar Ruiz López ³, Nuria García Gutierrez ⁴, Elena Martín La Torre ⁴, José Pereda Llamas ⁵

¹ Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación.
Universidad de Cantabria
39005, Santander, España

² Centro de Formación y Empleo Municipal (CEFEM)
Ayuntamiento de Santander
39009, Santander, España

³ 3D INTELLIGENCE S.L.
Santander, España

⁴ Vicerrectorado de Cultura, Participación y Difusión
Universidad de Cantabria
39005, Santander

⁵ Dpto. C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce 59. 47011 Valladolid

oscar.cosido@unican.es, leticia.teran@3dintelligence.es, jesus.sendino@3dintelligence.es,
oscar.ruiz@3dintelligence.es, nuria.garcia@unican.es, vr.cultura@unican.es, pereda@eii.uva.es

Resumen

Desde el Vicerrectorado de Cultura de la Universidad de Cantabria se ha propuesto, a la vez que se realiza la nueva página Web del área, el modelado 3D del Campus Universitario para la generación de visitas virtuales al patrimonio cultural de la Universidad.

Dentro de esta iniciativa, se ha realizado un prototipo fruto de la investigación con las distintas modalidades o técnicas. Una vez realizado el estudio y escogidas las técnicas más apropiadas para el interés divulgador, se ha realizado el prototipo de modelado 3D y virtualización de todos los espacios principales del Campus, para poder incluirlo en la nueva Web de la Universidad que permitirá la difusión de todo el patrimonio cultural. Si a estas ideas se suma la tipología de Campus disperso y dividido en distintos campus a su vez, creemos que es de sumo interés poder agrupar toda la información en una plataforma web accesible a toda la sociedad.

Palabras Clave

Modelado 3D, web semántica, virtualización de espacios, fotogrametría.



Abstract*: The Vice-Rectorate for Culture of the University of Cantabria has proposed, the 3D modeling of the campus, with the aim to generate virtual visits to cultural heritage of the University, at the same time that the new website of the area is performed.

Within this initiative, as result of this research with different modalities and techniques, we obtained a prototype. Once the study was done and the most appropriate techniques was selected for the educational interest.

We have performed the prototype of the 3D modeling and the virtualization of all major areas of the campus, to include it in the new University website allowing the diffusion of all cultural heritage.

If we add the typology of dispersed and divided campus into different campuses in turn, we believe that it is very interesting to group all the information in a web platform accessible to the entire society.

Keywords: 3D modeling, semantic web, spaces virtualization, photogrammetry.

1. Introducción

La Universidad de Cantabria tiene apenas cuarenta años de existencia, poco si se comparan con otras universidades más antiguas como la de Salamanca, Alcalá de Henares, Oviedo, etc. En todas ellas, la Extensión Universitaria es un área básica a la hora de acercar estas instituciones a la sociedad de sus comunidades autónomas. En el caso de la UC sus Estatutos, indican que la institución “organizará, mantendrá y fomentará servicios de Extensión Universitaria con el fin de proyectar la labor de la Universidad y difundir la ciencia y la cultura a toda la sociedad”. En el caso que nos ocupa, un proyecto de estas características supone un trabajo de investigación, inventario, catalogación y difusión sobre el patrimonio mueble e inmueble de nuestra institución. En los últimos años, algunas universidades como Oviedo [1], Zaragoza [2], Córdoba [3] o Barcelona [4] han desarrollado diversas páginas de acceso a su patrimonio universitario, con mayor o menor grado de detalle.

En la actualidad, debido a la crisis económica, la conservación del patrimonio y su acceso por parte de la sociedad se está viendo reducido. La falta de recursos reduce las horas de apertura de los edificios, el número de propuestas culturales, problemas de conservación, falta de presupuesto para restauraciones del patrimonio, etc. Ante este hecho, se está haciendo necesario otro tipo de plataformas de difusión que ayuden a la Extensión Universitaria. Además, en el caso del Patrimonio Universitario, como en el de otras instituciones, las características y peculiaridades de algunos materiales no permiten su continua exhibición por cuestiones de conservación, por ejemplo los materiales cuyo soporte es papel, como las piezas de obra gráfica dentro del patrimonio artístico, patrimonio documental, bibliográfico o científico.



5. Conclusiones

La fotogrametría digital, gracias a la implementación de técnicas híbridas, con otras derivadas de la Visión Artificial, permite llevar a cabo este tipo de trabajos con recursos relativamente bajos (con la posibilidad de utilizar herramientas gratuitas y/o de código abierto). La precisión métrica alcanzada a través de este tipo de técnicas, así como el volumen de información obtenido es muy superior a la alcanzada por medio de los métodos de documentación clásicos.

Las visitas 360°, por su parte, se han convertido ya en una pieza clave dentro de los proyectos de virtualización del patrimonio. Hasta ahora los esfuerzos se centraban en la generación de modelos 3D de objetos y estructuras. Actualmente el objetivo es proporcionar una inmersión cada vez más real que permita la exploración de los espacios generados virtualmente y su divulgación a la sociedad, a través de plataformas Web.

En este proyecto hemos generado un prototipo original, mezclando la realidad virtual con la precisión de los modelos obtenidos mediante técnicas de ingeniería inversa, de tal forma que la posición y geometría de objetos y edificios tiene la suficiente precisión para considerarlos espacios virtuales de alta precisión métrica.

Agradecimientos

Queremos agradecer la colaboración de la Escuela – Taller del Ayuntamiento de Santander, de la empresa 3D Intelligence y del Vicerrectorado de Cultura de la Universidad de Cantabria.

Bibliografía

Documento de Internet:

- [1] <http://www.gaudeo.es/>
- [2] <http://moncayo.unizar.es/web/patrimonioartístico.nsf>
- [3] Universidad de Córdoba: http://www.uco.es/ucomuseo/umv005_iniciativas.html#a1
- [4] Universidad de Barcelona: <http://www.ub.edu/museuvirtual/index.php>
- [5] Gabinete de Estampas Virtual: <http://www.unican.es/campus-cultural/Exposiciones/Gabinete+de+Estampas+Virtual.htm>
- [6] <http://gallica.bnf.fr/>
- [7] <http://www.cervantesvirtual.com/>

Artículo en revista científica o congreso:

- [11]Almagro, A. (2000): "Fotogrametría para arquitectos. El estado de la cuestión". Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica. EGA 2000. Barcelona.
- [12]Doneus, M., Neubauer, W. (2005): "3D Laser Scanners on Archaeological excavations", in CIPA 2005 International Symposium, Turin.
- [13]Felinto,D., Pan, M. (2013): Game development with blender, CENGAGE Learning, Boston.



- [14] Goldman, K. H., Wadman, M. (2002): "There's something happening here, what it is ain't exactly clear". In *Museums and the Web 2002*. Selected papers. Pittsburgh: Archives and Museum Informatics.
<http://www.archimuse.com/mw2002/papers/haleyGoldman/haleygoldman.html>
<http://www.nextcentury.ca/Papers/ART.html>
- [15] Torres, J.C., P. Cano, J. Melero, M. España y J. Moreno (2010): "Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio". *Virtual Archaeology Review* 3
- [16] Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., Kraus, K. (2004): "Laser Scanning: A new Method for Recording and Documentation in Archaeology", in FIG Working Week, Atenas.

Libro:

- [17] Mullen, T. (2012): *Mastering Blender* (2nd Edition), Wiley.

Hibridación de técnicas de modelado 3d y GIS para la gestión de edificios universitarios: El campus de la universidad de Cantabria. Ruiz, O., Cosido, O.J., Gálvez, A., Iglesias, A. REHABEND 2014, pp. 2277-2283. Indexada en Scopus.



REHABEND 2014
1-4 Abril, 2014, Santander, España

CÓDIGO: 5.6

HIBRIDACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELADO 3D Y GIS PARA LA GESTIÓN DE EDIFICIOS UNIVERSITARIOS: EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Ruiz, Oscar (1º Autor)^{1*}, Cosido, Oscar J.², Gálvez, Akemi³, Iglesias, Andrés⁴

1: Ingeniero Técnico Industrial
oscar.ruiz@alumnos.unican.es

2: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación / Ayuntamiento de Santander
oscar.cosido@gmail.com

3: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
akemi.galvez@unican.es

4: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
iglesias@unican.es

PALABRAS CLAVE: Modelado 3D, Fotogrametría Convergente, GIS, Gestión del Patrimonio

RESUMEN

Dentro de la línea de investigación del grupo de Gráficos por Computador y Diseño Geométrico de la Universidad de Cantabria, se ha planteado el prototipado de un sistema de gestión del patrimonio edificado de una Universidad, así se ha escogido el edificio más simbólico en la actualidad para la Universidad de Cantabria, se ha documentado digitalmente y se ha modelado en 3D mediante técnicas de ingeniería inversa, y se ha introducido en una base de datos, implementando un GIS [1], de forma que permita la gestión y conservación del edificio. El sistema se basa en que se tienen todos los datos de la base de datos alfanumérica conectados con la parte gráfica, así tendremos el campus documentado en las tres dimensiones, tanto en planta como en alzado del edificio y por extensión de todos el campus universitario.

Este sistema permitirá documentar todas las patologías de los distintos edificios, así como gestionarlas a partir del Sistema de Información Geográfica que servirá como aproximación a los GIS 3D.

1. INTRODUCCIÓN

El Edificio Tres Torres está considerado como un emblema de la Universidad de Cantabria, es una de las construcciones más importantes y ha sido concebido como la puerta a la modernidad.

La complejidad y amplitud del concepto de patrimonio obliga a comenzar con una síntesis conceptual en la que se enmarquen su medida y representación, estableciendo qué parte del mismo puede ser registrado por medio de medidas, qué información aportan éstas y cuáles son sus aplicaciones. Instituciones internacionales como la UNESCO, el Consejo de Europa, el ICOMOS, etc., han generado sus propios documentos, definiciones y relaciones de elementos patrimoniales. No hay que olvidar la jurisprudencia



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

generada en forma de reglamentos, leyes y decretos emanados en España, desde la Constitución hasta las entidades locales, pasando por las Comunidades Autónomas y Diputaciones, cada una con su propia definición de patrimonio. Esta multiplicidad de definiciones, la dispersión de las mismas, junto con la amplitud de materias, objetos y ciencias que abarca, no consigue fijar el foco sobre el alcance de este concepto, planteándose como un sustantivo polisémico en función del punto de vista y los objetivos de quien lo evoque. Pudiendo definir el patrimonio como aquello que está constituido por todo lo que se transmite de unas a otras generaciones y que es considerado como valioso, siendo esta consideración asignada socialmente por diversos motivos y circunstancias, pudiendo, por tanto, cambiar en función de la coyuntura, por lo que dada la relevancia del Edificio este puede ser considerado Patrimonio de la Universidad de Cantabria.

El Edificio Tres Torres está ubicado en el Campus Universitario de la Llamas, de la Universidad de Cantabria.

El diseño en tres dimensiones (3D) es un campo de la informática muy amplio y está muy presente en nuestra vida cotidiana. Desde publicidad en televisión hasta las películas de animación o efectos especiales, pasando por los videojuegos o diseño de espacios y arquitecturas. Todos ellos, con sus similitudes y características propias, se nutren en mayor o menor medida de las técnicas y herramientas del diseño 3D para su realización. En los últimos años, los algoritmos para la reconstrucción de objetos reales en 3D han recibido atención significativa, no sólo en la visión artificial, sino también como herramientas para una variedad de aplicaciones en medicina, fabricación, robótica, arqueología y otros campos que requieren modelado en tres dimensiones de ambientes reales. Así, el objetivo principal de la reconstrucción 3D es obtener un modelo a partir de una imagen o varias, es decir, imitar la capacidad que tienen los seres humanos de ver un mismo objeto en 3D cuando se le muestra una imagen del objeto en 2D. Este objetivo se concibe como algo necesario para conseguir un lenguaje gráfico de comunicación entre el ordenador y el ser humano [2].

El proyecto desarrollado se enmarca en el diseño 3D de espacios y arquitecturas [3]. El diseño 3D de espacios y arquitecturas se sirve de la tecnología informática aplicada a la arquitectura para realizar o recrear una estructura, un edificio, espacios interiores habitables, etc. Este levantamiento o documentación 3D de los edificios, está unido a la creación de un Sistema de Información Patrimonial, mediante la implementación de un sistema de localización mediante GIS (Geographic Information Systems), donde podemos tener localizados y georreferenciados los principales edificios catalogados como Bienes Culturales, permite tener un inventario digital donde poder consultar los edificios a visualizar, con una ficha de sus principales características y el inventario o modelado del edificio, tanto el interior como las diferentes fachadas del mismo. Sobre la cartografía de la ciudad de Santander se pueden ver distribuidos dichos edificios, así se puede seleccionar uno concreto o varios, mediante consultas alfanuméricas o espaciales al sistema y este nos devolverá la ficha correspondiente al edificio con sus datos alfanuméricos y la posibilidad de visualizar el modelo 3D, así como el estudio de detalle con los planos, alzados, perfiles y todo el material gráfico necesario para, como principal finalidad, la posible reconstrucción del edificio en caso de necesidad, ya sea por una destrucción fortuita del mismo o rehabilitación [4][5].

Un Sistema de Información Geográfica (GIS, en lo sucesivo), es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, la gestión, el análisis, el modelado y la presentación de datos espacialmente georreferenciados. GIS es una serie de capas de información espacial, en formato digital, que engloban diferentes variables (formato ráster) o bien capas que representan objetos, en formato vectorial, a los que se enlaza con una base de datos. Así se pueden combinar en un mismo sistema diferentes tipos de información, de diferentes fuentes conformando un sistema de estructura más compleja. Los GIS se han desarrollado utilizando y uniendo diferentes tipos de aplicaciones informáticas relacionadas con diversos campos como la cartografía, sistemas de gestión de bases de datos (SGBD). Una ventaja importante de los GIS es la forma de mostrar la información gráfica georreferenciada, esto hace

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

que los resultados sean más fácilmente interpretables y comprensibles. No obstante en un GIS lo que más cuenta no es la forma de mostrar la información, si no los datos que esa forma de representación genera.

El desarrollo técnico y métodos avanzados de Sistemas de Información Geográfica, se puede aplicar para la catalogación, auscultación, diagnóstico y gestión de la información del estado de conservación de las infraestructuras construidas y estimación de la vida potencial de materiales ó sistemas constructivos, con métodos de campo, laboratorio ó numéricos, incluyendo la evaluación del impacto en el medio natural, la erosión del suelo, el efecto de la población y actividades socio-económicas en el estado de las edificaciones e infraestructuras.

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas utilizadas para la gestión del territorio, la tendencia es a utilizar y personalizar mediante lo que podríamos denominar Sistemas de Información Geográfica de consulta: Por tal entendemos, aquel que sirve para preguntar al sistema y obtener repuestas tanto espaciales como alfanuméricas a escoger, pero con intervención generadora de nuevos procesos, temas, etc. Con unos resultados previamente obtenidos, de ahí la facilidad de uso. Actualmente, se asiste a una extensión y mejora de las redes de comunicaciones, que permiten incorporar diferentes entornos de desarrollo, servicios Web y aplicaciones ajustadas las necesidades de empresas ó de usuarios institucionales. Por todo ello, la tecnología más reciente está orientada a la generación de una relación continua entre el sistema y el usuario mediante interfaces gráficos. Las limitaciones de los sistemas actuales de SIG 2D y de visualización 2.5D - 3D, pueden llevar a plantearnos la pregunta de cómo usar las tecnologías SIG para gestionar la información en edificios urbanos y su entorno; sobre todo en el caso en que se quiera actuar de alguna manera sobre el mismo, tal y como sucede en la rehabilitación del patrimonio en general.

El objetivo del presente Proyecto es implementar una nueva metodología de trabajo, combinando diferentes técnicas de tratamiento de imágenes y modelado 3D de objetos de rango cercano, hibridando técnicas fotogramétricas con las provenientes del campo de la visión artificial, y una posterior implementación para la generación de un prototipo GIS 3D, de forma que se puedan unir varias tecnologías que mejoren la documentación digital de edificios.

Es muy importante resaltar que no contamos con la existencia de planos ni alzados exteriores previos de este edificio, más allá de unos planos interiores, por ello se ha procedido a documentar métricamente este edificio por ingeniería inversa. De forma que se tengan medidas de todos los elementos arquitectónicos del edificio de forma precisa de esta forma un fortuito derrumbe o demolición no impediría el poder volver a construirlo de forma precisa como si de una réplica se tratase.

2. DESARROLLO

2.1 Trabajo Fotográfico

Buscamos siempre las condiciones ideales de luz, primeras horas del día, tratando de lograr el menor número de sombras y resaltar las texturas de los materiales. Siempre hay zonas cuyo acceso resulta complicado, tratar de abarcarlas de la mejor manera posible, es por eso que se valoraron diferentes formas de lograr elevar el punto de vista.

Todas las imágenes tienen entre sí puntos de convergencia, estos son los que vamos a relacionar, indicándole cada punto seleccionado con cuales coincide en las otras fotos. Ese punto estará bien referenciado si tiene el mismo identificador en todas las fotografías. Ese es el proceso de trabajo, continuar relacionando puntos que nos vayan construyendo un modelo inalámbrico, al que más adelante añadiremos texturas. Lo que buscamos es básicamente la referenciación entre fotografías, tratando de lograr visuales que formen 90°, algo geoméricamente imposible, pero tratamos de aproximarnos.

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

Las fotografías se efectúan con la cámara digital no métrica Canon PowerShot G12, sobre con plataforma abatible 90°. Gracias a que la cámara está apoyada sobre el trípode, enfocada al infinito con la menor apertura posible de diafragma se toman las fotografías bastante nítidas. Gracias a la orientación de las fachadas, tampoco aparece el sol incidente en las fotografías y por lo tanto no se producen velados. Las fotografías son impresas y analizadas, para determinar la posición, como mínimo de 3 puntos de control mayor. Estos puntos son necesarios para realizar el proceso de orientación externa.

2.2 Trabajo Topográfico

Una vez realizada la cobertura fotográfica y estudiado los puntos de control mayor, se establecen y se marcan en el terreno las bases de la red a partir de las cuales realizaremos el levantamiento del edificio. La red está formada por un total de 8 bases de estación distribuidas. Para esta fase se combinó la utilización de un GPS TRIMBLE y una Estación Total tipo LEICA modelo TC805L, además de prisma circular y flexómetro.

2.3 Tolerancia del Trabajo de Campo

La tolerancia es un valor que nos permite desechar las medidas que lo sobrepasen, no considerándolas. Ésta se calcula a partir de una serie de errores accidentales producidos por el instrumental y el método que se utiliza. Nuestra tolerancia calculada era de 3 cm en altimetría y 2 cm en planimetría.

2.4 Calibración de Cámara

El primer paso es conocer los parámetros internos o de calibración de la cámara fotográfica utilizada, para ello se utiliza el programa fotogramétrico. Este proceso consiste en el cálculo de la transformación que relaciona las coordenadas instrumentales con las foto-coordenadas a través de los CCD (píxeles) extremos de la imagen y de las coordenadas del punto principal. Se hicieron una serie de fotografías con la cámara digital no métrica Canon PowerShot G12 a una plantilla en formato DIN A0 que contiene puntos de control (ver Figura 1).

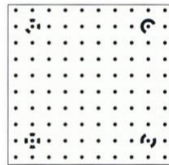


Figura 1. Reticula para la calibración de la cámara

El programa calcula: La focal de la cámara, la posición del punto principal y la función de distorsión de la lente, parámetros necesarios para realizar la orientación interna de cada fotografía.

2.5 Computación.

Para la restitución en el programa fotogramétrico se han seguido los siguientes pasos que consiste en:

- Orientación relativa: Se trata de relacionar un par de fotografías, encontrando los parámetros que sitúan a una (generalmente la de la derecha) respecto a la otra, en el momento de la toma fotográfica.
- Orientación absoluta: Donde se relacionan puntos tomados en la imagen con puntos radiados en el

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

terreno, por lo tanto, de coordenadas conocidas, para determinar la transformación que existe entre ambos y obtener las coordenadas terreno de cualquier punto que aparece en la fotografía.

2.6 Restitución 3D

Utilizando la técnica de puntos homólogos y las fotografías orientadas, comenzaremos a generar una nube de puntos 3D que utilizaremos para generar líneas y superficies, a dichas superficies se las podrá asignar textura real. Una vez realizado por separado los modelos de cada uno de los tres edificios que forman el Edificio Tres Torres se unen todas las partes del edificio con las que trabajamos en CAD. Se exporta cada una de las partes en formato DXF, al abrirlas en CAD lo primero que hay que lograr es orientarlas, alinearlas en los ejes X, Y y Z y escalarlas con la planta hasta hacerlas encajar formando un solo sistema en coordenadas UTM.

Buscando puntos de convergencia, si se observó que para conseguir mayor precisión y que se acercase más a la realidad, tuvimos que hacerlo dando unos puntos por topografía. Cada una de ellas tenía que estar orientada y escalada, esto lo conseguimos eligiendo un punto como origen (0,0,0) y, a partir de él, le damos una distancia a otro punto para definirle el tamaño del objeto, le orientamos en los ejes X y Z, es decir, le damos una altura y una profundidad, mediante tres puntos, así fuimos uniendo, de forma sucesiva, cada una de las partes [6][7].

2.7 Renderizado y Modelado 3D

Se decide exportar el modelo obtenido a un programa de CAD, en concreto el programa de Autodesk "AutoCAD"; una herramienta profesional con todas las funcionalidades necesarias y de nivel técnico muy alto, la cual es usada incluso para el diseño de piezas en el campo de la ingeniería en las que la exactitud es un factor clave. Con el modelo en AutoCAD se trabaja en mejorar todas las pequeñas desviaciones que hay en el modelo de malla, en las líneas de ruptura del edificio, a si como en modelar detalles como las barandillas de balcones, marcos de las ventanas, etc.

Una vez corregidas todas las desviaciones y modelados todos los detalles se exporta el modelo a un Software de modelado y animación en 3D para mejorar el texturizado e interactuar con fuentes de iluminación de la escena para permitir alcanzar un efecto de visualización con el mayor realismo posible. Para generar las texturas del modelo definitivo del Edificio Tres Torres se han utilizado nuevamente las fotos del edificio, para conseguir el máximo realismo.

2.8 Mapeo y texturizado.

Es necesario mapear el objeto a texturizar para que dicha textura se adapte correctamente. El mapeo (del inglés mapping) consiste básicamente en seleccionar y asociar una figura geométrica (la cual contendrá realmente la textura) y que envolverá al objeto original proyectando la textura sobre este último. La clave está en la elección de una figura geométrica que sea lo más simple posible, con ello se busca optimizar al máximo el uso de recursos computacionales a la hora de su renderizado. Una vez realizado el mapeo hay que aplicar la textura que irá superpuesta en la figura utilizada como mapeo. El texturizado se puede considerar como el tipo de material y las características con las que se dotan a cada objeto. Se puede especificar su color, rugosidad, índice de reflexión, luminosidad y un sinfín de opciones más.

En el texturizado del edificio la mayor parte de las texturas usadas han sido texturas de repetición, es decir texturas tipo mosaico, las cuales no llegan a cubrir toda la superficie del objeto y es necesaria su repetición a través de la superficie del objeto, aunque las texturas de repetición suelen ofrecer resultados con menos calidad de detalle suele compensar su uso debido a que se optimiza el uso de recursos (ocupan menos y se

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

utilizan en varios objetos). Además, supone un importante ahorro de tiempo en su creación así como un uso menor en los recursos y por lo tanto el espacio usado en memoria es menor. Mediante el uso de sombras y focos de luz, se ha realzado la sensación de 3D, así como también se ha maximizado la sensación de realidad a la hora de realizar el renderizado. Obteniendo finalmente el resultado presente en la Figura 2.

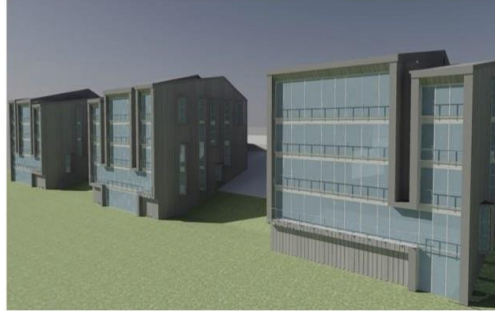


Figura 2. Modelo tras aplicar técnicas de rendering.

2.9 Creación de Ortofotografías

Una vez obtenida la restitución y edición de todos los elementos del edificio se realizan las orto-ímagenes [8]. Dichas ortofotos están escaladas y rectificadas de tal manera que se puede medir directamente sobre ellas. Se trata de corregir el desplazamiento originado por la inclinación de la cámara y la profundidad de los elementos que aparecen en la fotografía como, por ejemplo, los balcones. Obteniendo una exactitud métrica.

3. CONCLUSIONES

El diseño 3D es un campo complejo y cambiante [9]. Las técnicas que se utilizaban en el pasado están desfasadas, del mismo modo que las que actualmente se utilizan serán reemplazadas por nuevas técnicas más avanzadas que obtengan mejores resultados. Tras la decisión de utilizar la técnica de Fotogrametría Terrestre para realizar el trabajo presente en este Proyecto y siguiendo la línea de investigación del grupo de Gráficos por Computador y Procesado Geométrico de la Universidad de Cantabria, se ha conseguido una nueva metodología de trabajo, empleando la ingeniería inversa, combinando diferentes técnicas de tratamiento de imágenes y modelado 3D. Utilizando una cámara fotográfica, un equipo informático con el Software adecuado y un pequeño apoyo topográfico se ha conseguido documentar gráficamente y modelar en 3D todo el “Edificio Tres Torres” de la Universidad de Cantabria, resaltando el hecho de que no se contaba con la existencia de ningún plano de los exteriores de dicho edificio.

Por lo que se podría considerar un método de trabajo “accesible, efectivo y preciso”, dado que se ha conseguido una gran precisión en la realización del modelo 3D, con la posibilidad de obtener planos arquitectónicos del edificio, los cuales podrían ser utilizados para la reconstrucción fiel de dicho edificio en caso de un fortuito derrumbe o demolición.

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

Tras la finalización de este Proyecto se deja abierta la continuidad en el desarrollo de la investigación en la integración de este tipo de metodologías, donde hemos generado un prototipo de GIS 3D, sumando a la potencia de las Bases de Datos Relacionales que incluyen parte Gráfica o Geográfica (GIS), la implementación de topologías tridimensionales.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: *“Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander”*. ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [2] Seitz, S. M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., & Szeliski, R. (2006). A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society, Vol. 1, 519-528.
- [3] Andrew I. Comport, Éric Marchand, François Chaumette .Robust model-based tracking for robot vision.. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04, Sendai, Japan, September 2004.
- [4] Buill, F., Núñez, M.A.,Rodríguez, J.J. (2007). Fotogrametría arquitectónica. Editorial Edicions UPC.
- [5] Lerma, J.L. (2002). Fotogrametría moderna. Analítica y digital. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. p. 37-38
- [6] Andreetto M., Brusco N., Cortelazzo G., (2003) “Automatic 3D modeling of textured cultural heritage objects”, Department of Information Engineering, University of Padova.
- [7] Remondino, F., El-Hakim, S.F., (2006) “Image-Based 3D Modeling: A Review”. The Photogrammetric Record Journal. Volume 21, Number 115, pp. 269-291.
- [8] Pérez, A., Lerma, J.L., Martos, A., Jordá, F., Ramos, M., Navarro, S., (2007). Generación automática de ortofotografías verdaderas en Arquitectura. Séptima Semana Geomática de Barcelona, España.
- [9] Cosido, Oscar & López, Conrado “Stereowebmap: 3D Cartography Server” GISCOAST 2007.



Studio e rilievo tridimensionale dei resti archeologici delle fortificazioni difensive individuate presso la penisola della maddalena, Santander. Caliendo, G., Cosido, O.J., Ruiz, O., (...), Iglesias, A., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 137-144. Indexada en Scopus.



CÓDIGO: 1.1

**STUDIO E RILIEVO TRIDIMENSIONALE DEI RESTI ARCHEOLOGICI DELLE
FORTIFICAZIONI DIFENSIVE INDIVIDUATE A PENISOLA DELLA MAGDALENA
DI SANTANDER**

**Caliendo, Gaia (1º Autor)¹, Cosido, Oscar J.^{2*}, Ruiz, Oscar³, Catuogno, Raffaele⁴,
Campi, Massimiliano⁵, Gálvez, Akemi⁶, Iglesias, Andrés⁷, Sainz, Esteban⁸**

1: Arquitecto

gaia.caliendo@gmail.com

2: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de Formación y Empleo / Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación

oscar.cosido@gmail.com

3: Ingeniero Técnico Industrial

oscar.ruiz@alumnos.unican.es

4: Università Degli Studi di Napoli "Federico II", Istituto UrbanEco

raffaele.catuogno@gmail.com

5: Università Degli Studi di Napoli "Federico II", Istituto UrbanEco

campi@unina.it

6: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación

akemi.galvez@unican.es

7: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación

iglesias@unican.es

8: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de formación y Empleo

esainz@ayto-santander.es

PALABRAS CLAVE: Fotogrametría convergente, Ingeniería Inversa, Palacio de la Magdalena, Visión Artificial, Topografía.

ABSTRAC

Il presente lavoro è stata sviluppato nell'ambito della collaborazione avviata tra il Dipartimento di Architettura dell'Università Federico II, l'Universidad de Cantabria e l'Ayuntamiento della città Santander. Il progetto, proposto per l'Ayuntamiento de Santander, è consistito nel rilievo tridimensionale dei resti archeologici delle batterie difensive ubicate sulla Penisola della Maddalena. Il lavoro si è pertanto inserito all'interno del Plan Director de la Magdalena. Possiamo considerare questo progetto di collaborazione come un lavoro di investigazione, che propone la creazione di un supporto grafico in grado di promuovere la comprensione delle dinamiche storiche e culturali per trasmetterle alla società. Il prodotto finale di questo lavoro è la localizzazione e documentazione digitale in 3d di tutte le batterie difensive che esistevano sulla Penisola della Maddalena prima che essa si convertisse nella sede delle vacanze estive dei Reali di Spagna nel sec. XX.

1. STORIA DELLE PROPRIETÀ DELLA PENISOLA DELLA MADDALENA

- secoli XVI-XVIII. Installazioni militari:

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

- Castello di San Salvador de Hano, 1574.
- Castello di Santa Cruz de la Cerda, 1639.
- Batteria di Santiago de la Pena, 1701/02.
- Batteria di Santa Barbara, 1702-03.
- 29 dicembre 1883. Si approva la decisione di sollecitare al Ramo della Guerra, affinché sia concesso il terreno de La Maddalena per la realizzazione di un parco.
- 4 luglio 1894. Concessione all'Ayuntamiento di Santander da parte dello Stato di vari terreni del Sardinero, per realizzare un parco.
- 26 agosto 1898. Occupazione della penisola da parte del Ramo della Guerra, per motivi strategici (guerra con gli USA). Lavori di fortificazione e costruzione delle batterie:
 - Sandoval
 - San Emeterio Baja
 - San Emeterio Alta
 - Altos di San Salvador
- 20 luglio 1903. Restituzione della Penisola della Maddalena da parte del Ministero della Guerra.
- 15 gennaio 1908. Donazione della Penisola della Maddalena al re Alfonso XIII.
- 23 aprile 1931. Esproprio dei beni del Patrimonio della Casa Reale.
- 26 dicembre 1931. Alternarsi di proposte che vogliono il Palazzo Reale come residenza estiva per il presidente della Repubblica.
- 27 luglio 1933. Decreto legge del Ministero dell'Istruzione Pubblica per la creazione dell'Università Estiva Internazionale.
- 21 agosto 1944. Annuncio per la creazione dell'Università Internazionale Menendez Pelayo.
- 16 agosto 1977. Il Sito Reale della Maddalena diviene nuovamente proprietà dell'Ayuntamiento, attraverso un atto di compra-vendita.

2. CONTESTO STORICO

A partire dalla fine del secolo XIX il Sardinero, sino ad allora luogo deserto ed inospitale, iniziò il suo processo di urbanizzazione, promosso soprattutto dalla borghesia santanderina. A questo processo contribuì decisamente la presenza dei Reali di Spagna durante le loro vacanze estive, pretesto che spinse verso la costruzione di una permanente residenza Reale estiva.

La Penisola della Maddalena, dichiarata Bene di interesse culturale dal 1982, occupa un'estensione approssimata di 25 ettari. È il maggior punto di interesse topografico della Baia di Santander e l'estuario più grande della Cantabria.(14. Vista penisola antecedente 1912)

3. ALTRI EDIFICI DELLA PENISOLA

- Caballerizas Reales. Costituiscono, insieme al Palazzo Reale, l'edificio più importante della penisola. Costruite nel 1918, in un inconfondibile stile inglese, ispirato ai padiglioni della Osborne House, residenza della Regina Victoria Eugenia nell'isola di Wight.
- Paraninfo. Spazio da sempre dedicato alla celebrazione di diversi atti accademici e culturali. Fu costruito negli anni Trenta da Gonzales de Riancho in stile razionalista.
- Casetta Salvataggio Naufraghi. Il servizio di volontari dell'Associazione dei Naufraghi di Santander si organizza nel 1881.
- Faro de la Cerda. Il faro, costruito nell'anno 1864, era destinato ad illuminare l'entrata orientale della costa di Santander.
-



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

Sulla penisola è possibile trovare materiali e strutture archeologiche a partire dall'epoca romana, a testimoniare l'uso strategico che tale luogo ha sempre rivestito, grazie alla sua posizione privilegiata all'interno della baia di Santander.

4. IL RILIEVO INDIRETTO: METODOLOGIE E STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

L'approccio ai manufatti architettonici studiati è stato svolto in maniera differente, a seconda delle caratteristiche proprie di ciascuno di essi. Le principali metodologie di rilievo utilizzate sono:

- rilievo topografico con stazione totale Leica Viva TS11. Impiegato per assicurare una corretta registrazione delle diverse scansioni, per una definizione planoaltimetrica ed anche per la definizione di una rete di inquadramento complessiva contestualmente georeferenziata, compatibilmente con la reperibilità di capisaldi della rete internazionale.
- rilievo con GPS Ricevitore GPS Trimble® R6.
- rilievo diretto. Utilizzato per definire e documentare dettagli e particolari raggiungibili in condizioni di sicurezza per le verifiche di componenti non accessibili con le altre strumentazioni o che richiedano una particolare cura.
- rilievo fotogrammetrico. Utilizzato per definire e documentare dettagli e particolari per la restituzione grafica di alcuni componenti e per la visualizzazione materica degli elaborati prodotti, nonché come base per l'utilizzo di programmi di fotogrammetria digitale, quali Photomodeler Scanner, Photoscan ed RDF.

4.1 LE FASI DEL RILIEVO

- a. la prima fase è stata la presa diretta dei punti da rilevare sul campo. Per la Batteria di Sandoval, rilevata tramite l'ausilio di stazione totale, sono stati fissati due punti in cui posizionare la stazione totale stessa, dividendo pertanto l'operazione di rilievo in due momenti. Le batterie di San Emeterio e de la Cerda sono invece state rilevate tramite strumentazione GPS.
- b. la seconda fase è stata la ricomposizione spaziale dei dati e la realizzazione delle piante delle batterie difensive, seguendo le tracce dei resti delle antiche mura perimetrali.
- c. l'ultima fase del progetto è stata l'elaborazione del un modello ipotetico della struttura. Lo stato attuale delle nostre conoscenze, non ci consente di fornire elementi utili a ricostruire fedelmente la struttura nella sua complessità e tale condizione di indeterminazione ci costringe a proporre un'immagine che necessariamente non può essere fedele al vero. Tuttavia il modello, basandosi su operazioni di rilievo effettuate sul campo ed incrociate allo studio tipologico di costruzioni similari, consente di valutare l'impatto monumentale che doveva avere la batteria nel paesaggio circostante.

5. EL CASTILLO DE HANO

5.1 INDAGINE STORICA

Chiamato anche Castillo de Hano, Fuerte de Ano o Fuerte de San Salvador de Ano.(15. Sito del Castillo de Hano) Castello eretto sopra la punta de Hano, spazio attualmente occupato dal Palazzo Reale. Stando alle informazioni trasmesse dagli ingegneri militari che visitarono la zona nel secolo XVI, il Re non dotò di nuove difese militari il villaggio di Santander. Per questo motivo, lo stesso Collegio cittadino decise di farsi carico della costruzione del Fuerte de Ano, per difendere sia l'entrata del porto che l'insenatura della spiaggia del Sardinero, rifugio per i pirati che irrompevano in Santander. Il progetto, tuttavia, non godrà del consenso unanime. Finalmente, si affida la costruzione del Castillo de Ano a Piero Menéndez de Avilés, tra il 1574 ed il 1576. Nel 1580 il castello necessita di una riparazione a partire da questo momento ha inizio il declino del Castillo de Ano, a favore del Castillo de San Martín. Altra informativa redatta per José Gampillo nel 1741 mostra che Castillo de Ano inutilizzabile per la sua posizione troppo

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

elevata. Nel giugno del 1755 la notizia di un possibile attacco da parte di navi francesi, spinse gli abitanti a realizzare trincee nel Sardinero, collocando ivi l'artiglieria ma anche nella batteria difensiva e nei castelli de Ano, de San Martin, de la Cerda e de San Felipe. Per Joaquin del Pino, la batteria de Hano costituisce il castello più importante della costa, per la sua posizione vantaggiosa. Consisteva in una pianta rettangolare, quasi quadrata, con il lato est-ovest lungo 26 m e quello nord-sud lungo 28 m, e tutto il lato risultava occupato dai depositi di armi e munizioni, realizzati nel 1703, con l'aggiunta dell'abitazione dell'Ufficiale incaricato. Non si è verificata la presenza di cubierta per i cannoni ed i due angoli penetravano nel terreno mediante baluardi, mentre i due lati rivolti verso il mare avevano medios cubos. Presentava due batterie a barbetta sul fronte Est, una delle quali ad un livello inferiore per lasciare meno punti morti. Il conjunto era sormontato per il suo accesso terrestre da un percorso che lo circondava ed un sistema di parapetti con una entrata coperta sotto il lato Sud, protetta da due bastioni piccoli con feritoie in grado di alloggiare un cannone. Dalla sua costruzione poche sono state le modifiche strutturali apportate. Occupato dai francesi, il 12 agosto 1812, durante la Guerra d'Indipendenza, fu demolito a cannonate dalla Isla de Mouro da una batteria inglese, sebbene i suoi resti furono visibili nel 1871. Sul sito del castello fu collocato il cosiddetto Semaforo de Santander nel 1874 e, oggi, si erge il Palazzo Reale della Maddalena. Durante i lavori per gli scavi di fondazione si effettuò il ritrovamento di un'anfora, conservata oggi nel Museo di Preistoria e Archeologia della Cantabria.

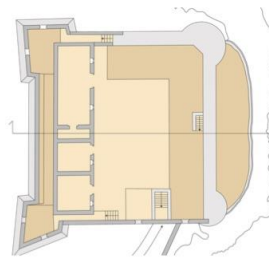


Figura 1. Castillo de Hano

5.2 LA RESTITUZIONEGRAFICA

Del Castillo de Hano non ci sono pervenuti resti. Pertanto le uniche operazioni possibili sono state lo studio della documentazione storica, sia in forma scritta che grafica, che ci ha consentito di avanzare ipotesi non solo sulla struttura definitiva del castello, ma anche su successive opere di modifica, dalla incerta realizzazione.

6. LA BATERIA DE LA CERDA

6.1 L'INDAGINE STORICA

Chiamato anche Castillo de Santa Cruz, Castillo de Santa Cruz de la Cerda, Castillo de San Carlos de la Cerda, Fuerte de la Cerda e Batería de la Cerda. (17. Batería de la Cerda) Il castello deve il suo nome al sindaco e governatore del villaggio di Santander, Fernando de la Cerda, che lo fonda nel 1639 alla notizia di un attacco francese. Il castello viene realizzato sulla punta più orientale della Penisola della Maddalena. Tra il 1702 ed il 1703 il villaggio di Santander, senza l'aiuto della Corona, realizza nuove opere come fortini, cannoni, palizzate e roccaforti, magazzini per il ricovero di artiglieria e polvere da sparo, caserme

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

e trincee. Il castello è situato in cima alla insenatura e quasi di fronte al Castillo de Ano. Nel 1763 la struttura sarà semplice: pianta rettangolare, suddivisa in un asse di circa 40 metri – adattato alla forma incoerente del terreno in direzione nord-sud, con una grande spianata pavimentata ad est, sud e sud-ovest ed un parapetto di circa 1,20 metri di spessore. L'accesso era situato ad ovest, lato che era occupato quasi interamente da un passaggio coperto il cui muro perimetrale presentava delle feritoie. Sul lato Nord della costruzione vi era un grande deposito per le attrezzature, cucina e corpo di guardia, da cui si aveva accesso al deposito della polvere da sparo. Nel 1793, il Castello de la Cerda costituisce il punto di controllo di tutto il porto di Santander. Inoltre si segnala che il fuoco di questa batteria, si incrocia con quello di San Martin sulla destra. La sua posizione all'entrata della baia e la sua vicinanza e dominio rispetto al canale di entrata al porto, determinano l'importanza cruciale di questa difesa. Nel 1867 Gervasio de Eguaras descrive questo luogo come totalmente abbandonato ed in rovina. Due anni più tardi, nel 1869 i suoi resti vengono sfruttati per la costruzione di un faro. Le vestigia della caserma prossima al Faro de la Cerda furono convertite in stalle.

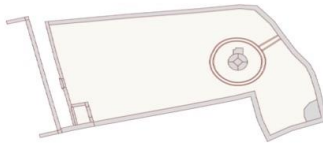


Figura 2. Bateria de la Cerda

6.2 IL RILIEVO

Le reti o poligonali di inquadramento topografico:

- collegano tra loro i vertici di stazione,
- definiscono il sistema di riferimento dell'intero rilievo,
- consentono di effettuare verifiche e compensazioni sulle misure fatte.

Stumentazioni utilizzate

- Ricevitore GPS Trimble R6
- Pfcad versione 10.00 per elaborazione dati di campagna
- Autocad LT per l'elaborazione degli elaborati grafici
- Trimble survey Office per la trasposizione dei dati del GPS

Obiettivo del sistema GPS è quello di determinare in tempo reale, la posizione di un osservatore rispetto a un sistema di riferimento geocentrico (quota misurata come altezza sull'ellissoide). L'informazione sulla posizione è ottenibile istante per istante da un sistema di satelliti in orbita attorno alla terra. Per rendere possibile l'utilizzabilità del sistema su tutta la Terra è stata realizzata una costellazione di satelliti artificiali; dal punto di vista geometrico è nota la traiettoria e la legge del moto con la quale il satellite percorre l'orbita e di conseguenza è nota la posizione del satellite ad ogni istante. Il funzionamento del sistema GPS si basa sull'interazione delle tre parti fondamentali in cui è articolato il sistema (segmenti):

1. Segmento spaziale: Consiste di almeno 24 satelliti (trasmettitori) in orbita geostazionaria attorno alla Terra, equipaggiati con orologi di elevata precisione e stabilità (orologi atomici) sincronizzati e distribuiti a gruppi di tre in sei diversi piani orbitali.
2. Segmento di controllo: 5 stazioni di controllo a terra. È composto da una stazione principale di controllo Master, 5 stazioni terrestri fisse di tracking e 3 stazioni di

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

trasmissione. Tale segmento ha la funzione di verificare continuamente l'affidabilità dei dati trasmessi dai satelliti.

3. Segmento utente (User Segment): ricevitore GPS. Ogni ricevitore GPS è equipaggiato con: antenna, in grado di captare il segnale radio trasmesso dai satelliti, processore dei dati ricevuti dai satelliti, orologio ad alta precisione.

Dalla frequenza fondamentale sono derivati due segnali, denominati L1 e L2, che hanno frequenze multiple di quella fondamentale e lunghezze d'onda pari a:

L1, frequenza $f_1 = 154f_0 = 1575.42$ MHz, lunghezza d'onda: $\lambda_1 = 19$ cm

L2, frequenza $f_2 = 120f_0 = 1227.60$ MHz, lunghezza d'onda: $\lambda_2 = 24$ cm

Quello utilizzato per questo studio è stato un ricevitore doppia frequenza. Oltre ad acquisire il codice C/A e la portante L1, questi ricevitori sono in grado di ricostruire anche la portante su L2 con l'uso di qualche tecnica che non richiede la conoscenza del codice P (quadratura, cross-correlazione e Z-tracking); tali tecniche abbassano però il rapporto segnale/rumore. La fase di L2 viene utilizzata in congiunzione con la L1 per correggere l'effetto ionosferico e poter eseguire misure di precisione su distanze più lunghe.

Per la georeferenziazione, sia con stazione totale che con GPS, si è fatto riferimento all'area di Geodesia dell'Istituto Geografico Nazionale (IGN), che sviluppa a partire dal 1998 una rete di stazioni permanenti GNSS che copre tutto il territorio nazionale. Attualmente 31 stazioni formano la rete, di cui 20 risultano integrate nella rete europea dell'EUREF e 2 nella rete mondiale del IGS. (18. Red de estaciones permanentes GNSS del IGN) La posizione dei punti è stata determinata rispetto al sistema di riferimento ED50. Il sistema ED50, proiezione UTM, è stato definito nel 1950 nell'ambito delle convenzioni europee tendenti all'unificazione delle reti e della rappresentazione cartografica.

6.3 ERRORI

Il sistema GPS ed in particolare il segnale risente di una serie di effetti di disturbo che inducono errori sistematici nell'apprezzamento della posizione assoluta e relativa delle antenne dei ricevitori.

La precisione del calcolo del tempo di volo è influenzata da tre tipologie di errori:

- Errori accidentali ($\approx 1\%$ della lunghezza d'onda)
- Errori sistematici (BIAS):
- Errori di orologio (satellite e/o ricevitore): 1m.
- Errori d'orbita: 1m.
- Errori di rifrazione (ionosferica e troposferica): 10m.
- Errori di osservazione:
- Percorsi "multipath" (il segnale satellitare è deviato da ostacoli sul percorso: non trascurabile in ambiente urbano): 0,5m.
- Elettronica del ricevitore.
- Interferenze elettromagnetiche.
- Posizione e geometria dei satelliti rispetto all'osservatore.

La Batteria della Cerda si trova attualmente incorporata in un proprietà privata, pertanto la scelta metodologica si è mossa in direzione del rilievo GPS, che ha consentito una campagna di rilievo rapida e precisa, grazie anche allo stato di conservazione relativamente buono della batteria stessa. (19. Bateria de la Cerda)

7. ALTRE ARCHITETTURE DIFENSIVE

7.1 BATERIA DE SANTIAGO DE LA PENA

Questa batteria è situata tra i forti de ano e de la Cerda, nel luogo in cui a partire dal 1898 si costruirà la batteria de Sandoval, e la data della sua costruzione si ipotizza intorno agli anni 1701-02. Nel 1752 il Marques de Conquista Real stabilisce che le batterie di Santiago de la Pena, Santa Barbara, San Fernando

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

e San Francisco vengano abbandonate. In questa data, la costruzione della batteria di Santiago de la Pena non era ancora stata portata a termine.

7.2 BATTERIA DE SANTA BARBARA

Fondata tra il 1702 ed il 1703, costituisce parte di quelle opere di difesa della costa rese necessarie dalla Guerra di Secessione. Tali opere di difesa sono le batterie si San Jose, San Francisco, San Emetrio e Caledonio, San Juan Bautista, San Antonio de Padua, San Fernando e Santa Barbara. La batteria di Santa Barbara, al momento della decisione del Marques de Conquista Real di abbandonare le precedentemente elencate batterie, non risultava ancora terminata.

7.3 COSTRUZIONI MILITARI DAL 1898

A partire dal 1896, Santander diviene sede centrale del Governo militare della provincia. Una Commissione Speciale, creata per l'occasione, stabilisce uno schema di fortificazioni organizzato intorno a tre punti focali: Cabo Menor, La Magdalena e la costa di Langre. Ancor prima che questo progetto potesse materializzarsi, inizia la guerra con gli Stati Uniti. A causa del pericolo imminente di un attacco da parte di navi nord-americane, si costituisce la Giunta Locale per l'armamento di Santander, che proporrà il posizionamento di varie batterie nella Maddalena. Si sceglie questo luogo per la sua posizione di dominio sul Sardinero e sulla Baia, trasformandolo nel l'avamposto difensivo della città. Le fortificazioni progettate, tuttavia, non furono portate a termine per la rapida conclusione della guerra.

Le batterie localizzate sulla penisola sono quelle di Sandoval, San Emetrio Alta, San Emetrio Bassa e quella alta di San Salvador. Della batteria alta di San Salvador non sembra essere rimasto alcun resto, quella di San Emetrio Bassa è scomparsa con i lavori di costruzione del Palazzo Reale, quella di San Emetrio Alta ha lasciato alcuni indizi, e risulterebbe posizionata vicino al campo di cricket nelle vicinanze del Palazzo.

8. LA BATERIA DE SANDOVAL: RILIEVO CON STAZIONE TOTALE

8.1 L'INDAGINE STORICA

La batteria di Sandoval, di cui si conservano più resti, era situata nella zona della Punta del Porto, tra la Punta de la Cerda e il Cabo de Ano. Con una quota di 15 metri, occupa una superficie di 700 m², per 60 metri lungo il lato nordovest-sudest ed una profondità di 12 metri. Conserve inoltre un attraversamento completo – deposito di munizioni e forse di alloggi – appena alterato per la caduta della massa di terra che lo coronava e che venne più tardi utilizzata per bloccare il varco d'entrata e qualsiasi altra apertura lungo il lato sud-ovest. Le dimensioni dell'attraversamento sono 12,85 metri di larghezza per 11,70 di lunghezza, con contrafforti laterali. Su ambo i lati erano posizionati piattaforme per i cannoni – ancora oggi perfettamente individuabili. (20. Bateria de Sandoval) A causa delle moderne necessità belliche, un nuovo progetto riteneva indispensabile la realizzazione di locali per le munizioni più sicuri: la pianta consisteva in un corpo centrale diviso in vari dipartimento distinti per classe di munizioni. Questo progetto prevede inoltre la costruzione di alloggi per gli addetti alle batterie ed una grande caverna situata a Sud che, con una altezza media di 15 metri, determina una magnifica zona coperta dal fuoco nemico (zona delle attuali Cavallerizas). Il relatore del Comando Generale degli Ingegneri del Nord, Francisco Roldan, bocciando definitivamente questo progetto, sottolinea quella che ormai è la natura del porto di Santander: una natura non più difensiva, ma commerciale. Riguardo le batterie esistenti sulla Maddalena, Roldan pianifica il loro ampliamento e recupero funzionale alle necessità dell'epoca. Le batterie di San Emetrio e di Sandoval dovevano unirsi tramite un collegamento, eliminando i cannoni ed alzando i parapetti. Nel 1905 si sopprimono i Parchi di Artiglieria di Santander Santona, il che stava a significare che la Cantabria non svolgeva più alcun ruolo strategico a livello nazionale. Verso le fine del secolo XIX la Penisola

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

diviene oggetto di desiderio da parte del Municipio di Santander e del Ministero della Guerra, ed entrambi ne chiedevano il totale possesso. I successivi sviluppi dell'identità della città come piazza forte ed il suo accrescimento, con nuove esigenze urbanistiche e commerciali, fecero pendere l'ago della bilancia verso il Municipio. Prima della crisi del 1898, si detta una legge il 9 agosto 1894 in cui si approva la cessione dell'intera area all'ente locale per fini di pubblica utilità. Nel 1904 il Municipio chiese che, finché i progetti non fossero diventati realtà, si sarebbe permesso l'uso della penisola e si sarebbe incrementata la presenza di alberi e giardini, col fine di creare un luogo di divertimento e ricreazione per la popolazione, accettando il divieto di erigere edifici. Infine il 30 marzo 1912 si trasferì la proprietà di tutti gli edifici al Municipio.

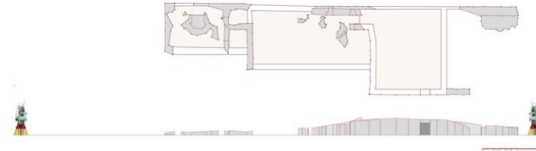


Figura 3. Bateria de Sandoval

8.2 IL RILIEVO

La prima operazione da compiere è lo stazionamento, cioè il posizionamento su un punto di stazione (o caposaldo), il quale viene di solito materializzato a terra con un chiodo e la successiva messa in bolla dello strumento. Per misurare un punto va effettuata la collimazione, ossia si cerca il punto con il cannocchiale fino a visualizzarlo esattamente sull'incrocio di linee corrispondenti al centro ottico dell'obiettivo. La stazione totale opera all'interno di un sistema di coordinate polari x , y , z aventi un punto d'origine comune coincidente con il centro ottico dello strumento. Per determinare la posizione di un punto è necessario effettuare tre letture: angolo orizzontale (o azimutale), angolo verticale (o zenitale) e distanza inclinata.

La misura della distanza inclinata viene eseguita per mezzo del distanziometro elettronico incorporato nella stazione totale. Un raggio laser rosso fuoriesce dall'obiettivo del cannocchiale, colpisce il punto mirato e torna indietro. In fase di rilievo indiretto attribuiremo a ogni punto misurato con la stazione totale un numero di serie (codice) il quale sarà in seguito riportato sulle tavole stampate. Quando si usa la stazione totale ci si può fin da subito orientare su punti topografici di cui sono note le coordinate geodetiche ed effettuare quindi tutto il lavoro all'interno di tale sistema di riferimento. Si procede quindi al rilievo dei singoli punti con il metodo dell'irraggiamento. Nel caso in cui alcuni punti da rilevare fossero coperti da ostacoli visivi si posiziona quindi lo strumento topografico sulla nuova stazione. Le coordinate della nuova stazione e dei punti rilevati da questa saranno automaticamente agganciati al medesimo sistema di riferimento adottato all'inizio del lavoro. La stazione totale è corredata da un driver, comprendente dei software che gestiscono il trasferimento dei dati del rilievo dalla memoria interna dello strumento al computer.

BIBLIOGRAFIA

- J. L. Casado Soto, Santander, una villa marinera en el siglo XVI. Librería Estudio, Santander 1990.
- L. Fernandez Gonzalez, Una ciudad medieval, Librería Estudio, Santander 2001.
- J. Simon Cabarga, Santander: Biografía de una ciudad, Librería Estudio, Santander 1979.



Prototipo de ciudad 3d: integración documental del patrimonio enterrado y en superficie dentro de Santander. Cosido, O.J., Ruiz, O., De José, J., (...), Iglesias, A., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 224-229. Indexada en Scopus.



CÓDIGO: 1.2

PROTOTIPO DE CIUDAD 3D: INTEGRACIÓN DOCUMENTAL DEL PATRIMONIO ENTERRADO Y EN SUPERFICIE DENTRO DE SANTANDER

Cosido, Oscar J. (1º Autor)^{1*}, Ruiz, Oscar², de José, Jesús³, Piquero, David⁴, Iglesias, Andrés⁵, Sainz, Esteban⁶

1: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación / Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de Formación y Empleo
oscar.cosido@gmail.com

2: Ingeniero Técnico Industrial
oscar.ruiz@alumnos.unican.es

3: Ayuntamiento de Santander, Departamento de Topografía, Cartografía y GIS
jjose@ayto-santander.es

4: Ayuntamiento de Santander, Departamento de Topografía, Cartografía y GIS
dpiquero@ayto-santander.es

5: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
iglesias@unican.es

6: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de formación y Empleo
esainz@ayto-santander.es

PALABRAS CLAVE: Ciudad 3D, fotogrametría, visión artificial, urbanismo, Santander

RESUMEN

Desde el Ayuntamiento de Santander se ha promovido con la colaboración del grupo de investigación de Gráficos por Computador y Diseño Geométrico de la Universidad de Cantabria, un proyecto para la documentación digital integral del patrimonio urbano, integrando el patrimonio en superficie, así como el patrimonio enterrado, de forma que suponga un continuo. El proyecto ha sido ejecutado por el Taller de Empleo en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander con la colaboración del grupo de la Universidad de Cantabria. Para este estudio se ha integrado el modelado tridimensional de la maqueta del Santander antiguo con el Santander actual, así como con el Santander enterrado, como es el refugio antiaéreo sito en el casco urbano de Santander. Se ha simulado el modelado 3D de toda una ciudad mediante técnicas de fotogrametría convergente y levantamientos topográficos subterráneos, de forma que la integración de la parte en superficie coincida con precisión subcentimétrica con la parte subterránea. El resultado es un continuo entre los edificios en superficie y la parte subterránea como es el refugio antiaéreo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un interés creciente por el modelado tridimensional de ciudades. Hasta ahora la mayoría de los modelos son elaborados con fines de visualización o publicidad y requieren un trabajo

manual elevado. Además, estos entornos urbanos no tienen asociada ninguna información semántica ni topológica que potencie la utilidad de los mismos, limitándose a aspectos gráficos y geométricos. El disponer de un modelo 3D urbanístico con información semántica supondría un notable avance en diversos campos. La obtención de este tipo de herramientas, no es sencilla, ni automática. Suele requerir de la participación de personal altamente cualificado. Otro problema que se plantea está en que la detección y ubicación automática de los edificios tampoco está resuelto.

De todo esto se deduce, que el trabajo de modelar una ciudad en 3D es más que interesante. Además, este prototipo supondría poder avanzar en posibles alternativas para la detección y ubicación de las zonas urbanas. Para ello, tras estudios de viabilidad previos, se decidió optar por profundizar en la utilización de datos altamente precisos en su posicionamiento mediante sistemas novedosos como los GIS 3D para dar solución a la problemática planteada.

Como ya se ha comentado, en los últimos años se viene trabajando en temas de modelado tridimensional de ciudades. De momento los objetivos de estos modelados son puramente visuales, no aprovechando todo su potencial (no tienen asociada ninguna información semántica ni topológica). Además la elaboración de estos modelos tridimensionales necesita de una gran dedicación de operadores humanos. El disponer de un Modelo 3D urbanístico con información semántica supondría un notable avance en diversos campos. La elaboración de este tipo de herramientas es llevada a cabo por personal altamente cualificado, y después de una inversión bastante alta tanto en horas como en coste. Esta dificultad estriba en mayor medida, a que la detección y ubicación de las edificaciones no es un proceso totalmente automático.

Posibilita esta investigación el poder avanzar en posibles alternativas para la detección y ubicación de las zonas urbanas.

METODOLOGÍA

El primer paso es la detección, ubicación y modelización de los edificios y demás elementos partiendo de fotografías y nubes de puntos tridimensionales. El proceso actual de extracción de edificios a partir de la nube de datos original, supone un esfuerzo importante en cuanto a coste, mano de obra y tiempo. Llevamos tiempo estudiando como hibridar técnicas para simplificar el trabajo de Modelado 3D, muchos investigadores en fotogrametría, teledetección y visión por ordenador, han tratado de estudiar y desarrollar dispositivos automáticos o semiautomáticos que permitan realizar esta extracción y su posterior reconstrucción. Nosotros hemos hibridado las diferentes metodologías consiguiendo tiempos menores y más baratos.



Imagen de los restos de la muralla medieval

El procedimiento habitual es obtener los contornos bidimensionales de los edificios a partir de la nube de puntos tridimensional y su combinación con imágenes aéreas. Utilizando herramientas software de forma manual, se obtiene un modelo tridimensional aproximado de las ciudades. Este proceso depende mucho de la habilidad del operador humano, obteniéndose resultados dispares. En este proyecto se realizó la extracción de los edificios utilizando únicamente la información tridimensional (reducción de costes, al no necesitar contratar la toma de imágenes aéreas); y de la forma más automática posible (se reduce la cualificación del personal, se evitan errores de subjetividad, se estandariza el proceso, etc.).



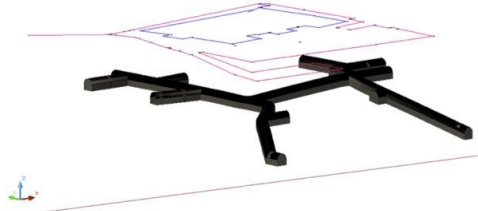
Proceso de toma de Datos

También estamos usando la información de los MDT generados mediante correlación de imágenes, tenemos una fuente de información infrautilizada y cuyas aplicaciones fuera de la producción de ortofoto no se han planteado. Se pretende estudiar la identificación automática de elementos constructivos (edificios), realizando una búsqueda de algoritmos y procesos que actualmente se estén investigando.

Una vez concluida la extracción de edificios y efectuada la reconstrucción de cada uno de ellos, la siguiente etapa sería añadir los atributos de información (metadatos) que confieren utilidad al modelo de la ciudad más allá del aspecto puramente gráfico. Para ello es muy importante estructurar la información según un estándar de información que pueda garantizar la interoperabilidad con otros sistemas de modo que se pueda aprovechar su funcionalidad en los distintos campos de aplicación (telecomunicaciones, estudios de impactos medioambientales, propagación ruido, etc.). Cada aplicación específica necesita de una información semántica diferente que debe asociarse al modelo geométrico. Por ello se pensó en el modelo de información CityGML, pero después se optó por un sistema propio, basado en la hibridación de diferentes tecnologías.

La última etapa sería la generación de un modelo 3D de zonas urbanas mediante herramientas híbridadas. Un sistema de información urbana es un prerequisite esencial para el desarrollo urbanístico planificado. El aumento de la demanda en la planificación urbana ha llevado a la coordinación de disciplinas como la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (GIS) para el desarrollo sostenible de las zonas urbanas. Cada vez es más importante la eficiencia energética de la ciudad, su estudio morfológico y funcional, donde no puede obviarse la importancia que tiene un análisis profundo del modelo de ciudad a

través de modelos digitales del terreno y modelos digitales de superficies. Desde el punto de vista cartográfico, la investigación en estas tecnologías van encaminadas al acceso público de los datos.



Plano de comparación entre la ciudad enterrada y en superficie

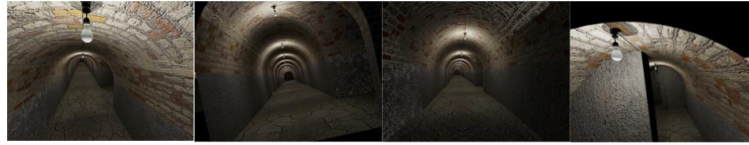
El proyecto no sólo ha sido ambicioso respecto a resolver el problema o carencia de un verdadero Sistema de Información Geográfica tridimensional, sino que se pretendía llegar a una herramienta de ayuda a la planificación y publicación de planeamiento e intervenciones en la ciudad, de forma que llegue a todos los ciudadanos la información pública. Por ley, Los ciudadanos podrán realizar todas sus gestiones administrativas por medios electrónicos, las administraciones públicas, obligadas a ofrecer sus servicios por Internet, móviles, televisión o cualquier medio electrónico futuro. Esta ley cuenta con el apoyo de numerosas comunidades autónomas, ayuntamientos, y representantes del sector privado, usuarios, etc.

EJEMPLOS DE PATRIMONIO ENTERRADO



Modelo 3D de la Muralla Medieval encontrado en la Plaza Velarde de Santander

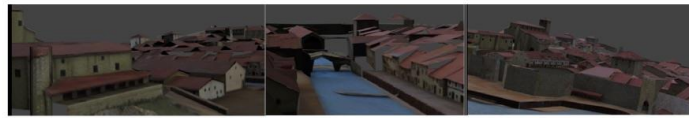
Santander alberga numerosos tesoros enterrados, desde el antiguo puerto, trozos de la muralla medieval, restos de las primeras poblaciones, etc. El principal son los refugios antiaéreos de época de la Guerra Civil Española.



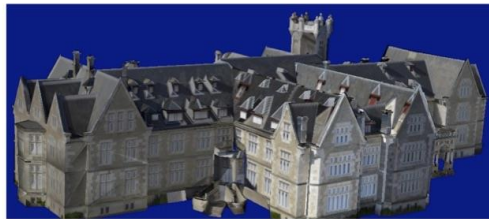
Modelo Tridimensional de un Refugio Antiaéreo en Santander

EJEMPLOS DE PATRIMONIO EN SUPERFICIE

En cuanto al patrimonio en superficie, quedan vestigios desde finales del silo XIX, pero el elemento más antiguo que queda en la ciudad es la Catedral, se puede ver en la siguiente figura. Así como el Palacio de la Magdalena entre otros, este último es de principios del siglo XX.



Virtualización del Santander del siglo XVIII (fuente: maqueta ubicada en el Palacio de Pronillo, Santander)



Modelo 3D del Palacio de la Magdalena

CONCLUSIONES

En los últimos años se ha producido un avance de las tecnologías basadas en la georreferenciación de los datos espaciales, su visualización, gestión de la información y difusión de datos a través de Internet. Gracias a estos cambios, actualmente, los servicios proporcionados del lado del servidor son capaces de realizar ágiles procesos que hace unos años eran impensables o muy costosos, procesos tales como la automatización de análisis espaciales y geoprocementos que son una importante ayuda a la toma de decisiones. Con la existencia de un Sistema de Información Geográfica, se proporciona a los usuarios un acceso centralizado a los datos comunes en un Organismo, datos georreferenciados y datos alfanuméricos,

gestionados por bases de datos relacionales con información cartográfica, junto con las aplicaciones personalizadas que permiten acceder a funcionalidad espacial.

Con la progresiva madurez de la tecnología GIS, la mayor parte de las dificultades y barreras que impiden la implementación y funcionamiento óptimo de los GIS no son de tipo técnico, sino de carácter metodológico. La elaboración de un GIS tiene como componente fundamental, el análisis de los datos, acorde con un modelo de datos previo. En nuestro caso, ese modelo de datos se basa en la representación tridimensional de las ciudades, por lo que el salto del 2D o 2 y ½ D, debe ser crucial, hacia un verdadero 3D. Para que esto se produzca, el proceso de implantación o actualización de un GIS se debe acompañar de una consulta tanto a usuarios como a la Organización que lo utiliza, en este proyecto lo hemos hecho así. Intentando analizar como sería una implantación y formación progresiva a los distintos tipos de usuarios. En esta labor de consultoría se ha detectado que la demanda de las necesidades de funcionalidad GIS crecería una vez implantado el sistema, por lo que el mayor esfuerzo habría que hacerlo a la finalización de la implantación de éste, evitando crear sensación de abandono a los usuarios en el momento más crucial del proceso de actualización y de aplicación del GIS a las tareas cotidianas dentro de un organismo o administración.

Actualmente, los visores GIS a pesar de ser aplicaciones pensadas, a priori, para visualizar y consultar la información espacial de los datos, es sin duda el componente del GIS (Geographic Information Systems) que más ha crecido comparativamente. Permiten guardar y gestionar sesiones, modificar la simbología de las capas, realizar agrupaciones espaciales y búsquedas por áreas de influencia, transformar los datos al formato nativo de GoogleEarth (KML), consultar la información relacionada con una capa mediante la navegación por el modelo de datos, etc. Nuestras aplicaciones utilizan J2EE, desarrollada sobre productos de código abierto (JTS, Hibernate, Velocity, etc.), que funciona dentro del entorno de ejecución de un contenedor de servlets Java (Tomcat).

En cuanto a la elección de un cliente de escritorio con funcionalidad media, libre y de mayor implantación en la administración, entre los más usados está gvSIG, capaz de integrar datos procedentes tanto de la BD Oracle como de servicios remotos de origen WMS, WCS o WFS. gvSIG ofrecía, además, funciones de análisis avanzadas (edición cartográfica, consultas espaciales, conexiones entre tablas, etc.), y es susceptible de incluir personalizaciones desarrolladas a medida de los usuarios. En los diferentes organismos, gvSIG se ejecuta a través del contenedor de Servlets Tomcat mediante el empleo de la tecnología Java Web Start (JWS), lo que facilita notablemente la gestión de versiones del producto y su instalación.

Finalmente, para satisfacer las necesidades de los usuarios expertos, se suelen incorporar clientes de escritorio propietarios que permitieran realizar funciones avanzadas no cubiertas por los componentes del sistema mencionados con anterioridad. Hablamos de ArcGIS Desktop, que se conecta a la base de datos espacial a través de ArcGIS Server Enterprise Basic. Este servicio propietario hace las funciones de middleware espacial y gestiona el almacenamiento, mantenimiento y explotación de la información geográfica utilizando los mecanismos de Oracle Spatial. Lo negativo de las soluciones comerciales es el alto precio de las licencias y la falta de una solución para el análisis y representación tridimensional del territorio o información geográfica.

LÍNEAS FUTURAS

La necesidad de la comunidad cartográfica de conseguir un sistema de información geográfica tridimensional, unido a la carencia de esta tecnología, hacen de su estudio una posibilidad de encontrar una herramienta muy útil. La consecución de una herramienta por sí misma, no es un hecho relevante si su utilización no es viable. Por ello se pretende enmarcar la implementación de esta herramienta dentro de una disciplina de estudio de la ciudad como es la urbanística.



Encontrada la finalidad, se podría buscar la evolución de la herramienta que aporte soluciones a los problemas o necesidades de los urbanistas y estudios de la ciudad, permitiendo una publicación de los resultados y su divulgación a los ciudadanos mediante servicios Web.

Documentación tridimensional del patrimonio histórico mediante hibridación de técnicas de visión artificial e ingeniería inversa: El palacio de la Magdalena en Santander. Cosido, O.J., Catuogno, R., Gálvez, A., (...), Campi, M., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 2207-2214. Indexado en Scopus.



REHABEND 2014
1-4 Abril, 2014, Santander, España

CÓDIGO: 5.3

**DOCUMENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL PATRIMONIO HISTÓRICO
MEDIANTE HIBRIDACIÓN DE TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL E INGENIERÍA
INVERSA: EL PALACIO DE LA MAGDALENA EN SANTANDER**

**Cosido, Oscar J. (1º Autor)^{1*}, Catuogno, Raffaele², Gálvez, Akemi³, Iglesias, Andrés⁴,
Loucera, Carlos⁵, Cappellini, Valeria⁶, Campi, Massimiliano⁷, Sainz, Esteban⁸**

1: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de Formación y Empleo / Universidad de Cantabria,
Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
oscar.cosido@gmail.com

2: Università Degli Studi di Napoli "Federico II", Istituto UrbanEco
raffaele.catuogno@gmail.com

3: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
akemi.galvez@unican.es

4: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
iglesias@unican.es

5: Matemático
clm1981@gmail.com

6: Arquitecto
valeriaccappellini@hotmail.com

7: Università Degli Studi di Napoli "Federico II", Istituto UrbanEco
campi@unina.it

8: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de formación y Empleo
esainz@ayto-santander.es

PALABRAS CLAVE: Drone, Fotogrametría Convergente, Ingeniería Inversa, Palacio de la Magdalena, Visión Artificial.

RESUMEN

Este trabajo surgió dentro de la colaboración continuada entre el Grupo de Investigación de Gráficos por Computador y Diseño Geométrico de la Universidad de Cantabria, el Taller de Empleo Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander y el Instituto Urban/Eco de la Università Degli Studi di Napoli – Federico II – de Italia. El proyecto, propuesto por el Ayuntamiento de Santander, consistió en aportar una nueva metodología de trabajo, mucho más acorde con la situación de crisis actual, buscando una reducción importante de los costes derivados de la documentación digital del patrimonio histórico. Además de funcionar como soporte a trabajos de catalogación, conservación y restauración del patrimonio arquitectónico de la ciudad de Santander, aportando documentación fotográfica y gráfica del edificio



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

“Palacio de la Magdalena” mediante la hibridación de técnicas fotogramétricas con técnicas provenientes del campo de la visión artificial. El trabajo se ha enmarcado dentro del Plan Director de la Magdalena.

Podemos considerar, a este proyecto de colaboración, como un trabajo de investigación con una importante componente de transmisión tecnológica hacia la sociedad. El producto final de este trabajo es la documentación digital de un edificio considerado como patrimonio histórico, de forma que su fortuito derrumbe o demolición no impida el poder volver a construirlo de forma precisa como si de una réplica se tratase. Es muy importante que no existían planos ni alzados previos de este edificio, más allá de los dibujos originales a mano alzada de los arquitectos del edificio y de unos planos aproximados de la reforma interior realizada en la década de los 90, por ello se ha procedido a documentar métricamente este edificio por ingeniería inversa, de forma que se tengan medidas de todos los elementos arquitectónicos del edificio de forma precisa.

El trabajo nace con la intención de ser el prototipo para una nueva metodología de trabajo, combinando diferentes técnicas de tratamiento de imágenes y modelado 3D de objetos de rango cercano, hibridando técnicas fotogramétricas con las provenientes del campo de la visión artificial.

INTRODUCCIÓN

Tras la difícil situación económica por la que atraviesa Europa meridional y dada la colaboración entre el grupo de investigación de Gráficos por Computador y Diseño Geométrico de la Universidad de Cantabria con el Taller de Empleo “SIG y Modelado 3D de Patrimonio en Entornos Urbanos”, una de las especialidades del taller de empleo en nuevas tecnologías del Ayuntamiento de Santander, surgió la idea de realizar un proyecto que aportara un valor añadido a la utilidad pública del servicio de información urbana supramunicipal hacia el ciudadano [1]. Para este proyecto se sumó la colaboración de la Università Degli Studi di Napoli “Federico II”. Dentro de esta colaboración, se planteó el estudio de una nueva metodología de reconstrucción tridimensional de objetos que, dada la versatilidad de aplicaciones potenciales, tendría algunas aplicaciones en el área de la arquitectura.

La presentación por medio de modelos de realidad virtual, posibilitan que el usuario interactúe libremente con el objeto, de manera que el acercamiento y el movimiento por la maqueta virtual lo realiza según la comprensión que de él va adquiriendo. Los programas navegadores, necesarios para realizar estas visualizaciones, son de diseño y disposición muy intuitiva y su aprendizaje sencillo, por lo que su manejo requiere un adiestramiento mínimo. También los modelos tridimensionales permiten la realización de visitas guiadas, que recorren los puntos significativos del modelo, y conducen al espectador directamente a ellos. En este caso se trataría de vídeo-animaciones. Otra posibilidad es la transformación estereoscópica de la imagen del modelo, con lo que se adquiere la sensación de profundidad sin tener que realizar ningún esfuerzo de interpretación, precisando únicamente la utilización de artefactos más o menos complejos. Este proyecto completó el trabajo realizado por Cosido et al [2] en el que se implementan los servicios Web del GIS Municipal para la documentación del mobiliario urbano, consiguiendo una elevada precisión métrica. Como productos finales se obtuvieron el modelo 3D del Edificio y la ortorrectificación de las fachadas.

METODOLOGÍA PARA EL MODELADO 3D DEL PALACIO DE LA MAGDALENA

1.1 Estudio Preliminar

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

Dentro de este trabajo concreto, la idea inicial consistió en comparar los costes y viabilidad de modelar el edificio mediante técnicas de fotogrametría convergente [3] contra la tecnología del LIDAR Terrestre (Láser-Escáner). Para la captura de información tanto de las fachadas como de la parte interior del edificio. La reconstrucción 3D es el proceso mediante el cual objetos reales son reproducidos en un ordenador, manteniendo sus características físicas (dimensiones, volumen y forma). Existen diversas técnicas de reconstrucción, cuyo objetivo principal es obtener un algoritmo que sea capaz de realizar la conexión del conjunto de puntos representativos del objeto en forma de elementos de superficie. La eficiencia de las técnicas utilizadas define la calidad final de la reconstrucción. Después de varias pruebas y visto el coste del escáner-láser se decidió prescindir de esta tecnología y generar el proyecto mediante fotogrametría convergente. Haciendo del proyecto un trabajo menos automático en la captura de la información, pero con más posibilidades de automatización al tratarse de imágenes unidas con modelos 3D de nubes de puntos obtenidos por estereocorrelación, no sólo nubes de puntos obtenidas con Escáner-Láser, a partir de las cuales, pudimos generar la malla de puntos de igual forma, así como el modelo 3D y mucho mejor resuelto el texturizado del modelo y la producción de la ortofoto.

Una vez decidida la metodología a emplear: mediante la captura de información a través de la toma de fotografías convergentes al edificio, se investigó el integrar nuestro sistema con la utilización de nuevos métodos de captura, así la parte de la cubierta del edificio se realizó por captura con cámara aerotransportada en un Drone cuatríhlice o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), a partir de ahora DRONE, que se subcontrató por parte del Ayuntamiento de Santander, integrando también la utilización de un miniUAV, a partir de ahora MICRODRONE, adquirido por el Ayuntamiento de Santander para poder estudiar la generación de modelos de "bajo coste". No encontrando, en la actualidad, publicaciones ni referencias a vuelos con un aparato tan económico y una cámara HD tan sencilla.



Figura 1. Vuelo con el miniDrone para toma de fotografías

1.2 Hibridación de Técnicas

Las diferentes técnicas de reconstrucción existentes presentan varias ventajas e inconvenientes y por lo tanto dependiendo del fin de la reconstrucción unas serán más apropiadas que otras. Las técnicas de telemetría láser y luz estructurada consiguen construcciones con una gran exactitud y precisión, pero también presentan varias desventajas como el alto coste del equipo. Además de que este tipo de técnicas son especialmente dependientes en la geometría del objeto y necesitan ambientes muy controlados. Por el contrario, la visión artificial basada en el análisis de las imágenes y la fotogrametría convergente son las técnicas más utilizadas para la reconstrucción tridimensional, por su robustez y su menor coste económico.



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

La libertad que alcanza a la Fotogrametría hace que se tenga que unir a soluciones híbridas, interrelacionadas, dentro de una multidisciplinariedad. Nosotros hemos ligado la fotogrametría y los algoritmos basados en visión artificial con las tecnologías de Sistemas de Información Geográfica, en los que puede considerarse ya, como parte constituyente, la existencia de niveles (layers) que contengan la información cartográfica (el "vectorial") además de la correspondiente ortofoto (el "raster"). Además de unirlo con la Inteligencia Artificial, con aspectos como la visión robótica que involucra al vídeo y a la extracción e interpretación de objetos en tiempo real. Relacionado con lo anterior, se sitúa la cuestión de los sistemas expertos y los sistemas de integración de datos procedentes de múltiples fuentes. Igualmente, a medio camino entre lo cartográfico y lo informático, se sitúan las posibilidades de realidad virtual y de animación de imágenes.

En la reconstrucción en tres dimensiones se emplean diferentes métodos algunos de ellos ya mencionados anteriormente y por lo tanto lo que se pretendía en este trabajo es emplear aquellas técnicas que mejor se adecuaran tanto en efectividad como en velocidad a la reconstrucción de objetos. El aspecto de la velocidad es importante, ya que en casi todas las aplicaciones profesionales se requiere que los sistemas funcionen en tiempo real, por ello se utiliza una técnica de reconstrucción basada en puntos de interés que permite un menor tiempo de procesado. Otro aspecto a tener en cuenta es el coste del equipo. La reconstrucción por fotogrametría convergente permite una solución robusta y rápida con un coste reducido.

1.3 Desarrollo del Trabajo

El trabajo consiste en la reconstrucción de objetos cercanos, basándose en el análisis de imágenes adquiridas desde distintas posiciones de cámara dispuesta en forma convergente al modelo. Las cámaras utilizadas estarán calibradas permitiendo obtener distintas imágenes relacionadas entre sí [6]. A partir de esas imágenes de se deberá generar una malla en tres dimensiones, formada por puntos en tres dimensiones y rectas que unan los puntos [4]. Este trabajo intenta aportar una mejora metodológica, abriendo nuevas perspectivas en los distintos campos de trabajo para la geomática, acercándola a las disciplinas de la Visión Computacional, la Informática Gráfica y la Fotogrametría de Rango Cercano.

La metodología que se ha seguido para la realización del trabajo ha consistido en:

1. Análisis previos:

En primer lugar, una vez elegido el edificio, se elabora una recopilación exhaustiva de documentación y cartografía de la zona y del mismo. Información necesaria para conocer, a priori, las distancias de las fachadas, ancho de calles y posición del arbolado. A continuación, con ayuda de un distanciómetro láser o estación total, se obtiene el levantamiento de la posición aproximada del arbolado, el mobiliario urbano y posteriormente el perímetro del edificio. Además de la longitud y altura de las fachadas del edificio, para realizar el estudio de la toma fotográfica. A partir del dibujo esquemático de las fachadas del edificio con un programa de diseño CAD, se desarrolla el estudio de la cobertura fotográfica, teniendo en cuenta las características de la cámara digital, el tamaño del fotograma, el tamaño del píxel, y la escala a la que se desea obtener la cartografía final, que en este caso es a escala 1/100.

2. Trabajo de campo:

- a. Obtención de imágenes: Se capturaron imágenes con la cámara de diferentes objetos. Dichos objetos tienen geometrías de creciente dificultad e, inversamente, decreciente escala. Con el plano o esquema de la posición de los fotogramas en cada fachada del edificio, se realiza la toma de fotografías en el terreno [5].
- b. Una vez revisadas e impresas las fotografías, se estudia la posición de los puntos de control mayor necesarios en cada una de ellas para poder efectuar, posteriormente, la orientación

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

- externa. Es indispensable ejecutar este estudio antes del levantamiento topográfico del edificio, para tener claro cuáles son los puntos imprescindibles en la toma de datos.
- c. Cálculo de los errores. Los distintos parámetros de cámara, distancia al objeto y dimensión del mismo nos generan unos errores mesurables.
 - d. Una vez realizada la planificación de los trabajos y la cobertura fotográfica, se establecen las bases de la red del levantamiento, las cuales se emplearán como estaciones de las que se realizará la radiación de los puntos de control y de relleno que se creen necesarios para determinar la forma y dimensiones del edificio.
 - e. Vuelo fotogramétrico mediante UAV: Se ha volado con dos tipos de UAV, la finalidad ha sido la de capturar las fachadas mediante la toma de fotos oblicuas con un vuelo oblicuo y las cubiertas mediante vuelo con posición del haz perspectivo de la cámara de forma cenital o perpendicular al tejado. Para nuestro trabajo usamos dos tipos de UAV, lo que hemos denominado como Drone y otro más pequeño, mucho más económico, pero con menos capacidad a la hora de trabajar y tomar imágenes desde el aire, que hemos denominado Minidrone. Ambos aparatos han funcionado cumpliendo las expectativas, sobretudo el minidrone, que con una cámara con poca resolución, ha posibilitado imágenes con calidad suficiente, cubriendo espacios inaccesibles de otra forma para la toma de imágenes. Para el vuelo, hemos marcado el plan de vuelo en un programa que permita georreferenciación y después se lo hemos programado al Drone, con el minidrone lo hemos realizado de forma libre, siguiendo el criterio del operador que lo conducía. Hemos aprovechado al máximo la capacidad del aparato, mediante el uso del GPS y el sistema inercial del mismo, así como la capacidad de estabilización que tienen mediante el uso de los giróscopos.
3. Computación:
- a. A partir de aquí comienza una serie de trabajos extensos de procesado de los datos, se efectúan los cálculos necesarios para conocer la tolerancia y precisión del trabajo de campo. También se obtienen: los parámetros internos de la cámara, la orientación relativa, la orientación externa.
 - b. La restitución del modelo inalámbrico tridimensional del edificio, la representación bidimensional de las fachadas del mismo y la creación de ortoimágenes.
 - c. Reconstrucción:
 - i. Detección de esquinas: Se buscarán varios algoritmos que sean capaces de detectar las esquinas de las imágenes escogidas. Además de la implementación de algunos de ellos mediante el software fotogramétrico Photomodeler, del que hemos sido Betatesters. Una vez implantados se llevará a cabo un análisis comparativo teniendo en cuenta la calidad de los puntos detectados y el tiempo de ejecución.
 - ii. Detección de bordes o aristas: Se investigarán los posibles algoritmos capaces de detectar los bordes de las imágenes escogidas. Se realizará una comparación de los distintos algoritmos atendiendo a criterios de calidad y tiempo de procesado.
 - iii. Detección de puntos de interés: Se procedió a implantar los algoritmos más importantes. Mediante una comparativa de los distintos algoritmos. Entre las zonas de interés se estudia la detección de líneas.
4. Modelado 3D. Por último, se realizó una reconstrucción en tres dimensiones de los objetos hibridando los métodos y algoritmos encontrados que mejores resultados obtuvieron. Para obtener el

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

modelo tridimensional inalámbrico del edificio se ha realizado la restitución digital del mismo con el programa Photomodeler en su versión Scanner. Se entiende por restitución al proceso que permite encontrar la forma de un objeto a partir de la intersección de los haces perspectivos de cada par de fotografías. Restitución por nubes de puntos: el más complejo, exige un dominio de los anteriores, de las cámaras y de la calibración. Al generar nubes de puntos de una forma automática, al trabajar con ellas y corregirlas es algo que no está muy logrado, es complicado restituir una fachada de 10 millones de puntos. En nuestro caso se empleó la opción del scanner con zonas de gran complejidad como escudos, adornos del capitel de las columnas del pórtico de entrada, etc.



Figura 2. Corte del Modelo 3D de la Magdalena

En este proceso lo primero es idealizar las fotografías que vayamos a utilizar, comenzamos con el proceso habitual de relacionar puntos comunes hasta lograr orientar todas las fotografías. Una vez idealizadas y orientadas crearemos una superficie densa, una superficie sobre la que vamos a trabajar, elegiremos el formato DSM (Modelo de Superficies) que nos permite seleccionar una zona concreta común en todas las imágenes. Teniendo siempre cuidado de mantener un error residual bajo. Una vez seleccionada la zona marcamos de forma automática mediante los algoritmos de visión artificial. Para lo que sería imprescindible, contar con unas dianas que nos anclasen perfectamente el objeto. Esta fue la principal línea de investigación conseguir una nube de puntos para restituir y lograr un modelo preciso. Para crear esa nube usamos técnicas de fotogrametría unidas a los algoritmos de visión artificial, después con nuestra nube de puntos trataremos de triangular creando una malla. En nuestro trabajo llegó un momento en que se unieron todas las partes del edificio con las que trabajamos en CAD, sobre un plano de planta que sacamos del GIS del ayuntamiento. Se exporta cada una de las partes en formato DXF, al abrirlas en CAD lo primero que había que lograr era orientarlas, alinearlas en los ejes X, Y y Z y escalarlas con la planta hasta hacerlas encajar formando un solo sistema en coordenadas UTM.



Figura 3. Modelo 3D del Palacio de la Magdalena: Modelo Geométrico y Modelo con Texturas

1.4 Hibridación Computacional

Dentro de la Hibridación de distintas técnicas se optó por el Algoritmo de Longuet Higgins, algoritmos de Extracción de Características, otros algoritmos para la identificación de puntos característicos a partir de

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

aristas, puntos de fuga, esto último se hizo mediante el método de la minimización del área del triángulo, este método consiste en el cálculo y minimización de la superficie de los triángulos formados por cada uno de los segmentos extraídos y por el punto de fuga, como vértice opuesto de cada triángulo y común a todos ellos. El área de cada triángulo se calcula a través del determinante formado por las coordenadas de los dos puntos extremos de la línea de fuga y las coordenadas del punto de fuga. Por último también utilizamos la Transformada de Hough para líneas. La transformada de Hough está diseñada especialmente para encontrar líneas. Definimos una línea como una colección de puntos de borde que son adyacentes y que tienen la misma dirección. La transformada de Hough es un algoritmo que tomará una colección de puntos de borde, encontrados mediante un detector de bordes y buscará todas las líneas sobre las cuales estos puntos de borde se encuentran. La idea básica es convertir los puntos de bordes al espacio de parámetros.

1.5 Correlación y automatización del proceso

Para poder hacer esta parte recurrimos al uso de un Árbol de búsqueda. Después del establecimiento de la descripción relacional de las entidades de correspondencia y la forma de medir el grado de semejanza, es necesario ejecutar un esquema de correspondencia. La forma más común de encontrar la solución es mediante un árbol de búsqueda. En la Visión Computacional e Inteligencia Artificial, se utilizan con éxito tres métodos de búsqueda [6].

Los árboles están formados por nodos y arcos, que comienzan en un nodo raíz, y descienden a través de los nodos antecesores, hasta alcanzar los nodos hoja. La conexión entre dos nodos se realiza a través de arcos. Las primitivas $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ de una descripción relacional se denominan unidades y las primitivas de la descripción que se quiere hacer corresponder, es decir $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ se llaman etiquetas. La dimensión o profundidad del árbol se define por el máximo camino con el menor costo.

Hasta aquí solo se ha utilizado la descripción de las primitivas y la correspondencia, ya descrita, es simplemente correspondencia basada en características, realizada mediante el uso de un árbol de búsqueda (en oposición por ejemplo al método Ψ -s). El siguiente paso considera las relaciones entre las primitivas. Los métodos anteriores fueron utilizados para la identificación de puntos y características homólogas, con la finalidad de generar la nube de puntos por estereocorrelación que determine la base geométrica del objeto a modelar.

Una vez creadas las superficies mediante la triangulación, se procede a la asignación de materiales a dichas superficies del objeto que al interactuar con las fuentes de luz de la escena permiten alcanzar efectos de visualización con el mayor realismo 3D posible. Al tiempo se continuaba con el desarrollo del trabajo, también ahí se unieron todas las partes, buscando puntos de convergencia, si se observó que para conseguir mayor precisión y que se acercase más a la realidad, tuvimos que hacerlo dando unos puntos por topografía. Cada una de ellas tenía que estar orientada y escalada, esto lo conseguimos eligiendo un punto como origen (0,0,0) y, a partir de él, le damos una distancia a otro punto para definirle el tamaño del objeto, le orientamos en los ejes X y Z, es decir, le damos una altura y una profundidad, mediante tres puntos, así fuimos uniendo, de forma sucesiva, cada una de las partes. Llegados a este punto decidimos mejorar el modelo de malla de alambre, obtenido, exportándolo a CAD y limpiando y corrigiendo las líneas de ruptura del edificio. También se consiguió un modelo 3D con los interiores del edificio. Mediante el uso de sombras y focos de luz, podemos realzar la sensación de 3D.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el modelo 3D del edificio de la Magdalena y de la Casa de Guardeses, podemos concluir que hemos sido capaces de generar modelos 3D de edificios catalogados como Patrimonio Histórico, de los que no había unos planos previos. Para conseguir esta finalidad, hemos mezclado



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

distintas tecnologías y técnicas, desarrollando un híbrido, del que ha salido una nueva metodologías válida para cualquier trabajo similar, basado en la reconstrucción 3D de objetos de rango cercano.

La hibridación ha consistido en el uso de los Drones o UAVs, donde hemos comparado la utilización del modelo de UAV más caro con la utilización del más barato, las técnicas de fotogrametría convergente, la automatización de parte del proceso mediante el uso de algoritmos implementados para su uso en visión artificial y su gestión mediante la implementación de un prototipo de Sistema de Información Patrimonial (tecnología GIS 3D). El trabajo realizado no sólo ha permitido la consecución del objetivo del trabajo, sino que ha supuesto el citado prototipo de tecnología GIS 3D, suponiendo una aproximación más hacia la necesidad de gestionar la información de forma 3D o 4D [7].

Los resultados iniciales fueron divulgados y reconocidos a la hora de otorgar un proyecto de investigación del Plan Nacional en la convocatoria de 2012. Podemos considerar a este trabajo de colaboración como un trabajo de investigación con una importante componente de transmisión tecnológica hacia la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cosido, O. "Educational Innovation In Employment Workshops Santander Commitment To Employability In New Technologies" Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje (2012).
- [2] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: "Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander". ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [3] Lerma, J.L. (2002). Fotogrametría moderna. Analítica y digital. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. p. 37-38
- [4] Andreetto M., Brusco N., Cortelazzo G., (2003) "Automatic 3D modeling of textured cultural heritage objects", Department of Information Engineering, University of Padova.
- [5] Buill, F., Núñez, M.A., Rodríguez, J.J. (2007). Fotogrametría arquitectónica. Editorial Edicions UPC.
- [6] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding," IBM Systems Journal 35, Nos. 3&4, 313-336 (1996).
- [7] Cosido, Oscar & López, Conrado "Stereowebmap: 3D Cartography Server" GISCOAST 2007.

Nueva metodología para la documentación tridimensional de estructuras arqueológicas con alta definición, el caso del yacimiento arqueológico de la plaza porticada en Santander. Cosido, O.J., Jiménez, J.I., Ruiz, O., (...), Iglesias, A., Sainz, E. REHABEND 2014, pp. 145-152.



REHABEND 2014
1-4 Abril, 2014, Santander, España

CÓDIGO: 1.1

NUEVA METODOLOGÍA PARA LA DOCUMENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE ESTRUCTURAS ARQUEOLÓGICAS CON ALTA DEFINICIÓN, EL CASO DEL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LA PLAZA PORTICADA EN SANTANDER

**Cosido, Oscar J. (1º Autor)¹, Jiménez, Jesús I.², Ruiz, Oscar³, Iglesias, José M.⁴,
Iglesias, Andrés⁵, Sainz, Esteban^{6*}**

1: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de Formación y Empleo / Universidad de Cantabria,
Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
oscar.cosido@gmail.com

2: Arqueólogo
j.ignacio.jimenez.chaparro@gmail.com

3: Ingeniero Técnico Industrial
oscar.ruiz@alumnos.unican.es

4: Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias Históricas
iglesijm@unican.es

5: Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
iglesias@unican.es

6: Ayuntamiento de Santander, Centro Municipal de formación y Empleo
esainz@ayto-santander.es

PALABRAS CLAVE: Arqueología, Fotogrametría, Ingeniería Inversa, Modelado 3D, Topografía, Visión Artificial.

RESUMEN

El yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde de Santander se ubica en la esquina Sudeste de la conocida como plaza porticada y los trabajos arqueológicos desarrollados en él se han prolongado, de manera intermitente, desde 2006 hasta 2013. Las excavaciones arqueológicas realizadas han permitido documentar diversos vestigios de las estructuras que conformaban la Puebla Nueva de la villa medieval de Santander, especialmente el tramo de la cerca medieval de la villa comprendida entre la Puerta del Mar y el Portillo de Don Gutierre además de ambas entradas a la villa. También se ha podido documentar la evolución de los espacios urbanos ubicados en dicha zona desde el siglo XII hasta el XX con la construcción de las primeras estructuras pétreas de la Puebla nueva a finales del siglo XIII, la creación de la Rúa Chiquita, la posterior Plaza del Príncipe y la destrucción provocada por el incendio de 1941. También se han obtenido diversas evidencias de la ocupación del espacio extramuros de la villa colindante al tramo de muralla presente en el yacimiento, así como de proceso de ensanche de la ciudad producido a

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

finales desde mediados del siglo XVIII y consistente en el relleno de zonas marítimas para crear nuevas áreas de población.

El trabajo realizado ha permitido documentar con una alta precisión geométrica las distintas estructuras aparecidas en dicho yacimiento, consiguiendo una alta definición y resolución espacial de los distintos objetos y estructuras aparecidos durante la última fase de la excavación.

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de la Plaza Velarde o Plaza Porticada de Santander nos proporciona evidencias materiales de la evolución de la ciudad, su trazado urbano y su entramado social desde la época anterior a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander hasta la actualidad, con la profunda transformación sufrida por el espacio que hoy ocupa la plaza tras el incendio de 1941, que tan profunda huella dejó en el consciente colectivo de sus habitantes. Estos trabajos arqueológicos han arrojado una serie de resultados preliminares que nos permiten afirmar que dichas estructuras formaban parte de la muralla de la Puebla Nueva de la villa medieval de Santander, en un tramo comprendido entre las antiguas puertas del Mar y el Portillo de Don Gutierre.



Figura 1: Yacimiento de la Plaza Porticada de Santander

El yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde se encuentra situado en la ciudad de Santander, en la plaza que de manera popular se denomina Plaza Porticada y cuya nomenclatura oficial da nombre al yacimiento.

La Plaza de Velarde se ubica en el centro de la actual ciudad de Santander y es una de sus plazas emblemáticas. Su ubicación se inscribe dentro de lo que se consideraba el recinto amurallado de la villa medieval, aunque hasta el momento no existían evidencias físicas de este amurallamiento en la zona que nos ocupa. El yacimiento arqueológico ocupa 450 m² de la esquina Sureste del espacio destinado a la plaza, anexo al espacio porticado definido por el actual edificio de la Agencia Tributaria. Las dimensiones del espacio que se ha destinado a la excavación arqueológica suponen un rectángulo de 30 metros de longitud en dirección Norte y 15 metros de anchura en dirección Oeste desde la mencionada esquina de la plaza. Debido a estas reducidas dimensiones, no son demasiadas las estructuras arquitectónicas que se encuentran presentes en el mismo, tal y como veremos más adelante. La existencia en la actualidad de una plaza en este espacio no coincide en absoluto con la morfología urbana del área de ubicación del yacimiento en época medieval, dado que toda esta zona se vio profundamente afectada por las remodelaciones que sufrió el urbanismo del centro histórico de Santander tras el incendio acontecido en 1941. En concreto, en el espacio delimitado por el yacimiento arqueológico de la Plaza Velarde se encuentra situado en el espacio que anteriormente ocupaban el tramo de muralla que discurría desde el portillo de Don Gutierre y la Puerta del Mar, el camino de ronda asociado a dicho tramo de muralla, y dos

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

edificaciones asociadas al mismo, una de las cuales ha podido ser identificada como la casa-torre de los Escalante. Posteriormente el camino de ronda se modificaría para dar lugar a la Rúa Chiquita con las cimentaciones de los edificios que daban a esta calle. También en su extremo norte se encontraba la calle que conectaba la Puerta del Mar con la confluencia de las calles de Tableros, de Arcilleros y de Don Ivannes. Además de espacio intramuros que acabamos de describir, se ha podido documentar en este yacimiento una pequeña franja del espacio anexo a la cerca de la villa por su cara externa, es decir, una franja de lo que presumiblemente fue el muelle del Cay y posteriormente las estructuras que daban a la calle de las Herrerías y posterior Plaza de la Aduana.



Figura 2: Trabajos durante el Yacimiento Arqueológico

El trabajo de modelado 3D de las estructuras fue realizado por la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander en su especialidad de “GIS y Modelado 3D de Patrimonio en Entornos Urbanos” [1].

2. EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LA PLAZA VELARDE DE SANTANDER

Cronológicamente, la intervención arqueológica en la Plaza Velarde de Santander, nos permite conocer la evolución diacrónica de la villa medieval santanderina, desde los momentos previos a la urbanización del espacio en el que se asienta el yacimiento en los siglos XII y XIII hasta la conformación de su actual fisonomía, con la construcción de la actual plaza a partir de 1942. De este modo se han encontrado evidencias de la ocupación de este espacio con carácter previo a la urbanización de la Puebla Nueva de Santander tras la concesión del fuero en 1187, también del proceso de amurallamiento de la villa y de la conformación de las calles adyacentes a la misma. También nos permite este yacimiento registrar las evidencias materiales de las diferentes remodelaciones que se han sucedido en este espacio con desde finales de la Edad Media y en época Moderna, con cambios de pavimentación de las calles, construcción de infraestructuras diversas para el desalajo de aguas tanto pluviales como procedentes de edificaciones y la adaptación del terreno para la construcción de edificios. También la etapa contemporánea dejará huella material en el yacimiento, con la construcción de canalizaciones y unos aseos públicos que afectarán directamente a la muralla medieval. Por último, la amortización del espacio para la construcción la Plaza Velarde tras el incendio de 1941 sellará el yacimiento y permitirá la conservación de las estructuras que se encontraban en el subsuelo, al ser amortizadas mediante el relleno de esta área.

El elemento arqueológico más relevante y de mayor monumentalidad que se hace presente en este yacimiento es la muralla medieval de la villa. Esta muralla, que en su estructuración perteneciente a la Puebla Nueva tradicionalmente está fechada en torno a finales del Siglo XIII y principios del Siglo XIV, fue derribada para acometer el ensanche de la ciudad hacia 1790. La necesidad de crecimiento de la



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

ciudad motivó el proyecto y realización de un ensanche a mediados del siglo XVIII, este ensanche fue ejecutado en la última década de los noventa de ese siglo, siguiendo el proyecto de Agustín de Colosía. En el yacimiento de la Plaza Velarde se han llevado a cabo diversas intervenciones arqueológicas de manera discontinua desde mediados de 2006. En el caso concreto de la Arqueología, de nada sirve llevar a cabo intervenciones arqueológicas o realizar afirmaciones basadas en supuestos datos arqueológicos, si estos no se documentan de manera precisa y se registran de manera que puedan ser consultados en el futuro por otros investigadores.

“Una buena cartografía arqueológica constituye la premisa indispensable para programar la investigación, encontrando un justo equilibrio entre las excavaciones de emergencia y los proyectos para sitios no amenazados con el fin de centrar objetivos específicos de conocimiento” El volcado de las informaciones arqueológicas producidas en las ciudades nos permite, a posteriori, llevar a cabo esas cartografías temáticas de gran utilidad en la gestión del Patrimonio de nuestras ciudades. De esta manera, los datos obtenidos en las intervenciones arqueológicas realizadas en la Plaza Velarde han sido gestionados mediante su inclusión en un Sistema de Información Geográfica [1]. Para ello es de vital importancia que la recogida de datos que se produzca en estas intervenciones obedezca a unos parámetros predefinidos que permitan una adecuada combinación de los datos procedentes de diversas intervenciones. En primer lugar, es indudable que es imprescindible que la información espacial acerca de los elementos arqueológicos (muebles e inmuebles) se encuentre expresada en los mismos sistemas de referencia, ya que de esta manera podremos conjuntar todos estos datos de manera eficaz. Así mismo, resulta necesario que los datos registrados acerca de estos elementos obedezcan a unos estándares que permitan un estudio comparado.

2.1 Trabajo Fotográfico

Se eligió realizar la toma fotográfica sobre las 8:00 horas y 13:00 horas aproximadamente, debido a la gran afluencia de gente que trabajaba en el yacimiento fuera de este horario restringido. Como en todos los trabajos que realizamos, las fotografías se efectúan con la cámara digital no métrica Canon PowerShot G12, apoyada sobre trípode, con plataforma abatible 90°. También se combinaron con imágenes procedentes de un Drone propiedad de la Escuela Taller del Ayuntamiento de Santander. Dichas fotografías son impresas y analizadas, para determinar la posición, como mínimo de 3 puntos de control mayor. Estos puntos son necesarios para realizar el proceso de orientación externa.

Para poder reconocer los puntos de forma automática en las imágenes se combinó el uso de dianas con el de marcas generadas mediante elementos no duraderos y fácilmente eliminables. Eran puntos fácilmente identificables en las fotografías y en el terreno, ya que posteriormente se determinaron sus coordenadas en campo. Son puntos imprescindibles en la toma de datos del trabajo topográfico. Por ello se eligen puntos en esquinas de muros y marcas fácilmente reconocibles.

2.2 Trabajo Topográfico

Una vez realizada la cobertura fotográfica y estudiado los puntos marcados en los objetos, se establecen y se marcan en el terreno las bases de la red a partir de las cuales realizamos el levantamiento del yacimiento. La red está formada por un total de 4 bases de estación distribuidas. Para esta fase se combinó la utilización de un GPS TRIMBLE y una Estación Total tipo LEICA modelo TC805L, además de prisma circular y flexómetro.

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España



Figura3: Equipo de Topografía

La tolerancia del trabajo de campo es un valor que nos permite desechar las medidas que lo sobrepasen, no considerándolas. Ésta se calcula a partir de una serie de errores accidentales producidos por el instrumental y el método que se utiliza. Nuestra tolerancia calculada era de 2 cm en altimetría y 1 cm en planimetría. Nuestra Red fotogramétrica se generó por densificación de la Red Topográfica Municipal.

2.3 Calibración de la Cámara

Para poder automatizar el proceso de la metodología empleada, tuvimos que calibrar la cámara, para ello seguimos los siguientes pasos:

1. Toma fotográfica para la calibración.
2. Medición de las dimensiones básicas de la malla.
3. Introducción de aproximaciones iniciales.
4. Marcación manual de los 4 puntos de control básicos de la malla.
5. Cálculo automático de la calibración.

El primer paso en el proyecto global era calibrar nuestra cámara, para ello se usa una plantilla que fotografiamos desde diferentes vistas, 12 fotografías, 3 por cada lado de la rejilla, lo cual nos permiten dominar todo el campo visual de la cámara.

Nuestra plantilla tiene cuatro puntos rodeados de un sector fragmentado que nos permite unirlos de forma unívoca en todas las imágenes. En este proceso, trataremos de corregir las dos distorsiones que se producen en el proceso de restitución, la distorsión radial producida por la lente y la distorsión entre el centro de curvatura de la lente y el eje óptico del objetivo.

Una vez obtuvimos correlacionados los puntos que consideramos óptimos, volvimos a calibrar y así consideramos concluida la calibración de nuestra cámara.

2.4 La Toma de Fotografías

Dado los dos niveles de trabajo o diferentes escalas dentro de un yacimiento: el yacimiento en general y los objetos en él encontrados, decidimos dividir en pequeñas partes que fotografiar, en torno a las cuales nos desplazamos cambiando la perspectiva. En nuestro trabajo en concreto, a parte de las imágenes tomadas en torno al yacimiento, utilizamos unas imágenes aéreas oblicuas y cenitales, capturadas desde un helicóptero cuatrhélice (Drone), que realizó un vuelo sobre el yacimiento.

Para el modelado 3D de las distintas estructuras y objetos encontrados, utilizamos sólo la cámara terrestre, dado que no eran lo suficientemente grandes como para necesitar el uso del Drone.

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España



Figura 4: Preparación del Drone

Para la geometría de restitución 3D oblicuo, la regla básica es que cada zona del objeto quede recogida, al menos en tres imágenes. La mejor forma de ejecutar esta cuestión es tomar las imágenes a lo largo de un anillo en torno al objeto con la distancia al mismo constante, pero nosotros no fuimos capaces, dado la irregularidad del yacimiento, por lo que tuvimos que utilizar mucho más la parte de reconocimiento automático de marcas estáticas, en detrimento de la fotogrametría. En este yacimiento se tuvo que ir más al reconocimiento automático de marcas mediante técnicas de Machine Learning dejando en menor grado las técnicas de análisis fotogramétrico. Lo que sí intentamos respetar en todo momento es la posición mínima de las imágenes: una perpendicular al objeto, otra encuadrando hacia la izquierda y otra hacia la derecha. Para la fase de procesado fotogramétrico y composición del modelo 3D, descubrimos que en las zonas de en que las partes del objeto se articulan entre sí, debíamos sacarse partido de las fotos tomadas en diagonal, es decir, que ofrecen el mayor recubrimiento posible del objeto.



Figura 5: Imagen de una calzada con marcas para orientación de las imágenes

2.5 Estudio y utilización de Técnicas de Machine Learning

Para la detección automática de las marcas distribuidas en el yacimiento, hemos utilizado distintos algoritmos basados en técnicas de Machine Learning: Redes Neuronales y Maquinas de Vectores Soporte, aunque por la simplicidad y suficiencia demostrada, lo que hemos realizado al final, después del establecimiento de la descripción relacional de las entidades de correspondencia y la forma de medir el grado de semejanza, fue ejecutar un esquema de correspondencia. La forma empleada finalmente para encontrar la solución es mediante un árbol de búsqueda. En la Visión Computacional e Inteligencia Artificial, se utilizan con éxito tres métodos de búsqueda [3].

Los árboles están formados por nodos y arcos, que comienzan en un nodo raíz, y descienden a través de los nodos antecesores, hasta alcanzar los nodos hoja. La conexión entre dos nodos se realiza a través de arcos. Las primitivas $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ de una descripción relacional se denominan unidades y las primitivas de la descripción que se quiere hacer corresponder, es decir $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ se llaman etiquetas. La dimensión o profundidad del árbol se define por el máximo camino con el menor costo.

REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

Hasta aquí solo se ha utilizado la descripción de las primitivas y la correspondencia, ya descrita, es simplemente correspondencia basada en características, realizada mediante el uso de un árbol de búsqueda (en oposición por ejemplo al método Ψ -s). El siguiente paso considera las relaciones entre las primitivas.

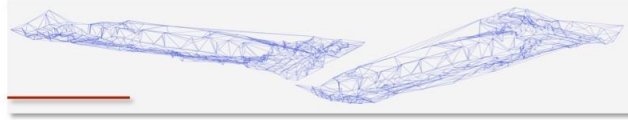
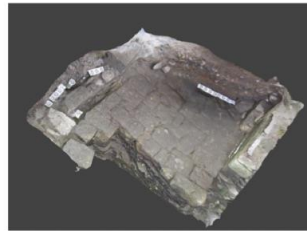


Figura 6: Modelo Digital del Yacimiento

Los métodos anteriores fueron utilizados para al identificación de puntos y características homólogas, con la finalidad de generar la nube de puntos por estereocorrelación que determine la base geométrica del yacimiento arqueológico y de los objetos a modelar.



Imágenes del Yacimiento, de la ortorrectificación y del modelo 3D

3. CONCLUSIONES

Existe una estrecha relación entre las intervenciones arqueológicas realizadas en espacios urbanos y la puesta en valor de los restos arqueológicos que en ellas se pueden documentar. A este respecto queremos destacar que es de vital importancia la valorización del patrimonio relacionado con los procesos de formación de los espacios urbanos ya que “solamente la valorización del Patrimonio Arqueológico en su doble vertiente como recurso en el presente y como fuente del pasado justifica y da valor al tiempo, los



REHABEND 2014. 1-4 Abril, 2014, Santander, España

recursos y las expectativas que la sociedad deposita en la Arqueología Urbana". No obstante, la puesta en valor de los restos arqueológicos ligados a las intervenciones arqueológicas realizadas es espacios urbanos no puede ser excusa para dejar de lado el estudio y análisis completo y pormenorizado de los restos hallados, tanto de su naturaleza como del contexto en el que se insertan. Por ello, los programas de musealización de restos arqueológicos deben ir de la mano de los proyectos de investigación de la Arqueología Urbana y formar un complejo que permita a la sociedad el disfrute de los monumentos y un mayor conocimiento de su pasado. Evidentemente, sólo podemos apreciar de manera global aquello que conocemos y, sobre todo, aquello que entendemos. Es importante que las musealizaciones lleven aparejado un programa explicativo que permita dar a conocer a la sociedad todos los aspectos del fenómeno histórico-cultural que ha dado lugar a los restos musealizados, de manera que sea fácilmente inteligible para un público no especializado en la materia. A este respecto resulta de vital importancia que la práctica de la Arqueología en los espacios urbanos se reconcilie con la sociedad para que, mediante el disfrute de los resultados de la primera ya sea en forma de difusión del conocimiento o de valorización de los restos, la segunda perciba a la Arqueología no sólo como una actividad perjudicial impuesta por la necesidad de cumplir con unos preceptos legales sino como una manera de obtener activos dinamizadores, revalorizadores de los espacios urbanos para aumentar nuestro conocimiento del pasado.

Debe ser una obligación para los arqueólogos y las entidades que promueven o financian sus intervenciones la difusión del conocimiento obtenido mediante los trabajos realizados, a nivel de público general y de investigadores especializados tanto dentro de la propia arqueología como los que se encuentran en otras áreas del conocimiento que puedan ser potenciales receptores de los datos provenientes de la Arqueología Urbana para sus propios trabajos de carácter histórico, de ordenación urbanística, planificación de infraestructuras, etc. En esta línea, es especialmente importante que se establezcan estrategias de registro estandarizado y de coordinación de los diversos datos que nos permitan una gestión eficaz de los espacios urbanos, especialmente de aquellos potencialmente fértiles desde el punto de vista del Patrimonio Arqueológico.

En este yacimiento hemos podido probar distintas técnicas de modelado 3D mediante técnicas inversas [4][5][6], de forma que podemos afirmar que ha resultado uno de los yacimientos arqueológicos mejor documentados en la actualidad. Dentro de la última fase del yacimiento, absolutamente todas las estructuras incluidas en el mismo fueron documentadas en 3D, conservando su geometría, escala y proporciones, además de la textura original, por lo que el objeto quedará registrado fidedignamente para su posterior revisión.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cosido, O. "Educational Innovation In Employment Workshops Santander Commitment To Employability In New Technologies" Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje (2012).
- [2] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: *"Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander"*. ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [3] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding," IBM Systems Journal 35, Nos. 3&4, 313-336 (1996).
- [4] Kraus, K., 1993. Photogrammetry. Ferd Dummler Verlag, Bonn, Germany
- [5] Canny, J.F. 1983. Finding Edges and Lines in Images. Master's thesis, MIT, Cambridge, USA.
- [6] Andrew I. Comport, Éric Marchand, François Chaumette .Robust model-based tracking for robot vision.. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04, Sendai, Japan, September 2004.

Documentation and 3D Modeling of Railway Industrial Heritage: Study of the Cajo-Santander Locomotive Shed. Oscar Jesús Cosido Cobos, José Luis Lalana Soto, Leticia Terán, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Lucia Hernández Ramírez, José Pereda Llamas and Esteban Sainz Vidal. Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7419479/>

Documentation and 3D modeling of railway industrial heritage: study of the Cajo-Santander locomotive shed

Óscar J. Cosido Cobos^{1,2}, José Luis Lalana Soto², Leticia Terán Vega⁴, Massimiliano Campi⁵, Raffaele Catuogno⁵, Lucia Hernández Ramírez⁴, José Pereda Llamas⁶, Esteban Sainz Vidal³

¹Department of Applied Mathematics and Computational Sciences
University of Cantabria
39006, Santander, Spain

²University institute of urban
Superior Technical School of Architecture of the University of Valladolid
47014, Valladolid, Spain

³CEFEM, Santander City Council
39009, Santander, Spain

⁴3DIntelligence
39008, Santander, Spain

⁵DiARC, Department of Architecture
University of Naples FEDERICO II
80134, Naples, Italy

⁶Dpto. C.A.I.T. Mechanics of Continuous Media and the Theory of Structures
47011, University of Valladolid

oscar.cosido@unican.es, jllalana@ono.com, leticia.teran@3dintelligence.es, campi@unina.it,
raffaele.catuogno@gmail.com, lucia.hernandez@3dintelligence.es, pereda@eii.uva.es, esainz@santander.es

Abstract—The works of three-dimensional documentation of the industrial heritage of Santander, which are carried out under the initiative of the authors of the article had the cooperation of the University of Cantabria, University of Naples “Federico II”, University of Valladolid and the 3DIntelligence company. Within this project, it has been made the documentation of locomotive shed and the roundabout structure, key piece of industrial railway heritage in Santander. For this project we used the fusion of data (point clouds) from the Scanner-Laser and data from convergent photogrammetry. This initiative has enjoyed the cooperation of the RENFE company, who allowed access to their infrastructure. Both structures are currently in use, making complex the data collection phase.

Keywords—Locomotive shed, industrial heritage, photogrammetry, laser scanner, Santander.

I. INTRODUCTION

The steam locomotive and railway activities needs gave place to specific installations, the locomotive shed, although showing many morphological variations, depending on the specific circumstances, the time or the company that built it, presents a basic organization similar to any railroad network in the world. There are a variety of purposes for a locomotive shed, from organizing machines and staff to the preparation for active service of the locomotive, its supply

and repairing of damaged, which made it an essential piece for the railroad exploitation [4]. After retiring the steam locomotives from service (In 1975 in the wide Spanish Iberia network), the most part of these sheds have disappeared or suffered profound transformations, so today there's a reduced number of the approximately initial 50 sheds that once existed in Spain [7]. One of those is the Locomotive shed in Santander-Cajo, built in 1865 by the Isabel IIs railroad company, which railroad line linked the end of the Castilla watercourse (at Alar del Rey, Palencia) with the Santander port. Later on, the company was absorbed, in 1874, by the Caminos del Hierro del Norte de España's Company and in 1941 it integrated with Renfe, the national company that integrated all the wide Spanish Iberia network [6]. The original garage, from which we barely preserve any documentation, it had a very unusual shape, unique in the country, with two turntable platforms in the interior of a little elliptical roundabout, but it was replaced towards 1955 for the present, with the objective of adapting the Cajo installations to the electric traction trains.

II. CAJO - SANTANDER AS INDUSTRIAL HERITAGE.

The current locomotive shed, even though it lacks of the particularity of the original shed, it is a valuable sample of the industrial railroad architecture and a testimony of the building and working techniques of the era in which it was built, when both old and new railroad traction coexisted (electrical and diesel).



Fig. 1. General diagram of the complete railroad installations of Santander 1908. Source: Esquemas de las estaciones de Venta de Baños a Santander, Caminos de Hierro del Norte de España Company (Biblioteca Ferroviaria, Fundación de los Ferrocarriles Españoles).

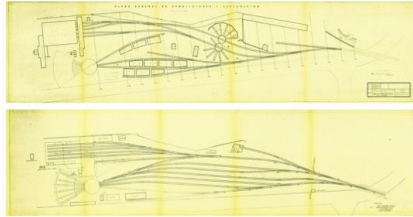


Fig. 2. Electric traction shed Cajo. Demolition and grading plan (above) and general disposition (bottom), 1955. Source: Archivo Histórico Ferroviario, Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

The general shape of the new shed, a section of the roundabout, it corresponds with the most extended in the world for the steam locomotive and allows to integrate in a very small space, the garage and the machine to orientate the locomotives (as a general rule, steam locomotives had to serve duty with the pipe on the front), to guarantee moving independence of each of the locomotives stored in the garage. This disposition of the locomotives is thought for steam traction machines, diesel or electric locomotives have two driving cabs and don't need any external element to switch direction, this way the main advantage of the general disposition disappears, meanwhile the need to run the roundabouts bridge with electricity was being planned so a train could cross it with its own traction. It is a very unusual disposition in Spain, although relatively common in other European countries, as Italy [5]. On the other hand, in a formal an aesthetic plane, the Cajo shed is a sample of the style that characterize every building made by Renfe on this era, many of which had been abandoned or demolished. In brief, although the Cajo shed is relatively recent and in general little known, it is a valuable testimony of an industrial establishment characteristic of the railroad exploitation industry - the engine yard - from an era, and before what happened with the old shed happens again, with no doubt unique, it is essential to begin the works in built heritage conservation: to document with the most detail and rigor as possible, and for that we have today the means that allows us to do it with a definition level unthinkable until very little time.



Fig. 3. Cajo-Santander locomotive shed.

III. METHODOLOGY

For this project we mixed very different techniques from the many work groups that participated in the project and we made the most of these different technologies and techniques. This way we put together the power of the laser scanner and unified it with photogrammetry techniques. We were able to make a complete 3D model of the locomotive shed that's being used today as a garage for repairing trains and the roundabout that used to be for the steam trains to turn around now it's being used for railway changes. The trains come from a railway, they are placed over the turntable platform and turn to face any other railway. At the beginning of this project, the most interesting parts to develop through photogrammetry or laser scanner were designated. For the photogrammetry part we used a drone built by our team and a digital camera Canon G12. This way we made a global model of the building. For the laser scanning we used a FARO Focus 3D Laser scanner. The logistic importance and continuous train traffic on this spot, required a particular data precision, and at the same time, a remarkable data collecting speed, because of the reduced time the operators could intervene. To accomplish these objectives, we chose the survey instrumentation that consisted of a laser scanner FARO Focus 3D. Its sensor has a measurement range at nominal distance between 60 centimeters and 120 meters, with a measurement precision of ± 2 millimeters at 25 meters and an angular resolution of 0.009, with an acquiring rate equals to 976.000 Points/Seconds.

This scanner works by analyzing the signal phase and the scanning parameters, these parameters are adjustable through an integrated touchscreen on the device. Comparing it with other laser scanners this one has a weight of 5 Kg (including internal battery), this allowed to transport the device from Italy to Spain in a very practical way: it was transported via commercial flight in the passenger's cabin by the operators as hand luggage without any kind of special permits. The placing of the device with a photographic tripod instead of a topographic tripod is possible because of the internal compensator in the device, it is able to measure the vertical direction, facilitating all the operation. The scanner also has a built in digital camera with a coaxial optical axis and with the measuring beam from the laser, which allows to give every point a color with a RGB value taken from the photograph. Once ended the data acquiring phase, the data processing phase started with the Faro Scene software, which consisted of the construction of the roto-translation matrix of all the individual scans with the identification of three or two common points using the inclinometer between older scans.

The next step consisted in exporting the point cloud that we obtained in POD format files to be processed with the Pointools software developed by Berkeley University, to proceed with the analysis of the model throughout dynamic sections and theme colors.

Using this data 360 degrees visits were generated, this would also allow to measure inside the generated model. The main application place was the roundabout where the steam locomotives used to turn around and now it's used to make railway changes.

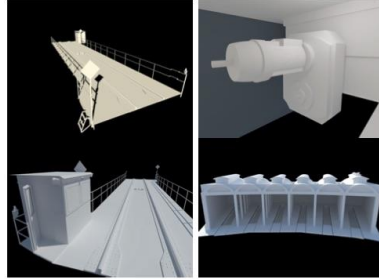


Fig. 4. Geometric model of the roundabout forming metal structure Cajo-Santander.

From here the point clouds were exported and generated by stereo correlation, which gave place to the 3D models reutilized in the 360 degrees visit, made at this phase and enhanced by the one made by the Napoli group during the first phase.



Fig. 5. 360 degrees virtual visit from the roundabout and 3D scan of the whole zone.

At the photogrammetry part, we used the data to generate a 3D model which was used to make a geometric model helpful to make the plans of the building catalogued as a locomotive shed.

First we flew a drone to take pictures from the air, those pictures were processed and calibrated to generate the 3D models, that were used to document the whole space and lastly it was exported as an OBJ format file to be finished with the software Blender, in which was also possible to make 3D animations that explained the function and utility of the roundabout and the locomotive shed.

IV. CONCLUSIONS

For these projects we used hybridization techniques and convergent photogrammetry (Laser scanner) to obtain 3D models that would complement the 360 degrees visits and all the finished products made with the purpose of documenting the space. Doing a comparison, we discovered that there's no better technique than any other, in fact, hybrid use of techniques has allowed us an adequate model for

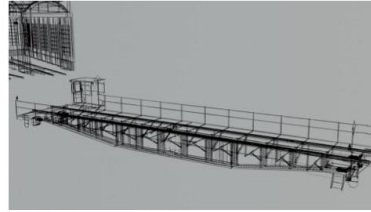


Fig. 6. 3D Model of the platform views, this model was generated by photogrammetric restitution.



Fig. 7. 3D Model of the runway views.

every working scale and for the diverse documentation needs. For the projects to study and the city evolution, tridimensional modeling of the historical heritage is very important to understand the city growth from a functional point of view. In the case of Santander, where there has been huge morphologic changes, the study of the morphologic changes of the railway configuration has helped us to understand the urban growth to the interior of the city, as well as the singularity, beauty and importance of the historical railway infrastructure and its function. This work is a continuation of others that lead to the 3D modeling of the entire city of Santander and we pretend to add it to the methodology study for 3D modeling of cities started by the own initiative of the work team.

V. ACKNOWLEDGMENT

Our thanks to the company Renfe for giving access and support for 3D modeling Cajo-Santander. We also thank the company 3DIntelligence, for his collaboration with the research project. And the University of Cantabria, the University of Valladolid and Università degli Studi di Napoli "Federico II" for the unconditional support to this project. Allowing the multidisciplinary group between the three universities with the support of the company, 3DIntelligence allows us to create this methodology for documentation of structures considered Industrial Heritage Railway.



Fig. 8. 3D Model of the runway views.

REFERENCES

- [1] Archivo General de la Administración.
- [2] Archivo Histórico Ferroviario y Biblioteca Ferroviaria - Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- [3] Cueto Alonso, Gerardo J. (2013): "La renovación del espacio ferroviario de Cajo (Santander, Cantabria) durante el primer franquismo", en VI Congreso para la conservación del patrimonio industrial y de la obra pública en España, organizado por TICCIH-España y celebrado en Madrid del 12 al 15 de junio de 2013.
- [4] Lalana Soto, José Luis (2011): "Los depósitos de locomotoras en España: una visión desde el patrimonio", Transportes, Servicios y Telecomunicaciones n 20, pp. 188-205.
- [5] Lalana Soto, José Luis y Santos y Ganges, Luis (2013): "Retos metodológicos en el estudio, evaluación y tratamiento del patrimonio ferroviario", en VI Congreso para la conservación del patrimonio industrial y de la obra pública en España, organizado por TICCIH-España y celebrado en Madrid del 12 al 15 de junio de 2013.
- [6] NORTE [Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España] (1940); Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España (1858-1939): Historia, actuación, concesiones, ingresos, gastos y balance. Espasa Calpe, Madrid.
- [7] Wais San Martín, Francisco (1987): Historia de los ferrocarriles españoles. Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Madrid. 3ª edición.

Representation of the Santander Cathedral by Combination of Different Smart Techniques. Óscar J. Cosido, Leticia Terán, Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Óscar Ruiz, Jesús M. Sendino, Pedro Sarabia, José Pereda and Andrés Iglesias. Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594.

Representation of the Santander Cathedral by combination of different smart techniques

Óscar J. Cosido Cobos^{1,2}, Leticia Terán Vega³, Massimiliano Campi⁴, Raffaele Catuogno⁴, Óscar Ruíz López³, Jesús M. Sendino Posada³, José Pereda Llamas⁵, Pedro Sarabia Rogina², Andrés Iglesias Prieto¹

¹ Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
Universidad de Cantabria
39005, Santander, Spain

² CEFEM
Ayuntamiento de Santander
39009, Santander, Spain

³ 3D INTELLIGENCE S.L.
39008, Santander, Spain

⁴ DiARC, Department of Architecture
University of Naples FEDERICO II
Via Forno Vecchio, 36
80134, Napoli, Italy

⁵ Dpto. C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce 59
47011 Valladolid

oscar.cosido@unican.es, leticia.teran@3dintelligence.es, campi@unina.it, raffaele.catuogno@gmail.com, oscar.ruiz@3dintelligence.es, jesus.sendino@3dintelligence.es, pereda@eii.uva.es, pedrosarabia137@yahoo.es, iglesias@unican.es

Abstract—Inside Santander city, we find two different historical parts, "la Puebla vieja", oldest part of the city, where the cathedral is located and "la Puebla nueva". A research team has been created with two purposes: study and make the architectural survey of historic building, through collaboration between the emerged company, 3D Intelligence, the Universidad de Cantabria, the Università degli Studi di Napoli "Federico II" and the School - Workshop from the City Council of Santander, thus a number of projects for the digital documentation of the Santander City Heritage have been generated [1] as the beginning of the analysis and three-dimensional modeling of the historical evolution of the city. For which we used a new methodology for understanding the Historic Urban Landscape [2], trying to validate the novel concepts in the field of cultural heritage [3].

Keywords—Drones; Machine Vision; Photogrammetry; Santander Cathedral.

I. INTRODUCTION

The historical complex of the Santander Cathedral is the oldest and best preserved property testimony of the historical past of the capital of Cantabria. The property has suffered throughout its history many vicissitudes that have left their mark today. The tragedies of the Cabo Machichaco ship explosion in the final of the nineteenth

century, the settlement problems of the main building and, above all, the fire of the city in 1941, modified the original structure, which had been expanded with chapels, access and other minor works along the Middle and Modern ages. It is the seat of the diocese of Santander from 1754.

The monuments built in the mentioned complex: Lower Church, Collegiate and cloister, were built on pre-existing roman and medieval structures, who settled in the Somorrostro hill (or Saint Peter hill), orographic accident which was situated 19 m above the sea. From this hill the port on its northern side is protected.

During the archaeological interventions performed in the monumental complex of the Cathedral, during the campaigns of 1982 and 1983 several structures of roman chronology attributed to constructions related with the preparation and defense for the structures which were built in the place from change of Age were excavated.

Above these constructions the remains of an ancient church founded by Alfonso II in the year 791. The construction, ecclesia de San Emeterio trasqua, appears mentioned in the second testament of Ordo I (857) as a Deanery of the Latas church.

The abbey and the San Emeterio port also mentioned in an apocryphal document of 1068 which comprises a grant of King Sancho II. It is mentioned in other documents of Burgos cathedral and in a posterior parchment which contains a concession to the abbot of the monastery. It also appears in a privilege granted by Alfonso VII to the Burgos Cathedral in which contains the names of the abbots of the Santander church. By 1131 the monastery became Collegiate Church, going to

enjoy of the royal partnership and certain independence of the Bishop of Burgos.

With the concession of the Privilege to the villa in 1187, and the subsequent economic development, the necessary surplus for the construction of a new ecclesiastic complex formed by two overlapping constructs, both of sober Cistercian Gothic style, were generated. The lower church, which was destined to shrine of Los Mártires, can be dated in the first third of the XIII century; the work of the top, the building of College of the Holy Bodies, was practically completed in the early XIV century.

II. METHODOLOGY

Taking advantage of the use of different technologies and methodologies used by different groups which are participating in the project. We wanted to compare the ability of each methodology.

During the first phase, celebrated in January 2014, in addition to the complete study and the planimetric survey of the building, the full model was conducted by the School - Workshop of the City of Santander, from the image data taken from a Drone, so that all parts of the building had its real texture. The scale for the precise enclave of the model.

The second part was performed in April 2014, when a group of the Neapolitan University, who tested his Scanner- Laser at all possible applications which included a three- dimensional architectural survey, taking advantage that, at the moment, it can be considered as the most useful method. Under the use of scanner-laser we could appreciate the advantages of: to supervise, with the advances in documentation activities, the possible erosion and degradation, the analysis of the cloister of the Santander Cathedral in a noninvasive manner and to obtain three-dimensional models for different applications and uses of the site remotely.

Finally, the group formed by the 3D Intelligence company with members of the department of Applied Mathematics and Computer Science of the University of Cantabria, used segmentation and classification algorithms of 3D models for the correct representation of the various details with their textures and their constituents parts correctly differentiated, as well as the representation of the models in a 360 degrees tour.

A. Use Of Drone Images And Topographic Survey

In this phase of the work, members of the School- Workshop of Santander, helped by topographic techniques and Drones with a camera, made the global model of the building. Marking the most interesting parts to be developed through convergent photogrammetry techniques, artificial vision or Laser - Scanner. In addition they used graphic design tools, with 3D outputs in formats that allow the dissemination of the project as PDF 3D, GIF and animated videos.

Our starting point is the creation of a topographical network using GPS and a total station. To this aim, we make an exhaustive review of available documentation and cartography of the area and the building. We need to know, for example, the distances of the facades. Then, using laser distance or total station, we obtain the raising of the approximate position of urban furniture, the perimeter of the building, the length and height of building facades, etc. to generate the planning of the photographic shoot.

Once photographic coverage is planned, we should establish the basis of the network of the survey, which will be used as stations from which we make the radiation of the control points. Then, we performed data acquisition by combining techniques of terrestrial photogrammetry and flights with drones and micro-drones. The decision to use convergent photogrammetry was taken after a comparative analysis of the costs and the feasibility of modeling the building by using alternative techniques such as terrestrial LIDAR technology (laser-scan) to capture information of the facades and the interior of the building. Our approach makes the project less automatic for information capture, but with more possibilities of automation in

processing because we deal with images of 3D models formed by clouds of points obtained by stereo- correlation for mesh generation. The stereo-correlation technique uses the principle of binocular vision that means the measurement of the same object following two different angles. It allows to measure the 3D geometry of an object or the displacement for each coordinates of the surface by recording a pair of stereoscopic pictures relating to each stage of deformation. On the other hand, structured light and laser telemetry techniques yield very accurate models but are highly dependent on the geometry of the object and need very controlled environments. On the contrary, the stereoscopic vision based on triangulation between a point of the scene and, at least, two projections of this point on images taken from different perspectives, is one of the most widely used techniques for three-dimensional reconstruction, due to its robustness and its lower computational and economic cost. Our solution of taking convergent photographs to the building also simplifies model texturing and orthophoto production.

On the other hand, we also integrate new methods of data capture into our system. For instance, information acquisition of the facades and the roof of the building was performed by using an airborne camera in a four-airscrew drone. The goal was to capture the facades by taking photos with an oblique flight, and the roofs with aerial or normal position of the perspective beam of the camera to the roof. Our system is comprised of the unmanned Aircraft (UA), control systems such as the Ground Control Station (GCS), devices for information storage and transfer, and other support equipment.

The drone also carries sensors that capture information from the field during flight. This information is either retained in the drone flash memory device or transmitted in real time to a control station via Wi-Fi, the unit responsible of information analysis and of control of the ship. A very interesting option of the drone is the automatic flight mode in which we can introduce our own previously-designed routes. Other features include a USB port connection, so you can rescue the footage recorded by your camera at 720p, during full action, pressure sensors, gyroscopes, and a miniaturized inertial measurement unit tracking the pitch, roll and yaw, an ultrasonic altimeter for use in stabilization, and a 3D magnetometer to optimize the orientation. Furthermore, the GPS + INS system contains all the sub-systems used to capture geographic information. We also tested the use of a micro-drone to analyze the generation of low-cost models. This option is specially attractive because it provides a very economical alternative to the expensive professional drones and its smaller size allows a closer approximation to the building without risk of collision. On the negative side, the micro-drone provide less flexibility for camera movement and its mounted camera has less resolution.

B. Use of Laser Scanner methodology

At the beginning of XXI century revolutionized scanner automated capture of large point clouds, acquisition systematically, at high frequencies hundreds or thousands of points per second), in near and with intensity values or associated colored. 3D laser allowing (initially real time Laser scanners are active sensors, and can operate in diverse environments ranging from a few meters to kilometers using the measurement principles based on time, either by pulses (time of flight) or by phase difference. The scanners based on the principle of triangulation are designed to operate at much shorter distances, mostly at distances less than meter with maximum resolutions and accuracies. A comprehensive review of the latter.

Today, there is a lot of terrestrial laser scanners on the market. The dimensions and weight of the teams begin to decline substantially; the cost of equipment is gradually decreasing, although it is true that still remain high. However, the profitability of a team depends on usage. In segments such as industrial measurement, pipes, tunnels, quarries, etc., profitability is more than guaranteed, especially if you want to extract maximum 3D information in small time intervals.

The application of terrestrial laser scanner average distance is used every day in heritage documentation work. Its use is justified pho-

togrammetric projects where the dimensions are large, especially with complex geometry. This technology will be applied to generate point clouds. They usually have a very high cost, although lately they have developed devices that can change this. The three-dimensional modeling and representation through data acquired by laser scanner is a widely used method in the study of architecture and cultural heritage. In addition to providing information about the geometry of the object to study, this technique makes it possible to extrapolate the information on the conservation status directly to a 3D environment. The historical and artistic importance of the analyzed site require a particular data accuracy and, at the same time, a significant acquisition rate, due to the reduction of time in which the operators could intervene. To accomplish these requirements, we have chosen an instrumentation for the architectural survey consisting of a FARO Focus 3D laser scanner.

Laser scanners capture the entire part geometry for inspection or reverse engineering purposes, covering both freeform surfaces and geometric features. A 3D laser scanner is a device that allows capturing the shape of the objects by collecting millions of 3D points on their surface. The real surface of an object can be represented as a discretized model, which accuracy depends from the point spacing and the technical specification of the laser used. By measuring the time that the laser beam takes to hit one point on the object surface and come back, and combining this information with the horizontal and vertical angle of emission, it's possible to determine the point coordinates. Repeating this operation millions of times it's possible to retrieve the shape of the object, and the points that are collected from this scan operations are usually called point cloud.

Since each scan has its proper reference system, when more than one scan is performed, all of them are registered together into a unique reference system. Beside the coordinates for each point, the 3D point cloud can be integrated with some other information such as the intensity value of the laser beam, the normal of the point cloud, and the RGB (colour) information. The last one, through the use of panoramic images, leads to a representation of the object with real colours particularly suitable for flythrough simulations. The sensor of the FARO Focus 3D has a measurement range of the nominal distance between 60 cm and 120 meters, with an accuracy in measuring the distance of the order of 2 mm to 25 meters and an angular resolution equal to 0009 degrees, with a sampling rate equal to 976,000 points / second.

This scanner works when it measures analyzing the phase of the sign and the parameters of the scanned one, which can adjust across a tactile screen integrated to the instrument. In comparison with other types of scanner, this one has a weight (5 kg including the inner battery), that has allowed us the transport of a very practical way: the equipment (team) has been transported in plane in the passengers' cabin by the operators, as hand-luggage without any type of special permissions. The putting on station with a photographic tripod instead of the topographic one is possible thanks to the presence of a compensating boarder, who is capable of measuring the direction of the vertical one, facilitating to a great extent the whole operation. The instrument has a digital camera with optical coaxial axis with the beam of measurement of the laser, which it makes possible to color every three-dimensional point acquired with a value of color RGB taken of the photography.

The scanned one carried out with a resolution of a point every 6 mm to 10 meters, in a very limited time. After examined credit the morphology of the object of the raising fourteen positions have been identified of scanned, useful to cover the site with partial overlapping and with of step of acquisition of 6 mm, using 45 plates for the georeferenciation of clouds of individual points. The result was a cloud formed by 265 million points.

At the conclusion of the phase of acquisition, there passed to the phase of accused of the information with the software Faro Scene, which was consisting of the construction of the counterfoil of broken translation of the scanned individuals, effected with the identification of three common points (target) or two common points with the use of

the inclinometer among scanned contiguous. The following step was consisting of exporting in support pod the cloud of points obtained, to be processed by the software Pointools by Berkeley, to proceed with the analysis of the model across dynamic sections and topics of color.

Parallel there have been elaborated orthophotos (an orthophoto, orthophotograph or orthoimage is an aerial photograph geometrically corrected ("orthorectified") such that the scale is uniform: the photo has the same lack of distortion as a map. Unlike an uncorrected aerial photograph, an orthophotograph can be used to measure true distances, because it is an accurate representation of the Earth's surface, having been adjusted for topographic relief, lens distortion, and camera tilt), planes and sections, importing the clouds of points in support fls, directly in the software PointCab. This software was detected versatile and interesting for the administration of the points. In fact, the construction of the projection planes produces to itself in the plant simply by means of the tracing of a line of section, besides the quality of the representation of orthophotos, considerably differently from another software costlier and that need more computational resources.



Fig. 1. Result of Cloister 3D scanning.

C. Using a group of intelligence techniques

This phase was realized between the company 3D Intelligence and the University of Cantabria. This phase was realized between May 2014 and March 2015. For it there were caught precise photos of every part and element to standing out in its cataloguing. Models developed 3D intelligent from the segmentation of objects in the images and its classification by means of Machine Learning's technologies. By means of the experimental algorithms developed for this project, which took as a base the implementation of Networks Neurons. Fundamentally, photogrammetry is about measurement, the measuring of the imaging subject. To perform high-quality photometric measurement, the photographer capturing the photogrammetry data set must follow a rule-based procedure. This procedure will guide the user on how to configure, position, and orient the camera towards the imaging subject in a way that provides the most useful information to the processing software and minimizes the uncertainty in the resulting measurements. These measurements will be as good or as poor as the design of the measurement structure, or lack thereof, that underlies the collection of the photographic data and the means of its subsequent processing.

Recent technological advances in digital cameras, computer processors, and computational techniques, such as sub-pixel image matching, make photogrammetry a portable and powerful technique. It yields extremely dense and precise 3D surface data with a limited number of photos, captured with standard digital photography equipment, in a relatively short period of time. In the last five years, the variety and power of photogrammetry and related processes have increased dramatically.

For another part, image segmentation is an important technique for image processing that involves dividing an image into its constituents parts. This is typically used to identify objects or other relevant information in digital images.

We had worked with two types of methods, some based on partial differential equations and others based on wavelets. The first ones

offer high quality results but require long computational time, while the others based on wavelets, allow almost instantaneous results with a lower quality.

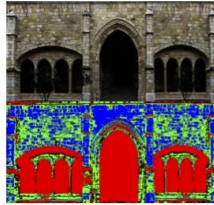


Fig. 2. Result of the process of segmentation of the front of the cloister.

Later, the clouds of points were generated from stereocorrelation that gave place to the models 3D, making grid and nurbs surface from this point clouds because of the use of this combination of smart techniques, then were re-used inside the virtual visit 360 o, realized like dissemination of this project. For this work only used the 3D models from photogrammetry and artificial vision techniques.

III. CONCLUSIONS

There cannot be ignored the benefits of the use of the Scanner - laser opposite to other methods in precision terms and in time of accused: the scanner laser offers the possibility, in a very limited time, of acquiring a great quantity of spatial information, with which it is possible to reconstruct the geometry of detected object. For every pulse of laser emitted by the scanner, the sensor acquires, together with the information of topology, the value of the reflectance. This value allows us to distinguish the different present materials; the combination of the information of the sensor and a camera, in most cases integrated, allows to color the points of the cloud.

The principal characteristic of the use of the Scanner - Laser was the rapidity of capture of the information and it comes out into postprocess. The first part, there was realized by he system of acquisition of information across a TLS (Terrestrial Laser Scanner, Scanner Terrestrial Laser), that it offers clear advantages with regard to the reliability of the measures and of the rapid acquisition of information. Another positive aspect of this method is the conversion of information for different platforms of software used for any type of assisted design or graphical design. This versatility is specially profitable when the international collaboration needs platforms of use that not always coincide.

For the generation of 3D models for the project we use the hybridization of technologies of convergent aerial map-making and artificial vision for the obtaining of the models 3D that they would complete the visit 360 o realized. These are the final results obtained, first the single 3D model, and finally the 3D model with a texture already included.



Fig. 3. Geometric 3D Model of the Cathedral.



Fig. 4. Geometric Model of the Cathedral with texture.

In the comparative one we have seen that there is no a technology better than different, in fact, the hybridization of technologies it has allowed us a model adapted for every scale and different needs.

Inside the projects for study the evolution of the city, shaped three-dimensional of the Historical Heritage its very important for the comprehension of the dynamics of growth from the historical origin. In case of Santander, where the morphologic changes have been very big, the study of the morphologic change of the Cathedral has helped us to understand the different events arisen along the history. This work is a continuation of the works conducive to the shaped one 3D complete of the city of Santander and its tried to add to the rest of the shaped one 3D of cities put in March.

IV. ACKNOWLEDGMENT

We want to be grateful for this article to the international collaboration arisen among the Università degli Studi di Napoli "Federico II", to the Department of Applied Mathematics and Computer Science of the University of Cantabria and to the CEFEM from Santander City Council. Specially to Esteban Sainz Vidal for his unconditional support to this project.

REFERENCES

- [1] Cosido O., Catuogno R., Glez A., Iglesias A., Loucera C., Cappellini V., Campi M., Sainz E. Documentación rídimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa: El Palacio de la Magdalena en Santander. Rehabend 2014.
- [2] Lalana Sato J.L. El Paisaje Urbano Histórico: Modas Paradigmas y Olvidos. Revista Ciudades N 14. Ao 2011, pp. 15-38.
- [3] Lalana Soto J.L., Santos Gangles L. El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano. VIII Congreso Ibérico de Urbanismo. Portugal, Octubre 2011.
- [4] Casado Soto, J.L. Febrero 1941. El incendio de Santander. Cantabria en Imagen, Santander. 2001.
- [5] Casado Soto, J.L.; Polo, J. La catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado. Edit. Edileasa, León. 2002.
- [6] Fernández González, L. Archivo de la Catedral de Santander. Siglos XII-XVI. Fundación Marcelino Botín, Santander. 1994.
- [7] Fernández González, L. Santander. Una ciudad medieval. Santander. 2001.
- [8] Solórzano, J.A: Documentación medieval del Archivo de la Catedral de Santander en soporte papel (1282-1516), en Edades. Revista de Historia, volumen 2, 2o semestre 1997, pp. 35-56, Santander. 1997.
- [9] T.F. Chan, L.A. Vese, An active contour model without edges, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1682, pp. 141151, 1999. [http : //dx.doi.org/10.1007/3-540-48236-913](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-48236-913)
- [10] Byung-Gyu Kim, Jae-Ick Shim, Dong-Jo Park, Fast image segmentation based on multi-resolution analysis and wavelets, Pattern Recognition Letters 24, p.29953006, 2003.



3D tour through university spaces for the management and dissemination of the cultural heritage of the University of Cantabria. Cosido, Ó., Terán, L., López, Ó.R., (...), Gutiérrez, N.G., Latorre, E.M. 2015 Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594, pp. 667-670. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7419594/>

3D Tour through University Spaces for the Management and Dissemination of the Cultural Heritage of the University of Cantabria

Óscar Cosido^{1,2}, Leticia Terán³, Óscar Rufz López³, Marta Sarachaga³, Massimiliano Campi⁴, Raffaele Catuogno⁴, Nuria García Gutiérrez⁵, Elena Martín Latorre⁵

¹Dpt. of Applied Mathematics and Computational Sciences
University of Cantabria
39005, Santander, Spain

²CEFEM
Ayuntamiento de Santander
39009, Santander, Spain

³3D INTELLIGENCES S.L
39008, Santander, Spain

⁴University of Naples FEDERICO II
Via Forno Vecchio, 36
80134, Napoli, Italy

⁵University of Cantabria
39005, Santander, España

Abstract—The Vice-Rectorate for Culture of the University of Cantabria has proposed, the 3D modeling of the campus, with the aim to generate virtual visits to cultural heritage of the University, at the same time that the new website of the area is performed. Within this initiative, as result of this research, with different modalities and techniques, we obtained a prototype. Once the study was done and the most appropriate techniques was selected for the informative interest, we have performed the prototype of the 3D modeling and the virtualization of all major areas of the campus, to include it in the new University website allowing the diffusion of all cultural heritage. If we add the typology of dispersed campus and divided into different campuses in turn. We believe that have huge interest to group all the information in a web platform accessible throughout society.

Keywords—3D modeling, cultural heritage, University, virtualization.

I. INTRODUCTION

The University of Cantabria (UC) has barely forty years of existence, little if compared with older universities such as Salamanca, Alcal de Henares, Oviedo, etcetera. In all of these, the University Extension Department is a basic area when the purpose is to bring these institutions closer to the society of their regions. In the case of the UC, its statutes indicate that the institution "will organize, will maintain and will promote the University Extension services in order to project the work of the University and disseminate science

and culture to the society". In the present case, a project of this nature implies a research, inventory and cataloging work as well as a dissemination of the movable and immovable heritage of our institution. In recent years, some universities as Oviedo [1], Zaragoza [2], Córdoba [3] and Barcelona [4] have developed various pages of access to their heritage, varying its degree of the details.

In the first phase of the project, and since there are some works already underway for some time, as the Cabinet of Virtual Prints (collaborative project between the Department of Exhibitions and the University Library (UBC)) [5] and the mobile application with visitors guides of the exhibitions, we believe that the artistic heritage, specifically the UC Collection of Graphic Art, managed by the exhibition Area, will be the initial accessible core in the project, since part of the task of inventorying and scanning are already made. Moreover, in this first phase, we can include part of the bibliographic and documentary heritage managed with the UBC, since the managing of their funds implies that the inventory tasks are performed to form part of its internal catalog. For these type of properties are necessary some viewers/simulators of similar books or the used ones by institutions such as the National Library of France with Gallica [6] or the Miguel de Cervantes Virtual Library [7].

For the virtual prototype made for the project of the new website of the UC, we have focused on the so-called "Artists of Cantabria for Peace Collection" which includes the works donated to the institution by forty artists of Cantabria who



participated in the exhibition "Art Peace Road" in 2009. Currently these works are in the Building of the Student House, Three towers, and as some areas of the building are dedicated to the management and they are not allowed the free access, we believe this type of project can disseminate this artistic heritage.

Furthermore, the aim of this proposal is to perform a dive in different the campus which show both their heritage property and their furniture located in public spaces and open, such as sculptures, machinery, etc. Within this proposal is the recreation of virtual tour that allows the user come near to certain pieces that can be found on his visit through the consultation of the technical description, as the sculpture Leonardo Torres Quevedo located in Plaza de la Ciencia. Currently we have generated the prototype and we hope to develop it coinciding with the redevelopment of the new website of the UC.

A. Methodology for digital documentation of the Cultural Heritage of the University

In recent years, the algorithms for the reconstruction of real 3D objects has received significant attention, not only in computer vision, but also as tools for a variety of applications in medicine, manufacturing, robotics, archeology and other fields that require the modeling of real environments in three-dimensions.

Our higher motivation were the geomatics applications to perform virtual visits allowing the user the geo-referenced and escalation vision of the place.

The final product of this project is the digital documentation of several relevant buildings within the university campus, its rooms, as well as of all the elements considered of cultural interest, so that its fortuitous collapse or demolition in the case of buildings, or deterioration in the case of other elements does not prevent the power to reconstruct accurately, as if it were a replica.

Based on a three-dimensional tour of the campus, we can see the buildings distributed, so you can select one in particular, or more, by means of alphanumeric or spatial queries to the system and it will return the car of the selected object, with its alphanumeric data and the ability to view the 3D model, just like the study of detail with the drawings, elevations, sections and all the graphic material necessary for, as main purpose, the dissemination of the cultural material of the building.

One of the most frequent applications of digitization has been the generation of 3D models for virtual tours. The proposal of this project consist of implement an approximation of detail to the Heritage Information System of the Campus of the University of Cantabria, we shall focus on the Three Towers building, the latest one, and the rectory building, as field of study and graphical representation. The presentation through virtual reality models allow to the user to interact freely with the object, so that the approaching and the moving through the virtual mockup is made according to the compression acquired of the object. The superposition of the reality with a virtual model provides images of augmented reality, a powerful tool for the study of reconstructions and restorations previous to its execution, enabling the assessment of its aesthetic appearance, integration into the environment and even the visual impact caused, allowing to apply the corrective actions before the problems are generated.

Finally, these virtual reality models facilitate the dissemination

over the Internet and, therefore, the disclosure and dissemination of heritage [13].

II. DETERMINATION OF REQUERIMENTS

In the specific case of the University we should be aware that the virtual tours may be accessible from the Web, it should be emphasized that its primary feature is its broadcasting across the network. Taking into account that in this project some features or elements are not intended to be viewed or distributed online.

Once decided what we want to build, we should establish what will be the purpose of the architecture, since it is not the same to build a space that models a real building in order to be visited by people in wheelchairs who want to know if this one is totally available or make a space dedicated to the cultural dissemination, where the attractive and rigor of objects shall be the primary purpose.

Therefore, it is important to decide the level of detail to achieve in the project (e.g., number of buildings and level of detail of them). For example if we choose to do only the facade of a building without the possibility of access to the interior, or if we choose the locations to include and which not.

III. DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AS A DOCUMENTATION TOOL

Methods of graphical documentation, representation and visualization of spaces already exist and have evolved within the digital documentation of heritage from the origins of these techniques. Throughout this evolution, the documentation and representation systems have greatly changed and, however, we find two common elements that still, today, remain immovable: on the one hand, the tendency to use the most advanced and available techniques and tools to document, visualize and represent the cultural property and, on the other, the search of a level of graphic representation as close to reality as possible.

Photogrammetry, by which term we refer to those techniques that allow us to obtain measurements from images, provided the generation of orthophotos as a valuable documentation tool though mainly is limited to the creation of orthophotos or th the generation of 3D models of objects of geometries reducibles to few polygons, so that, for the assets elements where substantially all of the objects and structures have complex surfaces (ie, the geometry can be described only from a large number of polygons).

We avoid here other systems capture dimensional data, such as Total Station or Differential GPS, for an obvious reason: if these devices are capable of capturing with high accuracy three-dimensional coordinate and integrate in coordinate systems relative and/or absolute (creating therefore, a cloud of points x, y, z), the volume of capture is not massive, but it allows the making of a single point for each operation, which slows down the entire process and makes it unworkable about three techniques mentioned above, although we use it to tie the model of 3D images with the points obtained by laser-scanner.

After the evaluation of different methods of documentation availables, we chose to use our methodology to obtain the full three-dimensional model of the interior and the exterior of the objects, buildings and/or virtualized spaces. With respect

to topographic support , this was carried out by total station, required for the complete topographic documentation strategy of the Campus, including the planning of the drone flights. Finally, once the work of photogrammetric documentation interior and exterior and the creation of topographic support network is completed, we tackled the documentation of the inside of the buildings. This was the most complex and labourious phase of all the whole documentation process. The capture of images for this type of works requires a high percentage of overlap and the attention to the angles between shots as well as another shot to achieve the 360 degrees visit. Another important point was the decision of what techniques to use for rendering three-dimensional objects [10][11].

IV. WEB TECHNOLOGY

With the explosion of content creation on the World Wide Web, there are now dozens of museum home-pages available for public browsing. Very few of these offer more than a small sampling of representative parts of collections. Some are organized by list, some with image maps linking floor plans to specific images. Though much progress has been made in developing complex content description standards for art, so far none of these have been implemented in real collections of substantial size. At the same time, the past 6 months has seen a burst of creative activity by artists creating 'site-specific' web documents; the best of these begin to show original experimental concepts of knowledge visualization, though they are still limited, obviously, by the inherent limitations of the WWW network architecture [13].

Heritage web site is supported on the Content Management System or CMS Open Source Drupal. The system interacts with web services that retrieve data from SQL Server and Oracle databases. The web site is made with an adaptable web design to any device which can interact with the system through the use of structures and fluid images, and media-queries defined in sheets with the CSS style, it manages to create a multi-device website (HTML5 + CSS3).

V. THE VIRTUAL VISIT

In view of the technology growth and the need to stay connected globally as university to the world and the community, is only feasible to have a web application that allows to the visitor to see virtually the campus in a real way and to acquire the available information in the same way that if he did personally.

The virtual tour on the web is aimed at authorities, teachers, students, administrative staff and the general public, which allows the diffusion and the management of the knowledge and the benefit of university services in a real way, efficient, effective and with a fast result in the delivery of user information.

The "virtual tour" expression usually evokes the idea of a three-dimensional environment, which typically looks like the real world, with real world rules such as gravity, topography, locomotion, real-time actions and communication environment. It is a type of "alternative world" which was designed to provide a different way to communicate and inform the university services both online and offline.

To follow the most appropriate techniques was very important

for such projects [14][15]. The project recreates in three-dimensions the university campus located in the environment of the Parque de las Llamas in Santander (Spain), it presents an interface 360 degrees of panoramic view of the physical structure of the campus, such as: buildings, classrooms, laboratories, sports fields, offices, auditoriums, and other monuments. Likewise present a view of the cultural and inherited structure of the university campus: Artworks such as paintings, statues, antique furniture, etc.

In the cultural visit to the works, basic information as: author name, location, function, description and the only features of each item located inside the symbolic buildings of the campus will be presented .

It is oriented to technology tools in the development, design and implementation field, taking into account that the user access to the virtual world can be from any platform. Thus, the virtual tour is a interactively way to access the campus of the University of Cantabria through the web, online, without any required application. All of this, in order to observe all the things that we can really find in a daily visit. In our virtual



Fig. 1. Virtual walk through the Campus.

tour, visitors have the possibility to get around between the different sectors in which the campus is divided, in the same way that they have information about the area in which they are. If we want to take a virtual tour around the campus, the



Fig. 2. Entrance to building.

web site has will open a new window with the first sector where we will start the visit. With the commands within the screen we can zoom, move in different directions (we can do this also with the mouse), refresh the page, and even watch the presentation in full-screen. An explanatory image is shown below.

The view is marked by means of arrows and they guide you through the recommended way for the visitors, going from a spaces to other spaces.

These spaces are considered as the most relevant to the

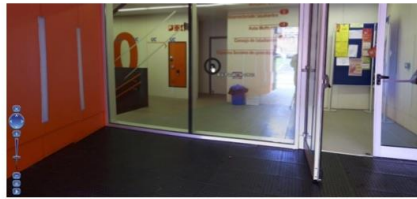


Fig. 3. Paintings inside the building

dissemination of the University heritage. We can change views and as we move through the different University departments, according to their characteristics we mix the display of real textures with the virtualization of the spaces, so that the visit is as reliable as possible, and fast in the loading process and in the processing of data by the computer. Due to the visit is integrated with the Web of the University, this one can be done from any device with a Web browser.

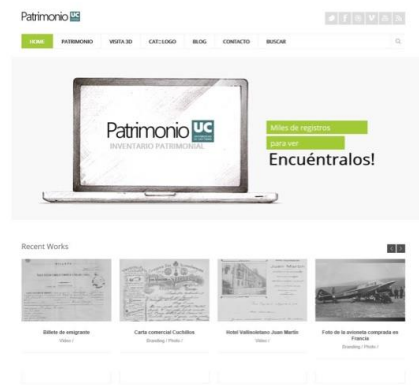


Fig. 4. University of Cantabria Website

VI. CONCLUSION

The digital photogrammetry, using the implementation of hybrid techniques, with others derived from the Artificial Vision, allows to carry out this type of work with relatively low resources (with the possibility of using free and/or open source tools). The metric accuracy achieved through such techniques as well as the amount of information obtained, is much higher than the achieved by traditional methods of documentation. The 3D viewers, meanwhile, have already become in a very important part of heritage virtualization projects. Until now, the efforts were focused on the generation of 3D models of objects and structures. Currently, the aim is to provide

an increasingly real immersion that allows the exploration of the spaces generated virtually and their dissemination to the society through the Web platforms.

In this project we have created an original prototype, combining virtual reality with the accuracy of the models obtained by means of reverse engineering, so that the position and geometry of the objects and buildings have the sufficient precision to consider them as virtual spaces with high metric precision.

REFERENCES

- [1] Gaudeo. <http://www.gaudeo.es/>
- [2] University of Zaragoza: <http://moncayo.unizar.es/web/patrimonioartístico.nsf>
- [3] University of Cantabria: <http://www.uco.es/ucomuseo>
- [4] University of Barcelona: <http://www.uh.edu/museuvirtual/index.php>
- [5] Gabinete de Estampas Virtual: <http://www.unican.es/campus-cultural/Exposiciones/Gabinete+de+Estampas+Virtual.htm>
- [6] Gallica: <http://gallica.bnf.fr/>
- [7] <http://www.cervantesvirtual.com/>
- [8] Goldman, K. H., & Wadman, M.: "There's something happening here, what it is ain't exactly clear". In *Museums and the Web 2002. Selected papers*. Pittsburgh: Archives and Museum Informatics, 2002. Century, M., *Beyond the virtual museum: towards ART (augmented reality telepresence)*, 1995.
- [9] Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., Kraus, K.: "Laser Scanning: A new Method for Recording and Documentation in Archaeology", in *FIG Working Week, Atenas, 2004*.
- [10] Doneus, M., Neubauer, W.: "3D Laser Scanners on Archaeological excavations", in *CIPA 2005 International Symposium, Turin, 2005*.
- [11] Felinto, D., Pan, M.: *Game development with blender*, CENGAGE Learning, Boston, 2013.
- [12] Mullen, T.: *Mastering Blender (2nd Edition)*, Wiley, 2012.
- [13] Goldman, K. H., & Wadman, M.: "There's something happening here, what it is ain't exactly clear?". In *Museums and the Web 2002. Selected papers*. Pittsburgh: Archives and Museum Informatics, 2002. CENTURY, M., *Beyond the virtual museum: towards ART (augmented reality telepresence)*, 1995.
- [14] Almagro, A. 2000a, "Fotogrametría para arquitectos. El estado de la cuestión". *Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*. EGA 2000. Barcelona, 2000.
- [15] Torres, J.C., P. Cano, J. Melero, M. Espaa y J. Moreno. "Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio?". *Virtual Archaeology Review* 3, 2010.

Virtual Documentation of Different Structures in the Urban Archaeological Site of Velarde Square in Santander. Oscar Jesús Cosido Cobos, Pedro Sarabia, Leticia Terán, Óscar Ruiz, Diego Arévalo Casuso, Diana Vega Almazán and Esteban Sainz Vidal Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015. 7419594. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7419600/>

Virtual documentation of different structures in the urban archaeological site of Velarde square in Santander

Óscar J. Cosido Cobos^{1,2}, Pedro Sarabia Rogina², Leticia Terán Vega³, Óscar Ruíz López³, Diego Arévalo Casuso³,
Diana Vega Almazán², Esteban Sainz Vidal²

¹Department of Applied Mathematics and Computational Sciences
University of Cantabria
39006, Santander, Spain

²CEFEM, Santander City Council
39009, Santander, Spain

³3DIntelligence
39008, Santander, Spain

oscar.cosido@unican.es, pedrosarabia137@yahoo.es, leticia.teran@3dintelligence.es, oscar.ruiz@3dintelligence.es,
diego.arevalo@3dintelligence.es, dvalmazan@gmail.com, esainz@santander.es

Abstract—Velarde Square is located in the center of the present city of Santander and is one of its emblematic squares. Its location registers within what is considered the city walls of the medieval town, although until today there was no physical evidence of this wall in this zone. The archaeological site consists of 450 m² of the southeast corner of the square. Intended Annex the portico space defined by the current building of the tax office space. The dimensions of the space that was allocated to the archaeological excavation consists of a rectangle of 30 meters northbound length and 15 meters in width westward from said corner of the square. The existence of a square in this space do not coincide at all with the urban morphology of the site in medieval times, because this area was deeply affected by the remodeling suffered by urban center Santander history after the fire occurred in 1941. In order to document all the structures that were appearing in the archaeological site, it was decided to use convergent photogrammetry techniques from digital camera images taken from a drone.

Keywords—Archaeology, photogrammetry, Santander, drones.

I. INTRODUCTION

In 2006, the remodeling of the Plaza de Velarde in the current center of Santander brought to light some important material vestiges that have allowed researchers, thanks to archaeological method, documenting over eight centuries history of the city. Documentation for the work of modern techniques including shooting pictures from drones and subsequent hybridization convergent photogrammetry techniques were included with Machine Learning were used, and the inclusion in the computations topographic data obtained by surveying methods [1].

The oldest structures recognized during the excavation work, carried out in several phases, corresponding to the medieval wall that was built from the granting of the Charter to the city by Alfonso VIII and his wife Leonor in 1187. The about nine meters high and nearly three in width, protecting both the Puebla Vieja, located around the monastery of the Holy Martyrs, building located under

the present cathedral, as the Puebla Nueva, the ancient settlement expansion (extension of ancient settlement) to the northeast, across the river Becedo.

The exhibition, about 1,500 meters in circumference, at least seven towered doors, some with scaffold opened; gates, ramparts, battlements, buckets and ditches. As has been found during the archaeological excavation, the village had intramural with certain urban planning: available ramps, streets and terraces where the modest homes of the common people, towers, rose palaces and fortified houses. In the excavated area have been identified, along with the remains of a large section of wall located in the east of the town, other corresponding to the so-called Gate of the Sea or the weight of the flour, the Portillo de Don Gutierrez and foundations of some stately towers. In the mid-eighteenth century, political, economic and administrative factors combined to radically change the situation of decline in which the village was and still his Wall since the sixteenth century. The opening of roads into the peninsula, the released Indies traffic, the creation of the Bishopric of Santander (1754), the granting of title to the population City (1755) and the establishment of the Consulate of Sea and Earth (1785), favored the economic boom of the city, with the increase in population, would soon be small.

Successive dock expansion projects for traffic with the colonies on the waterfront and to create extensions with new neighborhoods and squares, at first developed to the east, marked the beginning of the end of the wall. This, in addition to losing its defensive capacity, constituted a serious handicap for both the expansion of the urban fabric, as for the integrity and sanitation of the village that is still enclosed between the old walls. As has been found in archaeological excavations, the walls were filled with false defense constructions of very low quality.

When the walls collapsed in this part of the city, between the years 1766 and 1835, the Plaza de la Aduana or Prince, place that was not completely urbanized until the late nineteenth century. It was an area with shops and bourgeois houses of very good quality, from which

part of the foundations remain. Pipes, sanitation and the remains of public urinals in the early twentieth century were also discovered. This space disappeared during the fire of 1941 that devastated the city destroying much of the old houses in the city. The Prince Square and surrounding streets, became a bunch of rubble and ruins. From that time the city experienced a big change in his appearance. In this space was built the current Plaza de Pedro Velarde, originally intended to house the most important administrative centers of the city: City Hall, Government and Finance. Since 2014, Santander and visitors can enjoy much historical testimony, recovered after years of multidisciplinary research in the Interpretation Center of the Wall of Santander as part of the Cultural Ring of the city.



Fig. 1. Data acquisition during excavation at the archaeological site.

A good archaeological mapping is the indispensable premise for the research program, finding the right balance between emergency excavations to unthreatened projects in order to focus specific knowledge objective sites. Dumping archaeological information produced in cities allows us, to accomplish those thematic maps useful in the management of heritage of our cities. This way, data from archaeological interventions in the Plaza Velarde has been managed by its inclusion in a GIS [2]. It is therefore crucial that data collection that occurs in these interventions and follow predefined parameters that allow an adequate combination of data from various interventions. First, it remains clear that it is imperative that the spatial information about the archaeological elements (movable and immovable) be expressed in the same reference system, because in this way we can combine all these data effectively. Also, it is necessary that the data recorded on these elements obey standards that allow a comparative study.

A good archaeological mapping is the indispensable premise for the research program, finding the right balance between emergency excavations to unthreatened projects in order to focus specific knowledge objective sites. Dumping archaeological information produced in cities allows us, to accomplish those thematic maps useful in the management of heritage of our cities. This way, data from archaeological interventions in the Plaza Velarde has been managed by its inclusion in a GIS [2]. It is therefore crucial that data collection that occurs in these interventions and follow predefined parameters that allow an adequate combination of data from various interventions. First, it remains clear that it is imperative that the spatial information about the archaeological elements (movable and immovable) be expressed in the same reference system, because in this way we can combine all these data effectively. Also, it is necessary that the data recorded on these elements obey standards that allow a comparative study.

The objective of generating orthophotos was precisely to be able to include texture mapping included within a GIS (Geographic Information System), that would be seeing each of the structures in

reference to the rest of which would appear, seeing the overlap of these structures for different times.

II. METHODOLOGY

A. Photogrammetric work.

It was chosen to perform the photographic takes about 8:00 to about 13:00, due to the large number of people working at the site outside the restricted zone. As in all the work we do, photographs are made to non-metric digital camera Canon Powershot G12, supported on tripod with folding platform 90 degrees. They also combined them with images from a Drone property of the Workshop School of the City of Santander. These photographs are printed and analyzed to determine the position, at least 3 more control points. These points are necessary to complete the process of external orientation.

For the software to recognize the points automatically, targets with combined marks generated by non-durable and easily removable elements were used. They were easily identifiable points in the photographs and in the field, since then its coordinates were determined in the field. These are essential points in the topographic data collection work. Therefore points are chosen in corners of walls and recognizable marks.

Since there were two working levels or different scales within the site: the site itself and the objects we found, we decided to split into smaller parts to photograph, around which we move changing the perspective. In our particular job, apart from images taken around the site, we use oblique aerial imagery and zenith, taken from a helicopter cuadcopter (Drone), which made a flight over the site.

3D modeling of structures and found objects photos, were done using only the hand camera, since they were not large enough to require the use of Drone.

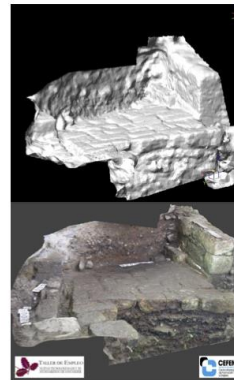


Fig. 2. 3D Geometric model with (above) and without textures (below).

For 3D geometry oblique restitution, the basic rule is that each region of the object shall appear at least at three images to define it. The best way to run this issue is taking pictures along a circle around the object with the same constant distance, but we were not able to maintain a constant distance, given the irregularity of the site, so we had to use the automatic recognition of static marks, to the detriment of photogrammetry. In this field we had to go to automatic recognition of marks by Machine Learning techniques leaving less photogrammetric analysis techniques. We do try to respect at all times the minimum position of the images: one perpendicular to the object, another framing to the left and another to the right. For the phase of photogrammetric processing and composition of the 3D model, we found that in areas where parts of the object are interconnected, we should draw on photos taken diagonally, which offer the highest possible coating of the object.

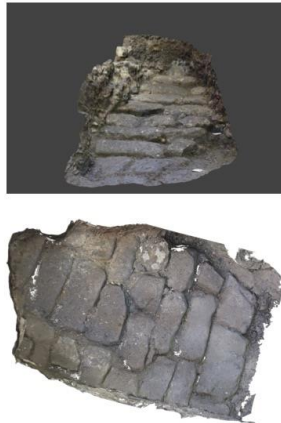


Fig. 3. 3D model of the floor in the entrance to the city and orthophoto of the model.

For 3D geometry oblique restitution, the basic rule is that each region of the object shall appear at least at three images to define it.

The best way to run this issue is taking pictures along a circle around the object with the same constant distance, but we were not able to maintain a constant distance, given the irregularity of the site, so we had to use the automatic recognition of static marks, to the detriment of photogrammetry. In this field he had to go to automatic recognition of marks by Machine Learning techniques leaving less photogrammetric analysis techniques. We do try to respect at all times the minimum position of the images: one perpendicular to the object, another framing to the left and another to the right. For the phase of photogrammetric processing and composition of the 3D model, we found that in areas where parts of the object are interconnected, we should we draw on photos taken diagonally, which offer the highest possible coating of the object.

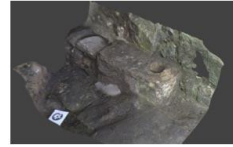


Fig. 4. Medieval door jamb.

B. Study and use of Machine Learning Techniques

For automatic detection of the marks distributed in the field, we used different algorithms based on Machine Learning techniques: neural networks and vector support machines, but for simplicity and demonstrated proficiency, what we have done in the end, after the establishment of relational description of the entities of correspondence and how to measure the degree of similarity we did a correspondence mapping scheme. The form finally used to find the solution was a search tree. For this project we have incorporated techniques from Computational Vision and Artificial Intelligence, which is already successfully used in other applications [3].



Fig. 5. Orthophoto of the remains of the medieval wall.

C. Topographic work

Once done the photographic coverage and studied the marked points on objects, are set and marked on the ground bases from network which carried out the survey of the site. The network consists of a total of 4 bases distributed station. For this phase using a TRIMBLE GPS and total station type LEICA TC805L combined model also circular prism and flexometer.

The fieldwork tolerance allows us to discard the measures that exceed its tolerance, not considering them. This is calculated from a number of accidental errors caused by instrumentation and the method used. Our calculated tolerance was 2 cm and 1 cm in altimetry mapping. Our photogrammetric Red was generated by densification Municipal Topographic Network.

After modeling in three-dimensions, the structures appeared in the archaeological site and with the help of historians and archaeologists we had reconstructed virtually, several ceramic pieces from the remains found.



Fig. 6. Three-dimensional reconstruction of the ceramic pieces.

III. CONCLUSIONS

For comprehensive documentation of the structures appearing in this deposit, it was vital an appreciation within the set of structures, for it means the whole heritage found and related to the processes of formation of urban spaces, giving a meaning to the found archaeological heritage related with the forming process of the urban spaces, since even only the appreciation of the archaeological heritage in their dual role as a resource in the present a source of information from the past, it justifies and provides value to the time spent during the excavations.

However, the enhancement of archaeological remains linked to the archaeological work carried out in urban spaces cannot be an excuse for neglecting the full and thorough study and analysis of the remains found in both their nature and the context in which they are inserted.

Therefore, programs musealization archaeological remains must go in parallel with research projects of the Urban Archaeology and form a complex society that allows the enjoyment of monuments and a greater knowledge of their past. Obviously, we can only see globally what we know and, above all, what we understand. It is important that musealizaciones have an explanatory program to raise awareness to society of all aspects of the historical-cultural

phenomenon that has led to the musealized remains, so that it is easily understood by a public that is not specialized in this field. In this respect it is vital that the practice of archeology in urban areas to be reconciled with society so that, through the enjoyment of the results of it either in the form of dissemination of knowledge or recovery of the remains, so Archeology would not only be seen as a harmful activity imposed by the need to comply with a legal precepts but as a way to get facilitators assets that revalue urban areas to increase our knowledge of the past.

In this line, it is especially important that strategies standardized registration and coordination of the various data that allow us to effectively manage urban spaces, especially those of childbearing potential from the point of view of the archaeological heritage are established. In this field we have to try different techniques 3D modeling by reverse engineering [4] techniques [6] [7], so we can say that it has been one of the best documented archaeological sites today. In the last phase of the site, absolutely all structures included therein were documented in 3D, while retaining its geometry, scale and besides the original texture, proportions, so the object will be faithfully recorded for later review.

It has also served to the documentation and reconstruction of the square of the prince, which was the space created between the medieval walls and the fire of 1941 that completely destroyed the area where the remains of the wall were found.

Reproduction of the Plaza del Principe in time of the Civil War, the location at the bottom of the wall in the plaza.

IV. ACKNOWLEDGMENT

We want to thank the team of archaeologists, especially the director of the archaeological excavations Jesus Ignacio Jimenez Chaparro, for their help. We also appreciate the efforts made by the components of the employment workshop on new technologies in the city of Santander and CEFEM as a center where we could develop our methodology.

REFERENCES

- [1] Sainz Vidal, E. et al., "Estudio y Bases Museológicas para la redacción del proyecto y ejecución museográfica del centro arqueológico de la ciudad de Santander". 2013.
- [2] Cosido, O., de José, J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E.: "Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander". ICCSA 2011. IEEE. (2011)
- [3] Oscar Cosido, Andres Iglesias, Akemi Galvez, Raffaele Catuogno, Massimiliano Campi, Leticia Teran, Esteban Sainz, "Hybridization of Convergent Photogrammetry, Computer Vision, and Artificial Intelligence for Digital Documentation of Cultural Heritage - A Case Study: The Magdalena Palace", CW, 2014, 2014 International Conference on Cyberworlds (CW), 2014, pp. 369-376, doi:10.1109/CW.2014.58
- [4] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding", IBM Systems Journal 35, Nos. 3&4, 313-336 (1996).
- [5] Kraus, K., 1993. Photogrammetry. Ferd Dummler Verlag, Bonn, Germany
- [6] Canny, J.F. 1983. Finding Edges and Lines in Images. Master's thesis, MIT, Cambridge, USA.
- [7] Andrew I. Comport, Eric Marchand, Francois Chaumette. Robust model-based tracking for robot vision.. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04, Sendai, Japan, September 2004.

Inmersion in virtual 3D buildings an museums, by reverse engineering and JavaFX. José Pereda, Óscar Cosido, Antolín Lorenzana y Leticia Terán. Digital Heritage. 2015.

Inmersion in virtual 3D buildings and museums, by reverse engineering and JavaFX

José Pereda

Dpt. of Strength of Materials and Structures
University of Valladolid
Valladolid, Spain
pereda@eii.uva.es

Óscar Cosido

Dpt. of Applied Mathematics and Computational Sciences
University of Cantabria
Santander, Spain
Centro de Formación y Empleo Municipal(CEFEM)
Santander, Spain
oscar.cosido@unican.es

Antolín Lorenzana

Dpt. of Strength of Materials and Structures
University of Valladolid
Valladolid, Spain
ali@eii.uva.es

Leticia Terán

AI3Design
Santander, Spain
leticiaateran@gmail.com

Abstract—During in-school workshops on new technologies recently developed at the City of Santander, the virtualization of historical and cultural buildings of special relevance to the city have been achieved.

Towards the creation of digital tours over these buildings, a wide number of techniques of 3D modeling are being used, including photogrammetry and computer vision, in order to provide the models. With the use of the new 3D JavaFX technology new ways of navigation through these models are being developed.

Keywords: 3D modeling, photogrammetry, computer vision, JavaFX 3D

1 INTRODUCTION

In the last years, the reconstruction algorithms of 3D real objects have received significant attention, not only in artificial intelligence but also as tools for many applications in medicine, manufacturing, robotics, archeology and other fields that require 3D modeling of real environments.

The main purpose of this project is to mimic the ability of human beings to see the same object in 3D. This goal is seen as a necessary request for a graphical language of communication between the computer and the human being.

While the primary goal is the use of geomatics or geocomputing applied to cities, historic buildings or museums reconstruction, for developing virtual visits that would allow a georeference and scaled view to visitors, a new methodology was

proposed for 3D visualization of objects which would have many applications also in biomedical engineering, given the versatility of potential applications. The reconstruction of anatomic structures from medical images, e.g. magnetic resonances, has become an important tool in medical diagnosis, therapy planning and surgical procedure.

Another motivation was the three-dimensional reconstruction applied to the industrial field, such as the creation of CAD models in three-dimensions for producing prototypes or for the reconstruction by reverse engineering (and its spatial management, main focus of this work). Also linked with the teaching profile of the authors, the purpose of 3D reconstruction in artificial vision will allow the analysis of the characteristics of an image, in order to detect, locate and recognize objects in images. For example, if a three-dimensional model of a scene is recreated, this model could be used by a robot to navigate through the scene.

The complexity and amplitude of the concept of heritage force us to start with a conceptual synthesis in which its measurement and representation are framed, establishing what portion thereof may be recorded by means of measures, what information they provide and what are its uses.

The idea is to have a digital inventory where one can see the building on a display, with a record of its main features and the inventory or modeling of the building, both the interior and its different outside views.

The presentation through virtual reality models allow the user to interact freely with the object, so that the approach and the movement about the virtual model is done according to the compression that he is acquiring about it. The browser programs necessary to perform these views have a very intuitive design and



layout and its learning curve is simple, so their management requires a minimal training. Three-dimensional models also allow the realization of guided tours, walking through the significant points of the model and leading the viewer directly to them. But most of them require expensive licenses.

By using the new JavaFX 3D API, we will be able to develop our own inexpensive application for targeting and customizing some of the mentioned abilities of the commercial software.

Finally, these virtual reality models facilitate the dissemination over the Internet and, therefore, the disclosure and the dissemination of heritage.

2 CONVERGENT PHOTOGRAMMETRY TECHNOLOGY

Neither the digital image nor the analog image are metric. In other words, we can not derive measures of the objects displayed therein nor the distance between them. We can visualize, interpret, analyze, but not exploit it metrically.

Computer stereo vision is the extraction of 3D information from digital images. Through multiple images of a scene taken from different viewpoints, three-dimensional characteristics of the scene under study can be extracted. In stereo vision there are different types of reconstruction: sparse and dense [1].

A great effort has been put in the development of the stereo vision techniques over the last years. The goal of the stereo vision is to solve two problems [2]: the correspondence problem consisting of deciding for a point from the left image plane, which is its corresponding point on the right image plane. The second problem is the problem of reconstruction, which try to obtain, given two corresponding points in both image planes, the 3D coordinates of the point in space relative to a world coordinate system [3].

Photogrammetry is the technique responsible for obtaining (two or three dimensional) metric information from photographic images. Photogrammetry is therefore the technology that provides dimensional rigor when using images to reconstruct a given scenario.

While 3D reconstruction from multiple images can be mainly divided into the stereoscopic processing and the oblique processing techniques, in this work the latter will be used, where the object is reconstructed from the identification (in at least two images, three preferably) of the points and lines that forms the physiognomy of the object.

The modeling work of castles [4] and the digital documentation carried out in museums of Catania (Italy) [5] are some examples of this.

3 SEQUENCE OF PROCEDURES

Usually these are the required phases to achieve the virtualization of a building:

- Phase 0. Direction and project management. Definition and establishment of requirements. Creating a topographical network using a GPS and a total station.

- Phase 1. Capturing data by combining techniques of terrestrial photogrammetry and flights with drones or micro-drones.
- Phase 2. Computing data for the point cloud optimization. New stereo-correlation techniques called "effect scanner".
- Phase 3. Generation of the definitive 3D model, orthorectification of the images and 3D model texturization.
- Phase 4. Implementation of a 3D System Manager using JavaFX.

3.1 Topographic Work

Once the photographic coverage is performed and the points with more control are studied, the basis of the network from which the raising of the building will be done are established and marked on the ground. The network is formed by several basis of distributed stations.

Fieldwork Tolerance, a value that allows discarding wrong measures, can be kept to 3 cm in altimetry and 2 cm in planimetry.

The coordinates of the polygonal network are compensated by using the Least Squares Method, so that radiated points from these basis stations are also located at the closest position to reality.

3.2 UAV Technology (Unmanned Aerial Vehicle)

Technically, drones and VANT/UAV are the same: unmanned aircrafts. They can be guided by remote control or can be programmed for a determined flight plan. They can take the form of planes, balloons, or helicopters with one or more engines.

Nowadays, their main function is to carry sensors that capture information from the field while they roll over it. Such information is retained or it is transmitted in real time to a control station, which has the task of analyzing the information and to control the ship[6].

3.3 Photogrammetric Works

To get the graphic and photographic documentation of the building, an essential step is the calibration of the camera. For that, a template is used. Up to 12 photos are taken, 3 for each side of the square grid, to cover the whole visual field of the camera.

3.4 Photographs Shooting and Virtual Reconstruction

Ideally, the building has to be divided into smaller parts to photograph. Perspective must be updated when moving between these parts.

Besides the images taken around the building, oblique and zenith aerial images, taken from the flight of a drone over the building, can be used too.

3.5 Triangulation

Once the characteristic points in both images are obtained, given the camera parameters, a triangulation has to be performed. The result will be a series of three-dimensional points corresponding to the surfaces of the object.

For this phase, the combination of Voronoi diagram and the mesh by the Delaunay triangulation are used.

For the 3D oblique restitution geometry, the basic rule is that each area of the object is collected, at least in three images. The best way to perform this action is taking pictures along a ring around the object.

3.6 3D Model by Automatic Correspondence

Finally, the last step is to obtain a three dimensional model of the object. To achieve this goal, once detected the cards, or artificial marks of the object, in the image base, it will be necessary to obtain the corresponding points to this corners in the rest of the images.

By knowing the points of the base image, it is possible to find the epipolar lines in the other image using the fundamental matrix. The corresponding points to the right image will be on those lines, so that the search area in the image is reduced. To search in the epipolar line, a correlation between the intensity of the point of the left image and its surroundings is carried out, with the points that form the epipolar line and its neighbours.

4 3D MODELING WITH JAVA FX

JavaFX is a set of graphics and media packages that enables developers to design, create, test, debug and deploy rich client applications that operate consistently across diverse platforms.

The JavaFX 3D graphics APIs provide a general purpose three-dimensional graphics library for the JavaFX platform. Only now with the advent of JavaFX 8 [7] a true 3D scene is available with adjustable lights, camera and models as first class citizens of the language. The advent of dedicated GPU hardware has lowered the barrier to specific language support for 3D rendering such that the performance in JavaFX is on par with third party implementations of previous versions of Java [8].

4.1 JavaFX Scene Graph

The JavaFX Scene Graph is the underlying framework that renders the graphical user interfaces to the screen. It is a tree data structure that takes care, at any given time, of what objects should be displayed and how to render it all. A `Scene` class is the base container class for all content in the scene graph.

4.2 Importing the model

Though importers are not provided in the JavaFX runtime, several formats like the open OBJ are provided as part of the OpenJFX project [9].

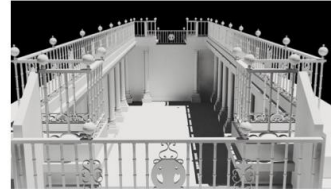


Figure 1: White model of Menéndez Pelayo Library



Figure 2: Menéndez Pelayo Library. Outside view

`MeshView`, a class for defining surfaces with 3D mesh data, takes all the meshes in a group. Materials can be added with or without texture images, via the `PhongMaterial` class.

4.3 Navigating through the model

Navigating the model can be achieved in terms of camera movement, so zooming, rotating or translating effects can be simulated.

Usually, buildings models are really big in terms of data loaded in memory (vertex, faces, meshes, materials, textures), and a balance is required between details visualization and usability when navigating through the 3D model. For that, when the user is zooming, rotating or translating the model, it may be necessary turning off the textures.

5 USE CASE: MENÉNDEZ PELAYO LIBRARY

Figure 1 shows the white model of the interior of the Menéndez Pelayo Library [10] while it was being reconstructed.

Figure 2 shows the Menéndez Pelayo Library being displayed in a JavaFX application. 10556 meshes are used (1.5 million triangles), 132 MB obj file and 32 MB in texture images.

Figure 3 shows the interior of the library (2841 meshes, 2.4 million triangles, 143 MB obj file and 90 MB texture images), when textures are used, while Figure 4 shows a grey model without textures, more convenient for the renderer when performing camera transformations.

Figure 3: *Menéndez Pelayo Library. Final interior view*Figure 4: *Menéndez Pelayo Library. Interior view without textures*

6 CONCLUSION

This work provides a basis for the future development of tools that allow the management of the 3D objects of the virtual world, as part of a 3D information system [11].

This work also provides a basis for the future development of a framework for works based on the digital documentation of cultural heritage and its 4D representation where, in addition to the 3D representation, spatially localized attributes, such as temperature emitted by the building, can be shown.

This methodology could be applied to other disciplines, where the necessity to document real objects through image and 3D representation, as well as integrate Machine Learning techniques to improve the automation process in the methodology presented in this work.

JavaFX technology allows the development of tools for the geometric processing of the models obtained by reverse engineering, providing a way to navigate the virtual model.

7 ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the eight students of the "GIS and 3D Heritage Modeling" workshop organized by the City Council of Santander and the company AI3Desing for their collaborative work, with special mention to the support and help re-

ceived to perform this work by Esteban Sainz Vidal, Director of the CEFEM.

References

- [1] Krotkov, E.P., "Active Computer Vision by Cooperative Focus and Stereo", Springer-Verlag, NY, 1989.
- [2] Ahuja, N. "Active Stereo: Integrating Disparity, Vergence, Focus, Aperture, and Calibration for Surface Estimation", IEEE Trans. on Pattern Ana. and Mach. Intell. Vol. 15, No. 10, Oct. 1993.
- [3] Hartley, R. & Zisserman, A., "Multiple View Geometry in Computer Vision", Cambridge University Press, 2004.
- [4] Kersten et al., "3D Acquisition, Modeling and Visualization of North German Castles by Digital Architectural Photogrammetry" ISPRS WG V/2 Scene Modeling and Virtual Reality.
- [5] Beraldin et al., "Virtual Reconstruction of Heritage Sites: Opportunities and Challenges Created by 3D Technologies" (2005). International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage.
- [6] Niethammer et al., "UAV-based remote sensing of landscapes"(2010). International Archives of Photogrammetry, RemoteSensing and Spatial Information Science, p. 496-501.
- [7] Oracle, Java Development Kit (JDK) 8, <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/>, April 2104.
- [8] Dea, C., Heckler, M., Grunwald, G., Pereda, J. & Phillips, S., "JavaFX 8 Introduction by Example", Apress, 2nd Edition, June 2014, ISBN 978-1-4302-6460-6
- [9] OpenJFX Project, <http://openjdk.java.net/projects/openjfx/>
- [10] Biblioteca Menéndez Pelayo, <http://www.bibliotecademendezpelayo.org>
- [11] Cosido, Oscar & López, Conrado "Stereowebmap: 3D Cartography Server" GISCOAST 2007.

Realidad Aumentada y Virtualización 3d de Ciudades para la Gestión y Divulgación del Patrimonio Cultural Enterrado y en Superficie. Oscar J. Cosido Cobos; Esteban Sainz Vidal; Maximiliano Campi; Pedro Sarabia Rogina; Andrés Iglesias Prieto; Raffaele Catuogno; Valeria Cera. Congreso Biental de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.



REALIDAD AUMENTADA Y VIRTUALIZACIÓN 3D DE CIUDADES PARA LA GESTIÓN Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL ENTERRADO Y EN SUPERFICIE

Óscar J. Cosido Cobos^{1,2}; Esteban Sainz Vidal¹; Maximiliano Campi³; Pedro Sarabia Rogina¹; Andrés Iglesias Prieto²; Raffaele Catuogno³; Valeria Cera³

¹CEFEM – Ayuntamiento de Santander
Marques de la Ensenada s/n.
39009 – Santander (Cantabria), España

²Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
Avd. Los Castros 44
39005 – Santander (Cantabria), España

³Instituto de Investigación URBAN/ECO
via Tarsia, 31
80135 – Napoli (Campagna), Italia

oscar.cosido@unican.es; esainz@santander.es; campi@unina.it; pedrosarabia137@yahoo.es;
iglesias@unican.es; raffaele.catuogno@unina.it; valeria.cera@unina.it

Resumen

Uno de los temas más candentes de investigación en gráficos por computador de los últimos años es el uso de técnicas de realidad virtual y aumentada para el archivado, preservación y divulgación del patrimonio histórico y cultural. En este contexto, se plantea este trabajo realizado por la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías en la especialidad relacionada con Sistemas de Gestión de la Información, GIS y Modelado 3D del Patrimonio. El proyecto ha consistido en la virtualización tridimensional de las zonas culturales de Santander mediante técnicas de ingeniería inversa, procesado de imágenes y visión artificial.

Para poder simular la evolución histórica de una ciudad es necesario representar en primer lugar el estado actual, así como su disposición espacial como base y a partir de ahí retroceder en el tiempo, así se facilita el estudio posterior de la citada evolución urbana con el comportamiento y posición de los elementos patrimoniales dentro de su dinámica. El modelado tridimensional proporciona una herramienta valiosísima para representar o simular el desarrollo constructivo de la ciudad.

El modelo que se considera más adecuado para este tipo de colaboración es, sin duda, el modelo de Realidad Virtual, adquirido mediante tomas sucesivas de cámara de fotos digital y escáner láser, con un muy alto grado de uniones solapadas. Además de añadir la información obtenida de las imágenes, se realizó la composición de los modelos 3D mediante ingeniería inversa y el análisis u obtención de elementos de Realidad Aumentada

1





2016
Sociedad y Patrimonio

Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

para la obtención de modelos inteligentes con vistas a su aplicación en temas de promoción del turismo e interpretación del patrimonio histórico y cultural.

Palabras Clave

Fotogrametría, Anillo Cultural, ingeniería inversa, inteligencia artificial, segmentación de imágenes, Santander.

Abstract

One of the hot topics of computer graphics investigation in the last years is the use of augmented virtual reality techniques for storage, preservation and dissemination of the historical and cultural heritage. In this context we present the work made by the Workshop School in New Technologies of Santander in the specialty "Systems Information Management, GIS and 3D modeling Heritage". The project consisted of three-dimensional virtualization cultural areas of Santander via reverse engineering, image processing and machine vision. In order to simulate the historical evolution of a city, it is necessary to represent first the current state as a base and from that representation to go back in time, the study of its urban areas and their evolution is facilitated by knowing the use and position of the historical buildings and their dynamics. Three-dimensional modeling provides an excellent tool to represent or simulate the constructive development of the city. The most adequate model for this type of collaboration is the virtual reality model acquired through successive digital camera and laser scanner shots with a high amount of overlapping joints between takes. In addition to using the information obtained from the images, the composition of the 3D models was achieved by applying reverse engineering and analysis of augmented reality elements with the objective of obtaining smart models for application in the areas of tourism promotion and interpretation of the historical and cultural heritage.

Keywords

Photogrammetry, Cultural Ring, Reverse Engineering, Artificial Intelligence, Image Segmentation, Santander.



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural. Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





2016
Sociedad y Patrimonio

X Bienal

de la Restauración y gestión del patrimonio

5. Conclusiones

Una vez realizado el modelo virtual de los edificios de los que no había unos planos previos, a través de técnicas de ingeniería inversa, se ha generado un modelo virtual inteligente sobre el que poder consultar todos los elementos y datos sobre el patrimonio histórico de Santander. La hibridación ha consistido en el uso de los Drones o UAVs, las técnicas de fotogrametría convergente, la automatización de parte del proceso mediante el uso de algoritmos implementados para su uso en visión artificial y su gestión mediante la implementación de un prototipo de Sistema de Información Patrimonial (tecnología GIS 3D). El trabajo realizado no sólo ha permitido la consecución del objetivo del trabajo, sino que ha supuesto el citado prototipo de tecnología GIS 3D, suponiendo una aproximación más hacia la necesidad de gestionar la información de forma 3D o 4D.

No se pueden ignorar los beneficios del uso del Escáner-Láser frente a otros métodos en términos de precisión y en tiempo de procesado: el escáner láser ofrece la posibilidad, en un tiempo muy limitado, de adquirir una gran cantidad de datos espaciales, con los que es posible reconstruir la geometría del objeto detectado. Para la base se optó por un escaneado, pero para el resto del proyecto utilizamos la hibridación de técnicas de fotogrametría convergente y visión artificial para la obtención de los modelos 3D que completarían las visita 360° realizada, haciendo que el resultado fuera preciso y compensado en tiempo y coste final. En la comparativa hemos visto que no hay una técnica mejor que otra, de hecho, la hibridación de técnicas nos ha permitido un modelo adecuado para cada escala y distintas necesidades.

Dentro de los proyectos de estudio de la evolución de la ciudad, el modelado tridimensional del Patrimonio Histórico es muy importante para la comprensión de la dinámica de crecimiento desde el origen histórico. En el caso de Santander, donde los cambios morfológicos han sido muy grandes, el estudio del cambio morfológico de la Catedral, de la Plaza Porticada o de la Península de la Magdalena, como espacios más representativos de Santander, nos ha ayudado a comprender los distintos eventos surgidos a lo largo de la historia. Este trabajo es la base de otro proyecto consistente en la implementación de un Sistema de Gestión del Patrimonio cultural de Santander.

Podemos considerar a este trabajo, fruto de la colaboración entre el CEFEM del Ayuntamiento de Santander (a través de su Escuela - Taller), el grupo de Gráficos por Computador de la Universidad de Cantabria y el Instituto Urban/Eco de la Universidad de Nápoles, como un trabajo de investigación con una importante componente de transmisión tecnológica hacia la sociedad, se ha basado en la documentación y difusión del Patrimonio Cultural de la ciudad de Santander, mediante Realidad Aumentada y Virtualización, , siendo el resultado propiedad del Ayuntamiento de Santander y por extensión de todos los ciudadanos de la Ciudad de Santander.



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural. Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





Sistema de Información Patrimonial para la Gestión de Espacios Singulares dentro de una SmartCity. Oscar J. Cosido Cobos; Esteban Sainz Vidal; Andrés Iglesias Prieto; Maximiliano Campi; Valeria Cera. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.



Sistema de Información Patrimonial para la Gestión de Espacios Singulares dentro de una SmartCity

Óscar J. Cosido Cobos^{1,2}; Esteban Sainz Vidal¹; Andrés Iglesias Prieto²; Maximiliano Campi³; Valeria Cera³

¹ CEFEM – Ayuntamiento de Santander
Marques de la Ensenada s/n.
39009 – Santander (Cantabria), España

² Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación
Avd. Los Castros 44
39005 – Santander (Cantabria), España

³ Instituto de Investigación URBAN/ECO
via Tarsia, 31
80135 – Napoli (Campagna), Italia

oscar.cosido@unican.es; esainz@santander.es; iglesias@unican.es; campi@unina.it; valeria.cera@unina.it

Resumen

En el campo del urbanismo y dentro del marco de las “Smart Cities”, es muy importante la automatización de los análisis de procesos dinámicos dentro de la ciudad. Un ejemplo muy claro de proceso dinámico es el tráfico rodado, el estudio de la evolución del tejido urbano o el comportamiento del turismo en sus visitas por la ciudad. Hemos propuesto un prototipo de estudio para el caso concreto de Santander.

El creciente volumen de datos, unido a la necesidad de resultados en tiempo real, hace necesaria una herramienta para la generación automática de cálculos que permitan hacer estudios de la dinámica urbana. Mediante la aplicación de esta metodología, basada en la hibridación de técnicas de GIS con Soft Computing a los procesos urbanos, se pretende generar una herramienta muy útil a la hora de detectar problemas urbanos y aumentar la capacidad de reacción frente a los mismos, por ello y como primera aproximación hemos realizado un prototipo para la gestión de espacio singulares relacionados con Patrimonio, dependiendo de múltiples factores, cogiendo como objeto la Península de la Magdalena, el Anillo Cultural de Santander y el entorno del Hospital Marqués de Valdecilla, zonas muy representativas de la ciudad de Santander.

En este artículo presentamos nuestro avance en la hibridación de herramientas GIS con técnicas basadas en Soft Computing y como permite automatizar ciertos procesos dinámicos dentro del entorno urbano de una “Smart City”.





2016
Sociedad y Patrimonio

X Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

Palabras Clave

Escuela Taller, GIS, Sistema de Información Patrimonial, Smart Cities , Soft Computing

Abstract

In the field of urbanism and within the framework of the "Smart Cities" the automation of analysis of dynamic processes within the city is very important. Some clear examples of dynamic processes are road traffic, the study of the evolution of urban fabric or even the behavior of tourists during their visits of the city. We have proposed a prototype study for the case of Santander. The growing volume of data, coupled with the need for real-time results, makes evident the necessity of a tool for automatic generation of calculations that allow to study urban dynamics. By applying a methodology, based on hybridization techniques of GIS with Soft Computing to the urban processes, we pretend to generate a very useful tool in detecting urban problems and increase the ability to react to them, so and as a first approximation we have made a prototype for the management of particular spaces that are related with historical heritage, taking as its object the Magdalena Peninsula, the Cultural Ring Santander and the environment of the Hospital Marqués de Valdecilla, very representative areas in the city of Santander.

In this paper we present our progress in the hybridization of GIS tools based on Soft Computing techniques and how to automate certain dynamic processes within the urban environment of a "Smart City".

Keywords

Workshop School, GIS, Heritage Information System, Smart Cities, Soft Computing

1. Introducción

El presente trabajo presenta un proyecto implementado desde la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías en las especialidades relacionadas con los Sistemas de Información, GIS y Modelado 3D de patrimonio, con la finalidad de proporcionar a los trabajadores los conocimientos y prácticas adecuados a las competencias profesionales requeridas en el mercado de trabajo y a las necesidades de las empresas, favorecer la formación de los alumnos-trabajadores, mejorando su capacitación profesional y desarrollo personal y contribuir a la mejora de la productividad y competitividad de las empresas.



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural | Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid



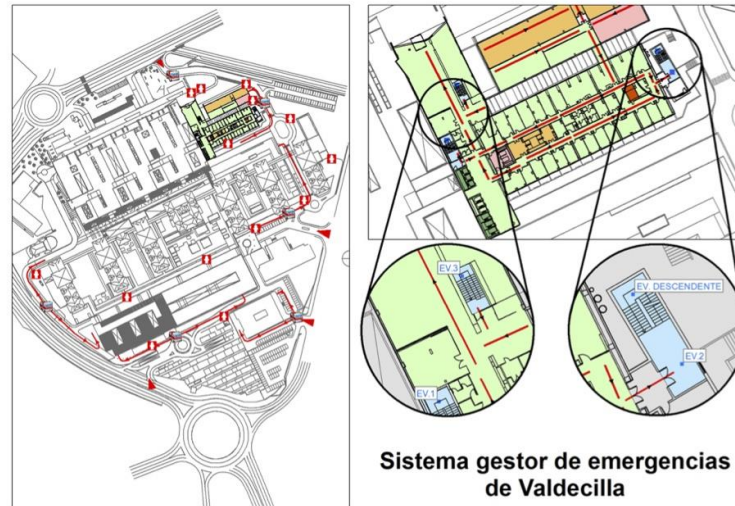


Fig. 5. Salida gráfica del Sistema Gestor de Emergencias de Valdecilla

5. Conclusiones

El proyecto comenzó con la producción de una ortofotografía aérea con una resolución espacial de 10 cm como GSD, el estudio del uso de los Drones o UAVs, donde hemos comparado la utilización de un modelo de UAV más grande con la utilización del más pequeño y ligero del mercado para la toma de fotografías desde el aire, después continuó con la preparación para su uso en el modelado 3D de objetos catalogados como bienes patrimoniales y su gestión mediante la implementación de un prototipo de Sistema de Información Patrimonial (tecnología GIS 3D). El trabajo realizado no sólo ha permitido la consecución del objetivo del trabajo, sino que ha supuesto el citado prototipo de tecnología GIS 3D,



suponiendo una aproximación más hacia la necesidad de gestionar la información de forma 3D o 4D.

Podemos considerar a este trabajo de colaboración como un prototipo de captura de información aérea de precisión para su uso con fines patrimoniales y cartográficos en un entorno GIS 3D.

Agradecimientos

Queremos agradecer el esfuerzo realizado por los alumnos y alumnas de las sucesivas Escuelas Taller, al cuerpo de bomberos de la ciudad de Santander y a Protección Civil, así como al servicio Municipal de Cartografía, sin los que este trabajo no hubiera sido posible. También queremos agradecer la ayuda de la Universidad de Cantabria y de la "Federico II" de Nápoles. El programa de Escuelas Taller se configura como un programa mixto de empleo y formación que tiene como objetivo mejorar la ocupabilidad de jóvenes desempleados mediante su formación en alternancia con la práctica profesional, a través de la realización de un trabajo real y productivo. En Santander es promovido por su Ayuntamiento conjuntamente con el Gobierno Regional de Cantabria y están financiados con fondos de empleo de ámbito nacional cofinanciados con una tasa media del 92,50% por el Fondo Social Europeo a través del Programa Operativo de Empleo Juvenil para el periodo 2014-2020.



Fig. 6. Alumnos de la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías





2016
Sociedad y Patrimonio

Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

Bibliografía

Artículo en Revista Científica o Congreso:

1. Cosido O., Loucera C. e Iglesias A. “Automatic calculation of bicycle routes by combining meta-heuristics and GIS techniques within the framework of smart cities”. *SmarMile* 2013.
2. Cosido O., de Josè J., Piquero D., Iglesias A., Sainz E. “Implementation and Deployment of Geographical Information System Services in the Municipality of Santander”. *ICCSA* 2011
3. Esteban Sainz et al. “Plan Director de la Magdalena”. *Ayuntamiento de Santander*. 2011.
4. Zadeh, L. A. (1999). From computing with numbers to computing with words – from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. *IEEE Transactions on Circuits and Systems – I: Fundamental theory and applications*, 45(1), 105–119.
5. Trivino, G., Sanchez, A., Montemayor, A. S., Pantrigo, J. J., Cabido, R., & Pardo, E. G. (2010b). Linguistic description of traffic in a roundabout. In *Proceedings of the 2010 IEEE international conference on fuzzy systems (FUZZ-IEEE)* (pp. 2158–2165). July 18–23, Barcelona, Spain.
6. Leonidas G. Anthopoulos and Athena Vakali. “Urban Planning and Smart Cities: Interrelations and Reciprocities”.. 2012.

Documento de Internet:

1. 11. <http://www.ibm.com/>
2. 12. <http://www.smartcity-telefonica.com/>
3. 13. <http://www.smartsantander.eu/>
4. 14. <http://www.smartcitymalaga.es/>



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural. Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





2016
Sociedad y Patrimonio

X Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

Agradecimientos

Queremos agradecer a la Dirección del Palacio de la Magdalena, al Centro de Formación y Empleo Municipal del Ayuntamiento de Santander (CEFEM), a la dirección de la Biblioteca Menéndez Pelayo, al Servicio de Cartografía y GIS municipal y por extensión a todo el Ayuntamiento de Santander por el apoyo recibido en este proyecto. El programa de Escuelas Taller se configura como un programa mixto de empleo y formación que tiene como objetivo mejorar la ocupabilidad de jóvenes desempleados mediante su formación en alternancia con la práctica profesional, a través de la realización de un trabajo real y productivo y en Santander es promovido por su Ayuntamiento conjuntamente con el Gobierno Regional de Cantabria y están financiados con fondos de empleo de ámbito nacional cofinanciados con una tasa media del 92,50% por el Fondo Social Europeo a través del Programa Operativo de Empleo Juvenil para el periodo 2014-2020.

Bibliografía

Artículo en revista científica o congreso:

1. Casado Soto, J.L. Febrero 1941. “*El incendio de Santander*”. Cantabria en Imagen, Santander. 2001.
2. Casado Soto, J.L.; Polo, J. “*La catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado*”. Edit. Edilesa, León. 2002.
3. Cosido O., Catuogno R., Gálvez A., Iglesias A., Loucera C., Cappellini V., Campi M., Sainz E. “Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa: El Palacio de la Magdalena en Santander”. *Rehabend* 2014.
4. Cosido, Óscar J.; Terán, Leticia; Campi, Massimiliano; Catuogno, Raffaele; Ruiz, Óscar; Sendino, Jesús M.; Sarabia, Pedro; Pereda, José; Iglesias, Andrés. “Representation of the Santander Cathedral by Combination of Different Smart Techniques”. *Digital Heritage*. 2015.
4. Fernández González, L. “Archivo de la Catedral de Santander. Siglos XII-XVI”. *Fundación Marcelino Botín*, Santander. 1994.
5. Fernández González, L. “Santander. Una ciudad medieval”. Santander. 2001.
6. Lalana Soto J.L. “El Paisaje Urbano Histórico: Modas Paradigmas y Olvidos”. *Revista Ciudades N° 14*. Año 2011, pp. 15-38.
7. Lalana Soto J.L., Santos Gangles L. “El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano”. *VIII Congreso Ibérico de Urbanismo*. Portugal, Octubre 2011.

Informe o memoria:

1. Sainz et al. “Plan Director de la Magdalena”. 2012



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural | Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





Realidad Aumentada para la Reconstrucción Virtual de la Ciudad de Santander previa al incendio de 1941. Oscar J. Cosido Cobos, Oscar Ruíz López, Pedro Sarabia Rogina, Henar Sánchez Ortiz de Galisteo, Antolín Lorenzana Iban, Maximiliano Campi, José Luis Lalana Soto. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.



2016
Sociedad y Patrimonio

Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

Realidad Aumentada para la Reconstrucción Virtual de la Ciudad de Santander previa al incendio de 1941

Óscar J. Cosido Cobos¹, Óscar Ruíz López², Pedro Sarabia Rogina³, Henar Sánchez Ortiz de Galisteo², Antolín Lorenzana Iban⁴, Maximiliano Campi⁵, José Luis Lalana Soto⁶

¹Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación.
Universidad de Cantabria
39005 Santander, España

²3DINTELLIGENCE S.L.
39008 Santander, España

³Historiador.
Santander, España

⁴Escuela de Ingenieros Industriales
Universidad de Valladolid
47011 Valladolid, España

⁵URBANECO
Università Degli Studi di Napoli FEDERICO II
80135 Napoli -Italy

⁶Instituto Universitario de Urbanística
Escuela de Arquitectura
Universidad de Valladolid
47014 Valladolid, España



Resumen

Durante este año de 2016 se conmemora el 75 aniversario de un incendio que supuso un antes y un después para los ciudadanos y el tejido urbano de Santander. En menos de 50 años la ciudad sufrió una serie de catástrofes que se iniciaron en noviembre de 1893 con las explosiones que se sucedieron en el mercante Cabo Machichaco, atracado en el muelle de Maliaño, que provocaron centenares de víctimas mortales. A éste hecho luctuoso se sumaron graves incendios en 1912, 1915, 1917, 1924 y 1932, que afectaron a numerosos edificios de la capital¹. El incendio de 1941 supuso el cierre de un ciclo trágico que ha quedado grabado indeleblemente en la memoria y carácter de generaciones de santanderinos.

Con la finalidad de reproducir virtualmente cómo era el tejido consolidado, la dinámica y la morfología de los edificios y calles en la ciudad, se generó este grupo de trabajo multidisciplinar con la mentalidad de colaboración público-privada. Fruto de este trabajo ha sido la visita Virtual, mediante un sistema de Realidad Aumentada, a la sensación inmersiva de visualizar como era la ciudad de Santander durante las primeras décadas del siglo XX.

Palabras Clave

Ciudad, Incendio, Realidad Aumentada, Realidad Virtual, Santander.

Abstract

This year 2016 marks 75 years since the great fire of Santander a fire that marked a turning point for citizens and the urban fabric of Santander. In less than 50 years the city suffered a series of disasters that began in November 1893 with the explosions that occurred in the Cape Machichaco, a merchant ship that was docked in the Maliaño dock, an event that caused hundreds of deaths. This event was followed succession of fires in 1912, 1915, 1917, 1924 and 1932, which affected many buildings in the capital. The 1941 fire led to the end of a tragic cycle that has been marked indelibly in the memory and character of the Santander people for generations.

In order to virtually reproduce how the urban tissue, the dynamics and morphology of the buildings and streets in the city were consolidated before the fires, a multidisciplinary working group with the mindset of public-private partnership was generated. The result of this group's work is the virtual visit of the city, through a system of Augmented Reality, an immersive experience to visualize how the city of Santander was during the first decades of the twentieth century.

Keywords

City Fire, Augmented Reality, Virtual Reality, Santander.

¹ Rafael González Echegaray. *Un retazo de la Historia santanderina. Mutua Montañesa*. Santander, 1981



AR & PA

2016
Sociedad y Patrimonio

Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio



Fig. 2. Zona de La Ribera (Calvo Sotelo) fotografía y Virtualización, poco antes del incendio. A la izquierda de las imágenes el edificio de Correos, a la derecha, la Plaza del Príncipe.



Fig. 3. La Ribera tras el siniestro. En primer plano, a la izquierda, edificio de Correos (Fuente: CDIS). A la derecha, reconstrucción Virtual de la Ribera previa al siniestro.



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural. Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





2016
Sociedad y Patrimonio

Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

5. Conclusiones

Para este proyecto ha sido muy importante la colaboración público – privada, fruto de la cual se ha obtenido el sistema de Realidad Aumentada. Además, el trabajo multidisciplinar que ha permitido reconstruir los edificios desde un punto de vista estructural con el mayor rigor posible, sin perder de vista el paisaje que formaba el tejido urbano consolidado.

El sistema obtenido permite las visitas “in situ” desde una Tablet o móvil, permitiendo también la consulta de la información en remoto, desde un PC, portátil o móvil que estén fuera de Santander, ayudados por un mapa guía que permite la consulta y comparación entre el mapa actual y el preexistente a 1941.

Como continuación a este proyecto hemos comenzado el estudio de la evolución urbana desde el origen romano hasta la actualidad.

Agradecimientos

Queremos agradecer la colaboración del CEFEM (Centro de Formación y Empleo del Ayuntamiento de Santander), así como la participación indispensable del departamento de Geografía de la Universidad de Cantabria, el Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid y el Departamento de Arquitectura de la Università Degli Studi di Napoli “Federico II”, así como a los Cursos de Verano de la Universidad de Cantabria por la ayuda a la divulgación de este trabajo colaborativo.

Bibliografía

1. Andrew I. Comport, Éric Marchand, François Chaumette .Robust model-based tracking for robot vision.. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04, Sendai, Japan, September 2004.
2. Joaquín Reguera Sevilla. La reconstrucción de Santander. El tratamiento jurídico de una catástrofe. Problemas de derecho público y privado en la reconstrucción de la ciudad de Santander. UIMP.Santander,1950
3. Kraus, K., 1993. Photogrammetry. Ferd Dummler Verlag, Bonn, Germany.
4. Sandra Loch-Dehbi, Lutz Plümer “Automatic reasoning for geometric constraints in 3D city models with uncertain observations”. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (2011) 177–187.
5. Santiago Toca. “Santander en Llamas”. *Altamira* 1971, Vol.2.pp. 6-42.Santander, 1971.



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural. Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





Sistema de Documentación Virtual del Patrimonio para la gestión y difusión del Patrimonio Cultural de la Universidad de Cantabria. Nuria García Gutierrez, Óscar J. Cosido Cobos, Óscar Ruiz López, Henar Sánchez Ortiz de Galisteo, Alessia di Manso, Maximiliano Campi. Congreso Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio AR&PA 2016.



2016
Sociedad y Patrimonio



de la Restauración y gestión del patrimonio

Sistema de Documentación Virtual del Patrimonio para la gestión y difusión del Patrimonio Cultural de la Universidad de Cantabria

Nuria García Gutierrez ¹, Óscar J. Cosido Cobos ², Óscar Ruiz López ³, Henar Sánchez Ortiz de Galisteo ³, Alessia di Manso ³, Maximiliano Campi ⁴,

¹ Vicerrectorado de Cultura, Participación y Difusión
Universidad de Cantabria
39005, Santander, España

² Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación.
Universidad de Cantabria
39005, Santander, España

³ 3DINTELLIGENCE S.L.
Santander, España

⁴ DiARC, Department of Architecture
University of Naples FEDERICO II
Via Forno Vecchio, 36
80134 Napoli (Italy)

nuria.garcia@unican.es, oscar.cosido@unican.es, oscar.ruiz@3dintelligence.es,
dpto.tecnico@3dintelligence.es, massimiliano.campi@unina.it

Resumen

Desde el Vicerrectorado de Cultura de la Universidad de Cantabria se propuso la virtualización del Campus Universitario para la gestión y difusión del patrimonio cultural de la Universidad. Se empezó por el edificio más simbólico, que recoge parte del patrimonio artístico de la institución, como es el Paraninfo de la Universidad, donde se ubica la instalación escultórica de Agustín Ibarrola, *Nubes de Papel*.

Dentro de esta parte del proyecto se procedió a la consolidación, limpieza y reintegración de materiales en dicha obra, lo que permitió la documentación geométrica y virtualización integral de las piezas. Este hecho hizo posible la difusión íntegra de esta obra, conjuntamente con el resto de los bienes artísticos presentes dentro del edificio.

Palabras Clave

Fotogrametría, Patrimonio Inteligente, Realidad Virtual, restauración, virtualización de espacios, difusión cultural

Abstract





2016
Sociedad y Patrimonio

X Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

The Department for Culture at the University of Cantabria proposed a project of virtualization management and dissemination of cultural heritage of the University Campus. It started with the most symbolic building, which includes part of the artistic heritage of the institution, the auditorium of the University, where Agustín Ibarrola's sculptural installation, Nubes de Papel is located.

Within this part of the project we proceeded to the consolidation, cleaning and reintegration of the sculpture, which allowed the geometric documentation and comprehensive virtualization of all the parts. This made possible the full dissemination of this sculpture, and the with the rest of the artistic elements present inside the building.

Keywords:

Photogrammetry, Smart Heritage, Virtual Reality, Restoration, virtualization Spaces, Cultural Diffusion.

1. Introducción

La Universidad de Cantabria (UC) tiene apenas cuarenta años de existencia, poco si se comparan con otras universidades más antiguas como la de Salamanca, Alcalá de Henares, Oviedo, etc. En todas ellas, la Extensión Universitaria es un área básica a la hora de acercar estas instituciones a la sociedad de sus comunidades autónomas. En el caso de la UC sus Estatutos, indican que la institución “organizará, mantendrá y fomentará servicios de Extensión Universitaria con el fin de proyectar la labor de la Universidad y difundir la ciencia y la cultura a toda la sociedad”. En el caso que nos ocupa, un proyecto de estas características supone un trabajo de investigación, inventario, catalogación y difusión sobre el patrimonio mueble e inmueble de nuestra institución. En los últimos años, algunas universidades como Oviedo¹, Zaragoza², Córdoba³ o Barcelona⁴ han desarrollado diversas páginas de acceso a su patrimonio universitario, con mayor o menor grado de detalle.

Debido a la necesidad de aunar varias actividades que afectan al Patrimonio Cultural como es el documentar, inventariar y difundir una obra, se está haciendo necesario otro tipo de plataformas de difusión que ayuden a la Extensión Universitaria. Además, en el caso del Patrimonio Universitario, como en el de otras instituciones, las características y peculiaridades de algunos materiales no permiten su continua exhibición por cuestiones de conservación, por

¹ <http://www.gaudeo.es/>

² <http://moncayo.unizar.es/web/patrimonioartistico.nsf>

³ http://www.uco.es/ucomuseo/umv005_iniciativas.html

⁴ <http://www.ub.edu/museuvirtual/index.php>



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural. Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





2016
Sociedad y Patrimonio

X Bienal
de la Restauración y gestión del patrimonio

5. Conclusiones

Los Sistemas de Información y Gestión Patrimonial, son un mecanismo articulador a la hora de unificar los procesos de catalogación, gestión y divulgación del Patrimonio Cultural. La fotogrametría digital, gracias a la implementación de técnicas híbridas, con otras derivadas de la Visión Artificial, permite llevar a cabo este tipo de trabajos con recursos relativamente bajos (con la posibilidad de utilizar herramientas gratuitas y/o de código abierto). La precisión métrica alcanzada a través de este tipo de técnicas, así como el volumen de información obtenido es muy superior a la alcanzada por medio de los métodos de documentación clásicos.

Las visitas 360º, por su parte, se han convertido ya en una pieza clave dentro de los proyectos de virtualización del patrimonio. Hasta ahora los esfuerzos se centraban en la generación de modelos 3D de objetos y estructuras. Actualmente el objetivo es proporcionar una inmersión cada vez más real que permita la exploración de los espacios generados virtualmente y su divulgación a la sociedad, a través de plataformas Web. Además de la posibilidad de realizar videos 360.

En este proyecto hemos generado un modelo original, mezclando la realidad virtual con la precisión de los modelos obtenidos mediante técnicas de ingeniería inversa, de tal forma que la posición y geometría de objetos y edificios tiene la suficiente precisión para considerarlos espacios virtuales de alta precisión métrica.

Agradecimientos

Queremos agradecer la colaboración del Vicerrectorado de Cultura de la Universidad de Cantabria.

Bibliografía

Documento de Internet:

1. <http://www.gaudeo.es/>
2. <http://moncayo.unizar.es/web/patrimonioartístico.nsf>
3. Universidad de Córdoba: http://www.uco.es/ucomuseo/umv005_iniciativas.html#a1
4. Universidad de Barcelona: <http://www.ub.edu/museuvirtual/index.php>
5. <http://www.unican.es/campuscultural/Exposiciones/Gabinete+de+Estampas+Virtual.htm>
6. <http://gallica.bnf.fr/>
7. <http://www.cervantesvirtual.com/>
8. <http://www.archimuse.com/mw2002/papers/haleyGoldman/haleygoldman.html>
9. <http://www.nextcentury.ca/Papers/ART.html>



Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural, Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. 47014 Valladolid





2016
Sociedad y Patrimonio

X Bienal

de la Restauración y gestión del patrimonio

Artículo en revista científica o congreso:

1. Almagro, A. (2000): "Fotogrametría para arquitectos. El estado de la cuestión". Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica. EGA 2000. Barcelona.
2. Doneus, M., Neubauer, W. (2005): "3D Laser ScannersonArchaeologicalexcavations", in CIPA 2005 International Symposium, Turin.
3. Felinto, D., Pan, M. (2013): Gamedevelopmentwithblender, CENGAGE Learning, Boston.
4. Goldman, K. H., Wadman, M. (2002): "There'ssomething happening here, whatitisain'texactlyclear". In *Museums and the Web 2002*. Selectedpapers. Pittsburgh: Archives and MuseumInformatics.
5. Torres, J.C., P. Cano, J. Melero, M. España y J. Moreno (2010): "Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio". *Virtual ArchaeologyReview* 3
6. Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., Kraus, K. (2004): "Laser Scanning: A new MethodforRecording and Documentation in Archaeology", in FIG WorkingWeek, Atenas.

Libro:

1. Mullen, T. (2012): *Mastering Blender (2nd Edition)*, Wiley.
2. Estatutos de la Universidad de Cantabria. Reglamentos de sus órganos de gobierno y representación. Santander: *Editorial de la Universidad de Cantabria*, pp. 92-93.
3. Moure Romanillo, A. (comp.) (1999): *El Paraninfo de Santander: un nuevo espacio universitario y ciudadano*. Santander: *Universidad de Cantabria*.



Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo
Dirección General de Patrimonio Cultural \ Servicio de Planificación y Estudios
Avda. Monasterio de Nuestra Sra. de Prado s/n. \ 47014 \ Valladolid





Static, modal and dynamic behaviour of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results. Castaño, Javier; Cosido, Óscar; Pereda, José; Cacho-Pérez, Mariano; Lorenzana, Antolín. CMMoST2015.

Static, modal and dynamic behaviour of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results

Castaño, Javier¹; Cosido, Óscar²; Pereda, José³; Cacho-Pérez, Mariano³; Lorenzana, Antolín³

ABSTRACT

Response for the static, modal and dynamic problem corresponding to a stress ribbon footbridge is studied. The equilibrium equations describing the problem are coupled nonlinear differential equations which are numerically solved using the finite element method. The objective of this work is to present a proper computational model for such a structure and to check its applicability in predicting not only the static behaviour but also modal parameters and estimate its dynamic response. As the footbridge is continuously monitored, it has been possible to measure the sag and to identify natural modes. This experimental data has been used for updating the finite element model.

Keywords: finite element method, non-linear analysis, experimental techniques, model updating.

1. INTRODUCTION

Cables are common structural members in civil engineering. Although in most of the cases cables are working together with other structural members (beams, plates ...), in the application studied in this paper (stress ribbon footbridge) cables lead (together with the abutments) the structural strength and stability. The simple idea of installing ropes and wooden slabs for crossing a river has evolved in modern bridge designs like the ones of U. Finsterwalder in mid-20th century followed by J. Strasky, among others. Most of the stress ribbon footbridges are built in reinforced concrete using post-stressing techniques. With that typology, the concrete deck contributes with mass and transversal stability but the active tendons are the responsible for the static and dynamic behaviour. Other building alternative is to place precast concrete slabs over the main cables or plates, once pretensioned properly. In the footbridge under study (see figure 1), the plate is 85 m long and is made of steel, being its cross section 3.6 m wide and 30 mm thick.

Despite the wide use of catenary-like structures, its analytical or computational modelling is not straight forward. The main drawback for its study is the geometrical non-linearity associated to the large displacements that appear, so the equilibrium must be established on the deformed configuration. Under certain simplifications (uniform mass distribution, inextensibility ...) there is analytical solution for determining the deformed shape (catenary) and also the natural frequencies and the modal shapes. Note that the solution depends on internal parameters as the weight or the

¹ Mechanical Engineering Division, CARTIF Research Center (Spain). javcas@cartif.es

² A.M. and Computational Techniques Dept., ETSIT, University of Cantabria (Spain). oscar.cosido@unican.es

³ EII/TAP, University of Valladolid (Spain). pereda@eii.uva.es, cacho@eii.uva.es, ali@eii.uva.es (Corresponding author)

Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results
Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
University of Seville. 24-26 June 2015.

initial tension that cannot be easily identified once the structure is in use. Besides, real cases are affected by elongation due to the axial force, thermal expansion due to the temperature changes and in some cases unequal mass distribution along the structure. For these cases, the solution to the analytical formulation must be obtained by numerical techniques or using computational approaches based on the finite element method. In real applications, internal unknown parameters prevent initial analytical or numerical models to match with experimental results. Standard trial-and-error techniques must be used to estimate proper values of those parameters in a logical range so simulation response can be close to the real one.



Figure 1. Stress ribbon footbridge under study

The objective of this work is to present a proper finite element model for such a non-linear structure and to check its applicability in predicting not only the static behaviour but also the modal and dynamic ones. For that, two different models have been created, one using cable-type elements (1D) and other with shell-type elements (2D). Both models have been updated by numerical iterative methods employing data measured from the actual footbridge. Finally the accuracy of each method is evaluated.

2. MECHANICS OF A SUSPENDED CABLE

The mathematic expressions describing the mechanical behaviour (static and dynamic) of a suspended cable are an ensemble of non-linear coupled differential equations. These equations can only be analytically solved after linearization (Irvine's suspended cable linear theory [1]) and assuming certain simplifications otherwise the solution can only be obtained by numerical analysis.

For hanging plates, the behaviour in the vertical plane is similar considering the plate is working as a membrane. Additionally, transverse and torsional modes can appear. To evaluate these modes general shell theory [3] must be applied. The resulting equations are solved employing numerical

Javier Castaño, Óscar Cosido, José Pereda, Mariano Cacho-Pérez, Antolín Lorenzana

techniques which demand spatial discretization and interpolation in a similar way finite element methods do.

3. APPLICATION TO THE STRESS RIBBON FOOTBRIDGE

The Pedro Gómez Bosque footbridge case is analysed. This pedestrian bridge, sited in Valladolid (Spain), is a slender and lightweight steel stress ribbon structure built in 2011 with only one span of approximately 85 m that provides minimal impact on the surroundings. It mainly consists of a Corten steel sheet 94 m long, 3.6 m wide and only 30 mm thick, which is pretensioned and anchored to the two abutments, which are 2 m not on level. The complete steel sheet is fabricated by 8 m long plates welded. A number of 110 precast concrete slabs 5.2 m long, 0.75 m wide and 120 mm thick, lay on the steel sheet. The structure is completed by rubber pavement and stainless steel and glass handrail. All these structural and functional parts suppose around 23.6 kN/m. Initial pretension on the steel sheet was adjusted so the displacement in the middle were limited to $L/50$ which means 1.7 m.

3.1. Experimental

3.1.1. Static measurements

Surveying techniques combined with photogrammetry ones were used for determining the deformed shape. First, two pairs of reference points were chosen in the abutments. Then, 8 intermediate pairs of points were selected along the deck. Each pair of points is 2.4 m apart in the transversal direction of the deck. All the resulting 10 upstream points were aligned, and also all the downstream ones. Setting the base in the higher abutment, a total station (theodolite integrated with an electronic distance meter) was used to read, with the help of a direct reading optical rod, the distance and elevation of the remaining 9 pair of points. Three measurements rounds were made and mean values obtained. After the statistical analysis, and according to the accuracy of the instrumentation, the maximum error was estimated in 6 mm. Note that the footbridge is prone to oscillate and amplitudes around 10 mm are usual even though the technician using the rods moves carefully. Finally, mean values in each pair of points were used as the reference coordinates for the subsequent adjustment of the finite elements models. This procedure was carried out in two different days with ambient temperatures of 18 °C and 28 °C. Results are shown in figure 2.

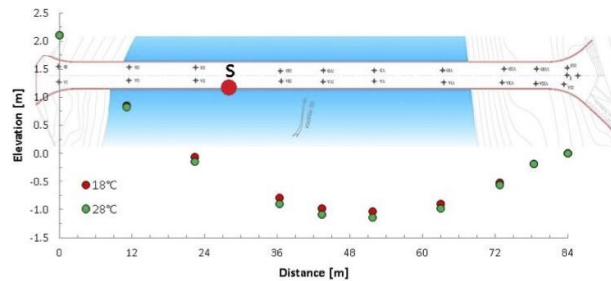


Figure 2. Measured elevations along the deck

Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results
Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
University of Seville. 24-26 June 2015.

Additionally to the topographic data, several photographs were taken and the corresponding 3D virtual model was built. Once adjusted using some reference points, the 3D model can be used (photogrammetry) to check distances and elevations of the selected pairs of points and to measure in any other point.

3.1.2. Modal and dynamic measurements

Since this footbridge was monitored with several accelerometers, the recordings were used to perform an Operational Modal Analysis to determine its free vibration modes. Table 1 presents the seven natural frequencies identified by FFD and SSI techniques at 20 °C. Corresponding modes are shown in figure 4. The notation used is BZ-*i* for bending modes in the vertical XZ plane, BY-*i* for bending modes in the horizontal XY plane and TX-*i* for torsional modes around X axis. *i* is the number of antinodes of the corresponding mode. No longitudinal modes have been observed and horizontal bending modes observed are always coupled with the torsional ones.

Additionally a dynamic test was carried out using an electrodynamic shaker placed in point S (see figure 2). Adjusting different parameters, a sinusoidal vertical force $F(t) = 230 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1.780 \cdot t)$ [N] was generated during 90 s, as shown in figure 3, being 1.780 Hz the frequency of the fourth vertical bending mode. Resulting vertical accelerations in the same point S ($x = 28$ m) were also registered.

Table 1. Experimental frequencies

$T_{ref} = 20^\circ\text{C}$	vertical	transversal + torsional
	$f_{V,i}$ (Hz)	$f_{HT,i}$ (Hz)
mode 1	1.020 BZ-1	1.050 BY-1+TX-1
mode 2	0.868 BZ-2	1.530 BY-2+TX-2
mode 3	1.410 BZ-3	2.230 BY-3+TX-3
mode 4	1.780 BZ-4	

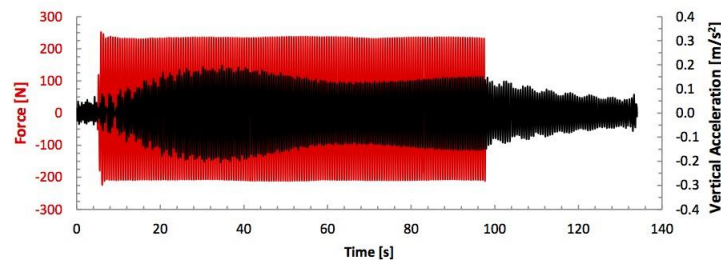


Figure 3. Dynamic test: Forced and free response of the footbridge

Javier Castaño, Óscar Cosido, José Pereda, Mariano Cacho-Pérez, Antolín Lorenzana

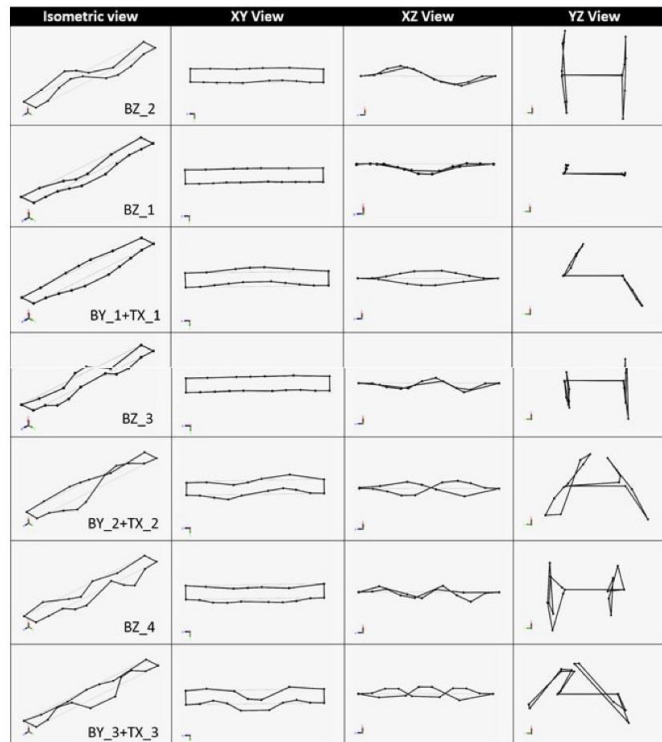


Figure 4. Experimental mode shapes for the first seven modes

3.2. Computational

3.2.1. FE Modelling and Model Updating

The computational part of this work has been done with the finite element software ANSYS® 15.0. Two footbridge models have been created. The first one is made of 200 cable-type elements (LINK180) while the other uses 2400 shell-type elements (SHELL181) instead.

The lack of knowledge of certain internal parameters of the footbridge (like the precise position of the extremes or the elastic properties of the structure as a whole) makes impossible to build a model able to reproduce the actual footbridge's behaviour using only data from the initial design project. Part of this work is setting those parameters to match the experimental static deformed shapes (measured at 18°C and 28°C) and the free vibration modes (measured at 20°C).

Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results
Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
University of Seville. 24-26 June 2015.

The parametric model updating has been carried out by numerical iterative techniques using the ANSYS® *DesignXplorer* application. The parameters selected for updating were the axial and torsional rigidity, the distributed load, the initial length and the horizontal distance between supports.

3.2.2. Static and modal results

After several goes, considering together the static and modal available data, the values of the governing parameters were fixed according with table 2. The maximum displacements obtained in each updated model are presented in Table 3. The matching achieved between each model and the experimental data is shown in figure 5.

Table 2. Updated parameter's values

Initial length	82.363	<i>m</i>
Horizontal distance	82.280	<i>m</i>
Mass distribution	2417	<i>kg/m</i>
Axial stiffness	4.573E8	<i>N/m</i>
Torsional stiffness	1.982E9	<i>N-m/rad</i>

Table 3. Comparison of sags for different temperatures

Temperature °C	EXPERIMENTAL		FINITE ELEMENT ANALYSIS		
	δ_{max} <i>m</i>	δ_{max} <i>m</i>	Error %	δ_{max} <i>m</i>	Error %
18	1.993	1.956	1.89	1.958	1.78
28	2.107	2.054	2.49	2.057	2.37

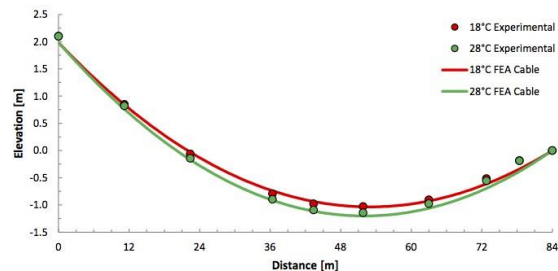


Figure 5. Static deformed shapes for different temperatures

Table 4 shows the natural frequencies for each updated model with a temperature of 20°C. The modal shapes of the cable model and the shell model are shown in figures 6 and 7.

Javier Castaño, Óscar Cosido, José Pereda, Mariano Cacho-Pérez, Antolín Lorenzana

Table 4. Comparison of natural frequencies at 20 °C

Mode	EXPERIMENTAL		FINITE ELEMENT ANALYSIS			
	f_i		Cable-type model		Shell-type model	
	Hz		f_i	Error	f_i	Error
BZ-2	0.868		0.867	0.11	0.876	0.92
BZ-1	1.020		1.063	4.20	1.071	4.95
BY-1+TX-1	1.050		-	-	1.168	11.20
BZ-3	1.410		1.425	1.08	1.432	1.58
BY-2+TX-2	1.530		-	-	1.475	3.58
BZ-4	1.780		1.736	2.47	1.758	1.24

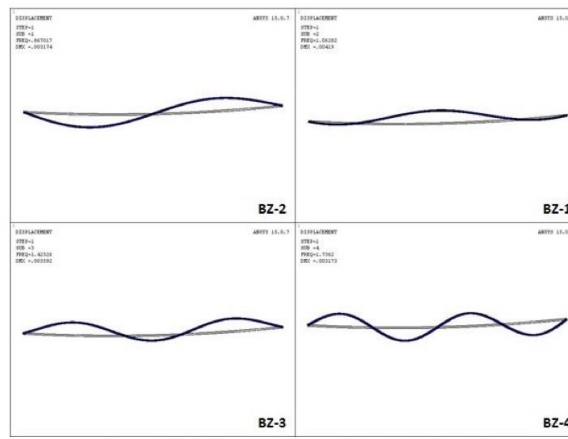


Figure 6. First four modal shapes of the cable FE model

3.2.3. Dynamic results

The structural damping has been introduced using the Rayleigh damping procedure. The damping coefficients alpha and beta have been set to achieve an approximate damping of 0.25% for all the considered modes. This damping ratio has been obtained adjusting the exponential free-decay curve in the structural response shown in figure 4 in the range 100 to 134 s.

In order to simulate the real measuring conditions, the force has been applied at the same point in the model and in the test. The force was a harmonic-type force with amplitude of 236 N and the frequency of the fourth mode of vertical bending that was applied during 100s. After that, the structure was left in free response for another 34 s. The experimental temperature was unknown, so the modal adjustment temperature was taken instead (20°C).

Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results
Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
University of Seville. 24-26 June 2015.

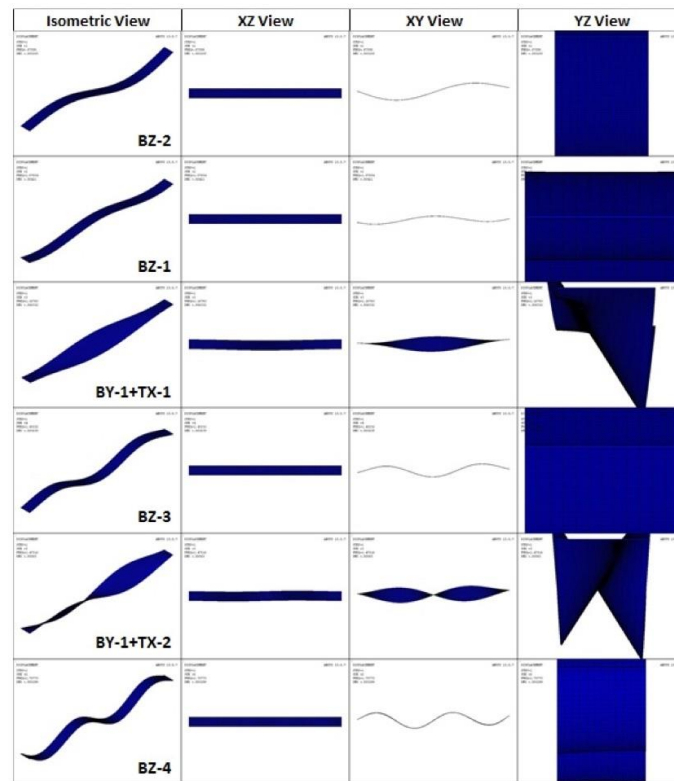


Figure 7. First six modal shapes of the shell FE model

3.2.4. Dynamic results

The structural damping has been introduced using the Rayleigh damping procedure. The damping coefficients alpha and beta have been set to achieve an approximate damping of 0.25% for all the considered modes. This damping ratio has been obtained adjusting the exponential free-decay curve in the structural response shown in figure 4 in the range 100 to 134 s.

In order to simulate the real measuring conditions, the force has been applied at the same point in the model and in the test. The force was a harmonic-type force with amplitude of 236 N and the frequency of the fourth mode of vertical bending that was applied during 100 s. After that, the

Javier Castaño, Óscar Cosido, José Pereda, Mariano Cacho-Pérez, Antolín Lorenzana

structure was left in free response for another 34 s. The experimental temperature was unknown, so the modal adjustment temperature was taken instead (20°C).

The figures 8 and 9 show the vertical acceleration data at the force application point. It can be noted that the response in both models match the one of a system at resonance, but the experimental data doesn't. This happens because the shaker doesn't have the accuracy of the numerical models, being unable to keep the actual structure at resonance. To make the models show this behaviour the force's frequency was modified with a small divert from the resonance (<1%).

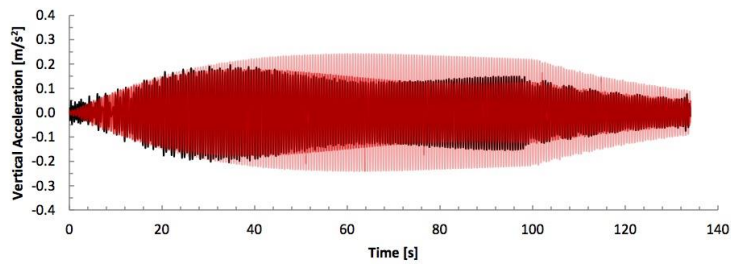


Figure 8. Dynamic response (Cable-type model): black - experimental; pale red - FEA at resonance; red - FEA slightly out of resonance

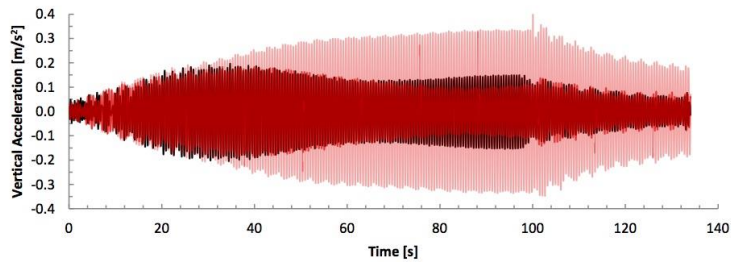


Figure 9. Dynamic response (Shell-type model): black - experimental; pale red - FEA at resonance; red - FEA slightly out of resonance

4. CONCLUSIONS

Cable and shell mathematical models have been developed to simulate the mechanical behaviour of a footbridge. Using the cable model, static and modal response in the vertical direction has been adjusted. But in order to incorporate the behaviour outside the vertical plane it is necessary to formulate the shell model. Once adjusted to static and modal experimental data, both models agree in the vertical direction. Shell model is additionally able to adjust the coupled modes that appear in the horizontal bending and torsional directions.

Static, modal and dynamic behavior of a stress ribbon footbridge: Experimental and computational results
Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
University of Seville. 24-26 June 2015.

Using the updated models, the dynamic response matches with the loading test, showing the applicability of the numerical approach to study geometrical non-linear pedestrian structures.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been partially funded by the Spanish Government Research Program with the Grant BIA2011-28493.

REFERENCES

- [1] Strasky, J. (2005). Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges. Thomas Telford Publishing.
- [2] Irvine, H.M. (1981). Cable Structures. The MIT Press.
- [3] Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S. (1959). Theory of plates and shells. McGraw-Hill.
- [4] ANSYS® Mechanical APDL R15.0. Structural Analysis Guide. ANSYS, Inc.
- [5] Lepidi, M., Gattulli, V. (2012). Static and dynamic response of elastic suspended cables with thermal effects. *International Journal of Solids and Structures*, 49(9), 1103-1116.
- [6] Luongo, A., Zulli, D (2012). Dynamic instability of inclined cables under combined wind flow and support motion. *Nonlinear Dynamics*, 67(1), 71–87.
- [7] Bouaanani, N., Ighouba, M. (2011). A novel scheme for large deflection analysis of suspended cables made of linear or nonlinear elastic materials. *Advances in Engineering Software*, 42(12), 1009–1019.
- [8] Sandovic, G., Juozapaitis, A., Kliukas, R. (2011). Simplified engineering method of suspension two-span pedestrian steel bridges with flexible and rigid cables under action of asymmetrical loads. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 6(4), 267–273.



Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking

Cosido, Óscar J.¹; Salcines, Alberto²; Ruiz, Óscar²; Lorenzana, Antolín³

ABSTRACT

The objective of this paper is to show the preliminary work carried on to achieve a computer vision based methodology for helping the identification of the forces induced on structures when people walk over them. The proposed methodology throws promising results in using multiple-object video tracking techniques to track the footwear of a person in order to estimate the location of each foot on the surface. Although the studied scenario in this paper is constrained to laboratory conditions, its analysis will establish an initial point for the improvement of the methodology and its application in real scenarios.

Keywords: computer vision, tracking, foot location, dynamic load identification.

1. INTRODUCCIÓN

La estabilidad dinámica de algunas estructuras es especialmente sensible a las fuerzas a las que son sometidas cuando una persona o multitud interactúan con ellas. El modelado de la influencia que ejercen las personas sobre el comportamiento dinámico de estructuras ligeras es un verdadero reto para la ingeniería debido fundamentalmente a la naturaleza imprevisible del comportamiento humano. Por ejemplo, las fuerzas que ejerce una única persona desplazándose sobre una pasarela son pequeñas fuerzas locales de magnitud y orientación variables que no dependen únicamente de las características físicas de la persona sino también de su comportamiento.

En el ámbito del estudio de la dinámica de estructuras, se han presentado muchos problemas relacionados con las vibraciones de suelos, escaleras, estructuras ensambladas (gradas, escenarios, etc.), puentes y pasarelas debido a la influencia ejercida por grupos de personas que saltan, corren o caminan sobre ellas. Algunos de los casos más recientes y famosos de problemas derivados de la interacción humano-estructura son el del *Millennium Bridge* en Londres [1] y el Puente Solferino en París [2]. Además, las estructuras modernas tienden a ser más ligeras y flexibles y por tanto más proclives a dicha influencia. Esta situación ha fomentado la investigación en torno al concepto de interacción humano-estructura, convirtiéndose ésta en un terreno multidisciplinar en el que convergen áreas como en cálculo de vibraciones estructurales, la biomecánica para el modelado del comportamiento cinemático y dinámico del cuerpo humano, desarrollo de sensores para la medición

¹ Dpto. Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación. Universidad de Cantabria (SPAIN).
oscar.cosido@unican.es

² 3DINTELLIGENCE (SPAIN). alberto.salcines@3dintelligence.es, oscar.ruiz@3dintelligence.es

³ ITAP, EII. Universidad de Valladolid, Valladolid (SPAIN). ali@eii.uva.es

Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking
Fourth International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
Madrid (Spain). 29 nov-01 dec 2017.

y localización de fuerzas o la psicología para el modelado del comportamiento de grupos de personas ante determinados eventos.

El objetivo de este trabajo es buscar una metodología basada en visión por computador que ayude a la identificación de las fuerzas inducidas sobre estructuras cuando personas caminan sobre ellas. Concretamente, se persigue la localización del punto de aplicación de dichas fuerzas mediante la estimación del punto de apoyo de las personas en la superficie sobre la que se desplazan. Con este método se pretende facilitar el estudio del efecto de las pisadas en la deformación de estructuras ligeras.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Técnicas de localización de las GRF

En [3], sus autores realizan una revisión de las técnicas disponibles para la medición y caracterización de las fuerzas ejercidas al caminar por las personas o GRF (*Ground Reaction Forces*) dividiéndolas en técnicas de medida directa e indirecta.

La medida directa de las GRF es frecuentemente utilizada para modelar las fuerzas generadas por los sujetos. Se utilizan dispositivos sensorizados con transductores de fuerza y presión como cintas de correr, plataformas de fuerza y plantillas con sensores de presión.

La medida indirecta de las GRF se basa en los modelos obtenidos mediante los experimentos realizados con medida directa. Una vez obtenidos los modelos que describen el comportamiento dinámico del movimiento humano, la medida indirecta consiste en utilizar técnicas de captura de movimiento o rastreo (*tracking*) tanto activas como pasivas para posicionar a las personas sobre la estructura durante el experimento.

El problema de localización de las GRF sobre la estructura es interesante en cuanto a que el efecto que éstas tienen en la dinámica del sistema es dependiente del punto de aplicación. Las técnicas habituales para localizar a los sujetos en entornos fuera de laboratorio son el *tracking* óptico basado en marcadores pasivos o activos y el *tracking* mediante sistemas microelectromecánicos inalámbricos.

2.2 Visión por computador aplicada al estudio de la interacción persona-estructura

Con el fin de estudiar en profundidad la influencia de las personas sobre una estructura es necesario conocer, al margen de la intensidad y dirección, el origen de los vectores de las GRF. Eliminar la necesidad de dianas o marcadores en la tarea de localizar a las personas permitiría suprimir las limitaciones de coste, tiempo y espacio requeridas por un hardware de captura de movimiento tradicional. Las técnicas actuales que permiten el trabajo en esta dirección son los sensores inalámbricos y la visión por computador.

El seguimiento de objetos sin marcadores basado en visión artificial es considerado como la solución definitiva al *tracking* del movimiento humano. Aunque lleva más de una década siendo una de las áreas más activas en investigación, la aplicación de estos métodos en la interacción humano-estructura tanto dentro como fuera de laboratorio no es común debido a los retos técnicos que supone su uso: cambios de iluminación, oclusiones, abarrotamiento, sombras, etc.

Aun siendo compleja la tarea de obtener la pose y localización de personas a través de visión artificial, esto no ha impedido utilizar técnicas de procesamiento de imagen para llevar a cabo estudios de influencia persona-estructura. Por ejemplo, en [4], se realiza un seguimiento del balanceo de las cabezas de un flujo de personas que circulan sobre una pasarela de prueba con el fin de calcular la influencia de la sincronización de los peatones en la vibración de la estructura. Para ello utilizan una cámara situada a 3 m sobre el nivel de la pasarela cuyas imágenes son procesadas posteriormente de forma manual fotograma a fotograma, buscando el punto central entre los ojos de cada peatón. La información



Cosido, Óscar J.¹, Salcines, Alberto², Ruiz, Óscar², Lorenzana, Antolín³

resultante son señales que representan el balanceo de los peatones y que permiten calcular su ritmo de marcha y el posible efecto de sincronización entre grupos que circulan por la pasarela.

En [5] se busca de nuevo estudiar el efecto de la sincronización de peatones sobre la vibración y oscilación de una pasarela, esta vez sobre el puente T-Park en Tokio. Una cámara de alta resolución es situada en la cubierta de un estadio colindante de modo que un tramo de la pasarela sea visible. Se trata de un caso de afluencia masiva de peatones por lo que la localización exacta de cada peatón es impracticable. La solución adoptada es de nuevo el tracking de cabezas. Esta vez se propone una técnica de procesamiento de imágenes que automatiza el rastreo de los elementos de interés, siendo estos tanto el centroide de las cabezas de los peatones como puntos específicos de la pasarela para medir su desplazamiento. La solución propuesta está basada en correspondencia de plantillas o *template matching* optimizada mediante un algoritmo genético y un clasificador final para distinguir entre cabeza-pasarela-otro.

Un último ejemplo de aplicación es el llevado a cabo en [6]. En este trabajo se comprueba la viabilidad de utilizar el tracking sin marcadores para estudios de vibraciones inducidas por personas mediante la comparación de los resultados obtenidos a través de hardware comercial de tracking con marcadores (Codamotion) y sensores inalámbricos (Opal). La solución propuesta es un algoritmo de tracking acompañado de un clasificador basado en aprendizaje automático [7]. Con un método de rastreo adaptativo como este se consiguen atenuar los problemas de deriva que tendría un clasificador estático originados por los cambios de perspectiva, escala e iluminación de los objetos a seguir.

2.3 Seguimiento de objetos en video

El seguimiento o tracking visual de objetos es una amplia área dentro de los campos de la visión por computador y procesamiento de imagen. El planteamiento de un problema de tracking es el siguiente: Dada una secuencia de imágenes $I_1, I_2 \dots I_n$, estimar el estado x_k de uno o varios objetivos de interés para la imagen I_k , donde x_k pueden ser las coordenadas sobre la imagen del centroide del objeto, área o información sobre su movimiento, por ejemplo. Es por ello una tecnología muy útil aplicable en ámbitos variados como en vigilancia y seguridad, robótica industrial, vehículos autónomos, interfaces hombre-máquina y reconocimiento de actividad o comportamiento.

Según el nivel de interacción con el usuario, los algoritmos de tracking pueden ser *manuales*, donde el usuario selecciona fotograma a fotograma el objetivo [4], o *automáticos*, donde es el propio sistema quien rastrea al objetivo en base a una información inicial dada [5]. Indistintamente, un algoritmo de tracking tiene que lidiar con una serie de dificultades las cuales han inspirado en gran parte el interés por la investigación en esta área. La primera de ellas es el *abarrotamiento* o *clutter*. Este problema se da cuando las características que definen al objetivo son similares a las de los objetos de su entorno. Otro problema son los *cambios de apariencia*. Se denominan *cambios de apariencia intrínsecos* a los cambios en la forma del objeto debido a desplazamientos o plasticidad. Los *cambios de apariencia extrínsecos* son las variaciones producidas por la iluminación, movimiento de la cámara y punto de vista de ésta. Los cambios en apariencia son de gran importancia ya que son causantes de *deriva* o *drift* [7] en los trackers que no actualizan periódicamente las características o descriptores que emplean para identificar a los objetivos. Resolver este problema implica alcanzar un equilibrio entre la información que se conserva entre fotogramas y la que es actualizada mediante técnicas de aprendizaje. Este dilema es conocido como *Dilema de Estabilidad-Plasticidad* [8]. Otros factores que dificultan el tracking son las *oclusiones* parciales o totales del objetivo, los *movimientos complejos* y cambios bruscos de *velocidad*, el *ruido en la imagen* y los requisitos de velocidad del sistema si se necesita una ejecución en *tiempo real*.

Otra clasificación de los algoritmos de tracking puede hacerse según su modo de funcionamiento: *Tracking recursivo*, *tracking por detección* y *tracking por detección adaptativo*.

El *tracking recursivo* consiste en estimar el estado actual x_t del objetivo mediante transformación de su estado anterior x_{t-1} . Estos métodos son propensos a deriva debido a la acumulación del error en sucesivos estados. Ejemplos de trabajos de tracking recursivo son el de Lukas y Kanade [9] que predice

Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking
Fourth International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
Madrid (Spain). 29 nov-01 dec 2017.

la nueva posición del objetivo mediante análisis de *flujo óptico*, y [10] donde se propone emplear el algoritmo de clusterizado *mean-shift* [11] para detectar la nueva posición del objeto buscando el máximo de similitud entre histogramas de color de fotogramas sucesivos.

El *tracking por detección* estima x_t según mediciones tomadas en I_t , lo que reduce el problema de deriva por acumulación de error. La contrapartida de la detección es la necesidad de tener un detector-clasificador previamente entrenado. Entrenar un detector requiere una fuente de información previa, imágenes en este caso, correctamente anotadas y lo más ricas en información posible: diferentes perspectivas del objeto a detectar, diferentes formas, colores, niveles de ruido, etc. Toda aquella información que permita encontrar un objeto se codifica en *descriptores*, los cuales deben poseer robustez suficiente para identificar al objeto frente a cambios de apariencia.

La detección puede realizarse *offline*, usando el mismo detector para toda la secuencia, u *online*, actualizándose el detector-clasificador conforme a la evolución del objeto a lo largo del video. Este último caso se trata de un *rastreo por detección adaptativo*. En [12], una *máquina de vectores de soporte SVM* o *clasificador de margen máximo* es entrenado *offline* para modelar el fondo (*background*) y poder distinguirlo del objetivo (*foreground*) y puesto a trabajar en cascada con un tracker basado en *flujo óptico*. En [13], mediante un *detector adaptativo*, el algoritmo *mean-shift* es mejorado reduciendo considerablemente las restricciones de éste en rastreos de larga duración (con oclusiones, cambios de escala, pose, iluminación, etc.). Se utiliza también un *filtro de Kalman* [14] [15] para reducir el entorno de búsqueda del detector y poder implementar el sistema en *tiempo real*. Los algoritmos de *autoaprendizaje* como este utilizan sus propias predicciones para actualizarse por lo que no están exentos de deriva.

Se han realizado numerosos trabajos en cuanto a reducir la deriva de los trackers basados en detección. En [16] se utiliza *entrenamiento cooperativo* o *co-training*. El sistema consiste en utilizar dos clasificadores entrenados para procesar características diferentes del objetivo. La respuesta de ambos es combinada para actualizar los datos de entrenamiento de uno de ellos (*boosted classifier*). En [17] mejoran la estabilidad en el tiempo utilizando un sistema basado en tres componentes: *template matching* mediante *correlación* como parte no adaptativa (*tracking por detección*), *mean-shift* mediante *flujo óptico* (*tracking recursivo*) y un *Random Forest* como clasificador *adaptativo*. Por último, en [18] proponen un modelo llamado TMD (*Tracking-Modeling-Detection*) en el que el objeto es rastreado por un tracker adaptativo a corto plazo basado en el método de Lukas-Kanade [9]. Durante el rastreo la apariencia es modelada de forma no supervisada analizando parches de la imagen con alta probabilidad de contener el objetivo. Estos parches son utilizados para entrenar un detector *online* que trabaja en paralelo con el tracker. La peculiaridad es que la salida del detector es utilizada únicamente para reinicializar el tracker en caso de pérdida del objetivo, haciendo al sistema robusto frente a oclusiones.

3. CASO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Este trabajo centra su investigación en la localización de las GRF mediante técnicas de visión artificial monocular, esto es, mediante el uso de una cámara de video y técnicas de seguimiento sin marcadores. Puede considerarse un método innovador ya que en la revisión bibliográfica realizada no se han encontrado trabajos previos en este sentido.

La aplicación de un método de estas características supondrá un abaratamiento en los costes de equipamiento debido a la utilización de una cámara convencional, así como una reducción en los tiempos de captura de la información ya que el hardware es convencional (cámara de video y ordenador) y los sujetos no necesitan equiparse con trajes especiales de marcadores.

Cosido, Óscar J.¹, Salcines, Alberto², Ruiz, Óscar², Lorenzana, Antolín³

3.1 Caso de estudio

El trabajo reflejado en esta publicación es el resultado de la primera aproximación realizada hacia la consecución del objetivo descrito anteriormente.

El escenario o caso de estudio sobre el que se ha trabajado se restringe a condiciones de laboratorio. Esto es, la detección de pisadas sobre una superficie plana en un área interior y restringida (figura 1). Se han minimizado la aparición de sombras y cambios en la iluminación, así como la variación en escala de los objetos a detectar. La cámara está situada sobre un trípode en una posición favorable para minimizar las oclusiones y solo se detectan las pisadas de un único sujeto por lo que el abarrotamiento o cluttering es mínimo, dándose únicamente entre ambas zapatillas del sujeto. En este caso de estudio, el sujeto utiliza unas zapatillas con un color de alta luminosidad que las hace destacar del entorno. Éstas son los objetivos del algoritmo de rastreo. Sobre la superficie de prueba se han localizado 24 puntos de coordenadas conocidas con el fin de poder establecer un sistema de referencia métrico en la escena y cuantificar el error cometido en las detecciones de pisadas.

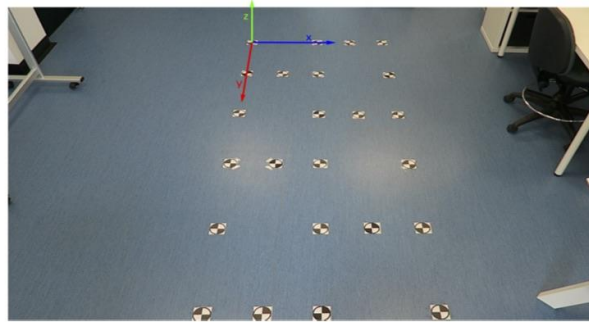


Figura 1. Imagen del escenario de prueba.

La cámara utilizada es una Canon PowerShot G7 X. Tanto la secuencia de imágenes de calibración como las capturas de información para procesado se han tomado con la cámara configurada en modo video a una resolución de 1920x1080 píxeles y 60 fps. En este escenario no se han utilizado plantillas sensorizadas para obtener información del módulo y distribución de fuerzas por lo que no fue necesario un método de sincronización entre la captura de video y las plantillas.

Toda la información se procesa *offline*.

3.1 Metodología

El método de trabajo puede resumirse en estas cinco fases: Calibración de la cámara, captura de información, aplicación de un algoritmo de rastreo multiobjeto de visión por computador, filtrado/extracción de información y análisis de resultados.

3.1.1 Calibración de la cámara

El proceso de calibración de la cámara permite obtener los parámetros internos de la misma, denominados intrínsecos, y los parámetros externos o localización de la cámara respecto al sistema de

Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking
Fourth International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
Madrid (Spain). 29 nov-01 dec 2017.

referencia métrico externo, denominados extrínsecos. Conocidos ambos conjuntos de parámetros se obtiene un modelo único que define la cámara y otro modelo único para su localización. La utilidad de estos modelos es que posibilitan realizar las proyecciones de puntos del espacio a píxeles en la imagen, proyección directa, y de píxeles a coordenadas espaciales, proyección inversa.

La obtención de parámetros intrínsecos se realizó con el método habitual, esto es, tomando una serie de imágenes de un patrón de calibración del tipo tablero de ajedrez en diferentes orientaciones respecto de la cámara. Para realizar este proceso se utilizó *Camera Calibration Toolbox* [19]. Esta *toolbox* contiene funciones para obtener un modelo lineal de cámara o un modelo con distorsiones de lentes basado en el modelo de Heikkilä-Silvén [20]. La obtención de los parámetros extrínsecos se realizó tomando como puntos de referencia las coordenadas de las marcas realizadas en el suelo. Este hecho es importante ya que en un futuro entorno exterior donde no sea posible establecer marcas, pueden utilizarse como referencias puntos de la geometría del lugar cuyas posiciones respecto de un sistema de referencia establecido sean conocidas.

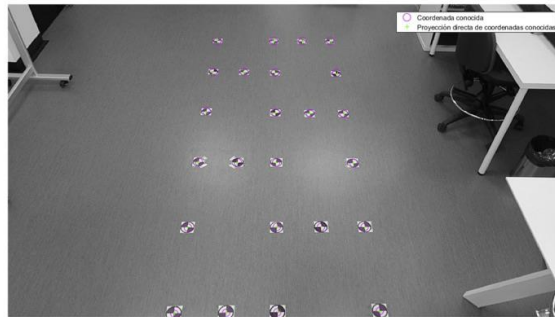


Figura 2. Puntos de localizaciones conocidas sobre el suelo y su proyección directa a través del modelo de cámara lineal.

3.1.2 Captura de la información

Para este trabajo se capturaron varias secuencias de una persona caminando sobre el área restringida desde el punto de vista de las figuras 1 y 2. Se han seleccionado 3 de ellas para ver el comportamiento del algoritmo en diferentes situaciones. En todas ellas el sujeto avanza en sentido positivo del eje x (ver figura 1).

- Secuencia 1: El sujeto camina hacia la cámara pisando sobre las dianas evitando oclusiones de las zapatillas.
- Secuencia 2: El sujeto camina en línea recta pisando sobre dianas situadas a la misma distancia x . Hay oclusiones parciales de los objetivos y abarrotamiento.
- Secuencia 3: El sujeto realiza un camino aleatorio con variaciones de velocidad. Presencia de abarrotamiento y oclusiones parciales y totales.



Skills of artificial vision and machine learning to locate (in space and time) the footsteps of a pedestrian while walking
Fourth International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering
Madrid (Spain). 29 nov-01 dec 2017.

REFERENCIAS

- [1] P. Dallard, A. J. Fitzpatrick, A. Flint, S. Le Bourva, A. Low, R. M. ridsdill Smith y M. Willford, «The London Millennium Footbridge,» *The Structural Engineer*, vol. 79, nº 22, pp. 17-33, 2001.
- [2] A. N. Bleckherman, «Autoparametric Resonance in a Pedestrian Steel Arch Bridge: Solferino Bridge, Paris,» *Journal of Bridge Engineering*, vol. 12, nº 6, pp. 669-676, 2007.
- [3] V. Racic, A. Pavic y J. M. William Brownjohn, «Moder facilities for experimental measurement of dynamic loads induced by humans: A literature review,» *Shock and Vibration*, vol. 20, pp. 53-67, 2013.
- [4] M. C. Araújo Jr, H. M. Braga Fernandes Brito y R. Leal Pimentel, «Experimental evaluation of synchronisation in footbridges due to crowd density,» *Structural Engineering International*, nº 3, pp. 298-303, 2009.
- [5] J. Yoshida, Y. Fujino y T. Sugiyama, «Image processing for capturing motions of crowd and its application to pedestrian-induced lateral vibration of a footbridge,» *Shock and Vibration*, nº 14, pp. 251-260, 2007.
- [6] F. Zheng, S. Ling, V. Racic y J. Brownjohn, «Measuring human-induced vibrations of civil engineering structures via vision-based motion tracking,» *Measurement*, nº 83, pp. 44-56, 2016.
- [7] R. Elwell y R. Plokar, «Incremental Learning of concept Drift in Nonstationary Environments,» *Transactions on Neural Networks*, vol. XXII, nº 10, pp. 1517-1531, 2011.
- [8] S. Grossberg, «Competitive Learning: From Interactive Activation to Adaptive Resonance,» *Cognitive Science*, nº 11, pp. 23-63, 1987.
- [9] B. D. Lukas y T. Kanade, «An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision,» de *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vancouver, 1981.
- [10] D. Comaniciu, V. Ramesh y P. Meer, «Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift,» de *IEEE COnference on Computer Visiona and Pattern Recognition*, 2000.
- [11] K. Fukunaga y L. D. Hostetler, «The Estimation of the Gradient of a Density Function, with Applications in Pattern Recognition,» *Transactions on Information Theory*, vol. 21, nº 1, pp. 32-40, 1975.
- [12] S. Avidan, «Support Vector Tracking,» *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, nº 8, pp. 1064-1072, 2004.
- [13] J. Jeong, T. Sung Yoon y J. Bae Park, «Mean shift tracker combined with online learning-based detector and Kalman filtering for a real-time tracking,» *Expert Systems With Applications*, nº 79, pp. 194-206, 2017.
- [14] R. E. Kalman, «A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems,» *Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering*, nº 82, pp. 35-45, 1960.

Cosido, Óscar J.¹, Salcines, Alberto², Ruiz, Óscar², Lorenzana, Antolín³

- [15] R. Faragher, «Understanding the Basis of the Kalman Filter Via a simple and Intuitive Derivation,» *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 128-132, 2012.
- [16] O. Javed, S. Ali y M. Shah, «Online Detection and Classification of Moving Objects Using Progressively Improving Detectors,» de *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, 2005.
- [17] J. Santner, C. Leistner, A. Saffari, T. Pock y H. Bischof, «PROST: Parallel Robust Online Simple Tracking,» de *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Francisco, 2010.
- [18] Z. Kalal, J. Matas y K. Mikolajczyk, «Online learning of robust object detectors during unstable tracking,» de *3rd On-line Learning for Computer Vision Workshop*, Kyoto, 2009.
- [19] J.-Y. Bouguet, «http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/,» [En línea]. Available: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/.
- [20] J. Heikkilä y O. Silvén, «A four-step camera calibration procedure with implicit image correction,» *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings.*, 1997.
- [21] A. Sobral y A. Vacavant, «A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos,» *Computer Vision and Image Understanding*, nº 122, pp. 4-21, 2014.
- [22] K. E. A. van De Sande, T. Gevers y C. G. M. Snoek, «Evaluation of color descriptors for object detection and scene recognition,» *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition: CVPR 2008*, pp. 1-8, 2008.
- [23] M. L. Miller, H. S. Stone y I. J. Cox, «Optimizing Murty's Ranked Assignment Method,» *IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS*, vol. XXXIII, nº 3, pp. 851-862, 1997.
- [24] M. Bocian, J. Brownjohn, V. Racic, D. Hester, A. Quattrone y R. Monnickendam, «A framework for experimental determination of localised vertical pedestrian forces on full-scale structures using wireless attitude and heading reference systems,» *Journal of Sound and Vibration*, vol. 376, pp. 217-243, 2016.
- [25] H. Yang, L. Shao, F. Zheng, L. Wang y Z. Song, «Recent advances and trends in visual tracking: A review,» *Neurocomputing*, vol. 74, pp. 3823-3831, 2011.
- [26] A. Ali, A. Jalil, J. Niu, X. Zhao, S. Rathore, J. Ahmed y M. Aksam Iftikhar, «Visual object tracking - classical and contemporary approaches,» *Frontiers of computing Science*, vol. 1, nº 10, pp. 167-188, 2016.
- [27] P. Viola y M. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features,» *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2011.
- [28] N. Dalal y B. Triggs, «Histograms of Oriented Gradients for Human Detection,» *International Conference on Computer Vision & Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 886-893, 2005.



Implementación de un Sistema GIS para la Gestión de las Emergencias de un Parque de Bomberos Aplicado al Caso de Santander. Autor: Óscar J. Cosido Cobos. Libro: Gobernanza empresarial de tecnologías de la información. ISBN: 978-84-8102-760-0. Fecha de edición: 2015.
<https://www.editorial.unican.es/libro/gobernanza-empresarial-de-tecnologias-de-la-informacion>.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GIS PARA LA GESTIÓN DE LAS EMERGENCIAS DE UN PARQUE DE BOMBEROS APLICADO AL CASO DE SANTANDER

Óscar J. Cosido Cobos¹²

¹Universidad de Cantabria

Avda. de los castros s/n

²CEFEM (Ayuntamiento de Santander)

Marqués de la Ensenada s/n

oscar.cosido@unican.es

Resumen

El sistema de emergencias es vital para la gestión de las incidencias y las flotas dentro de un parque de bomberos, la información gráfica es casi más importante que la alfanumérica a la hora de afrontar una emergencia, dado el corto tiempo que se necesita en la repuesta. Por ello se ha implementado un GIS por parte de los alumnos de la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander, con la finalidad de gestionar toda la información a través de una base de datos única. Para los datos se han cogido datos del GIS Municipal de Santander, así como datos del propio cuerpo de bomberos y otros datos obtenidos mediante técnicas topográficas.

Se ha basado todo el sistema en software "Open Source". Haciendo que el sistema sea de bajo coste. Para este proyecto se han cogido dos escalas de trabajo, toda la superficie que ocupa el término municipal de Santander y por otro lado el caso de edificios singulares por su complejidad o importancia de cara a un sistema de emergencias, por lo que se escogió el Hospital Marqués de Valdecilla como prototipo de trabajo para generar la información necesaria para la intervención sobre un edificio o establecimiento complejo desde el punto de vista de los riesgos.

Para este proyecto se han tardado 6 meses y ha contado con la participación a tiempo completo de 5 personas. La complejidad se ha basado en la

migración de datos desde diferentes plataformas y la inclusión de más información en tiempo real, por lo que se hacía necesario la creación de diferentes herramientas de actualización de la información.

Palabras clave: GIS, Santander, Emergencias, Bomberos, Escuela Taller

INTRODUCCIÓN

En situaciones de Emergencia, como se puede leer en [1], la coordinación de recursos requiere de procedimientos y herramientas que faciliten a los distintos cuerpos cooperativos el acceso a la información necesaria en el menor tiempo posible para tomar mejores decisiones.

Los sistemas de información geográfica de código abierto y los estándares destinados a la difusión de información geográfica se encuentran en un estado de madurez tal que permiten dar respuesta a este escenario, facilitando la construcción de soluciones tecnológicas adecuadas para la prevención, gestión y seguimiento de este tipo de situaciones de emergencia.

Este artículo trata de compartir la experiencia en el desarrollo de un sistema de información geográfica de apoyo a la gestión de emergencias integrado en una solución vertical de extendido uso en el ámbito nacional. Para ello, se utilizaron las claves tecnológicas y funcionales del GIS, haciendo especial hincapié en las ventajas que proporciona el empleo de estándares abiertos en el intercambio y explotación de información en un contexto tan exigente.

Los Servicios Públicos de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamentos constituyen un elemento fundamental en la intervención frente a cualquier tipo de situación de emergencia. Así está reconocido generalmente en la totalidad de las disposiciones legales y reglamentarias existentes en nuestro país en el campo de la protección civil y las actuaciones en emergencias: planes territoriales de emergencia, planes especiales, procedimientos de actuación, etc. Pero, aparte de este sustento jurídico, está la labor que día a día los servicios de bomberos desarrollan con la intervención directa para el control de siniestros, donde constituyen con carácter casi exclusivo la fuerza operativa, es decir, el recurso que directamente afronta y combate el incendio, el accidente químico o el rescate y salvamento de víctimas. Así la gestión eficiente de las emergencias, minimizará sus tiempos de respuesta y por lo tanto mejorará la forma en la

distintos sectores de seguridad dentro del edificio, así como las rutas de escape y los ascensores de uso exclusivo para emergencias.

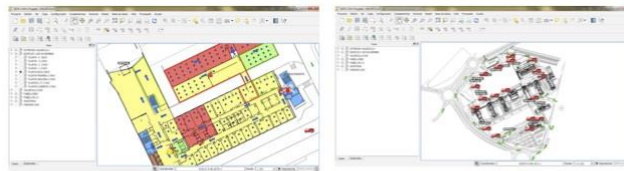


FIGURA 6. IMAGEN DEL GIS PARA VALDECILLA

CONCLUSIONES

El trabajo realizado por la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías se ha desarrollado en un plazo de 6 meses, comenzando por la toma de datos mediante sistema GPS, topografía y cartografía municipal. Después se ha completado la información gráfica con información alfanumérica, en una fase posterior se juntaron todas las capas de información para que pudiera consultarse la información desde un mismo sistema de información centralizado.

Con este trabajo se ha logrado tener la base de trabajo sobre la que gestionar toda la información susceptible de ser usada y consultada por el cuerpo de bomberos en caso de emergencia. Pudiendo ver los distintos recursos y servicios dentro de la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al CEFEM y a todos los alumnos de la Escuela Taller en Nuevas Tecnologías del Ayuntamiento de Santander, así como al cuerpo de bomberos de Santander, por el esfuerzo realizado para la consecución de

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GIS PARA LA GESTIÓN DE LAS EMERGENCIAS DE UN PARQUE DE BOMBEROS APLICADO AL CASO DE SANTANDER 9

este proyecto, así como la posibilidad de divulgar el trabajo realizado dentro de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANTONIO GONZÁLEZ ROMERO, DOLORES PRADES VALLS, “SIG LIBRE Y ESTÁNDARES ABIERTOS EN SOLUCIONES VERTICALES DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS”
- [2] NATALIA ZAPATA PREGUEZUELOS, “HERRAMIENTA GIS DE APOYO A LA GESTIÓN DE EMERGENCIAS DE PROTECCIÓN CIVIL EN EL MUNICIPIO DE SANT BOI”, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA, FEBRERO 2013.
- [3] INTEGRATING GIS, GPS AND GSM TECHNOLOGIES FOR THE EFFECTIVE MANAGEMENT OF AMBULANCES. COMPUTERS, ENVIRONMENT AND URBAN SYSTEMS, 25 (2001) 267±278.
- [4] K.ATHAVAN; S.JAGADEESHWARAN, G.BALASUBRAMANIAN, N.DINESH, G.ABHILASH, G.GOKUL, “AUTOMATIC AMBULANCE RESCUE SYSTEM”, INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED TECHNOLOGY & ENGINEERING RESEARCH, 2012.



Estudio y modelado 3D de parte del conjunto monumental de la Catedral de Santander para la comprensión de la evolución histórica de la ciudad. Massimiliano Campi, Raffaele Catuogno, Antonella Di Luggo, Oscar Jesus Cosido Cobos, Pedro Sarabia. Italian survey & international experience: Edizione cartonata con copertina rigida. ISBN13: 9788849229158. ISBN10: 8849229151. Año: 2014. Ub.int: T003c

Estudio y modelado 3D de parte del conjunto monumental de la Catedral de Santander para la comprensión de la evolución histórica de la ciudad

Analysis and 3D modeling of part of monumental Cathedral in Santander for the understanding of city historical development

Massimiliano Campi*, Raffaele Catuogno*, Antonella di Luggo*, Oscar Jesus Cosido Cobos*, Pedro Sarabia*

DENTRO DE LA COLABORACIÓN SURGIDA ENTRE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, LA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II" Y EL AYUNTAMIENTO DE SANTANDER, SE HAN IDO GENERANDO UNA SERIE DE PROYECTOS PARA LA DOCUMENTACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO DE LA CIUDAD DE SANTANDER¹ COMO COMIENZO DEL ANÁLISIS Y MODELADO TRIDIMENSIONAL DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CIUDAD. MÉTODO PARA LA COMPRENSIÓN DEL PAISAJE URBANO HISTÓRICO², INTENTANDO VALIDAR LOS CONCEPTOS MÁS NOVEDOSOS EN EL CAMPO DEL PATRIMONIO URBANO.

PALABRA CLAVES: LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO, PATRIMONIO CULTURAL, MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO, INTERNACIONALIZACIÓN.

IN COLLABORATION BETWEEN THE UNIVERSITY OF CANTABRIA, UNIVERSITY OF NAPLES "FEDERICO II" AND SANTANDER CITY COUNCIL, A SERIES OF PROJECTS FOR THE DIGITAL DOCUMENTATION OF SANTANDER'S HERITAGE¹ HAVE BEEN GENERATING AS THE BEGINNING OF THE ANALYSIS AND THREE-DIMENSIONAL MODELING OF THE HISTORICAL EVOLUTION OF THE CITY. A METHOD FOR UNDERSTANDING THE HISTORIC URBAN LANDSCAPE², TRYING TO VALIDATE THE CONCEPTS IN THE FIELD OF URBAN HERITAGE.

KEY WORDS: ARCHITECTURAL SURVEY, CULTURAL HERITAGE, METHODS OF DETECTION, INTERNATIONALIZATION.

Introducción

Como centro del estudio de las vistas relevantes en la ciudad¹. El conjunto monumental de la catedral de Santander constituye el mejor y más antiguo testimonio inmueble conservado del pasado histórico de la capital de Cantabria. El conjunto ha sufrido a lo largo de su historia muchas vicisitudes que han dejado su huella en la actualidad. Las tragedias de la explosión del Cabo Machichaco, a finales del siglo XIX y, sobre todo, el incendio de la ciudad de 1941, modificaron en gran medida su estructura original, que ya había sido enriquecida con capillas y accesos a lo largo de las edades media y moderna².

Los monumentos integrados en este conjunto: Iglesia Baja, Colegial y Claustro, se edificaron sobre estructuras preexistentes, romanas y medievales, que se asentaban en el cerro de Somorrostro o de San Pedro, accidente orográfico que se elevaba a unos 15 m sobre el nivel del mar, desde el que se podía proteger el puerto situado en su vertiente norte.

Durante las intervenciones arqueológicas realizadas en el conjunto monumental de la Catedral, durante 1982-1983, dirigidas por González Echeagaray y Casado Soto, se excavaron varias estructuras de cronología romana atribuidas a construcciones relacionadas con la preparación y defensa del espacio habitable situado en la parte más alta del cerro, entre las que destacan:

- Un muro de 8 m de longitud y profundidad superior a los 4 m, construido con bloques sin labrar, orientado oeste-sureste. Estos restos se han interpretado como una plataforma de preparación de la cima del cerro como base de futuras construcciones, habilitada en el cambio de Era.

- Gran estructura de mampostería de 2,60 m de anchura que formaba parte de un edificio de carácter defensivo, asociado a una calle de 3 m de anchura y a un *hipocaustum*. La construcción se ha datado a principios del siglo IV.

Por encima de estas construcciones se descubrieron los restos de una antigua iglesia que precedió a las que se conservan en la actualidad³. Para poder modelar la evolución histórica de la ciudad, primero se tienen que representar los restos actuales y como se disponen en el espacio. Sin esta base no es posible el estudio posterior de la citada evolucion.

Introduction

As a center of relevant views of the city study¹, the monumental Cathedral of Santander is the oldest and best preserved building testimony of the historical past of the capital of Cantabria. The architecture has suffered many events throughout its history, that have left their mark today. The tragedies of Machichaco Cape explosion, in the late nineteenth century and, especially, the great city fire of 1941, which greatly modified its original structure, which had been enriched with chapels and accesses throughout the ages².

The monuments integrated in this architecture complex: lower church, college and cloister, were built on pre-existing Roman and medieval structures, which settled before in San Pedro or Somorrostro hill, orographic episode which situated to about 15 m above the sea, from which it could protect the port in its northern slope.

During the archaeological interventions in the monumental Cathedral, during 1982-1983, led by González Echeagaray y Casado Soto, were excavated various structures of Roman buildings attributed to timing related to the preparation and defense of living space located on the highest part of the hill, among which:

- A wall 8 m in length and over 4 m deep, constructed of unhewn blocks, oriented in west-southeast direction. These ruins have been interpreted as a platform for preparing the hilltop as base of future construction.

- Big masonry structure width of 2.60 m, which was part of a defensive building associated with a street width of 3 m and an *hipocaustum*. The construction has been dated to the early fourth century.

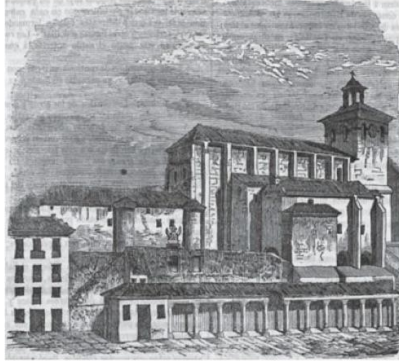
Above these constructs remains of an old church, which preceded the ruins that were discovered nowadays³.

To model the historical evolution of the city, it first must be represented the actual remains and how they arranged in space. Without this basis is not possible to study further the urban evolution by the use and position of the heritage within its dynamic asset through the different eras.

Three-dimensional modeling of the oldest elements of the Cathedral of Santander serve to represent or simulate the constructive evolution of the cathedral itself and the medieval Puebla Vieja, origin of the present city of Santander.

1/ La Catedral de Santander en 1835.
The Cathedral of Santander in 1835.

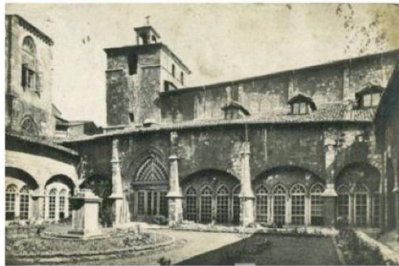
2/ El claustro de la catedral antes de la reconstrucción de 1941.
The cloister of the cathedral before the reconstruction in 1941.



lución urbana con el comportamiento y posición de los elementos patrimoniales dentro de su dinámica.
El modelado tridimensional de los elementos más antiguos de la catedral de Santander sirven para poder representar o simular la evolución constructiva de la propia catedral y de la Puebla Vieja medieval, origen de la actual ciudad de Santander.

Antecedentes

Sobre estos restos arqueológicos se edificó un modesto monasterio en la que se cobijaron los restos de los niños mártires Emeterio y Celedonio. Según la tradición el monasterio de San Emeterio fue fun-



Background

On these archaeological ruins a modest monastery was built where the remains of the children martyrs Emeterio and Celedonio were. According to tradition the monastery of San Emeterio was founded by Alfonso II in the year 791. The church – *ecclesia* – of San Emeterio – *trasaqua* – is mentioned in Ordoño I second testament (857) as a deanery of the Latas Church Church⁶.

The abbey and the port of San Emeterio also were mentioned in an apocryphal document of 1068, in which is registered a grant of King Sancho II. Also appears in other documents of the Cathedral of Burgos and on parchment in 1099 quoted in a concession to the abbot and monastery of San Emeterio. Also appears in 1120 in a privilege granted by Alfonso VII to the Cathedral of Burgos, in which the names of the abbots of the Santander church appear. In those years, in 1131, the monastery was transformed in Collegiate Church, as decision by Alfonso VI, going to enjoy of royal patronage and some independence from the Bishop of Burgos, in terms of appointments and other issues.

With the granting of the Fuero, and the subsequent economic development of the town, were generated the surplus needed to build the church group that was formed by two overlapping constructs in sober Gothic Cistercian. The lower church – which was designated to the Martyrs Shrine – can be dated to the first third of the thirteenth century, about 1230; the work of the upper – old abbey of San Emeterio and Celedonio Martyrs – then, as we saw, College of the Holy Bodies, was already advanced in the early fourteenth century⁷ 8.

The Lower Church

Lower Church, or Church of the Martyrs, was completed in the first half of the thirteenth century, about 1230, and stylistically it is included in the first moments of the northern peninsular Gothic or *proto gothic*. It is barely noticeable from the outside, except for its entry, it had three naves, divided into four sections, topped with polygonal apses. The floor of the building is similar to that of the church of Tamarit de Llitera, Huesca. It had two entrances open to the north, under the portico. Next to one of these accesses, the Abbot's palace was built in the fourteenth century. Inside the relics of Rioja saints are preserved.

The College of Cuerpos Santos

Dated in the late thirteenth century and it can fit into the style of Cistercian Gothic. It is partly superimposed to the former one; also has three naves, divided into five sections and two floors. The nave, taller than the side ones, lit with five ogival openings interspersed between the buttresses of the north and south facades. The central apse – although in Zuyser's drawings (1660) is shown as semicircular, probably like the side ones – was polygonal, similar to those in the lower church. Its external appearance could be similar to the church of the Cistercian Monastery of Valbuena (Valladolid) and the collegiate church of San Pedro (Soria). At its foot the bell tower, which originally dates of the fourteenth century, rises but was later extended by adding several floors.

3/ La torre de la catedral desde el norte a principios del siglo XX.
The cathedral tower from the north in the early twentieth century.

4/ La catedral tras el incendio de 1941.
The cathedral after the fire of 1941.

dación de Alfonso II en el año 791. La iglesia – *ecclesia* – de San Emeterio – *trasaqua* – aparece citada en el segundo testamento de Ordoño I (857) como una decanía de la iglesia de Latast. La abadía y el puerto de San Emeterio también se mencionan en un documento apócrifo de 1068 en el que consta una donación del rey Sancho II. Aparece también en otros documentos de la catedral de Burgos y en un pergamino de 1099 en el que se cita una concesión al abad y monasterio de San Emeterio. También aparece en un privilegio de 1120 otorgado por Alfonso VII a la catedral de Burgos en el que aparecen los nombres de los abades de la iglesia santanderina. Por aquellos años, en 1131, el monasterio se transformó, por decisión de Alfonso VI en Iglesia Colegial, pasando a disfrutar del patronazgo real y cierta independencia del obispado de Burgos, en lo relativo a nombramientos y otras cuestiones.

Con la concesión del Fuero, y el consiguiente desarrollo económico de la villa, se generaron los excedentes necesarios para la construcción del conjunto eclesial que estuvo formado por dos construcciones superpuestas, de sobrio estilo gótico cisterciense. La iglesia inferior – que fue destinado a santuario de Los Mártires – puede datarse en el primer tercio del siglo XIII, hacia 1230; la obra de la superior – antigua abadía de los Mártires San Emeterio y Celedonio – luego, como ya vimos, Colegial de los Cuerpos Santos, ya estaba avanzada a comienzos del siglo XIV^{7 8}.

La Iglesia Baja

La Iglesia Baja, o Iglesia de los Mártires, se finalizó en la primera mitad del siglo XIII, hacia el año 1230, y se incluye estilísticamente en los primeros momentos del gótico del norte peninsular o protogótico. Es apenas perceptible desde el exterior, a excepción de su entrada, contaba con tres naves, divididas en cuatro tramos, rematadas por ábsides poligonales. La planta del edificio es similar a la de la iglesia de Tamarite de Litera, Huesca. Tenía dos entradas abiertas al norte, bajo el pórtico. Junto a uno de estos accesos se levantó en el siglo XIV el palacio del abad. En su interior se conservan las reliquias de los santos riojanos.

La Colegial de los Cuerpos Santos

Data de finales del siglo XIII y puede encuadrarse en el estilo del gótico cisterciense. Está superpuesta parcialmente a la anterior; también cuenta con tres naves, divididas en cinco tramos y dos pisos. La nave central, de mayor altura que las laterales, se iluminaba con cinco vanos ojivales intercalados entre los contrafuertes de las fachadas norte y sur. Su abside central, aunque en el plano de Zuyler (1660) aparece como semicircular, probablemente, como los laterales, era poligonal, semejante a los de la Iglesia baja. Su aspecto exterior pudo ser similar al de la iglesia del monasterio cisterciense de Valbuena (Valladolid) y el de la colegiata de San Pedro (Soria). A sus pies se eleva la torre del campanario que en origen data del siglo XIV, aunque posteriormente fue ampliado elevando en varias plantas su fábrica.



5/ La catedral en la actualidad vista desde el este.
The currently view of Cathedral from the east.

El Claustro

Está situado al oeste de la iglesia colegial, es de planta trapezoidal y se finalizó hacia el año 1340. Contaba con varias capillas, como las dedicadas a San Pedro y Santiago, hospital y sala capitular. En origen su techumbre era de madera, aunque más tarde ésta se sustituyó por una bóveda de crucería simple.

Modelado 3D del Claustro de la Catedral de Santander

Metodología

El uso del Escáner-Láser en distintas aplicaciones que incluyan un levantamiento tridimensional, en la actualidad, se puede considerar como el método más utilizado. Pero todavía hay que pensar y discutir sobre los impactos metodológicos y operativos que este procedimiento implica. No se pueden ignorar los beneficios del uso del Escáner-Láser frente a otros métodos en términos de precisión y en tiempo de procesado: el escáner láser ofrece la posibilidad, en un tiempo muy limitado, de adquirir una gran cantidad de datos espaciales, con los que es posible reconstruir la geometría del objeto detectado. Para cada pulso de láser emitido por el escáner, el sensor adquiere, junto con los datos de topología, el valor de la reflectancia. Este valor nos permite distinguir los distintos materiales presentes; la combinación de los datos del sensor y una cámara, en la mayoría de los casos integrados, permite colorear los puntos de la nube.

Entre los diversos efectos de los trabajos descritos en el presente documento, se presenta a continuación los principales:

- supervisar, con los avances en las actividades de documentación, la posible erosión y degradación;
- análisis del claustro de la Catedral de Santander de una forma no invasiva;
- obtener modelos tridimensionales para el uso del sitio de forma remota;
- desarrollar una base de datos para la catalogación y acceso a la información, para compartir entre grupos de investigación internacionales.

La continua colaboración entre el Departamento de Arquitectura, el Centro de Investigación Urban/Eco de la Universidad de Nápoles Federico II, la Universidad de Cantabria y el Ayuntamiento de Santander ya ha dado sus frutos trabajando con los métodos establecidos en esta investigación, para la obtención de una gran cantidad de datos para el conocimiento de la ciudad española, lo que demuestra cómo la colaboración internacional puede llevar a resultados interesantes y originales.

Para el estudio de la Catedral de Santander ha sido propuesta una técnica útil para obtener información cualitativa y cuantitativa, a través del análisis de los datos adquiridos por un dispositivo remoto; un sensor que no tiene contacto con el objeto y que organiza el flujo de la adquisición de información, registro, análisis y almacenamiento de los datos en una forma tal que permita también la colaboración remota.

La información obtenida debe ser compartida e interpretada por los



The Cloister

Located at west side of the collegiate church, it has a trapezoidal plant and it was finished by the year 1340. It had several chapels, such as those dedicated to San Pedro and Santiago, hospital and chapter house. Originally the roof was made of wood, but later it was replaced by a simple cross vault.

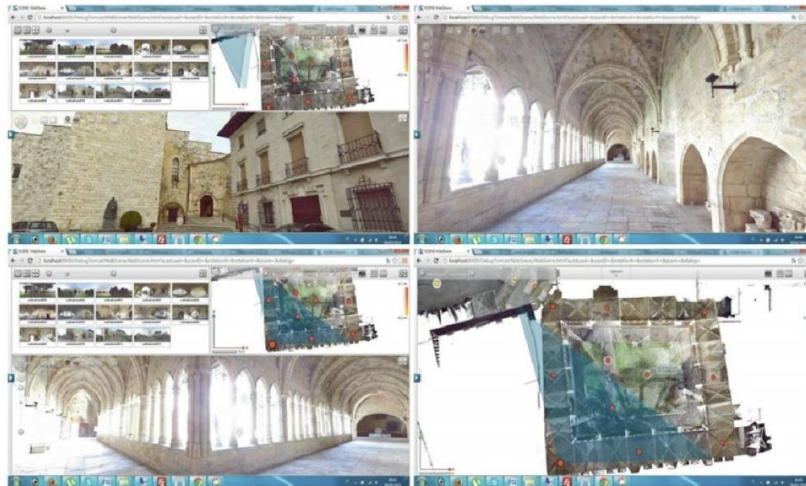
3D Modeling of the Cloister of the Cathedral of Santander

Methodology

The use of laser scanner in surveying applications can now be considered standard practice. But still we have still to think and discuss about the methodological and operational impacts that this procedure implies. Undeniable is the benefit received from this equipment in terms of accuracy and timing of recovery: the laser scanner offers the possibility, in a very limited time, to acquire a large amount of spatial data, from which it is possible to reconstruct the geometry of the detected object. For each laser pulse emitted by the scanner, the sensor acquires, together with topological data, the value of reflectance. This value allows us to distinguish the different materials present; the combination of the sensor data and a camera, mostly integrated, allows to color the points cloud.

6/ Las tomas del escáner láser en la pantalla del software Faro Web Share.

Screen shots of cloister points clouds in Faro Web Share software.



investigadores en diferentes ubicaciones geográficas y con diferentes aplicaciones prácticas. El modelo que se consideró más adecuado para este tipo de colaboración fue, sin duda, el modelo 3D, hecho posible por tomas de escáner láser sucesivas, con un muy alto grado de uniones solapadas.

La elección, entonces, recae en el sistema de adquisición de datos a través de un TLS (*Terrestrial Laser Scanner*, Escáner Láser Terrestre), que ofrece ventajas claras con respecto a la fiabilidad de las medidas y de la adquisición de datos rápida. Otro aspecto positivo de este método es la conversión de datos para diferentes plataformas de software utilizado para cualquier tipo de diseño asistido o diseño gráfico. Esta versatilidad es especialmente ventajosa cuando la colaboración internacional requiere plataformas de uso que no siempre coinciden.

Desarrollo del Trabajo

La importancia histórico-artística del sitio analizado requería una particular precisión en los datos y, al mismo tiempo, una notable velocidad de adquisición, debido a la reducción del tiempo en el que los operadores podían intervenir. Para cumplir estos requisitos, se ha es-

Among the several purposes of the work described herein, we report below the main ones:

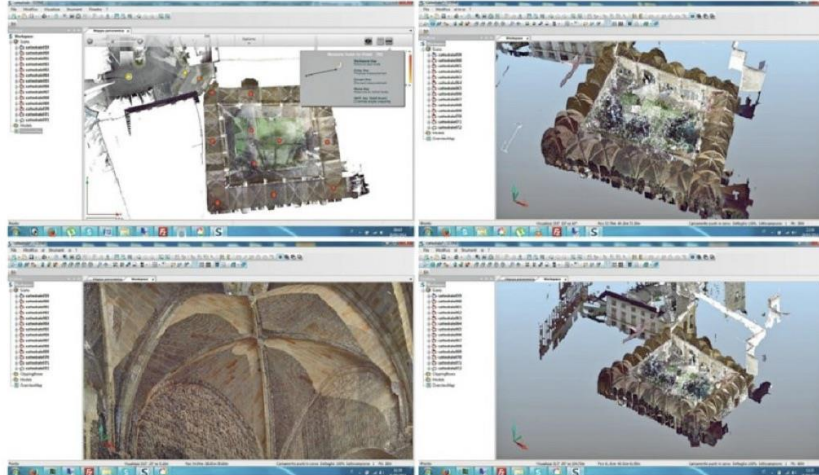
- Monitor, with advances in documentation activities, possible erosion and degradation;
- Analysis of the cloister of the Cathedral of Santander in a non-invasive mode;
- Obtain three-dimensional models for remotely fruition of the site;
- Develop a database for cataloging and access to information, for sharing between international research groups.

The ongoing collaboration among the Department of Architecture, the Research Centre Urban Eco of University of Naples Federico II, the University of Cantabria and the Municipality of Santander, which have already worked with established methods of investigation for the construction of knowledge of cultural heritage that are so important for the Spanish city, demonstrates how international collaboration can lead to interesting and original results.

For the study of the Cathedral of Santander proposal is a useful technique to obtain qualitative and quantitative information, through the analysis of data acquired by a remote device, a sensor can not be in contact with the artifact and that organizes the flow of information acquisition, recording, analysis and storage of data in such a way as to enable remote collaboration.

7/ El modelo 3d de las nubes de punto en la pantalla de software Faro Scene.

3D model points clouds in screen shots of Faro Scene software.



cogido una instrumentación de levantamiento que consiste en un escáner láser FARO Focus 3D. Su sensor tiene un rango de medición de la distancia nominal entre 60 cm y 120 metros, con una precisión en la medición de la distancia del orden de ± 2 mm a 25 metros y una resolución angular igual a 0.009° , con una velocidad de adquisición igual a 976.000 puntos/segundo.

Este escáner funciona cuando mide analizando la fase de la señal y los parámetros del escaneado, que se pueden ajustar a través de una pantalla táctil integrada en el instrumento. En comparación con otros tipos de escáner, este tiene un peso (5 kg incluyendo la batería interna), que nos ha permitido el transporte de una manera muy práctica: el equipo ha sido transportado en avión en la cabina de pasajeros con los operadores, como equipaje de mano sin ningún tipo de permisos especiales. La puesta en estación con un trípode fotográfico en lugar de uno topográfico es posible gracias a la presencia de un compensador interno, que es capaz de medir la dirección de la vertical, facilitando en gran medida toda la operación. El instrumento tiene una cámara digital con eje óptico coaxial con el rayo de medición del láser, que posibilita colorar cada punto tridimensional adquirido con un valor de color RGB tomado de la fotografía.

The information obtained should be shared and interpreted by researchers in different geographic locations and with different skills. The model considered more suitable for this type of collaboration is undoubtedly the three-dimensional, made possible by successive laser scans, with a very high degree of overlap joint.

The choice is then relapse on data acquisition system via a TLS (*Terrestrial Laser Scanner*), which offers clear advantages with regard to the reliability of the measurement and rapid data acquisition. Another positive aspect of this method is the conversion of data for different software platforms to use for any type of design. This versatility is particularly advantageous when the international collaboration platforms requires use of several supports, which may not necessarily coincide.

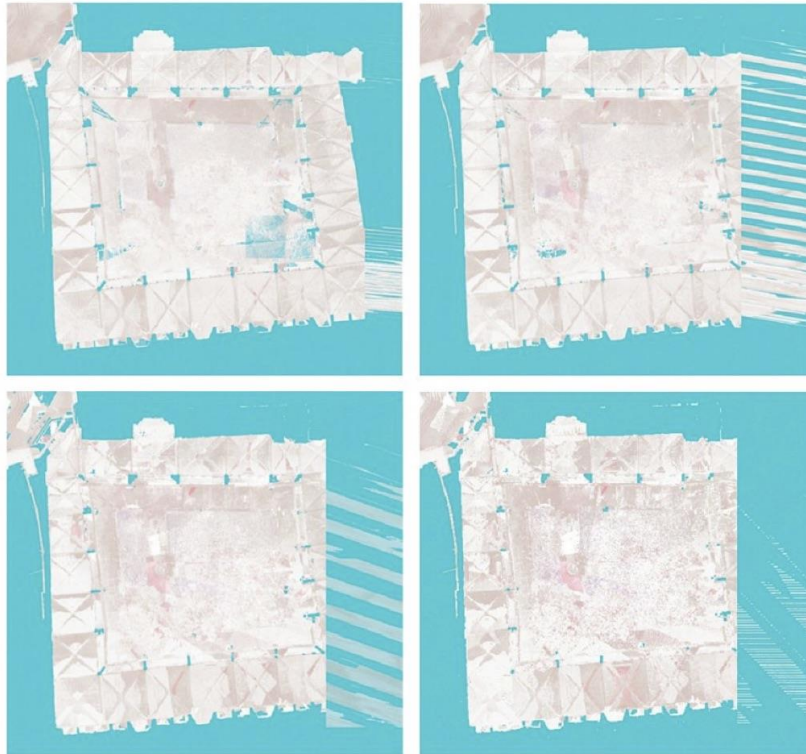
Development of work

The art-historical importance of the analyzed site required a particular data accuracy, and at the same time a remarkable speed of acquisition, due to the reduced time in which operators could intervene. To meet these requirements, it has been elected an instrumentation for architectural survey consisting of a laser scanner FARO Focus 3D. Its sensor has a measurement range of the nominal distance between 60 cm and 120 meters, with an accuracy in the measurement of the distance



8/ La ortofoto del claustro de la Catedral de Santander en puntos 3D.

The 3D points orthophoto of the cloister of the Cathedral of Santander.



El objetivo de la investigación era la de realizar un levantamiento tridimensional altamente detallado del Claustro de la Catedral de Santander, con una resolución de un punto cada 6 mm a 10 metros, en un tiempo muy limitado. Después de haber examinado la

of the order of $\pm 2\text{mm}$ to 25 meters and an angular resolution equal to 0.009° , with a speed of acquisition amounted to 976,000 points/sec. This scanner measures by analyzing the phase of the signal and the scan parameters can be adjusted via a touch screen display integrated

9/ El interior del claustro de la Catedral de Santander durante la tomas con escáner laser 3D en abril 2014.

The interior of the cloister of the Cathedral of Santander during the survey by 3D laser scanner in April 2014.



morfología del objeto del levantamiento se han identificado catorce posiciones de escaneado, útiles para cubrir el sitio con superposición parcial y con de paso de adquisición de 6 mm, utilizando 45 placas para la georreferenciación de nubes de puntos individuales. El resultado fue una nube formada por 265 millones de puntos.

Al término de la fase de adquisición, se pasó a la fase de procesado de los datos con el software Faro Scene, que consistía en la construcción de la matriz de roto-traducción de los escaneados individuales, efectuada con la identificación de tres puntos comunes (*target*) o dos puntos comunes con el uso del inclinómetro entre escaneados conti-

into the instrument. Compared to other types of scanner has a weight (5 kg including the internal battery), which has allowed the transport in a very practical way: the equipment has been transported by airplane in the cabin with the operators, as hand luggage without any special permission. The put on station on a photographic tripod instead of a topographical is possible thanks to the presence of an internal compensator, which is capable of measuring the direction of the vertical, greatly facilitating the entire operation. The instrument is equipped with a digital camera with optical axis coaxial with the measuring beam of the laser, which allows coloring each point acquired with a three-dimensional RGB color value taken from the photograph.



guos. El siguiente paso consistía en exportar en soporte *pod* la nube de puntos obtenida, para ser procesados con el software *Pointools* por *Berkeley*, para proceder con el análisis del modelo a través de secciones dinámicas y temas de color.

Paralelamente se han elaborados ortofotos (planos y secciones), importando las nubes de puntos en soporte *fls*, directamente en el software *PointCab*. Este software se detectó versátil e interesante para la administración de los puntos. De hecho, la construcción de los planos de proyección se produce en la planta simplemente mediante el trazado de una línea de sección, además de la calidad de la representación de ortofotos, considerablemente diferente de otro software más costosos y que requieren más recursos computacionales.

En total fueron adquiridos 14 tomas con el escáner laser, y, después del reajuste, se hizo una operación de post-edición con las nubes estructuradas, con el fin de reducir al mínimo las áreas de solapamiento entre escaneados contiguos, reduciendo así el tamaño del archivo de la nube de puntos. A continuación se procedió a la extracción de las secciones a través del corte de la nube de puntos y la proyección sobre un plano. Para esta operación se utilizó *PointCab*. La creación de ortofotos se puede hacer a la resolución deseada, con la superación de las limitaciones de la resolución manejable con el hardware disponible. De hecho, la gestión de los puntos tiene lugar dentro de *PointCab* a través de la realización de *tiles*, que segmentan la imagen en la fase de proyección. Con este software es posible editar toda la nube de puntos, cruzándola con los planos de corte, a lo largo de cualquier eje de referencia.

Para compartir el modelo 3D obtenido de las tomas con escáner laser de una manera accesible a los grupos de investigación ubicados entre Italia y España, se llevó a cabo mediante *Faro web-Share*, un software para el uso de contenidos en la red de Internet, que permitió la colocación del modelo en la Web mediante un servidor de datos, utilizando como formato de intercambio de datos el E57, como protocolo para la consulta de la base de datos y *TomCat* como servidor de aplicaciones, para gestionarlo. Así teníamos implementadas las aplicaciones tanto del lado del *servidor* como del lado del *cliente*.

Las herramientas proporcionadas por el programa elegido hacen que la interfaz sea verdaderamente un instrumento de levantamiento en tiempo real. Con este procedimiento metodológico se puede compartir el modelo arquitectónico con otros investigadores, con el fin de planificar nuevas investigaciones posteriores al estudio que aquí se presenta.

Conclusions

Dentro de los proyectos de estudio de la evolución de la ciudad, el modelado tridimensional del Patrimonio Histórico es muy importante para la comprensión de la dinámica de crecimiento desde el origen histórico. En el caso de Santander, donde los cambios morfológicos han sido muy grandes, el estudio del cambio morfológico de la Catedral nos ha ayudado a comprender los distintos eventos surgidos

The objective of the survey was to create a highly detailed three-dimensional relief of the Cloister of the Cathedral of Santander, with a resolution of one point every 6 mm to 10 meters, in a very limited time. After examining the morphology of the area, object of survey, fourteen scanning positions useful to cover the site with partial overlap with step acquisition of 6 mm have been identified, using 45 target board for georeferencing of every single point cloud. The result was a *cloud* made up of 265 million points. On completion of the acquisition phase on field, the data were processed by *Faro Scene* software, which consisted of the construction of the roto-translation matrix of individual scans, performed identifying three common points (*target*) or two common points by using the inclinometer between adjacent scans.

The next step was to export the merged point cloud in format *pod*, to be processed with the software *Pointools* of *Berkeley*, to proceed with the analysis of the model through dynamic sections and color themes. In parallel to the generation of orthophotos (plans and sections), it was imported the point cloud in format *fls* directly into the *PointCab* software. This software appeared versatile very soon and interesting for the administration of the points. In fact, the construction of the projection planes occurs in plant simply by tracing a line section, in addition to the quality of the representation of orthophotos, that differs considerably from other more expensive software, which require more computational resources.

In total 14 scans were acquired and after alignment, it has been made a post-editing operation on point clouds structured, in order to minimize the areas of overlap between adjacent scans, thus reducing the size of the point cloud. Then we proceeded to the extraction of the sections, cutting through the point cloud and the projection on the plane.

For this operation we used *PointCab*. The generation of orthophotos can be done at the desired resolution, overcoming the constraints of manageable resolution of the hardware available. In fact, the management of the points takes place within *PointCab* through the realization of "tiles", which segment the image in the projection phase. With this software it was possible to edit the entire point cloud, crossing it with cutting planes along any axis of reference.

For sharing the 3D model in a manner accessible to research groups located between Italy and Spain was carried out by placing the model in the digital network, storing it on the server, using as data exchange format the E57, as the protocol for querying the database *TomCat* and *Faro web-Share* to manage both server-side and client-side, a software for the use of contents on the network.

The tools provided by this software make the interface a *real time* survey instrument. With this methodological procedure you can share the architectural model with other researchers, in order to plan further investigations following the study presented here.

Conclusions

Among projects of studying the evolution of the city, the three-dimensional modeling of historical heritage is very important for understanding the dynamics of growth from the historical origin. In the case of Santander, where morphological changes are very large, the study of the morphological changes of the Cathedral has helped us to under-



a lo largo de la historia. Dentro del trabajo futuro tenemos pensado seguir con este modelado 3D y la reconstrucción de la evolución histórica del edificio.

stand the different events arising throughout history. In future work we plan to continue with this 3D modeling and reconstruction of the historical evolution of the building.

* Antonella di Luggo, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, antonella.diluggo@unina.it; Massimiliano Campi, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, campi@unina.it; Oscar Jesus Cosido Cobos, Dept. of Applied Mathematics and Computational Sciences, University of Cantabria, Santander (Spain), oscar.cosido@unican.es; Raffaele Cатуogno, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, raffaele.cатуogno@gmail.com; Pedro Sarabia, Santander City Council, Santander (Spain).

* Antonella di Luggo, Department of Architecture, University of Naples Federico II, antonella.diluggo@unina.it; Massimiliano Campi, Department of Architecture, University of Naples Federico II, campi@unina.it; Oscar Jesus Cosido Cobos, Dept. of Applied Mathematics and Computational Sciences, University of Cantabria, Santander (Spain), oscar.cosido@unican.es; Raffaele Cатуogno, Department of Architecture, University of Naples Federico II, raffaele.cатуogno@gmail.com; Pedro Sarabia, Santander City Council, Santander (Spain).

¹ Cosido O., Cатуogno R., Gálvez A., Iglesias A., Loucera C., Cappellini V., Campi M., Sainz E. *Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa: El Palacio de la Magdalena en Santander*. Rehabend 2014.

¹ Cosido O., Cатуogno R., Gálvez A., Iglesias A., Loucera C., Cappellini V., Campi M., Sainz E. *Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa: El Palacio de la Magdalena en Santander*. Rehabend 2014.

² Lalana Soto J.L., Santos Ganges L. *El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano*. VIII Congreso Ibérico de Urbanismo. Portugal, Octubre 2011.

² Lalana Soto J.L., Santos Ganges L. *El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano*. VIII Congreso Ibérico de Urbanismo. Portugal, Octubre 2011.

³ Casado Soto, J.L. 2001. *Febrero 1941. El Incendio de Santander*. Cantabria en Imagen, Santander.

³ Casado Soto, J.L. 2001. *Febrero 1941. El Incendio de Santander*. Cantabria en Imagen, Santander.

⁴ Casado Soto, J.L.; Polo, J. 2002. *La Catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado*. Edit. Edileisa, León.

⁴ Casado Soto, J.L.; Polo, J. 2002. *La Catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado*. Edit. Edileisa, León.

⁵ Fernández González, L. 1994. *Archivo de la Catedral de Santander. Siglos XII-XVI*. Fundación Marcelino Botín, Santander.

⁵ Fernández González, L. 1994. *Archivo de la Catedral de Santander. Siglos XII-XVI*. Fundación Marcelino Botín, Santander.

⁶ Fernández González, L. 2001. *Santander. Una Ciudad Medieval*. Santander.

⁶ Fernández González, L. 2001. *Santander. Una Ciudad Medieval*. Santander.

⁷ Solórzano, J.A.; 1997: "Documentación Medieval del Archivo de la Catedral de Santander en Soporte Papel (1282-1516)", en *Edades. Revista de Historia*, volumen 2, 2º semestre 1997, pp. 35-56, Santander.

⁷ Solórzano, J.A.; 1997: "Documentación Medieval del Archivo de la Catedral de Santander en Soporte Papel (1282-1516)", en *Edades. Revista de Historia*, volumen 2, 2º semestre 1997, pp. 35-56, Santander.

References

- Cosido O., Cатуogno R., Gálvez A., Iglesias A., Loucera C., Cappellini V., Campi M., Sainz E. *Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa: El Palacio de la Magdalena en Santander*. Rehabend 2014.
- Lalana Soto J.L. *El Paisaje Urbano Histórico: Modas Paradigmas y Olvidos*. Revista Ciudades Nº 14. Año 2011, pp. 15-38.
- Lalana Soto J.L., Santos Ganges L. *El Problema de las Vistas Relevantes en la Conservación del Patrimonio Urbano*. VIII Congreso Ibérico de Urbanismo. Portugal, Octubre 2011.
- Casado Soto, J.L. 2001. *Febrero 1941. El Incendio de Santander*. Cantabria en Imagen, Santander.
- Casado Soto, J.L.; Polo, J. 2002. *La Catedral de Santander. Recuperación de un monumento olvidado*. Edit. Edileisa, León.
- Fernández González, L. 1994. *Archivo de la Catedral de Santander. Siglos XII-XVI*. Fundación Marcelino Botín, Santander.
- Fernández González, L. 2001. *Santander. Una Ciudad Medieval*. Santander.
- Solórzano, J.A.; 1997: "Documentación Medieval del Archivo de la Catedral de Santander en Soporte Papel (1282-1516)", en *Edades. Revista de Historia*, volumen 2, 2º semestre 1997, pp. 35-56, Santander.



Documentación Tridimensional del Patrimonio Histórico Mediante Hibridación de Técnicas de Visión Artificial e Ingeniería Inversa en Grajal de Campos. Autor: Óscar J. Cosido Cobos. Libro: El conjunto histórico de Grajal de Campos. Editores: Ma. D. Campos Sánchez-Bordona y J. Pérez Gil, coords., Publicación: Universidad de León, en prensa. (Aquí se recogen 3 de 8 páginas)

**DOCUMENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL PATRIMONIO HISTÓRICO
MEDIANTE HIBRIDACIÓN DE TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL E
INGENIERÍA INVERSA EN GRAJAL DE CAMPOS**

Oscar Jesús Cosido Cobos
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

RESUMEN

Este trabajo surgió dentro de la colaboración continuada entre el departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación de la Universidad de Cantabria, la empresa 3DINTELLIGENCE y el Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid.

El trabajo, propuesto por el Ayuntamiento de Grajal de Campos, consistió en aportar una nueva metodología de trabajo para la documentación digital del patrimonio orientada al urbanismo, buscando una reducción importante de los costes derivados de la documentación digital del patrimonio histórico, como soporte a trabajos de catalogación, conservación, difusión y restauración del patrimonio arquitectónico, aportando documentación gráfica y modelado 3D del conjunto histórico mediante la hibridación de técnicas fotogramétricas con técnicas provenientes del campo de la visión artificial.

Podemos considerar este proyecto de colaboración como un trabajo de investigación, con una importante componente de transmisión tecnológica hacia la sociedad. El producto final de este trabajo es la documentación digital de un conjunto declarado patrimonio histórico, de algunos de cuyos elementos no existían alzados previos, de tal manera que se pueden conservar sus parámetros formales en un momento determinado de forma precisa.

Para la obtención de estos modelos se han combinando diferentes técnicas de tratamiento de imágenes y modelado 3D de objetos de rango cercano, hibridando técnicas fotogramétricas con las provenientes del campo de la visión artificial.

INTRODUCCIÓN

El estudio, el tratamiento y la gestión del patrimonio urbano constituyen un campo complejo y multifacético, en el que confluyen muchos aspectos de naturaleza diversa, de lo social o lo económico a la percepción colectiva. Y, al igual que ocurre en otros campos del saber hoy en día, el papel que, en cada uno de los apartados reseñados, pueden jugar las nuevas tecnologías es un asunto polémico y sometido constantes cambios.

Pero por otra parte, y dejando al margen posibles debates, las nuevas tecnologías nos permiten hoy avanzar extraordinariamente en determinados aspectos básicos y fundamentales, como el de la documentación de los elementos materiales (arqueológicos, arquitectónicos) en los que se sustenta, que se puede hacer hoy con una facilidad y una precisión hasta hace poco tiempo inimaginables, sin requerir, además, grandes inversiones o largos periodos de tiempo.

Surgió así la idea de desarrollar una metodología de trabajo que, partiendo de la premisa de que el coste económico debía de ser reducido, permitiese aplicar estas

superficie de los triángulos formados por cada uno de los segmentos extraídos y por el punto de fuga, como vértice opuesto de cada triángulo y común a todos ellos. El área de cada triángulo se calcula a través del determinante formado por las coordenadas de los dos puntos extremos de la línea de fuga y las coordenadas del punto de fuga.

Para las líneas utilizamos la Transformada de Hough, diseñada especialmente para esta tarea: se puede definir una línea como una colección de puntos de borde adyacentes y con la misma dirección y la Transformada de Hough es un algoritmo que toma una colección de puntos de borde, encontrados mediante un detector de bordes, y busca todas las líneas sobre las cuales estos puntos de borde se encuentran. La idea básica es convertir los puntos de bordes al espacio de parámetros.



Levantamiento fotogramétrico del estado actual de la torre de la Virgen de las Puertas (Grajal de Campos).

1.5 Correlación y automatización del proceso

Para poder hacer esta parte recurrimos al uso de un Árbol de búsqueda. Después del establecimiento de la descripción relacional de las entidades de correspondencia y la forma de medir el grado de semejanza, es necesario ejecutar un esquema de



correspondencia, y la forma más común de encontrar la solución es mediante un árbol de búsqueda.

Los árboles están formados por nodos y arcos, que comienzan en un nodo raíz, y descienden a través de los nodos antecesores, hasta alcanzar los nodos hoja. La conexión entre dos nodos se realiza a través de arcos. Las primitivas $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ de una descripción relacional se denominan unidades, y las primitivas de la descripción que se quiere hacer corresponder, es decir $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ se llaman etiquetas. La dimensión o profundidad del árbol se define por el máximo camino con el menor costo.

Hasta aquí solo se ha utilizado la descripción de las primitivas y la correspondencia, ya descrita, es simplemente correspondencia basada en características, realizada mediante el uso de un árbol de búsqueda (en oposición por ejemplo al método Ψ -s). El siguiente paso considera las relaciones entre las primitivas.

Los métodos anteriores fueron utilizados para la identificación de puntos y características homólogas, con la finalidad de generar la nube de puntos por estereocorrelación que determine la base geométrica del objeto a modelar.

Una vez creadas las superficies mediante la triangulación, se procede a la asignación de materiales a dichas superficies del objeto que al interactuar con las fuentes de luz de la escena permiten alcanzar efectos de visualización con el mayor realismo 3D posible.

Al mismo tiempo se continuaba con el desarrollo del trabajo, y también en este proceso se unieron todas las partes, buscando puntos de convergencia, y para conseguir una mayor precisión, acercando más el modelo a la realidad, tuvimos que dar unos puntos por topografía.

Cada una de las imágenes tenía que estar orientada y escalada, para lo cual elegimos un punto como origen $(0,0,0)$ y, a partir de él, dar distancia a otros puntos, definiendo así el tamaño del objeto. Orientamos los ejes x-z, es decir, le dimos una altura y una profundidad, mediante tres puntos, y se fueron uniendo, de forma sucesiva, cada una de las partes.

Llegados a este punto decidimos mejorar el modelo de malla de alambre obtenido, exportándolo a CAD y limpiando y corrigiendo las líneas de ruptura del edificio. También se consiguió un modelo 3D con los interiores del edificio, realizando la sensación de 3D mediante el uso de sombras y focos de luz.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el modelo 3D del edificio de la Virgen de las Puertas de Grajal de Campos, podemos concluir que hemos sido capaces de generar modelos 3D de edificios de los que no había planos previos. Para conseguir esta finalidad, hemos mezclado distintas tecnologías y técnicas, desarrollando un híbrido, del que ha salido una nueva metodología válida para cualquier trabajo similar, basado en la reconstrucción 3D de objetos de rango cercano.

La hibridación ha consistido en el uso de los Drones o UAVs, donde hemos comparado la utilización del modelo de UAV más caro con la utilización del más barato, las técnicas de fotogrametría convergente, la automatización de parte del proceso mediante el uso de algoritmos implementados para su uso en visión artificial, dentro de

Mechanical models for an 86 m single span stress-ribbon steel footbridge and their comparison with experimental results. Autores: M. Cacho-Pérez, J. Castaño,, O. Cosido, A. Lorenzana. Enviado a Journal of Bridge Engineering, factor de impacto 1.39. Año: 2017. (Aquí se reflejan 3 de 38 páginas)

1 **Mechanical models for an 86 m single span stress-ribbon steel footbridge and**
2 **their comparison with experimental results**

3 M. Cacho-Pérez ¹, J. Castaño ², O. Cosido ³, A. Lorenzana ⁴

4 **ABSTRACT**

5 A stressed ribbon footbridge is a tension structure where the suspension members (cables or
6 plates) are stressed in traction embedded in the deck below the walking surface, following a catenary
7 arc between supports. Although the traction adds stiffness to the structure, the resulting bridge is
8 intrinsically lively and tends to sway and bounce, leading to an interesting modal and dynamic study
9 affected by non-linearities, where the serviceability conditions are usually compromised. Focusing
10 on Pedro Gomez Bosque's footbridge in Valladolid, an 86 m single span stress-ribbon structure, the
11 corresponding theoretical and computational models are presented and compared with the experi-
12 mental data available. The typical mechanical response under its own weight (catenary) is modified
13 to take into account the elongation and thermal effects. The equilibrium equations describing the
14 problem are ordinary differential equations that require coupled nonlinear equations to calculate
15 the value of the stress at one end and then the rest of the parameters. The understanding of the
16 static non-linear response is very important, not only for the determination of the deformed equilib-
17 rium configuration, but also for its influence on both the modal analysis and the dynamic response.
18 Surveying techniques combined with photogrammetry ones were used to determine the deformed
19 shape. Besides, the footbridge is continuously monitorized (acceleration in 18 points, apart from
20 temperature and wind speed and direction), so output-only modal parameter estimation has been
21 carried out using Operational Modal Analysis for similar operation conditions (pedestrian occu-
22 pancy and wind) at certain temperatures. In this way, it has been possible to identify natural modes
23 and to correlate them with the analytical ones in a rank of usual environmental temperatures (-5
24 °C, +35 °C).

25 **Keywords:** catenary, cable, shell, static analysis, modal analysis

¹University of Valladolid. Paseo del Cauce 59, 47011, Valladolid (Spain). Corresponding author: cacho@eii.uva.es

²Indemat, Ctra. Nacional VP-3302, km 11, 471329, Villavaqueín, Valladolid (Spain): j.castano@indemat.es

³Applied Mathematica and Computational Techniques, University of Cantabria (Spain): oscar.cosido@unican.es

⁴ITAP, University of Valladolid. Paseo del Cauce 59, 47011, Valladolid (Spain): ali@eii.uva.es



26 INTRODUCTION

27 The stress ribbon structural typology was first introduced by the German engineer U. Finster-
28 walder in the 1960s (Strasky 2006; Kulbach 2007; Troyano 2003; Bachmann 1997; Meirovich 1990).
29 L. Viera (Fernández 2003) designed the first road infrastructure in 1963, resulting in the La Barra
30 bridge, a three span (30m+90m+30m) stress ribbon in Uruguay. After that, several footbridges
31 were erected in Europe (Karlstreg and Lignon-Loex in Swizerland in 1971, Rosenstein in Germany
32 in 1977, etc.) and Japan (Osaka in 1969, Hayahinomine in 1977, etc.). J. Strasky (Strasky 2006)
33 popularized this typology with several jobs in the Czech Republic in the 1980s. At present, multiple
34 gateways supported by cables (Hu et al. 2013; Caetano and Cunha 2004; Moutinho et al. 2011)
35 exceed 100m spans, but it is the one designed by J. Manterola (Manterola et al. 2010) in 2011,
36 studied in this work, that holds the record among those supported by plates. The cross-section of
37 the bearing steel plate is 3.6 m wide and 30 mm thick. A number of 110 precast concrete slabs
38 5.2 m long, 0.75 m wide and 120 mm thick, lay on the steel sheet. The structure is completed
39 by rubber pavement and stainless steel and glass railing. All these structural and functional parts
40 suppose around 23.6 kN/m. Initial tension on the plate was adjusted so the displacement in the
41 middle was limited to $L/50$, which means 1.7 m. The objective of this work is to present a proper
42 mathematical and computational models for such a structure and to check its applicability in pre-
43 dicting not only the static behaviour, but also the modal parameters and their dependence on the
44 temperature. From the analytical point of view, the first approach is to model the structure as a
45 simple hanging equivalent cable. Then, the more realistic shell model is established. The computa-
46 tional approach, based on discretization and interpolation, is also depicted and numerically solved
47 via Matlab[®] (Mat). With the aim of comparison, the problem is also solved using a standard
48 FEM code (ANSYS[®]) (Ans).

49 EXPERIMENTAL ANALYSIS

50 As the footbridge is continuously monitored with several accelerometers, the recordings can be
51 used to determine its free vibration modes via operational modal analysis (OMA)(Caetano and
52 Cunha 2004). Table 1 presents the six natural frequencies identified by FFD and SSI techniques at
53 5°C, 20°C and 35 °C. Corresponding modes are shown in figure 1. The central 13 points (circles in
54 figura 4) correspond with the triaxial MEMs accelerometers working properly. The notation used

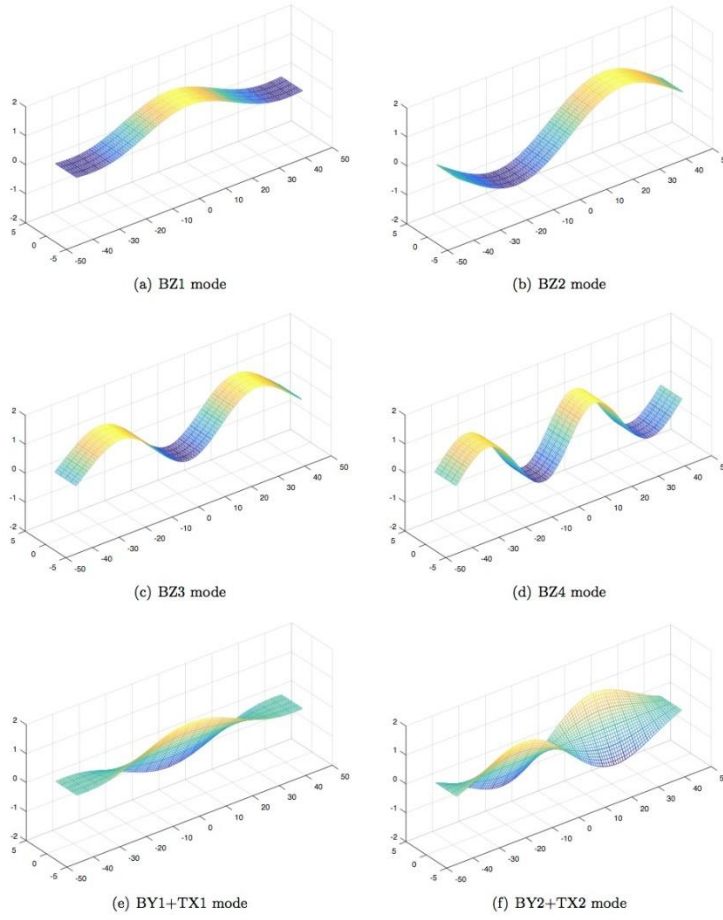


FIG. 9. First six mode shapes (scaled to unity factor, $|u_{max}| = 1$)



Hibridación de la Fotogrametría y Segmentación Automática como Herramienta de Ingeniería Inversa en Estructuras Industriales. Autores: Óscar J. Cosido Cobos, Alberto Salcines Menezo, Carlos Loucera Muñecas, Antolín Lorenzana Ibán. Revista: DYNA. Factor de Impacto: 0.302, Q4. Año: 2017 aceptado.



Hibridación de la Fotogrametría y segmentación de imágenes como herramienta de ingeniería inversa aplicada a estructuras industriales

Óscar J. Cosido Cobos, Alberto Salcines Menezo, Carlos Loucera Muñecas, Antolín Lorenzana Ibán

INDUSTRIAS DE LA INFORMACION Y DEL CONOCIMIENTO

VISION COMPUTACIONAL

HIBRIDACIÓN DE LA FOTOGAMETRÍA Y SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA INVERSA APLICADA A ESTRUCTURAS INDUSTRIALES

Óscar J. Cosido Cobos^{1,2}, Alberto Salcines², Carlos Loucera¹, Antolín Lorenzana Ibán³

¹ Universidad de Cantabria, Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación. ETS Ingenieros Industriales y Telecomunicaciones

² 3DINTELLIGENCE S.L. Departamento de Inteligencia Artificial

³ Universidad de Valladolid Dpto. C.A.I.T. Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Escuela de Ingenierías Industriales.

Correo: oscar.cosido@unican.es

Recibido: -- Aceptado: - DOI: 10.(A cumplimentar por el Editor)

HYBRIDIZATION OF PHOTOGRAMMETRY AND SEGMENTATION IN REVERSE ENGINEERING FOR INDUSTRIAL STRUCTURES

ABSTRACT:

This paper presents an interdisciplinary approach to achieve a new working method for the three-dimensional reconstruction of buildings and structures. Using conventional digital cameras, the main achievement is the reduction of costs and time involved in the process of gathering information, keeping the dimensional accuracy. The results of this methodology are precise 3D models that are valid for reverse documentation, assessment and damage detection in structures.

Keywords: Reverse Engineering, Structures, Photogrammetry, Segmentation, RANSAC

RESUMEN:

Este artículo presenta una metodología transdisciplinar para la reconstrucción tridimensional de estructuras del ámbito industrial. El logro de esta metodología es que supone una reducción de costes y tiempo en la captura de información, al utilizar técnicas basadas en imágenes de cámaras digitales convencionales y software de procesado fácilmente disponible, manteniendo las precisiones dimensionales requeridas para cada aplicación. Como resultado se obtienen modelos 3D que posibilitan la documentación gráfica de estructuras de forma inversa y la realización de cálculos en base a estos modelos, así como la detección acelerada de posibles defectos o imperfecciones de la estructura.

Palabras clave: Ingeniería Inversa, estructuras, fotogrametría, segmentación, RANSAC.

1.- INTRODUCCIÓN

La forma tradicional de trabajar en el cálculo inverso de estructuras implicaba la necesidad de medir sobre la propia estructura, mediante contacto directo, para poder generar un modelo que permita conocer la geometría y calcular cómo se comporta ante determinadas cargas y poder tomar decisiones sobre su aptitud ante posibles modificaciones o sobre la necesidad de mantenimiento o refuerzos para alargar su vida útil. Si esta estructura tenía partes elevadas o inaccesibles, se necesitaba una plataforma elevadora o medios seguros que permitieran el acceso de un operario para medir en dichas partes. Algunos de estos inconvenientes se superan mediante tecnologías modernas basadas en el uso del escáner - láser [1], si bien en muchos casos los costes son muy significativos.

Se propone un procedimiento basado en la toma de simples fotografías y su posterior procesado con el que, sin pérdida de precisión, se abaratan costes y se reduce el riesgo en los trabajos asociados a la adquisición de datos. La metodología permite el modelado 3D (y la obtención de los tradicionales planos) de estructuras antiguas o de aquellas en las que por distintas razones no se disponga del correspondiente proyecto. Lo anterior, junto con la continua necesidad de cálculo e inspección sobre estructuras industriales, hace necesaria una metodología que abarate los costes sin menoscabar la precisión en los modelos y habilite la posibilidad de realizar cálculos y comprobaciones resistentes. El cálculo de estructuras a partir de ingeniería inversa es una herramienta muy apropiada en el ámbito industrial [2], siendo además estas técnicas aplicadas en muchos otros campos, sobre todo en aplicaciones geomáticas [3] o patrimonio [4].

En las reconstrucciones tridimensionales es usual [5] modelar el conjunto estructural a partir de la combinación de formas geométricas básicas como planos, esferas, cilindros, conos o figuras paramétricas (por ejemplo, Bezier, B-Splines, NURBS). Los datos paramétricos del CAD inicial pueden no estar disponibles, perdidos o que ya no se correspondan con el modelo CAD original. Para fines de visualización por computador (realidad aumentada, por ejemplo), de reproducción mediante impresión 3D o de necesidades de comprobaciones sobre la adecuación resistente, el modelo estructural debe ser discretizado en una malla compuesta por un número finito de vértices, triángulos o entidades geométricas simples.

La fotogrametría puede ser la base de la metodología que cumpla los requisitos de precisión, rapidez y bajo coste que la industria necesita. Una vez desarrollado el método, tiene como ventaja que abarata mucho los costes frente a los de un escáner láser o a la necesidad de subirse a medir estructuras mediante grúas o plataformas elevadoras, manteniendo niveles de precisión dimensional similares.

Teniendo en cuenta los trabajos de [6][7][8], la necesidad de este enfoque metodológico sin contacto se articula en dos etapas principales: Captura de información y generación del Modelo Tridimensional por un lado y el Análisis Geométrico y Funcional posterior por otro.

La metrología industrial de componentes mecánicos se ha enfrentado a una revolución gradual [9][10] través de la aplicación de escáneres 3D fijos y más recientemente embarcados en vehículos e incluso en drones. El sistema más utilizado en entornos industriales suele el uso de plataformas de escáner-láser de altas prestaciones y usualmente también de elevado coste. En este trabajo sin embargo se demuestra la posibilidad de trabajar enteramente con fotografías y conseguir similares niveles de precisión gracias a re-escalados, cuando éstos sean posibles. Para ello se tendrá en cuenta la disponibilidad comercial discreta de muchos de los componentes industriales cuya geometría y dimensiones se trata de determinar o bien la posibilidad de tomar referencias con simples instrumentos de medida o con apoyo de una estación total topográfica. Por otra parte, la precisión y tolerancia están ligadas a la escala de representación que necesite el objeto.

De forma alternativa a los trabajos realizados con escáneres láser, en este trabajo se ha realizado el levantamiento de ciertas estructuras industriales mediante fotografías tomadas con cámaras convencionales, baratas y fácilmente transportables. No obstante hay que advertir que es necesaria cierta experiencia en fotografía convergente para la correcta extracción de la información relevante. El término "fotografías convergentes a un determinado objeto" se usa para referirse al conjunto de imágenes del mismo objeto pero tomadas desde distintas posiciones o con distintos enfoques, generando diferentes puntos de vista en disposición de anillo convergente al objeto.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.- ESCÁNER LÁSER VERSUS FOTOGRAMETRÍA

Existen dos técnicas principales que permiten generar modelos tridimensionales de alta resolución y precisión: la fotogrametría y el escaneado. La **fotogrametría** es una tecnología que consiste en la extracción de información 3D mediante algoritmos informatizados de correlación, haciendo uso de la restitución estereoscópica de fotografías. Por su parte, el **escaneado** utiliza un haz láser para calcular la posición (relativa a su foco) de los puntos sobre los que incide dicho haz. Aunque podrían discutirse los inconvenientes metodológicos y operativos de ambas técnicas, no se puede ignorar la preferencia actual hacia el escaneado láser ya que ofrece la posibilidad de adquirir una gran cantidad de datos espaciales con los que es posible reconstruir la geometría de cualquier objeto tras un proceso relativamente rápido. Por cada pulso de láser emitido por el escáner, el sistema puede adquirir no solo los datos geométricos sino también el valor de la reflectancia que permite distinguir los distintos colores de los materiales. Con este añadido, el escáner-láser



se está usando cada vez más para la digitalización tridimensional de objetos y edificios patrimoniales. Sin embargo, esta metodología no proporciona unos resultados finales optimizados (en relación al coste) respecto a la precisión y calidad de las formas y texturas. Es por ello que, en este trabajo, se ha recurrido a la fotogrametría, con la que los contornos de las piezas y elementos estructurales, así como las alineaciones, se delimitan y definen con mayor nitidez gracias a la posibilidad de modelar a partir de las imágenes a diferentes resoluciones del objeto. Por otra parte, permite crear una base de datos de textura muy precisa para las superficies que se seleccionen. Por ello, puede ser adoptada para el análisis de la forma y la posición de las características materiales visibles en la superficie de cada elemento estructural y proceder a su representación tridimensional.

El límite de precisión de un escáner láser depende de sus prestaciones y en principio es fijo. Como referencia se puede considerar un valor de 3 mm a una distancia de 40 metros. Además en la mayoría de casos prácticos se necesita más de un escaneo, lo que puede disminuir la eficiencia y precisión, aumentando lógicamente el tiempo de adquisición. En fotogrametría ocurre lo contrario [11], aumenta la precisión a medida que aumenta el número de fotografías y la resolución de las mismas pudiendo llegar a obtener modelos de objetos con precisiones por debajo del milímetro a 40 m de distancia, en función de óptica de la cámara y la toma de puntos de anclaje del modelo. Se entiende por punto de anclaje aquellos puntos de referencia con coordenadas tridimensionales conocidas. En publicaciones como [12], se recopilan varios trabajos basados en fotogrametría aplicados a distintos fines.

2.2.- SEGMENTACIÓN DE OBJETOS

Se entiende por segmentación al proceso por el que se identifican los distintos objetos representados en un conjunto. Este proceso puede ser aplicado directamente a imágenes pero también a las nubes de puntos obtenidas tras el tratamiento de las imágenes. Simples algoritmos geométricos como triangulación [13] permiten identificar por técnicas de visión artificial [14], en base a un conjunto de fotografías convergentes, las coordenadas espaciales de ciertos contornos o zonas con ciertas características de color y rugosidad, respecto a algún sistema de referencia previamente definido. De esta forma se consiguen múltiples coordenadas que forman lo que se denomina "nube de puntos".

La segmentación es una técnica para el procesamiento de imágenes que requiere dividir dicha imagen en las distintas partes identificables que la componen. Esta técnica se suele utilizar para extraer objetos u otra información relevante en datos digitales estructurados. Muy a menudo procesar las imágenes enteras no es eficiente ni práctico. Es más eficiente identificar escalonadamente las diferentes regiones constituyentes de una imagen, clasificándolas de acuerdo a ciertas características (sombras, color,...). El resultado de este procedimiento es un conjunto de segmentos o contornos perfectamente identificados que han sido extraídos de la imagen original.

El nivel al que se realiza esta subdivisión depende de la aplicación en particular, dando por finalizado el proceso de segmentación cuando todos los objetos de interés hayan sido detectados. Para ello se suelen utilizar varios métodos:

- **Métodos basados en ecuaciones diferenciales parciales (EDPs)** [15][16][17]: planteando adecuadamente una EDP y resolviéndola mediante un esquema numérico se puede segmentar una imagen. Estas técnicas son empleadas en un gran número de aplicaciones de extracción de objetos, estéreo-reconstrucción, etc. La idea principal es la de evolucionar una curva o superficie matemática hacia el menor potencial de una cierta función de coste. La minimización del funcional de coste no es trivial e impone ciertas condiciones de suavidad en la solución, las cuales pueden ser expresadas como restricciones geométricas en la curva que se busca.
- **Método de los contornos activos** [18]: El modelo de las serpientes, como también se conoce a este método, es una de las técnicas variacionales más exitosas en la segmentación de imágenes. Consiste en evolucionar una forma matemática hacia el contorno de los objetos fotografiados. Su éxito se fundamenta en propiedades matemáticas y esquemas numéricos eficientes basados en el método de ajuste de nivel. El único inconveniente de este modelo es la existencia de mínimos locales en la energía del contorno activo, lo que hace que la estimación inicial sea fundamental para obtener resultados satisfactorios.
- **Método CAG o de los contornos activos geodésicos** [19]: Esta técnica se basa en la anterior, donde a los contornos activos se les hace evolucionar de acuerdo a ciertas medidas geométricas intrínsecas de la imagen. Estos contornos pueden dividirse y combinarse, lo que permite la detección simultánea de varios objetos. La evolución se hace en base al cálculo de geodésicas o curvas de mínima distancia. De este modo se mejoran los

modelos similares de contornos activos, permitiendo la detección estable de contornos cuando sus gradientes sufren grandes variaciones.

- **Método de Chan-Vese [20]:** Es un método capaz de segmentar muchos tipos de imágenes, incluyendo algunas con ruidos y lagunas cuya segmentación por los métodos anteriores resulta inviable. Se basa en el funcional de Mumford-Shah, quien plantea un problema de minimización de los conjuntos de curvas de nivel. Este método es ampliamente utilizado en el campo de la imagen médica.
- **Métodos basados en wavelets [21]:** Las wavelets son una herramienta matemática útil para descomponer funciones de forma jerárquica en el dominio de la frecuencia mediante la preservación del dominio espacial. Desde que el concepto de wavelet fue introducido sus aplicaciones son cada vez mayores en el campo de los gráficos por ordenador, como por ejemplo en la compresión de imágenes y en su procesamiento.
- **Método multi-resolución [22]:** Se basa en transformar la imagen original en otras de menor resolución utilizando la transformada wavelet. Posteriormente se combinan con la imagen original con el fin de detectar automáticamente los valores óptimos de los umbrales a seleccionar para la correcta identificación

Recientemente se han propuesto diversas mejoras a los métodos indicados anteriormente pero no trabajando sobre las propias imágenes sino sobre los puntos identificados sobre ellas. Entre estos métodos de segmentación cabe destacar Maximum Likelihood Estimation Sample Consensus (**MLE-SAC**) [23] y Random Sample Consensus (**RANSAC**) [24]. En ambos se etiquetan los distintos puntos candidatos y se escogen iterativamente aquellos que maximizan la probabilidad de pertenecer a los distintos objetos de cada una de las múltiples imágenes convergentes.

Respecto a segmentación de imágenes, tras aplicar los métodos indicados al caso de estudio en este trabajo, una vez vistos los resultados y constatando que no se aprecian grandes variaciones de precisión entre un método u otro, se opta por wavelets, dada su mayor velocidad de computación. No obstante se prefiere la segmentación de nube de puntos, siendo un proceso más preciso y rápido en tiempo computacional que todos aquellos basados directamente en imágenes, incluyendo el preprocesado previo.

3.- EJEMPLO DE VERIFICACIÓN

La evolución de estas técnicas de procesamiento de imagen ha favorecido la disponibilidad de herramientas robustas tanto propietarias como libres que permiten obtener reconstrucciones con alta precisión, sin afrontar los costes de adquirir hardware específico como escáneres láser o cámaras estereoscópicas. Otra de las ventajas de estos algoritmos es que no necesitan disponer de una cámara calibrada para su funcionamiento, aunque sí es recomendable para obtener mayor precisión en la reconstrucción. La mayor exigencia de estos métodos es la necesidad de imágenes de cierta calidad y con múltiples puntos de vista del objeto bajo estudio, las cuales por la situación del mismo, a veces no son posibles de obtener, resultando en nubes de puntos y mallas incompletas. Como toda aplicación de visión por computador también es sensible a la iluminación, reflejos y otras fuentes de "ruido".

El resultado de los algoritmos fotogramétricos es una nube de puntos 3D adimensional que debe escalarse en base a al menos una medida de referencia. Posteriormente la nube puede ser segmentada tanto manual como automáticamente. Los resultados de ambas segmentaciones son ajustados a entidades geométricas para poder tomar medidas, las cuales servirán para comprobar la precisión y validez del método.

Como caso de estudio, se reconstruirá el perfil tipo IPE de una de las ménsulas que soportan la viga carril del puente grúa de la figura 1. Las ménsulas se encuentran a cierta altura y se puede suponer que en un caso real sería costoso o impracticable elevar a un trabajador para tomar físicamente las medidas. Dado que con este trabajo se pretende demostrar la viabilidad del método, las medidas reales de la ménsula son conocidas y servirán para validar la eficacia de la metodología.

3.1.- CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA Y TOMA DE FOTOS

La metodología comienza con una serie de fotografías del objeto desde ángulos diferentes y convergentes al mismo (figura 1). Conviene también hacerlas con distintos niveles de zoom lo cual ayuda a referenciar la escala del modelo a objetos accesibles de su entorno, además de alimentar con más información a los algoritmos de reconstrucción. Se realizan tomas a diferentes niveles de detalle a modo de pirámide invertida, de forma que cuanto más detallado esté el objeto de interés menos superficie externa a éste es visible, permitiendo así la adopción de esquemas mucho más flexibles que los de posición de otros métodos basados en estereoscopia. La precisión de la restitución depende de varios factores: el nivel de detalle de la imagen, las características del sistema de adquisición y la precisión en el enfoque y orientación [6].



Figura 1: Izquierda: Localización de las ménsulas (verde) y cota de referencia b (rojo). Derecha: Ejemplo de imágenes convergentes tomadas, con la cota b en referencia.

3.2.- GENERACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS

Existen varias aplicaciones de postprocesado de imágenes que a partir de las fotografías y la medición de un objeto accesible en la escena generan la correspondiente nube de puntos escalada. En este trabajo se ha usado el software comercial Agisoft Photoscan (www.agisoft.com). Este programa detecta puntos en las fotos de origen que son estables en las variaciones de punto de vista e iluminación y genera un descriptor para cada punto en función de su vecindario local. La generación de correspondencias se hace mediante diversos algoritmos geométricos que, mediante triangulación trigonométrica, determinan la posición de la cámara, su orientación y los parámetros de distorsión (en función de su autocalibración) y consiguen definir las coordenadas de cada uno de los puntos identificados. Como medida de referencia para su escalado se ha tomado el ancho b del pilar sobre el que está espitada la ménsula (ver figura 1) cuyo valor es de 767 mm . Este elemento del entorno de la ménsula aparece en las imágenes convergentes y es cómodamente accesible para su medición desde el suelo con una simple cinta métrica. Con esta referencia se consigue la nube de puntos escalada representada en la figura 2, la cual costa de 888677 puntos.

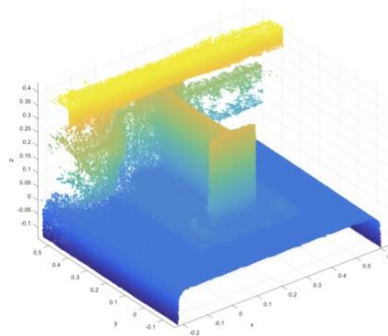


Figura 2: Resultado de la nube de puntos.

3.3.- SEGMENTACIÓN DE LAS NUBES DE PUNTOS

El proceso de segmentación de la nube de puntos sirve para eliminar los datos no deseados, tales como reflejos y aberraciones (ruidos), así como para delimitar y simplificar las partes de la imagen que contienen información relevante de cara a la reconstrucción.

Este proceso se realiza mediante algoritmos RANSAC bien con asistencia manual del usuario o bien de forma automática. Tras este proceso se obtiene fragmentos de la nube de puntos que permiten ajustar entidades geométricas con suficiente precisión. De los puntos se pasa a superficies facetadas por pequeños triángulos mediante el algoritmo de triangulación de Delaunay o de reconstrucción de Poisson. Tras ello se agrupan dichas superficies básicas en base a texturas (proceso de mapeado) y se parametrizan nuevas superficies de mayores dimensiones convenientemente. En el caso bajo estudio se consiguen identificar diversas partes como la placa de testa (figura 3.a), la superficie inferior del ala inferior (figura 3.b) o las superficies laterales del alma (figura 3.c), entre otras.

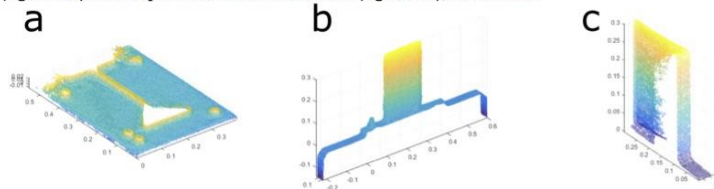


Figura 3: Partes de la segmentación automática.

La identificación en este caso se basa en el conocimiento previo de que el elemento estructural está formado por placas metálicas y perfiles laminados en los que se pueden identificar superficies planas. De esta forma, se indica al algoritmo RANSAC que ajuste subconjuntos de la nube de puntos a planos parametrizados. En cada iteración se selecciona un subconjunto aleatorio de la nube original y se tratan de ajustar a planos u otras entidades. Es un proceso estocástico "tolerante al ruido" que genera sucesivamente ajustes a medida que se añaden iteraciones. En cada iteración se realiza un test de cómo ajusta el subconjunto de puntos seleccionado al plano identificado. Como función de coste se suele utilizar el error cuadrático medio entre los puntos seleccionados y el plano identificado. Para las tolerancias definidas, se seleccionan los puntos que mejor ajustan (puntos de consenso) y se sustraen de la nube original. Con los puntos restantes se procede de forma análoga. Del mismo modo se puede proceder para buscar otras entidades geométricas (rectas, arcos, cilindros, etc.)

3.4.- GENERACIÓN DE SUPERFICIES

Para cada uno de los planos identificados anteriormente, se seleccionan de forma manual aquellos que en realidad corresponden a la misma superficie física y se determina el plano único que mejor aproxima (por mínimos cuadrados) a cada entidad física. En la figura 4 se pueden ver los planos resultantes correspondientes a la cara vista de la placa de testa (π_1), la sección extrema del perfil doble T (π_2), la cara derecha del alma (π_3) y las dos caras inferiores de las alas (π_4 y π_5)

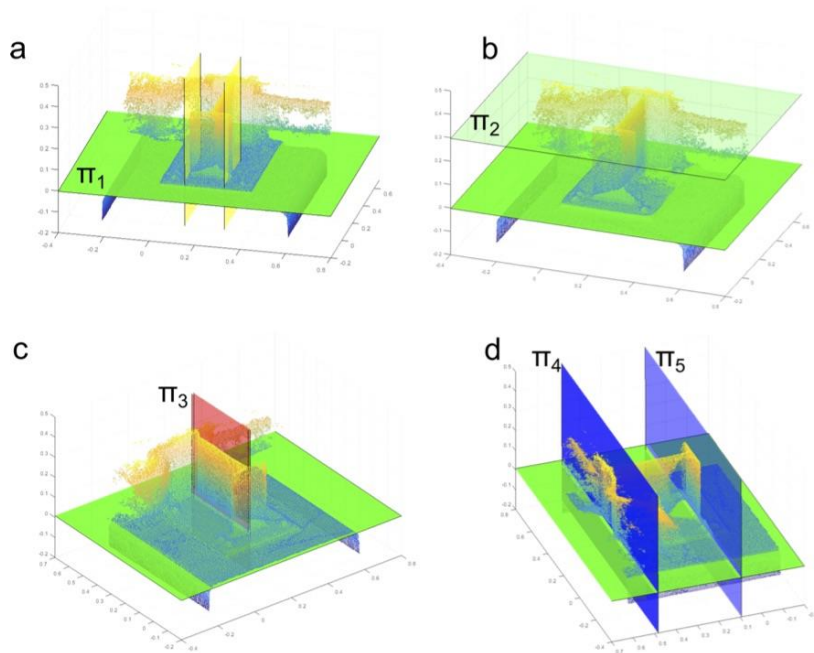


Figura 4: Representación gráfica de los planos obtenidos superpuestos a la nube de puntos.

De esta forma se pueden conocer los coeficientes $[A, B, C, d]$ de los múltiples planos buscados (del tipo $\Pi \equiv AX + BY + CZ + d = 0$) y sus coeficientes de ajuste a la nube de puntos. También se pueden hacer comprobaciones de paralelismo o de perpendicularidad. En la tabla 1 se muestran las normales de los planos identificados en la figura 4 junto con el coeficiente de determinación R^2 . También se indican en esta tabla errores angulares de paralelismo y perpendicularidad entre los planos indicados.

Algunos valores, como el paralelismo entre Π_7 y Π_8 , o la perpendicularidad entre π_5 y π_7 , dados por la precisión del proceso de fabricación por laminación del propio perfil, son indicativos de la resolución del método que se propone. Otros, como el paralelismo entre Π_1 y Π_4 , o la perpendicularidad entre Π_1 y Π_5 , además están influidos por la precisión durante el proceso de corte y soldadura en taller.

Tabla 1. Normales de los planos, coeficientes de determinación, defectos de paralelismo y perpendicularidad

Plano	Normal (A,B,C,d)				R ²
Π_1	0.0051	-0.0039	1.0000	-0.0031	0.966
Π_2	0.0084	0.0020	-0.9576	0.2881	0.876
Π_3	0.9819	-0.0042	-0.0002	-0.1894	0.970
Π_4	0.0075	-0.9002	0.0036	0.4354	0.837
Π_5	0.0000	0.9956	-0.0022	-0.0935	0.978
Falta de paralelismo entre Π_4 y Π_5					0.48°
Falta de paralelismo entre Π_1 y Π_2					1.80°
Falta de perpendicularidad entre Π_1 y Π_3					1.28°
Falta de perpendicularidad entre Π_3 y Π_4					0.34°

Con los planos más significativos bien identificados se pueden calcular líneas y puntos de corte entre los subgrupos de 2 o de 3 para identificar aristas y vértices y de este modo ir completando el modelo. También se podían haber buscado aristas directamente como se muestra en la figura 4a.

3.5.- IDENTIFICACIÓN DEL PERFIL Y AJUSTE DEL FACTOR DE ESCALA

Una vez definidos los planos, líneas, arcos y puntos representativos se pueden calcular fácilmente distancias y determinar parámetros como canto y ancho del perfil y sus espesores. En este tipo de aplicaciones industriales es muy importante sacar partido de que muchos parámetros suelen tener unos valores discretos debidos a la estandarización comercial. Fijándose solamente en algunos de los parámetros que definen el perfil en doble T (canto h , ancho de ala b , radio de acuerdo r y espesores de ala t_f y de alma t_w) se muestran en la segunda columna de la tabla 2 los valores obtenidos con la metodología propuesta.

Tabla 2. Parámetros del perfil.

	inferidos	IPE400	Escalado	Medidos	IPE0400+
h (mm)	404.6	400	382.0	404.75	404
b (mm)	182.4	180	172.2	182.5	182
t_w (mm)	9.5	8.6	9.0	9.55	9.7
t_f (mm)	15.4	13.5	14.5	15.32	15.5
r (mm)	21.8	21	20.6	...	21

A la vista de esas dimensiones se deduce que se ha de tratar de un perfil tipo IPE400, cuyos valores nominales (<http://sections.arcelormittal.com>) son los indicados en la tercera columna de la misma tabla. En este punto, parecería lógico pensar que ha habido algún error en la escala y de forma tentativa se podría calcular su valor promedio (0.94) y "corregir" la escala, tras lo cual se obtendrían los valores indicados en la cuarta columna, resultando que algunos de los parámetros son significativamente menores. Nótese que las diferencias no pueden ser imputadas al recubrimiento de pintura de los perfiles, que suele estar en torno a las 120 micras para este tipo de estructura metálica. Ante la discrepancia entre los valores escalados y los nominales del IPE400 se decidió acceder a la ménsula mediante una escalera y medir esos parámetros con ayuda de una cinta métrica y un calibre. Los resultados (promediados tras varias mediciones) se muestran en la quinta columna. El máximo error entre estos valores medidos y los inferidos por fotogrametría es inferior al 0.6%. Esto hace sospechar que el perfil no es el IPE400 estándar sino alguna variación del mismo. Buscando entre los distintos proveedores se ha localizado el perfil denominado IPE 0 400+ (perfiles norma EU19-57) cuyas características son las de la última columna de la tabla 2 (según la misma referencia <http://sections.arcelormittal.com>) y discrepan de los medidos en menos del 1.2% y de los inferidos en menos del 1%. Es destacable que los espesores medidos (incluyendo la pintura) son algo inferiores a los nominales, estando estos rozando la tolerancia inferior según la norma EN10034:1993

Tras el proceso seguido en este caso sencillo de verificación se ha concluido que no ha sido necesaria una corrección del escalado inicial. No obstante, la metodología permite escalados sucesivos en base a las comprobaciones dimensionales que vayan resultando en cada paso.

3.6.- RECONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En este instante se tendría toda la documentación gráfica escalada de tal manera que es posible conocer no solo los valores de los parámetros usados para el ajuste de escala (dimensiones del perfil) sino también otros como las dimensiones y espesor de la placa de testa (resultando en 650 mm de alto y 401 mm de ancho y 20 mm de espesor), las posiciones de los tornillos y métrica de los mismos (M16) y una estimación de la garganta del cordón de soldadura entre el perfil y la placa de testa (11 mm en la zona de las alas). La ménsula resultante es la mostrada en la figura 5. Todo el proceso seguido, realizado por un usuario experto con medios informáticos habituales en cualquier oficina técnica puede suponer unos 10 minutos para la toma de fotografías (sin incluir incluyendo desplazamiento), 40 minutos para el procesado y 20 minutos para la reconstrucción CAD).

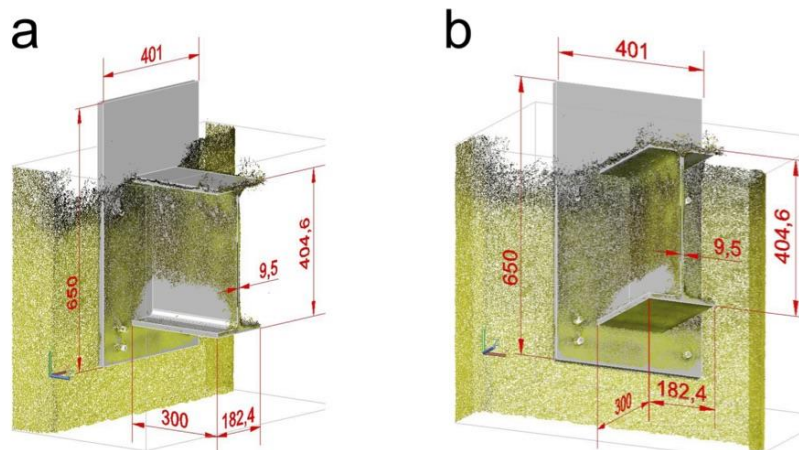


Figura 5. Modelo CAD con medidas inferidas sobre nube de puntos.

Con toda la información recopilada en los pasos previos, se está en condiciones de abordar una última fase que incluya la elaboración de planos o la realización de cálculos sobre la resistencia de dicho elemento estructural. Para esto, además de las dimensiones geométricas, sería necesario conocer las propiedades de los materiales (acero y hormigón en este caso), las cuales deberán ser inferidas mediante otras técnicas (ultrasonidos u otros ensayos sobre probetas). Estos requerimientos de cálculo podrían ser necesarios ante casos de estructuras envejecidas o dañadas o ante situaciones de cambio de uso de la estructura original (por ejemplo, ante el caso de cambiar el puente grúa por otro de mayo tonelaje)

4.- EJEMPLO DE APLICACIÓN

La metodología ilustrada con el ejemplo de la ménsula visto en el apartado anterior se puede aplicar a estructuras más complejas. En la figura 6 se muestra el esqueleto de un seguidor solar. Tras procesar múltiples fotografías y con la única referencia dimensional de la longitud del lado de la zapata (b) se pudieron identificar las dimensiones de los distintos

perfiles y levantar el correspondiente modelo sólido sobre el cual poder hacer simulaciones del movimiento siguiendo al sol o cálculos sobre, por ejemplo, la vulnerabilidad de este seguidor ante vientos de una determinada intensidad o los modos propios de vibración una vez se instalen los correspondientes paneles.

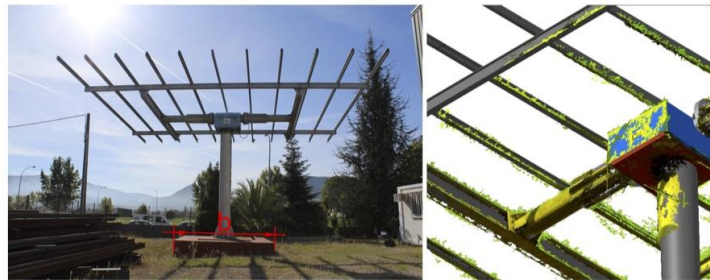


Figura 6. Izquierda: Fotografía de la estructura del panel solar. Derecha: Modelado 3D a partir de la nube de puntos.

5.- CONCLUSIONES

Se ha visto cómo mediante una cámara digital convencional y múltiples fotografías procesadas mediante ciertos algoritmos se puede conseguir el modelo geométrico de determinadas estructuras industriales con un aceptable nivel de precisión. Dicha precisión además puede ser mejorada una vez se han identificado determinados componentes estructurales estandarizados.

Esta metodología posibilita, a bajo coste, labores de ingeniería inversa como la generación de planos o comprobación resistente ante determinadas cargas o bajo situaciones de cambio de uso.

Por todo ello el procedimiento presenta un valor añadido a ciertas aplicaciones actuales de la fotogrametría, limitadas en muchas ocasiones a un atractivo modelado 3D interactivo e incluso "visitable virtualmente" en el caso de edificios y entornos habitables pero cuya precisión dimensional en muchos casos es insuficiente para fines ingenieriles.

Con la proliferación de nuevas tecnologías como cámaras cada vez de mayor calidad y embarcadas en drones geoposicionados, las posibilidades de estas metodologías son muy prometedoras.

6.- AGRADECIMIENTOS

Agradecer la colaboración de la Escuela de Ingeniería Industrial y Telecomunicaciones de la Universidad de Cantabria y de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Valladolid. Los autores agradecen a la empresa 3DINTELLIGENCE por financiar parcialmente este proyecto y por la ayuda recibida en la parte de visión artificial. Asimismo se agradece la colaboración y disponibilidad del Centro Tecnológico CARTIF.

6.- BIBLIOGRAFÍA

[1] Beraldin J-A. "Integration of laser scanning and close-range photogrammetry – The last decade and beyond". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, No B7, p.972-983. (2004).

[2] Koelman HJ. "Application of a photogrammetry-based system to measure and re-engineer ship hulls and ship parts: An industrial practices-based report". *Computer-Aided Design*, Vol.42 p731-743. (2010).



- [3] Fekete S, Diederichs M. "Integration of three-dimensional laser scanning with discontinuum modelling for stability analysis of tunnels in blocky rockmasses". *Rock Mech.* Vol. 57, p.11–23.(2013).
- [4] Martínez, S, Ortiz, J, Gil ML. "Recording complex structures using close range photogrammetry: the cathedral of Santiago de Compostela". *The Photogrammetric Record.* Vol.28 p.375–395 (December 2013) DOI: 10.1111/phor.12040
- [5] Minetola P, Iuliano L, Calignano F. "A customer oriented methodology for reverse engineering software selection in the computer aided inspection scenario". *Computers in Industry* Vol.67 p54–71. (2006).
- [6] Remondino F, El-Hakim S. "Image-based 3D modeling". *Photogrammetric Record*, Vol. 21 Issue 115, p.269-291. (2006).
- [7] Rodríguez-Martín M, Lagüela S, González-Aguilera D, et al. "Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction". *Optics & Laser Technology.* Vol.73 p. 54–62. (2015).
- [8] Kovács I, Várady T, Salvi P. "Applying geometric constraints for perfecting CAD models in reverse engineering". *Graphical Models.* Vol.82 p.44–57. (2015).
- [9] Rodríguez P, Rodríguez M, Ramos L et al. "3D reconstruction methods and quality assessment for visual inspection of welds". *Automation in Construction.* Vol. 79 p.49-58. (2015).
- [10] Ciocca L, Scotti R. "CAD-CAM generated ear cast by means of a laser scanner and rapid prototyping machine". *Journal of Prosthetic Dentistry.* Vol.92 p.591-595. (2014).
- [11] Kortaberria G, Olarra A, Tellaache A, et al. "Close Range Photogrammetry for Direct Multiple Feature Positioning Measurement without Targets". *Journal of Sensors.* Open Access Volume 2017, (2017). Article number 1605943
- [12] Richard H, Andrew Z. *View Geometry in Computer Vision.* Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN: 978-0-521-54051-3. (Ed-2007).
- [13] Cappellini V, Campi M, "3D survey of the San Carlo Theatre in Naples". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/w16, (2011).
- [14] Cappellini V, Stefani C, Nony N, et al. "Surveying Masonry Structures by Semantically Enriched 2.5D Textures: a new approach". M. Ioannides et al. (Eds.): *Proceedings of EuroMed 2012*, LNCS 7616. Springer, Heidelberg (2012).
- [15] Bar L, Chan T, et al., "Mumford and Shah Model and its Applications to Image Segmentation and Image Restoration", *Handbook of Mathematical Methods in Imaging*, Springer Science + Business Media LLC, p.1095-1157, ISBN: 978-0-387-92919-4, (2011).
- [16] Vineetha G R, Darshan G, "Level Set Method for Image Segmentation: A Survey", *Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)* e-ISSN: 2278-0661, p- ISSN: 2278- 8727. Vol.8, Issue 6, p.74-78, (2013).
- [17] Lass C, "On correctness of first and second order fast marching method", *Central European Journal of Computer Science*, Vol. 1, p.154-166, (2011).
- [18] Bresson X, Eshedoglu S, Vanderghyest P, et al. "Fast Global Minimization of the Active Contour/Snake Model", *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.28, Issue 2, p.151-167, (2007).
- [19] Alemán-Flores M, Alvarez L, Caselles V, "Breast Nodule Ultrasound Segmentation Through Texture-Based Active Contours", *Mathematics in Industry.* Vol.12, p. 858-862, (2008).
- [20] Renbo X, Weijun L, Yuechao W, Xiaojun W, "Fast Initialization of Level Set Method and An Improvement to Chan-Vese Model", *International Conference on Computer and Information Technology*, p.18-23, DOI: 10.1109/CIT.2004.1357168, (2004).
- [21] Jiang X.-Y., Zhao R.-C., "Texture segmentation based on incomplete wavelet packet frame", In: *Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 5, Wan, p. 3172-3177, (2003).
- [22] Demirhan A, Guler I, "Combining stationary wavelet transform and self-organizing maps for brain MR image segmentation", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* Vol.24, p.358 367, (2011).



El incendio de Santander (1941), aplicación de la realidad virtual inmersiva para la recuperación del patrimonio desaparecido Autores: Pedro Miguel Sarabia Rogina, Oscar Cosido Revista: Patrimonio histórico de Castilla y León, ISSN 1578-5513, No. 61, 2017, págs. 48-51. Idioma: español. https://issuu.com/revistapatrimonio_fsm/rph/docs/patrimonio61_web

La Plaza del Príncipe antes y después del incendio. En la parte inferior de las imágenes, entrada al refugio antiaéreo de la Guerra Civil.

APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA PARA LA RECUPERACIÓN DEL PATRIMONIO DESAPARECIDO

EL INCENDIO DE SANTANDER (1941)

PEDRO SARBIA ROGINA, ÓSCAR J. COSIDO COBOS, 3DINTELLIGENCE

El pasado año se conmemoró el 75 aniversario del incendio que supuso un antes y un después para los ciudadanos y el tejido urbano de Santander. Esta desgracia supuso una drástica transformación urbanística, paisajística, patrimonial y social de la ciudad. La mayor parte de los testimonios arquitectónicos que señalaban la historia de Santander se consumieron con las llamas, solamente perduraron en el recuerdo de los más mayores. A través de las nuevas tecnologías es posible recuperar una parte de la memoria de lo que fue la antigua población fundada por el emperador Augusto, al abrigo del Cerro de Somorrostro, hace más de 2.000 años. El pequeño *Portus Victoriae Ivobrigensivm*, en torno al que surgió la denominada Puebla Vieja, se consolidó con la concesión, por gracia del rey Alfonso VIII, en 1187, del Fuero a la villa de San Emeterio. El Título de Ciudad, firmado por Fernando VI en 1755, convirtió al puerto de Santander en uno de los más importantes del lito-

ral español para el comercio ultramarino. Así surgió la ciudad burguesa, que, aunque amplió sustancialmente los límites de la ciudad y sus muelles, conservó dentro de su trazado la huella del caserío medieval. Todo se lo llevaron el fuego y el viento.

Una ciudad en llamas

En la noche del 15 al 16 de febrero de 1941 se produjo una profunda borrasca en el Cantábrico que pudo alcanzar, en el centro de la depresión ciclónica, cerca de los 950 mbar. El viento sur, que superaba los 160 km/hora, imposibilitó la circulación de tranvías y el tránsito normal de viandantes a última hora de la tarde del sábado 15. La ciudad quedó prácticamente a oscuras; casi al mismo tiempo, se inició el incendio, de origen desconocido, en un edificio de la calle Cádiz nº 20. Las llamas se propagaron con rapidez por la antigua Puebla Vieja que ocupaba el histórico Cerro de Somorrostro. De madrugada, la ciudad quedó dividida en dos a la altura de la actual calle Calvo Sotelo. El fuego avanzó hacia el norte con una violencia inusitada, que

se acentuó por la marcada pendiente de la ciudad hacia sus límites septentrionales. La antigua villa se convirtió en una auténtica chimenea. Al día siguiente, se consiguió controlar las Llamas con cortafuegos abiertos a la altura de las calles Tantín y Sevilla. La superficie arrasada por el siniestro se aproximó a las 13 hectáreas: por el oeste, alcanzó la altura de la actual Plaza del Ayuntamiento; por el norte, las calles Tantín y San José; por el este, las calles Sevilla y Plaza del Príncipe, y, por el sur, la calle Cádiz. Durante el incendio desaparecieron 376 edificios, varias decenas de calles, 6 iglesias y conventos, 1.783 viviendas, 508 comercios, 155 hoteles, bares y pensiones, imprentas, periódicos, etc. Cerca de 10.000 santomerinos se quedaron sin hogar, 1.000 propietarios perdieron su patrimonio; unas 7.000 personas se sumaron al desempleo.

El nacimiento de una nueva ciudad

Los movimientos de tierras realizados con posterioridad afectaron a los dos sectores más antiguos de la población: la zona comprendida entre las calles de



CENTRO DE LA MURALLA DE SANTANDER

Rúa Mayor y Rúa Menor, que unían las Calzadas Altas con la zona de la catedral, área, esta última, que quedó prácticamente destruida por el fuego. El segundo sector se situaba al norte de la antigua calle de Atarazanas, espacio ampliado en origen entre los siglos XIII-XV. Durante las obras se removieron 147.745,68 m³ de escombros, mientras que los desmontes del terreno alcanzaron un volumen de 344.618,42 m³. Como primera medida de urgencia las autoridades realojaron a la población damnificada en hoteles, viviendas particulares y algunos edificios públicos de interés histórico artístico. Además, se construyeron barracones provisionales para ubicar comercios, y se elaboró un plan que proyectó la construcción de 1.000 nuevas viviendas. También se reorganizaron el espacio ferroviario de la ciudad, los viales principales, con eje oeste-este, los accesos a la zona portuaria, y el centro administrativo de la población, que se desplazó, por decisión política, hacia la antigua Plaza del Príncipe, desde entonces Plaza Velarde y alrededores.

Recuperar la Historia, recuperar la Memoria

Con la ayuda del uso conjunto de la *Fotogrametría* y la *Realidad Virtual* se ha intentado, aunque sea de forma parcial, recuperar la imagen aproximada de lo que fue la capital de la actual Cantabria hace 75 años. El objetivo de este trabajo es el de dar a conocer una imagen de la ciudad casi completamente desconocida para los propios santanderinos. Para ello se recurrió a la generación de modelos 3D Inmersivos accesibles mediante una aplicación de *Realidad Aumentada* para móvil o tableta, y una solución de *Realidad Virtual* con la que se pudieran percibir *in situ* los espacios urbanos desaparecidos. El proceso fue largo y complejo. En primer lugar, se procedió a recopilar la documentación histórica disponible en archivos, periódicos y fuentes gráficas de la época, se recurrió también

a redes sociales y documentos gráficos subidos a internet. A partir de la información reunida se reconstruyó un modelo 3D virtual de dos sectores del área desaparecida durante el incendio, con la ayuda de una cámara digital convencional y algoritmos basados en fotogrametría convergente y reconstrucción a partir de una sola imagen mediante eliminación de distorsiones y perspectiva en imágenes históricas. Los espacios seleccionados para su recreación se ubicaban dentro de la superficie ocupada por la muralla levantada a finales del siglo XII. El primero, se situaba en torno a la actual Plaza Velarde, lugar en el que se descubrió, en el año 2006, un tramo de la cerca medieval mencionada, ahora expuesto al público en el Centro de Interpretación de la Muralla de Santander. Mayor dificultad representó la reconstrucción virtual del Conjunto Monumental de la Catedral, muy alterado





en formas y volúmenes por la agresiva remodelación sufrida después del incendio en los años 40-50 del siglo pasado. La empresa *3DIntelligence* realizó el modelo de la catedral y edificios no afectados por el incendio mediante ingeniería inversa, después procedió a la generación del resto de los edificios y detalles del entorno en *Realidad Virtual*. Tras un año de estudio y desarrollo el trabajo estaba concluido.

Epílogo

Como resultado final, se han creado unos modelos inmersivos que son accesibles por el usuario en diferentes soportes: gafas VR, móviles y tabletas, gracias a una aplicación de móvil para Realidad Aumentada. El funcionamiento es muy simple, el usuario se localiza en un punto determinado, escanea un edificio y desde ahí, girando los 360 grados, verá como era el paisaje previo al incendio y así poder contrastarlo con el existente en la actualidad. Una inmersión en el pasado. ■

La Ribera (actual calle Calvo Sotelo) vista desde el edificio de Correos. En la página de la izquierda se aprecia la foto original.

