

TFG Trabajo Fin de Grado

Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable de la Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)

Autora: María Luisa Cano Barrio

Tutor: Vicente del Sol López

Línea del Trabajo Fin de Grado:
ESTUDIO HISTÓRICO, DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO DE LA INFORMACIÓN

Sistemas de información 3D y entornos virtuales aplicados a la documentación, seguimiento y difusión de procesos de restauración

Convocatoria: Septiembre 2015

Curso académico: 2014-2015

Grado en Conservación y Restauración

“El plagio, entendido como la presentación de un trabajo u obra hecho por otra persona como propio o la copia de textos sin citar su procedencia y dándolos como de elaboración propia, conllevará automáticamente la calificación numérica de cero. Esta consecuencia debe entenderse sin perjuicio de las responsabilidades disciplinarias en las que pudieran incurrir los estudiantes que plagien.

Las memorias entregadas por parte de los estudiantes tendrán que ir firmadas sobre una declaración explícita en la que se asume la originalidad del trabajo, entendida en el sentido de que no ha utilizado fuentes sin citarlas debidamente.”

(Normativa TFG, UGR, 2013)

Declaro que se trata de un trabajo original

En _____ a ____ de _____ de _____

Fdo. _____

TFG Trabajo Fin de Grado

Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable de la Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)

Autora: María Luisa Cano Barrio

Tutor: Vicente del Sol López

Línea del Trabajo Fin de Grado:

ESTUDIO HISTÓRICO, DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO DE LA INFORMACIÓN.

Sistemas de información 3D y entornos virtuales aplicados a la documentación, seguimiento y difusión de procesos de restauración

Convocatoria: Septiembre 2015

Curso académico: 2014-2015

Grado en Conservación y Restauración

La geometría ilumina el intelecto y temple la mente. Todas sus pruebas son claras y ordenadas. Apenas caben errores en el razonamiento geométrico, pues está bien dispuesto y ordenado. Así, no es probable que la mente que se aplica a la geometría con regularidad cometa errores. De este modo, quien sabe geometría adquiere inteligencia.

Ibn Jaldún, *Al-Muqaddima*
(*Prolegómenos. Introducción a la Historia Universal*, 1377).

ÍNDICE

Resumen y palabras clave

1. Introducción

1.1. Origen del trabajo	13
1.2. Objetivos	15
1.3. Posición inicial	16
1.4. Metodología	17

2. La alcazaba de Al-Mandari

2.1. Introducción histórica	19
2.2. Lienzo de muralla SO y Torres Central y Sur	23
2.2.1. Análisis morfológico-estilístico	23
2.2.2. Localización	23
2.2.3. Planta y ubicación de los elementos	25
2.2.4. Datos técnicos	28
2.3. Alteraciones detectadas. Estado de conservación	30
2.4. Conclusiones derivadas de la situación y el contexto actual de la <i>kasbah</i> al-Mandari	33

ANEXO: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

36

3. Fases del Proyecto

3.1. Análisis previos	43
3.1.1. <i>Recopilación de la información</i>	43
3.2. Trabajo de campo	43
3.2.1. <i>Mediciones in situ</i>	43
3.2.2. <i>Toma de imágenes</i>	47
a) <i>Lienzo de muralla; tomas fotográficas para conformar una imagen panorámica</i>	49
b) <i>Torres Central y Sur; tomas para determinar la orientación relativa</i>	50
3.3. Trabajo de gabinete	99
3.3.1. <i>Rectificación fotográfica para una fotogrametría</i>	53
a) <i>Lienzo de muralla</i>	54
b) <i>Torres Central y Sur</i>	55
	61

3.3.2. <i>De la ortofotografía a la imagen fotogramétrica. Escalado de las imágenes resultantes</i>	64
3.3.3. <i>Generación de un mapa de daños, datos cuantificables</i>	68
3.3.4. <i>Maqueta virtual</i>	75
ANEXO: ESQUEMA GRÁFICO: <i>Fases del Proyecto</i>	77
4. Productos finales	79
5. Conclusiones	81
5.1. Datos extraídos y análisis	81
5.2. Conclusiones derivadas del proceso de realización	86
6. Referencias bibliográficas y otras fuentes	89
6.1. Bibliografía	89
6.2. Otras fuentes	93
6.3. Programas y otros recursos técnicos	94
6.4. Fotografías e ilustraciones	94

RESUMEN

La elección del presente proyecto como Trabajo Fin de Grado viene motivada por la necesidad de documentación gráfica y detallada de una de las construcciones emblemáticas de la capital de Tetuán, la *kasbah* o alcazaba de al-Mandari (finales S. XV), conjunto arquitectónico situado en la medina histórica de la ciudad, declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1997.

El trabajo se centra en el estudio de la cara exterior de tres de sus elementos más representativos, el Lienzo de muralla Suroeste -SO- y las Torres Central y Sur, conjunto de elementos constructivos sobre los cuales se obtiene una imagen fotográfica corregida y de escala conocida de cada uno de los ellos mediante técnicas fotogramétricas digitales, en concreto mediante restitución fotogramétrica, por ser un método rápido y riguroso para la obtención de la morfología y dimensiones concretas de esta parte de la fortaleza.

Sobre esta ortofotografía dimensionada a escala 1:1 se ha diseñado un mapa de daños cuyos datos son, además de eminentemente gráficos, de carácter cuantitativo.

Por último, cabe señalar que el texto presentado a continuación describe el trabajo en torno a la realización y el desarrollo de las imágenes y el mapa de daños al que acabamos de referirnos, así como a una breve introducción sobre la alcazaba del al-Mandari. Sin embargo, el examen diagnóstico y la propuesta de intervención recogidos en los Protocolos I y II, realizados en la asignatura *Proyectos, Metodología y Seguridad* de estos estudios de Grado, suponen una monografía en torno a este Bien Inmueble cuyo alcance va más allá de una mera introducción histórico-artística y de materiales o deterioros detectados. Ambos textos, desarrollados a lo largo de 2014 y revisada tras la obtención de nuevos datos, recogen el análisis diagnóstico y una propuesta de intervención somera y completa, así como, la documentación textual y gráfica recopilada en torno al edificio, documentos a los que este TFG aporta un complemento de inestimable valor.

PALABRAS CLAVE

Conservación y Restauración Bienes Inmuebles, Fotogrametría, Mapa de daños con datos cuantitativos, Documentación fotográfica de edificios, Alcazaba al-Mandari, Tetuán.

1. Introducción

1.1. Origen del trabajo

Este Trabajo Fin de Grado -TFG- encuentra su punto de partida durante el Curso 2013-14, correspondiente a la I Promoción del Grado de Conservación y Restauración de la Universidad de Granada. A diferencia de la promoción actual, en aquel caso los temas de los TFG eran ofrecidos a los alumnos por la dirección/coordiación del Grado, aunque también se daba, de forma excepcional, la opción de que el alumno propusiera un tema de su interés al tutor o tutores, vía que, a tenor de lo visto a lo largo de estas jornadas, parece haberse impuesto.

En mi caso opté por ceñirme a aquel listado de propuestas y de éste me decanté definitivamente por el proyecto titulado *La alcazaba de Xauen*. Los motivos de aquella elección fueron principalmente que se trataba de un Bien Inmueble, tipología que implica una problemática concreta por sus características, especialmente las relativas a su uso y funcionalidad, pero también las relativas a su *exposición*, mantenimiento y protección como Bien Histórico-Cultural. Asimismo, fue determinante para mi decisión el carácter interdisciplinar del proyecto, pues ya en la propia lista de docentes implicados en esta propuesta figuran varias Facultades y Escuelas.

Por otra parte, mi labor a desempeñar como alumna de último curso de Grado en este trabajo estaba -y está- estrechamente ligada a la fotografía, en este caso, como herramienta de documentación del Bien Inmueble motivo de este proyecto.

El uso de la fotografía como herramienta de documentación científica en todos los campos, otorgada en buena parte por la objetividad que se le supone, es tan antigua como su propia existencia. Sin embargo, otros atributos vinculados a la técnica fotográfica aplicados con mayor o menor intención por parte del fotógrafo pueden alterar también, en mayor o menor grado, el carácter mimético de la toma, alejándose de una fotografía estrictamente descriptiva -científica-, sin artificios ni alteraciones, hacia una más plástica o artística, dado el caso.¹

¹ El diputado y científico Arago planteó, en el mismo 1839, varias áreas científicas en la que la aplicación de la fotografía podía ser de gran utilidad. El entusiasmo que ésta suscitó se advierte en testimonios como los de E. Lacan, conocido crítico francés (Aubeas, 1999b, 184). En la obra que publicó con ocasión de la *Exposición Universal de 1855* (Ernest Lacan, 1856), recordaba la utilidad de la fotografía respecto a la reproducción de obras de arte y diversas ciencias como la Geología y las ciencias naturales: <En considérant l'exactitude des reproductions photographiques et la beauté des dessins obtenus, il devait naturellement venir à l'esprit des savants d'employer ce moyen puissant pour les besoins de la science. Quel secours pour la géologie, pour la botanique, pour l'histoire naturelle!> En: González Reyero, S.; *La fotografía*

En el campo concreto de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales, como disciplina científica que es, la imagen obtenida de un Bien debe ser neutral, inocua - como si de una técnica o material a aplicar directamente sobre la obra se tratara-, no debiendo alterar la apreciación que sobre el Bien se tiene, con el fin de conservarlo para su estudio y difusión con la mayor fidelidad posible, o lo que es lo mismo, en una copia fotográfica mimética sin rastro o impronta del autor del documento, ni de las circunstancias en las que éste tomó las imágenes (luz-iluminación, cromatismo-color, tamaño del plano, punto de vista, entre otros). En definitiva, una captura que permita una reproductividad técnica seriada, fotográfica en este caso, basada en la generación de copias iguales, de réplicas, para una documentación, estudio y difusión fieles y fiables.

A estas alturas del texto ya se habrán percatado que el origen del trabajo, al menos el Bien Cultural en torno al que gira, no se corresponde con el título de este volumen *La alcazaba de al-Mandari de Tetuán*, y en consecuencia tampoco con el texto que sigue.

Una vez llegados a Tetuán, a finales de febrero de 2014, diferentes motivos derivados de los intereses locales obligaron a buena parte de la *expedición* conformada por profesores y alumnos de la ETSIE a permanecer en la capital tetuaní. Sin embargo, este cambio de planes no alteró el fundamento y desarrollo del Proyecto acordado con mi tutor desde Granada; documentar un Bien Inmueble de interés y valor histórico-cultural para realizar, *a posteriori*, un modelo fotogramétrico sobre el cual describir de manera cuantificable las alteraciones y daños que en él se observaran. De este modo, el objeto final de este Trabajo Fin de Grado es la *Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable* a partir del estudio de la *cara exterior del Lienzo de muralla SO y las Torres Central y Sur de la alcazaba al-Mandari de Tetuán, Marruecos*.

La necesidad de documentar el núcleo histórico de la *Blanca Paloma* y su patrimonio, tarea iniciada hace algunos años al amparo de varios proyectos de colaboración entre la Universidad de Granada y la Ciudad de Tetuán entre otros, respaldan objetivamente la elección de este Bien Inmueble como sujeto de este Trabajo Fin de Grado. Por otra parte, en un plano más subjetivo, cabe señalar la relación histórica entre Granada y Tetuán, pues su Medina supone el punto de partida

en la arqueología española (1860-1960): 100 años de discurso arqueológico a través de la imagen. Publicaciones del Gabinete de Antigüedades de la Real Academia de la Historia, Antiquaria, Hispanica, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2007. Pág. 98 y siguientes.

de la refundación de esta ciudad impulsada por el granadino al-Mandari, huido del recién conquistado Reino Nazarí por parte de los Reyes Católicos.

1.2. Objetivos

A continuación recogemos los objetivos perseguidos desde la concepción de este TFG, su desarrollo y su consecución final;

-El primero de ellos es el de complementar el Proyecto realizado en la asignatura Proyectos, Metodología y Seguridad y recogido en los Protocolos I y II, *Examen diagnóstico y Proyecto de Intervención de la cara exterior del Lienzo de muralla Suroeste y las Torres Central y Sur de la alcazaba al-Mandari de Tetuán (Marruecos)*. Los gráficos generados en este TFG aportan datos cuantitativos a estos estudios, precisando de esta manera el alcance de las alteraciones y otras patologías detectadas en dicho fragmento de la fortaleza. El proyecto al que nos referimos, dirigido por los profesores de la asignatura, Julio Calvo y Fabián Carrillo, recoge y aplica de manera empírica las competencias adquiridas a lo largo de estos estudios de Grado, ya que se aborda de principio a fin una propuesta de intervención.

Por su parte, la información recogida en ambos protocolos, así como la derivada de la realización de este TFG, contribuye informativamente en varios ámbitos (histórico-artísticos, materiales y fábricas, estado de conservación, etc) sobre este Bien Patrimonio de la Humanidad, y se suma a los proyectos de estudio, conservación, rehabilitación y protección de medinas integradas en la Red Mediterránea, enmarcado en el convenio entre varias Facultades y Escuelas de la UGR y la Red Mediterránea de Medinas.

-Cuantificar los datos aportados en los Protocolos anteriormente referidos, en cuanto al alcance de los daños y alteraciones, patologías, etc, a partir de los cuales calcular gastos y recursos necesarios de manera más precisa.

En nuestra opinión, la creación de un mapa de daños cuantificable, como fin último de este proyecto, puede tomarse como una aplicación de muchas posibles, pues una vez generado el modelo fotogramétrico de este fragmento del Bien Inmueble al que nos referimos en el título, las medidas y cotas reflejadas en la imagen se corresponden con la realidad. En este sentido, podríamos generar mapas gráficos de diversa índole, como el uso de materiales y su alcance o los tipos de fábricas y ejecución, entre otros muchos.

-Generar un documento de utilidad a lo largo de todo el proceso de Conservación-Restauración, de uso compartido entre todas las disciplinas y profesionales que participan en el proyecto a lo largo de sus fases. Asimismo, la información generada, eminentemente gráfica, se supone un documento de gran valor en investigaciones sobre el Bien sujeto de la intervención, ya sea en la elaboración de informes y otros documentos destinados a la difusión y puesta en valor del Bien y su entorno, fin último de toda intervención conservativa.

-Recoger y poner en práctica las competencias adquiridas a lo largo de estos estudios de Grado, para ello abordar de principio a fin un proyecto real planteado al que ofrecer soluciones reales y viables.

Otros objetivos que podríamos denominar consecutivos al principal son:

-La propuesta de unas pautas o protocolo a seguir durante la captura, ordenación y gestión de datos en torno a Bienes Culturales sujetos de una documentación exhaustiva -especialmente en Bienes de grandes formatos-, con el fin de documentar de manera asumible por el equipo de restauración, y precisa en los resultados.

Acercar, por tanto, el uso de determinado *software* de uso extendido en otros gremios a la disciplina de la Conservación Restauración, con el fin de hacer más fluido en el intercambio de información sobre la que un equipo multidisciplinar pueda estar trabajando.

1.3. Posición inicial

De lo visto hasta ahora en esta introducción se desprende que el punto de partida para la elaboración de un mapa de daños de la cara exterior del lienzo de muralla Suroeste y las torres contiguas de la primera alcazaba tetuaní, es la toma de imágenes y otros datos sobre este fragmento del Inmueble. Sin embargo, nuestra posición inicial no es precisamente la más favorable. Lejos de una situación ideal para la documentación de edificios y construcciones, esto es, situadas en entornos más o menos amplios, en los que podemos posicionar la cámara a una distancia adecuada y el consiguiente punto de vista perpendicular al modelo (atenuando de este modo las distorsiones a las que nos venimos refiriendo una y otra vez), en nuestro caso nos encontramos en una plaza, extraordinariamente concurrida y bulliciosa, de poca amplitud, a la que la varios puestos y tiendas han contribuido al detrimento del área libre de la plaza. Estas tiendas y tenderetes, además de dificultar una visión del conjunto, impiden también el acceso directo a los muros del Bien, pues discurren por todo su perímetro exterior.

Se suma a esta complicación la presencia de tres árboles, según dicen los únicos en toda la Medina Histórica. Situado el más frondoso de ellos en el centro de la plaza, obstaculiza la visión completa del lienzo de muralla desde cualquier punto de vista.

Aunque la situación más extrema afecta a las caras de ambas torres que no se asoman a esta plaza. En este caso el acceso debe realizarse por medio de propiedades cerradas, o bien, como el caso de la cara SE de la torre Sur, directamente ese acceso no existe, motivo por el cual no se han podido realizar fotografías de esta fachada, cuyo estado conservativo desconocemos por completo.

1.4. Metodología

La metodología seguida para la realización de este texto, así como de su parte aplicada (realización de una ortofoto y un mapa de daños) se ha desarrollado en dos vertientes bien definidas aunque relacionadas entre sí;

-Estudio de la alcazaba de al-Mandari de Tetuán, por extensión, a otras construcciones homólogas.

-Localización y análisis de programas informáticos y otros recursos necesarios para la captura y procesado de imágenes para la realización de un mapa de daños sobre esa imagen corregida.

Para la parte relativa al estudio del Bien se han consultado fuentes bibliográficas sobre la propia *kasbah*, muy escasas en castellano, ampliamos la búsqueda de referencias a la alcazabas de la Península Ibérica, haciendo especial hincapié en reunir datos fiables en torno a las cotas referidas a la altura de los elementos que forman las torres y la muralla, con el fin de contrastar las medidas tomadas *in situ* y las reflejadas por la fotografías, todas ellas tomadas desde un punto de vista contrapicado muy severo.

A esta exploración documental en temas fundamentalmente relativos a la arquitectura medieval nazarí, hemos de destacar la recopilación de mapas, planos y dibujos de la Medina de Tetuán. En este caso, agradecemos públicamente la inestimable ayuda -una vez más- de los profesores de la ETSIE, Julio Calvo y Fabián Carrillo, pues son ellos quienes nos han proporcionado varios documentos de esta índole, entre otros el plano parcelario de la capital tetuaní. Este trazado contiene la planta de la Plaza Souk El Hut al-Kadim y por tanto las cotas del lienzo de muralla y las caras que conforman las torres en torno a las que se desarrolla este TFG.

Por otra parte, la búsqueda de información relativa al campo de la fotogrametría y al levantamiento de fachadas por medio de estas técnicas se ha desarrollado sobre todo en la *red*, dónde se han encontrado artículos en revistas especializadas, congresos y

ponencias. La bibliografía -en el sentido más ortodoxo del término- relativa a esta temática es escasa y obsoleta en muchos casos, pues es éste, el campo de la fotografía digital y sus aplicaciones en Restauración y Conservación, así como en otras áreas, un tema de renovación vertiginosa y constante.

Dicho sondeo se centra en principalmente, en localizar el *software* más adecuado para el desarrollo de nuestro proyecto, especialmente aquel capaz de ordenar las fotografías de manera rigurosa, a partir de la inclusión de parámetros manualmente, y por ende, controlando en todo momento el proceso y los resultados derivados de la restitución fotográfica.

Otras características tomadas en cuenta para la elección de unos programas frente a otros de similares o iguales aplicaciones han sido:

Equipo fotográfico requerido fuese accesible económica y funcionalmente por usuarios con conocimientos no profesionales de fotografía. También se ha valorado la manejabilidad y portabilidad del equipo básico necesario. A este respecto cabe señalar que las fotografías han sido tomadas con la cámara compacta de gama media montada sobre un trípode.

Software óptimo y más adecuado para la tarea a desempeñar, su operatividad.

Recursos necesarios, ya que su funcionamiento debe ser óptimo en un ordenador de gama media.

Programas con licencia de uso libre o, en su defecto, versiones de prueba gratuitas.

De esta manera, una vez establecido el área de la fortaleza sobre la que realizar el estudio se procedió a la toma de imágenes y otros datos *in situ* para tal finalidad.

Las fases de realización de este apartado queda reflejado de manera detallada en el Capítulo 3 de este texto, *Fases del Proyecto*, en el que se describen los pasos seguidos desde la planificación y captura de las imágenes hasta la obtención de los productos finales, así como el *software* utilizado y la introducción de parámetros en cada caso.

2. La Alcazaba de Al-Mandari

Kasbah al-Mandari. Tetuán, Reino de Marruecos

Tipología: Alcazabas

Cronología: Finales Siglo XV

Estilo: Arquitectura defensiva, andalusí-nazarí

2.1. Introducción Histórica

El estudio publicado en árabe por parte de uno de los principales historiadores de la ciudad de Tetuán, el profesor Mohamed Ibn Azzuz, y cuyas conclusiones han sido recogidas por Akrache, Martínez y El-Mesbahi, concluye en su análisis que habría 14 etapas en el crecimiento urbano de esta ciudad, entre las que establece la primera anterior a la caída del Reino de Granada, la segunda en el establecimiento de al-Mandari en torno a 1492, la tercera a comienzos del siglo XVI, la cuarta de mediados del siglo XVI, la quinta a principios del siglo XVII, la sexta a mediados de ese mismo siglo, la séptima a principios del siglo XVIII, etc. Más allá de los detalles, en los que en algunos puntos existen evidencias diferentes, el sentido general del estudio de Ibn Azzuz es plenamente válido, y ofrece una perspectiva de límites que se relacionan estrechamente con el trazado de las murallas exteriores de la Medina, de datación muy controvertida. Sin embargo, la muralla de la *kasbah* y las torres motivo de este estudio, se situarían, sin lugar a dudas, en la 2ª etapa de las establecidas por el historiador, periodo que coincide con la refundación de la ciudad.²

La refundación de Tetuán por parte del capitán granadino al-Mandari se sitúa cronológicamente en la última década del siglo XV, fecha en la que ejércitos cristianos toman los Montes Orientales granadinos, territorio del que éste era gobernador.

Es de suponer que al establecerse en esta ciudad del norte de Marruecos, y dadas las circunstancias bélicas y la situación geográfica del emplazamiento, estos emigrados no tardaran en construir un recinto amurallado al estilo de los que ya abundaban a uno y otro lado del Mediterráneo, a fin de cercar este primer núcleo urbano, dominado por su *kasbah* o fortaleza.

Este recinto iría creciendo conforme se incrementaba el número de habitantes, en su mayoría expulsados moriscos procedentes de la Península Ibérica.

² La medina histórica de la ciudad de Tetuán fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1997. Más información en la página del organismo:
<http://whc.unesco.org/es/list/837#top>

La morfología de la ciudad y por tanto su muralla, queda recogida en este texto de 1508, *Relación de la costa de allende*, redactado por Juan Gaitán, que describe la articulación urbana, trazado que hoy en día se conserva en parte.

Este lugar es çerrado, tiene una fortaleza con dos cavas, una de dentro e otra de fuera, e puente levadisa dela villa a la fortaleza, es lugar de muchas aguas.

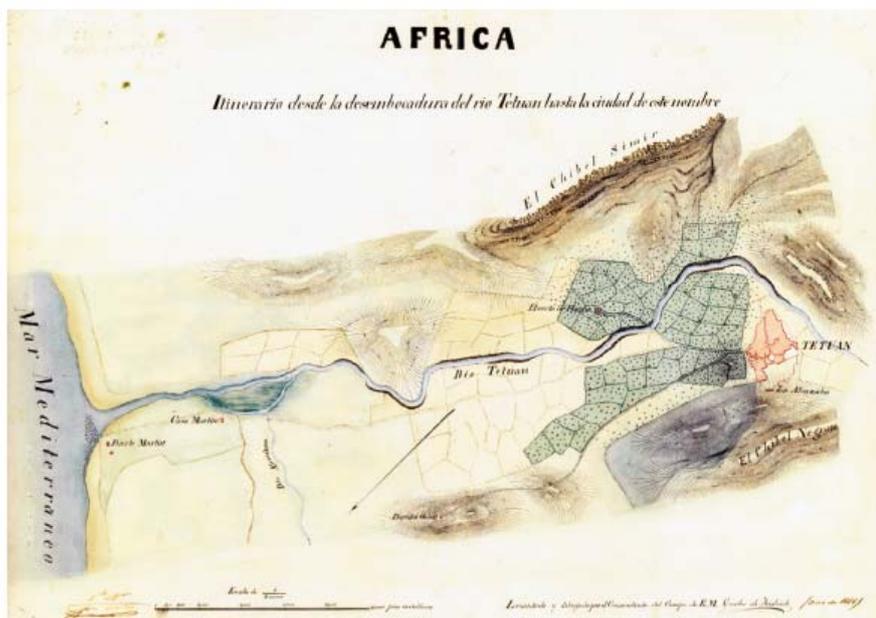


Fig. 1; *Plano del itinerario de Fridrich, 1848*. El territorio donde se asentaban los núcleos rurales de la antigua Tetuán estaba dominado por el valle del río Martil, entre los montes Gorges y Dersa. Sobre la desembocadura se situaba un pequeño pueblo de pescadores, puerto natural separado por un terreno pantanoso de la aldea principal de la zona que al-Mandari utilizó de base para refundar la ciudad.



Fig. 2. *Murallas y vista interior de la Medina en 1860*. Esta litografía muestra la “plaza del Teatro”, hoy ocupada por los jardines del Palacio real. La visión se efectúa desde las azoteas del barrio judío. A la derecha se encuentran los restos de la alcazaba de al-Mandari, como fachada urbana del gran espacio delantero. En él se observan restos de construcciones, demolidas por los militares y, sobre todo, la edificación del teatro de madera como elemento “colonizador”. Detrás se aprecia la segunda gran fachada urbana de este espacio, y es la formada por la zagüia Sidi Abd Allah al-Hay, y el palacio del *maswar*. A la izquierda del volumen del palacio se ve el alminar de la mezquita al-Basha y a la derecha la de la mezquita Luqash. Se observa perfectamente la gran entidad de este espacio urbano que, a pesar de ser intramuros, tiene el carácter de transición entre el espacio exterior agrícola y el interior construido de la medina. No puede hablarse de espacio propiamente formalizado, sino que su escala y relación con las edificaciones que lo rodean, y el simbolismo de éstas, le confieren un carácter singular. Hoy día sólo quedan atisbos de estas cualidades en la plaza Feddan, único resto de este espacio abierto.

Se desprende de estas líneas que lo más importante de la construcción fue la alcazaba, cuyos significativos Lienzo de muralla Norte y Suroeste -SO- y tres bastiones se conservan en la actualidad.

Así pues, el Tetuán de 1508 era muy diferente al conocido con posterioridad, con una alcazaba perfectamente cerrada, inscrita en un recinto de murallas que encerraba una medina más reducida, capaz de albergar 300 vecinos. Todavía en vida de al-Mandari, la inmigración constante de los moriscos del antiguo Reino de Granada, y la prosperidad de las actividades corsarias, producirá un notable aumento de la población. De este modo, autores y cronistas de la época como Gaitán y León el Africano fundamentalmente, explican como la fortaleza núcleo de la ciudad quedó absolutamente rebasada, de tal forma que los fosos se terraplenaron, y las antiguas murallas quedaron amortizadas.³

Esta primera alcazaba, la de al-Mandari, se perdería en las descripciones de la ciudad efectuadas desde la segunda mitad del siglo XVI, sustituida por el valor militar de la Alcazaba alta o de los Adives, situada junto al Cementerio de los Moujahidines, al norte de la medina.



Fig. 3; *Alcazaba de los Adives. Murallas.* Vista desde el exterior en una fotografía de mediados del s. XX.

³ Gozalbes Cravioto, E.; *Las murallas de Tetuán (Marruecos)*. Revista AMM, 19, 2002, pp. 279-307.

2.2. Lienzo de muralla SO y torres Central y Sur

2.2.1. Análisis morfológico-estilístico

El frente oeste completo de la alcazaba de al-Mandari está compuesto por un lienzo de muralla almenada y camino de ronda de unos 26 metros de largo en total, dispone de tres torres diferentes, la situada en el extremo Noreste -NE- es de planta rectangular, la central y más artística es de forma poligonal y está adornada con arcos lobulados ciegos en cada una de sus caras, por último, en el extremo más septentrional tiene otra torre cuadrada, más alta, y que servía como torre vigía.

Como señala Guillermo Gozalbes Busto, “la fortaleza o burý, con sus torres y murallas, constituye uno de los mejores recuerdos del arte militar de la época en la ciudad recién reconstruida. Son características de este arte, proveniente de la Península, las esquinas y encintados de grandes ladrillos, enmarcando amplios paneles de mampostería, también de ladrillo la misma decoración de los huecos para artillería, con arcos ciegos lobulados formando el de herradura, almenas escalonadas de doble pendiente” que podemos encontrar en fortalezas del sur de España.

Otros elementos, como la puerta en recodo de cúpulas achaflanadas, recuerda a la de ingreso de la Alhambra de Granada⁴, son ejemplos evidentes de su parecido morfológico y estilísticos con recintos amurallados medievales encontrados a lo largo de la Península Ibérica y en Marruecos, al estilo de las góticas tardías del reino de Al-Andalus”.

2.2.2. Localización

El recorrido del lienzo de muralla al que nos referimos se desarrolla a lo largo de varias callejas del barrio del Sad, en la Medina, siendo el punto más representativo para su ubicación la plaza de Souk El Hut al-Kadim.

Orientación: Suroeste -SO-

Latitud-longitud: 35° 34' 14,34" N 5° 22' 07,34" O

Altitud (metros sobre el nivel del mar): 90

⁴ Pavón Maldonado, B.; *Tratado de arquitectura hispano-musulmana, Vol. II Ciudades y fortalezas*, Centro Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1999.



Figs. 4 y 5 ; Ubicación urbana y planta de la alcazaba completa. Imagen satélite y su traducción en plano.

Torre Central

Lienzo de muralla SO

Torre Sur

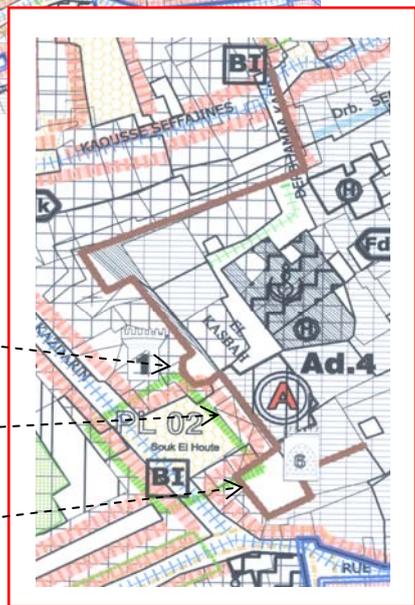


Fig. 6; Descripción del perímetro de la Medina y elementos estudiados señalados. Ver el anexo fotográfico para apreciar su ubicación en la ciudad de Tetuán

2.2.3. Planta y ubicación de los elementos

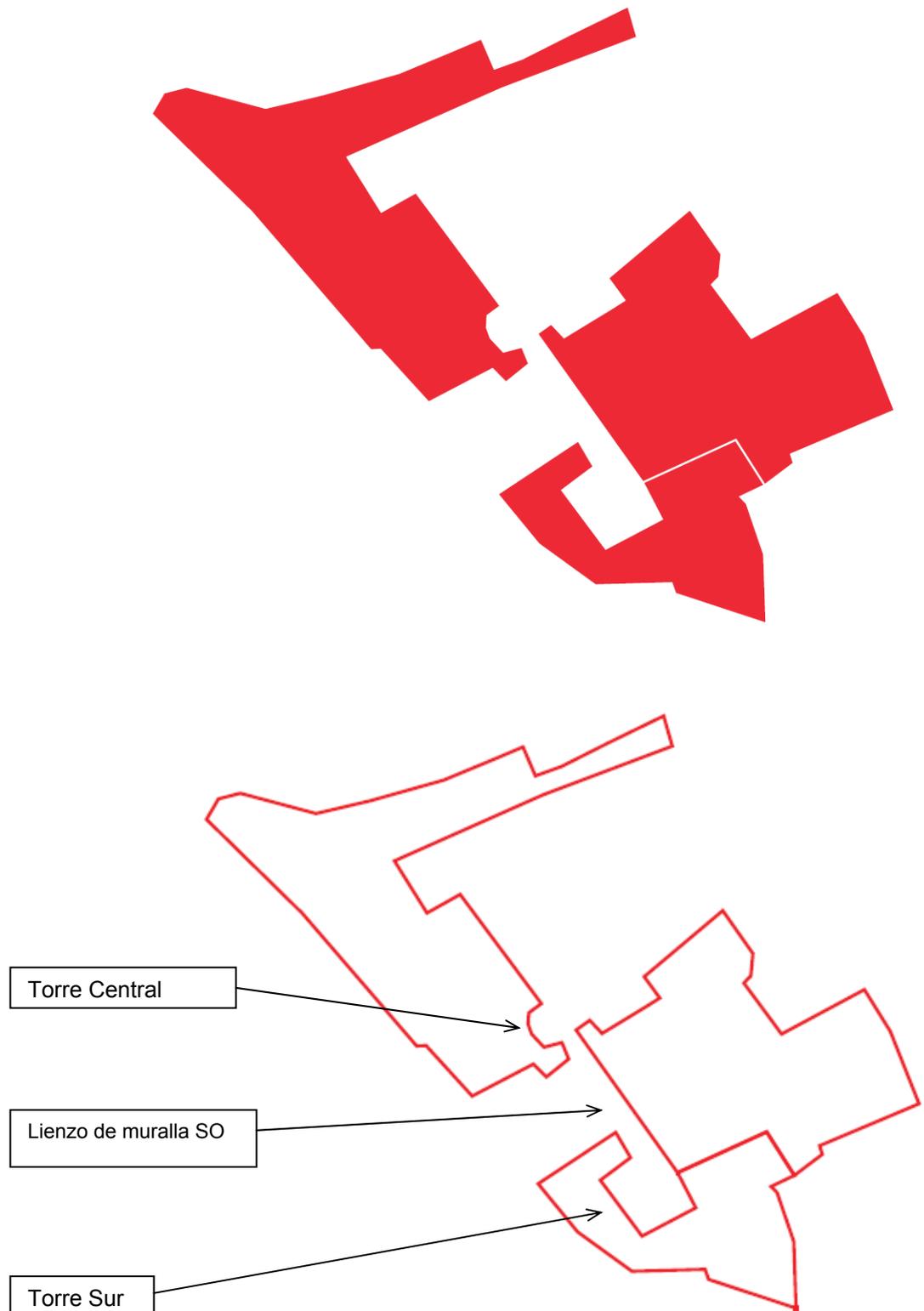


Fig. 7; Planta y ubicación de los elementos constructivos de la fortaleza en los que se centra este trabajo. Lienzo de muralla Suroeste -SO- y Torres Central -planta poligonal- y Sur -planta cuadrada- que lo flanquean.



Figs. 8, 9 y 10; Aspecto actual de los elementos objeto de este análisis;
Torre Central, -poligonal-, lienzo de muralla y torre Sur. Imagen tomada desde la plaza
Souk El Hut al-Kadim



Fig. 11; Imagen panorámica en la que puede apreciarse en su totalidad el área de muralla y las torres sometidas a estudio. La zona baja de la arquitectura queda cegada por la presencia de comercios adosados, situación que impide el acceso visual y palpable al arranque de torres y muralla hasta una altura aproximada de 3,24 m. Por este motivo no se pueden valorar alteraciones y patologías de toda esta superficie.

Creemos oportuno incluir en este texto los siguientes datos técnicos, así como las alteraciones detectadas, pues las más evidentes han sido recogidas en el mapa de datos realizado. Otros datos de carácter más específico, como los materiales o la fábrica utilizada bien podría ser motivo de un nuevo mapa realizado a partir de las ortofotografías obtenidas y aplicando el mismo procedimiento fotogramétrico.

2.2.4. Datos técnicos

En este sentido, se ha optado en este punto por una descripción del conjunto, pues la observación realizada -a una distancia considerable de torres y lienzo y con otras construcciones alrededor- no permite discernir de manera pormenorizada cada uno de los elementos.

a) Elementos estructurales

Fábricas de mampostería, material pétreo de naturaleza caliza y ladrillo macizo.

- Mampostería careada de caliza y verdugadas de ladrillo macizo.
- Mampostería ordinaria piedra de tipo caliza con cantos rodados de tamaño medio y ladrillo revestimiento arena y cal.
- Mampuestos de piedra caliza extraída de las canteras próximas.
- Morteros compuestos por cal obtenida en las caleras de la zona y arena de los bancos del cercano río Martíl.
- Sillar de travertino en zócalos inferiores y esquinas.
- Esquinales de ladrillo macizo en los cuerpos superiores.
- Esquinales de ladrillo, canto rodado, arena y cal colada.
- Hileras de ladrillo macizo dispuesto en vertical e inclinado.

Es de suponer, atendiendo a fuentes gráficas de principios del s. XX, cuando la *kasbah* no presentaba comercios adosados a sus muros, y atendiendo también a fuentes escritas, que la cimentación y la parte baja pudieron construirse de mampostería ordinaria. A partir de cierta altura -alrededor de 2 metros- se emplea la mampostería de tipo mixto en la que los paños de mampuestos se ordenan a partir de unas líneas definidas por hiladas de ladrillo, lo que permite que se asienten mejor y muestren paños ordenados dando una imagen de gran regularidad en su disposición, estos encintados estaban reforzados verticalmente con pilastras de ladrillo en los extremos del tramo y cada cierta distancia. Todo el paramento estaba recubierto por un mortero de terminación a base de cal.

El módulo general de los ladrillos encontrados, a los que se accedió por el flanco Noroeste de la muralla, es de 25x12x3 +/- 0,5 centímetros.

Su composición mineralógica exacta es aún desconocida se sugiere realizar los análisis correspondientes, como la difracción de RX. Sin embargo, tras una observación *in situ* podemos deducir que en su composición abundan mayoritariamente las arcillas rojas, color que se debe a su alto contenido en óxidos de hierro. Presentan una granulometría y porosidad homogéneas lo que indica materiales seleccionados y un buen trabajo de amasado.

Es de suponer, que se manufacturaban conforme a especificaciones concretas acerca de su composición y medidas reflejadas en tratados como el de Ibn' Abdún en el siglo IX, en el que puede leerse:

*...los muros de tapial, maderas y las alfarjías empleadas en las construcciones tenían dimensiones fijas; tejas y ladrillos se fabricaban según moldes cuyos tipos estaban colgados en la mezquita mayor para su comprobación.*⁵

b) Elementos decorativos

Ladrillo macizo y fabricas de mampostería fundamentalmente.

Mortero de cal y arena

- Almenas y merlones piramidales a lo largo de la muralla.
- Almenas en forma de cola rematando las torres cuadrangular y poligonal.
- Arcos lobulados ciegos inscritos en un marco rectangular.

c) Revestimiento

Mortero de cal, arena y pigmento tierra

No disponemos de documentación que especifique la composición de los mismos. A falta de datos analíticos como la observación bajo microscopio petrográfico o la difracción de RX, creemos que está compuesto por arena de río y cal aérea ya que existe una multitud de referencias en la bibliografía a la utilización de morteros de cal en las construcciones del Islam Occidental desde la Alta Edad Media.

⁵ Pavón Maldonado B.: *Murallas de Tapial, Mampostería, Sillarejo y Ladrillo en el Islam Occidental. Los despojos arquitectónicos de la Reconquista. Inventario y clasificaciones.* p. 84.
En: <http://www.basiliopavonmaldonado.es/documentos/murallastapial.pdf>
[Consulta realizada el 2 junio de 2015]

2.3. Alteraciones detectadas. Estado de conservación

Tras el examen efectuado *a visu*, podemos determinar las alteraciones que afectan al Bien, siendo éstas las más reseñables:

Suciedad variada

Depósitos de suciedad generalizada y localizada en las zonas de difícil acceso como huecos y esquinas.

Esta suciedad favorece la presencia de microorganismos y el cúmulo de humedad, con el consecuente daño sobre el material pétreo y el revestimiento.

Ataque biológico

Encontramos un importante ataque biológico a lo largo del conjunto que se ve afectada por los distintos elementos que favorecen la ascensión capilar.

Se observan numerosas colonias de microorganismos y líquenes que además de provocar micro-roturas en el soporte, producen alteraciones al alimentarse de él. A su vez, funcionan como depósitos de suciedad que favorecen el cúmulo de agua.

La presencia de bacterias favorece la aparición de otros organismos como son los líquenes o las plantas superiores. Éstas últimas tienen una presencia notable a lo largo de todo el conjunto, provocando roturas sobre el material pétreo debido al crecimiento de sus raíces en el interior del material, como hemos apuntado anteriormente.

Infiltración capilar

No hay evidencias de este tipo de alteración, sin embargo, se propone tomar mediciones de HR y T^a a lo largo del inmueble, con especial atención en zonas críticas, como el arranque de los muros, las bajantes de agua y las zonas de acumulación y drenaje de agua de lluvia.

Pérdida de material

La acción humana y la erosión provocada por el viento, entre otros factores, han provocado una pérdida de material de revestimiento fundamentalmente, cambiando su textura y apariencia general. Los elementos situados en la parte superior del conjunto, como las almenas, han experimentado también a lo largo del tiempo una pérdida notable de material, ya que por su situación están muy expuestos a agentes erosionantes.

También se aprecian a lo largo del lienzo de muralla marcas recientes de picado en su capa más superficial.

Arenización

En zonas muy puntuales del revestimiento, a varios niveles y alcance.

Pérdida de material por picado, alveolización, disgregación, erosión y arenización.

Incisiones con objetos punzantes y golpes no sólo provocan pérdidas del material pétreo, sino que contribuyen a la presencia y a la aceleración de otro tipo de degradaciones. Añadidos, como mortero en las juntas, con materiales no afines a las características petrofísicas de la obra, lo que conlleva alteraciones como la aportación de sales y tensión. Además del impacto visual desde el punto de vista estético.

Pérdida de mortero en las juntas de unión que favorece la penetración de humedad y aceleran los procesos de deterioro.

Roturas

Una fractura importante es la producida por la inclusión de elementos metálicos sobre el soporte pétreo. La propia acción de su colocación, así como la corrosión de los compuestos metálicos, crea tensiones en la piedra que han dado lugar a roturas y desprendimiento de material.

Observamos también roturas en las zonas donde brotan plantas superiores que, mediante la presión ejercida por el empuje de sus raíces, han fracturado el soporte a varios niveles de alcance. La presencia de otros organismos biológicos de menor porte provocan también micro-roturas en el soporte pétreo que pueden agravarse con el paso del tiempo.

Se aprecian además fracturas en algunos de los fragmentos más salientes de las cornisas, éstas pueden estar provocados por la escorrentía del agua o por la acción de la gravedad sobre un soporte ya deteriorado por otros factores.

Subeflorescencias de sales solubles

Procedentes tanto de los propios de los materiales que componen el conjunto, como las sumadas por otros materiales y sustancias procedentes de las paredes adyacentes, así como del subsuelo y las sales arrastradas por el agua de correntía.

Los procesos de recristalización e hidratación/deshidratación de sales, conllevan el paso de agua a hielo bajo ciertas condiciones climáticas y por tanto un aumento de volumen del agua que provocará presiones y estrés por los movimientos que de ellos se derivan de los materiales estructurales.

Intervenciones no científicas

No se tiene constancia de intervenciones anteriores sobre el Bien, sin embargo, pueden apreciarse "picotazos" reciente en la capa más superficial, la del enfoscado.

La aplicación de parcheados y recrecidos sobre el enlucido original con cemento de tipo Pórtland, para la sujeción de elementos urbanos como cables y antenas.

Por otra parte, cabe mencionar la abultada capa de cal que cubre la cara interior de la alcazaba, como es habitual en esta región, la adición de estas espesas de cal tienen la misión de proteger los muros de las lluvias torrenciales, entre otros agentes externos, así como de método para higienizar las fachadas.

Este tipo de intervención reciente es poco aconsejable, pues, al igual que ocurre con el uso de cementos industriales, la capa de cal añadida impide la transpiración de la humedad, por lo que ésta se ve obligada a recorrer el interior del muro en todos los sentidos en busca de zonas más porosas, como es el caso de los morteros originales a base de cal y arena que componen la mayoría del conjunto.

Adhesión de construcciones contemporáneas y uso de las torres como viviendas y las consecuencias estructurales y de servicios que éstas producen al Bien Inmueble, además de su evidente distorsión visual.

Es el caso de los sistemas de drenaje de aguas y alcantarillado. Aunque no se ha realizado un estudio detallado al respecto, podríamos advertir que éste puede ser perjudicial, ya que se han sumado al sistema original de la fortaleza nuevos sistemas de suministros derivados de las viviendas allí instaladas. Por este motivo cabe advertir sobre una especial atención al respecto, con la aplicación de ensayos y protocolos estandarizados capaces de determinar el estado de estas instalaciones, así como la situación de los puntos actuales y óptimos de los puntos de drenaje a lo largo del inmueble, la correntía de aguas de lluvia, la procedente del suministro doméstico y sus desagües y alcantarillado.

Superposición del nivel del suelo -suma de estratos del pavimento -el superior y más reciente está realizado con hormigón a base de cemento gris de tipo portland.

Como conclusión podemos afirmar que el Inmueble sujeto de este examen diagnóstico no presenta evidencias de patologías graves que puedan afectar a su estructura y que la hagan peligrar. No obstante, las alteraciones sufridas por el bien quedan patentes en su aspecto físico, en su apariencia, y se deben en su mayoría a alteraciones superficiales.

Además de los pertinentes estudios y análisis científicos previos a cualquier intervención de carácter conservativos, se recomiendan, dada la naturaleza y la situación del Bien, la realización de pruebas técnicas, tanto en el material que

constituye el Inmueble, como a lo concerniente al estado de aparejos y estructuras en conjunto.

Llevar a cabo estudios mineralógicos y de calidad a los diferentes materiales constituyentes tomando muestras a piedras, ladrillos y morteros de unión y de revestimiento; pruebas de resistencia, tensión, torsión, entre otras.

Someter al conjunto, pruebas de análisis estructural, normativa ISO y UNE por un profesional cualificado.

Aplicación de técnicas con Ultrasonidos, estudio hidrotérmico, con el fin de detectar zonas con filtraciones y sus consecuentes alteraciones en los materiales constituyentes, detección de grietas y fisuras internas.

Estudio mecánico de la estructuras resistentes y carga.

Protocolo de pruebas a Estructuras sismoresistentes; detección de puntos críticos.

2.4. Conclusiones derivadas de la situación y el contexto actual de la *Kasbah al-Mandari*

A pesar de estar inscrito desde 1978 en la lista de Conjuntos de Interés Cultural de la UNESCO, y declarada Patrimonio de la Humanidad en 1997 por este mismo órgano internacional, la propiedad este Bien Inmueble sigue siendo del Awqaf (Ministerio de Donaciones Religiosas marroquí). El gobierno colonial español no apartó ninguno de los edificios históricos más importantes de la administración del Awqaf; las murallas y torres del siglo XV siguen en pie, pero el Awqaf alquila las habitaciones de las torres como apartamentos o talleres, mientras que el edificio histórico se degrada y está cada vez más invadido por las construcciones de sus alrededores.

A diferencia de otras ciudades históricas como Fez, Meknes, Salé o Marrakech, colonias francesas en su día, el gobierno español en el pasado, y el Ministerio de Cultura Marroquí en la actualidad no tiene jurisdicción legal sobre los monumentos

más importantes de la medina tetuaní⁶. Este hecho ha dado lugar a una situación actual con dos vertientes, pues si bien es cierta y evidente la sobreexplotación a la que están sometidas torres y muros de la Alcazaba, éstos, acorde con el resto de la Medina histórica de Tetuán, conforman un ejemplo completo y excepcionalmente bien preservado -que no conservado- de este tipo de ciudad histórica, extraordinario además porque presenta todas las características de la cultura andaluza exportada a la otra orilla del *Mare Nostrum*.

A día de hoy y pese a ser una de las pequeñas de Marruecos, la medina tetuaní es la más completa y la que ha quedado más a salvo de influencias externas, por este motivo, los criterios bajo los que llevar a cabo cualquier intervención deben ser sumamente estrictos, al amparo de la normativa internacional sobre Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles y Conjuntos declarados de Interés Cultural por la UNESCO, como es el caso de Tetuán.

A tenor de la situación que nos encontramos, y como ha ocurrido en otros pueblos y ciudades -pondremos como ejemplo las españolas Madrigal de las Altas Torres o Valencia⁷- en las que algunos fragmentos de la muralla que se utilizaron como muros para los edificios levantados en su perímetro se salvaron del derribo y han llegado hasta nuestros días, es nuestra obligación poner en valor los restos que quedan en pie, sin perjudicar con nuestra intervención conservativa a sus moradores -e indirectamente también *conservadores* por beneficio propio de los muros de la muralla o torre- pues, como apunta la *Carta del Restauro de Venecia*, “las obras monumentales de cada pueblo son actualmente el testimonio vivo de sus tradiciones seculares como portadoras de un mensaje espiritual del pasado. La humanidad, que cada día toma conciencia de la unidad de los valores humanos, las considera como un patrimonio común, y pensando en las generaciones futuras, se reconoce

⁶ *Estrategias de rehabilitación en la Medina del Tetuán*. En: *Marruecos y Andalucía, ciudades históricas del Norte de Marruecos y Andalucía*, Actas de las jornadas, pp. 125 y siguientes, 2004.

⁷ Lampérez y Romea, V.; *Arquitectura civil española de los siglos I al XVIII*. Maxtor Editorial, Valladolid, 2012.

Gascón Bernal, J.; *Estudio histórico del Convento Agustino Extramuros de Madrigal de las Altas Torres. La intervención clasicista del arquitecto Juan del Rivero Rada*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Tomo I, pp. 23 y siguientes. En: http://oa.upm.es/33419/1/JESUS_GASCON_BERNAL_TOMO%20I.pdf

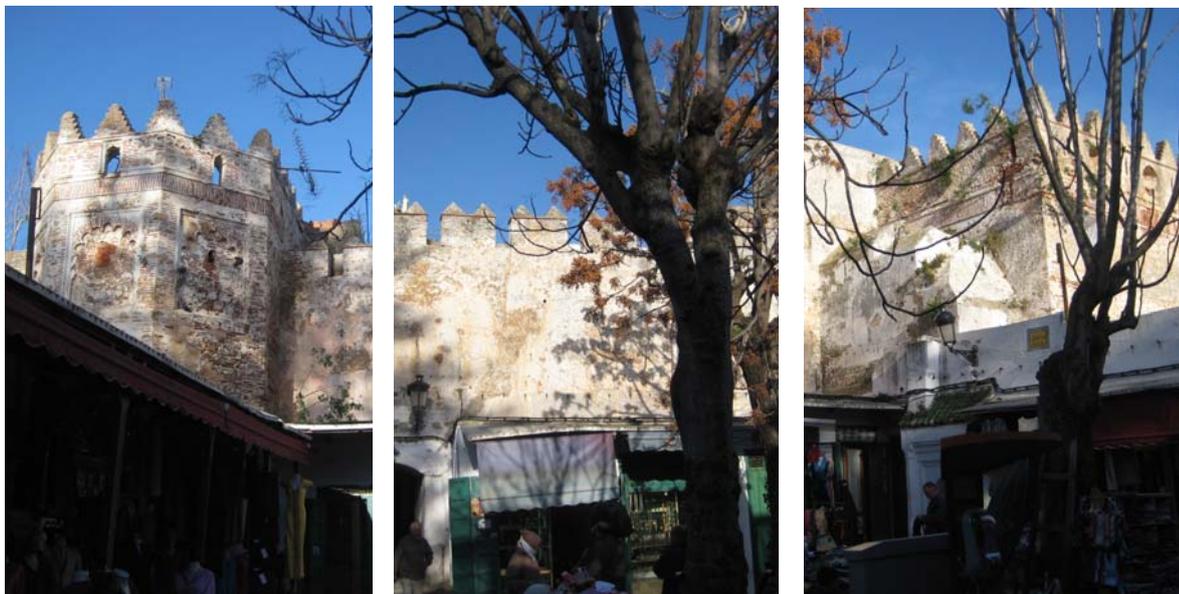
[Consulta realizada el 2 junio de 2015]

Labarta Postigo, M.; *Análisis crítico de las prácticas discursivas en torno al plan de reforma de la muralla árabe en el centro histórico de Valencia*, *Arxius*, 23, 2010, pp. 205-212.

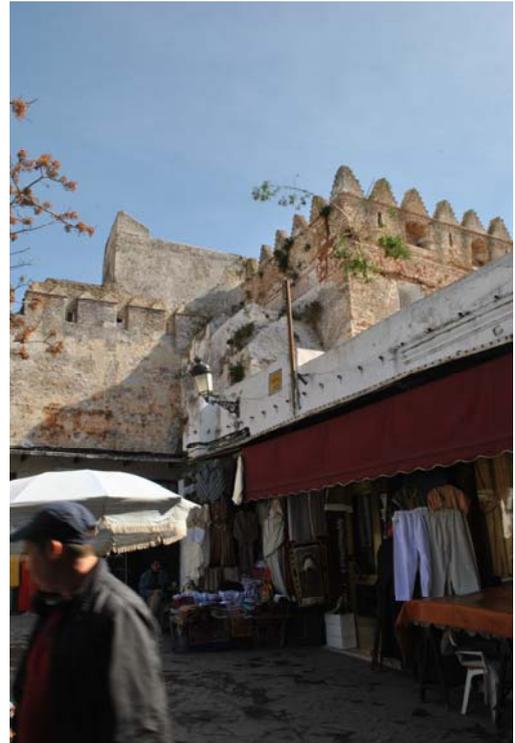
solidariamente responsable de su conservación aspirando a transmitir las con toda la riqueza de su autenticidad”.

Por supuesto, dicha puesta en valor debe realizarse atendiendo a las recomendaciones, especificaciones y textos legales al respecto, que desde los distintos organismos nacionales e internacionales que velan por la protección del Patrimonio Cultural Mundial. Tienen cabida las diversas convenciones que en materia de patrimonio han venido dictando las bases relativas a la preservación de la identidad cultural que a lo largo del siglo XX hasta la actualidad, en un esfuerzo común por preservar un legado patrimonial que pertenece a su pueblo.

ANEXO:
DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Figs. 12, 13 y 14;Aspecto actual de los elementos estudiados. Imágenes tomadas desde la plaza Souk El Hut al-Kadim.



Figs. 15, 16 y 17; Locales adheridos a las torres y a la muralla. A pesar de alterar la apariencia del Bien Histórico, éstos comercios suponen el negocio de muchos ciudadanos tetuaníes.

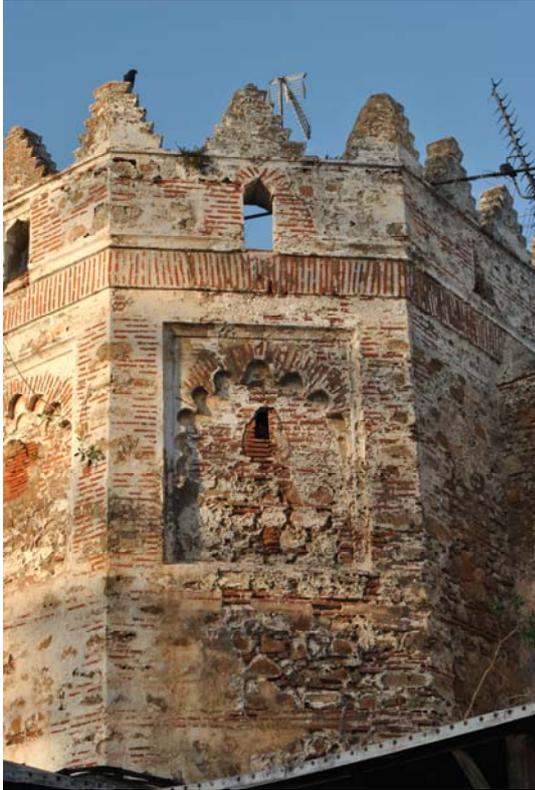


Fig. 18; *La alcazaba de al-Mandari*, en una imagen de mediados del s. XX. Esta construcción militar fue el elemento que sirvió tanto de residencia de al-Mandri y sus sucesores como de lugar donde se impartía justicia y gobernaba la ciudad. De la alcazaba resta hoy el lienzo SO de las murallas, con tres de sus torreones. A espaldas de la entrada principal se asentaron las primeras edificaciones del barrio al-Blad, y en la parte delantera un zoco extramuros que daría pie a lo que se conocería más tarde como Zoco del Pescado (Souk al-Hut), dando muestras de la intensa relación de la ciudad con Martil, su puerto natural.



Fig. 19; *Zoco al-Hut al-Kadim*

El antiguo zoco del Pescado, está situado al pie de la muralla SO de la fortaleza de Sidi al-Mandari. Durante los siglos XVI y XVII su función era de zoco extramuros, y su frente occidental responde a las transformaciones que experimentó esta zona en el s. XIX y XX con la edificación del consulado de España y misión franciscana, cerrando el espacio por este lado. Imagen de mediados del s. XX.



Figs. 20 y 21; Torre central de planta poligonal y detalle. Ladrillo macizo, mampostería careada, y sillar de travertino en las esquinas y arco lobulado.



Figs. 22 y 23; Lienzo de muralla a estudiado. Almenas como de doble pezón como elemento decorativo. Detalle del revestimiento y su estado de conservación; suciedad, picado, elementos no originales adheridos al muro -bridas, antenas y cables, entre otros-.



Figs. 24; Torre Sur de planta rectangular, fotografía general que recoge los materiales y fábricas empleados en su construcción. En la parte inferior izquierda de la imagen, la construcción de comercios adheridos a los muros y las torres históricas realizados con materiales actuales, perjudiciales para el Bien Inmueble.



Figs. 25 y 26; Torre Sur, detalle, materiales y fábrica; mampostería, cintas de ladrillo macizo, almenas de cola de milano y ventanas ciegas.

Cabe destacar la pérdida del enfoscado y la presencia de plantas superiores como alteraciones detectadas.

PLANIMETRÍA

Figs. 27 y 28, plano de la ciudad de Tetuán (páginas siguientes)



ROYAUME DU MAROC
 MINISTÈRE DE L'URBANISME
 ET DE L'AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE
 AGENCE URBAINE DE TETOUAN

**PLAN D'AMÉNAGEMENT
 ET DE SAUVEGARDE
 DE LA
 MÉDINA DE TETOUAN**

(version commission technique locale)

WILAYA DE TETOUAN
 COMMUNE URBAINE DE TETOUAN

MÉDINA DE TETOUAN

LISTE DES COORDONNEES LAMBERT

P1	X=520212.7522	Y=513812.5822	P4	X=520205.6534	Y=512847.2412	P7	X=520207.0000	Y=512399.0000
P2	X=520205.2850	Y=513812.5822	P5	X=520210.3256	Y=512847.2412	P8	X=520211.8042	Y=512399.0000
P3	X=520209.3120	Y=513812.5822	P6	X=520214.8488	Y=512847.2412	P9	X=520215.4488	Y=512399.0000
P4	X=520213.4238	Y=513812.5822	P10	X=520219.3692	Y=512847.2412	P11	X=520220.0000	Y=512399.0000
P5	X=520217.4498	Y=513812.5822	P11	X=520223.8400	Y=512847.2412	P12	X=520224.0000	Y=512399.0000
P6	X=520221.4758	Y=513812.5822	P12	X=520228.3200	Y=512847.2412	P13	X=520229.0000	Y=512399.0000
P7	X=520225.5018	Y=513812.5822	P13	X=520232.8000	Y=512847.2412	P14	X=520233.0000	Y=512399.0000
P8	X=520229.5278	Y=513812.5822	P14	X=520237.2800	Y=512847.2412	P15	X=520238.0000	Y=512399.0000
P9	X=520233.5538	Y=513812.5822	P15	X=520241.7600	Y=512847.2412	P16	X=520242.0000	Y=512399.0000
P10	X=520237.5798	Y=513812.5822	P16	X=520246.2400	Y=512847.2412	P17	X=520247.0000	Y=512399.0000
P11	X=520241.6058	Y=513812.5822	P17	X=520250.7200	Y=512847.2412	P18	X=520251.0000	Y=512399.0000
P12	X=520245.6318	Y=513812.5822	P18	X=520255.2000	Y=512847.2412	P19	X=520256.0000	Y=512399.0000
P13	X=520249.6578	Y=513812.5822	P19	X=520259.6800	Y=512847.2412	P20	X=520260.0000	Y=512399.0000
P14	X=520253.6838	Y=513812.5822	P20	X=520264.1600	Y=512847.2412	P21	X=520265.0000	Y=512399.0000
P15	X=520257.7098	Y=513812.5822	P21	X=520268.6400	Y=512847.2412	P22	X=520269.0000	Y=512399.0000
P16	X=520261.7358	Y=513812.5822	P22	X=520273.1200	Y=512847.2412	P23	X=520274.0000	Y=512399.0000
P17	X=520265.7618	Y=513812.5822	P23	X=520277.6000	Y=512847.2412			
P18	X=520269.7878	Y=513812.5822						
P19	X=520273.8138	Y=513812.5822						
P20	X=520277.8398	Y=513812.5822						
P21	X=520281.8658	Y=513812.5822						
P22	X=520285.8918	Y=513812.5822						
P23	X=520289.9178	Y=513812.5822						

PL.n		PL.n		PL.n	
PL 01	Place Marjane Assaf (R Hassan II)	PL 06	Place Souk Al Fouk	PL 12	Place Bab Remou
PL 02	Place Souk Al Houde	PL 07	Place Mythe	PL 13	Place Bab Oula
PL 03	Place Ghena Al Kabra	PL 08	Place Delye	PL 14	Place Bab Moutar
PL 04	Place Al Waide	PL 09	Place Meccan	PL 15	Place Al Kasbah
PL 05	Place Tachla Al Yasmine	PL 10	Place Souccia	PL 16	Place Bab Nouadur
		PL 11	Place Kba Al Hala	PL 17	Place Al Jaba
				PL 18	Place Moulay Youssef

PLA.n		PLA, PLB & PLC	
PLA 01	Les portes de la Médina	PLA 01	Les Sages
PLA 02	Bab Oula	PLA 02	Bab Seta
PLA 03	Bab Seta	PLA 03	Bab Toula
PLA 04	Bab Seta	PLA 04	Bab Oula
PLA 05	Bab Houdar	PLA 05	Bab Rouat
PLA 06	Bab Toula	PLA 06	Fedra
PLA 07	Bab Remou	PLA 07	Souk El Houde
		PLA 08	Souk El Fouk
		PLA 09	El Aghour
		PLA 10	El Mellah
		PLA 11	El Waide

ZONES SOURCES AUX DISPOSITIONS URBAINES

RE	Zone de réajustement urbain
RE1	Al Kasbah
RE2	Faci Aghour
RE3	Skala Bab Oula
EN	Zone sources aux dispositions environnementales et paysages
EN1	Jard-Labine
EN2	Credine
REN	Zone de réajustement urbain
REN1	Moulay Kaba
REN2	Bab Seta

	Zon non edificable
	Zone d'habitat à un seul niveau (ZOC)
	Zone d'habitat à deux niveaux (R+1)
	Zone d'habitat à trois niveaux (R+2)
	#1 Moulay Sid Moutar
	#2 Moulay Lalla Riya
	#3 Moulay des Mouglines
	Établissement religieux
	Zeyne
	Waqouf
	Synagogue
	Cimetière musulman
	Cimetière juif

LEGENDE

	Serve publique		#1 Musée archéologique		Limite d'aménagement
	École		#2 Musée ethnographique		Limites des zones sources aux dispositions urbaines
	Ferdas		#3 Musée Dar Sana		Les grands quartiers de la Médina
	Hannan		Poste de Police extant		Murailles de la ville
	Équipement culturel		Poste de Police à créer		Limites du patrimoine mondial
	Équipement de loisir		Poste de Police à créer		Chemins pédon dans la Médina
	Équipement de loisir		Poste de Police à créer		Chemins piétons sous Seta
	Équipement de loisir		Poste de Police à créer		Chemins piétons des credines
	Équipement de loisir		Poste de Police à créer		Parking
	Équipement de loisir		Poste de Police à créer		Vois publique consensée

Visé par M^{me} la Directrice de l'Agence Urbaine de Tetouan
 La: _____

Homologué par:
 Le: _____

Numéro d'homologation:

Elaboré en:
 Mai 2009

Rectifié en:

Cabinet: Bernard El Hadi Chesquière
 Moncef Chaara, architecte collaborateur

3. Fases del Proyecto

Las tareas prácticas realizadas en este TFG se resumen en tres fases principales que describimos a continuación:

- Análisis previos*
- Trabajo de campo*
- Trabajo de gabinete*

3.1. Análisis previos

3.1.1. Recopilación de la información

Como ya hemos advertido en el apartado 1.4. *Metodología* de este texto, la recopilación de información, tanto del propio Bien Inmueble, como de otras áreas, es el caso de la búsqueda de programas y otros recursos informáticos, fue de gran importancia el análisis que se llevo a cabo en la propia *kasbah* y sus alrededores. De este modo pudimos observar y contrastar las alteraciones y patologías que presentan los muros y las torres del Bien, tanto en su cara interior, como en la exterior, motivo de este estudio. También en este sentido, aspectos relativos a la detección de los materiales y las técnicas constructivas empleadas para su construcción, así como, lo característico de la situación y el ambiente que la rodea y, en algunos casos, son acogidos por los muros originales de esta fortaleza medieval.

3.2. Trabajo de campo

3.2.1. Mediciones in situ

En relación a la peculiar situación que rodea la *kasbah* al-Mandari y a la toma de unos datos básicos necesarios para desarrollar más tarde un estudio de este tipo, la imposibilidad de acceso a los elementos estudiados -Cara exterior del Lienzo de muralla SO y Torres Central y Sur- nos obligó a tomar esta información de otra parte de la fortaleza y aplicarla, no sin cierta prudencia, al área estudiada. De este modo los datos tomados en contacto directo sobre el Inmueble pertenecen al lienzo de muralla Noroeste -NO- de la alcazaba, al que sí tuvimos acceso por su camino de ronda. Una vez situados en este punto, y en contacto directo con el muro y sus almenas, tomamos datos sobre las cotas y otras medidas, como el camino de ronda, las almenas y su despiece, además, en definitiva, de todos aquellos elementos análogos al área estudiada. Cabe poner en valor la toma de medidas *a priori* menos relevantes, como el tamaño de los diferentes tipos de ladrillo detectados, la anchura de las hiladas de ladrillo oblicuo, la de los muros y las almenas, o el despiece y las cotas de

los remates de las torres con forma de cola de milano, por citar algunas. Estos datos se tomaron con el fin de referenciar y contrastar más tarde las que obtuviéramos a través de la información reflejada en mapas, gráficos y fotografías y su posterior tratamiento y escalado, sin duda, piedra angular de este trabajo.

Esta información se tomó con ayuda de una cinta métrica y un calibre, los datos sirvieron también para realizar esquemas y croquis acotados de los elementos citados anteriormente.

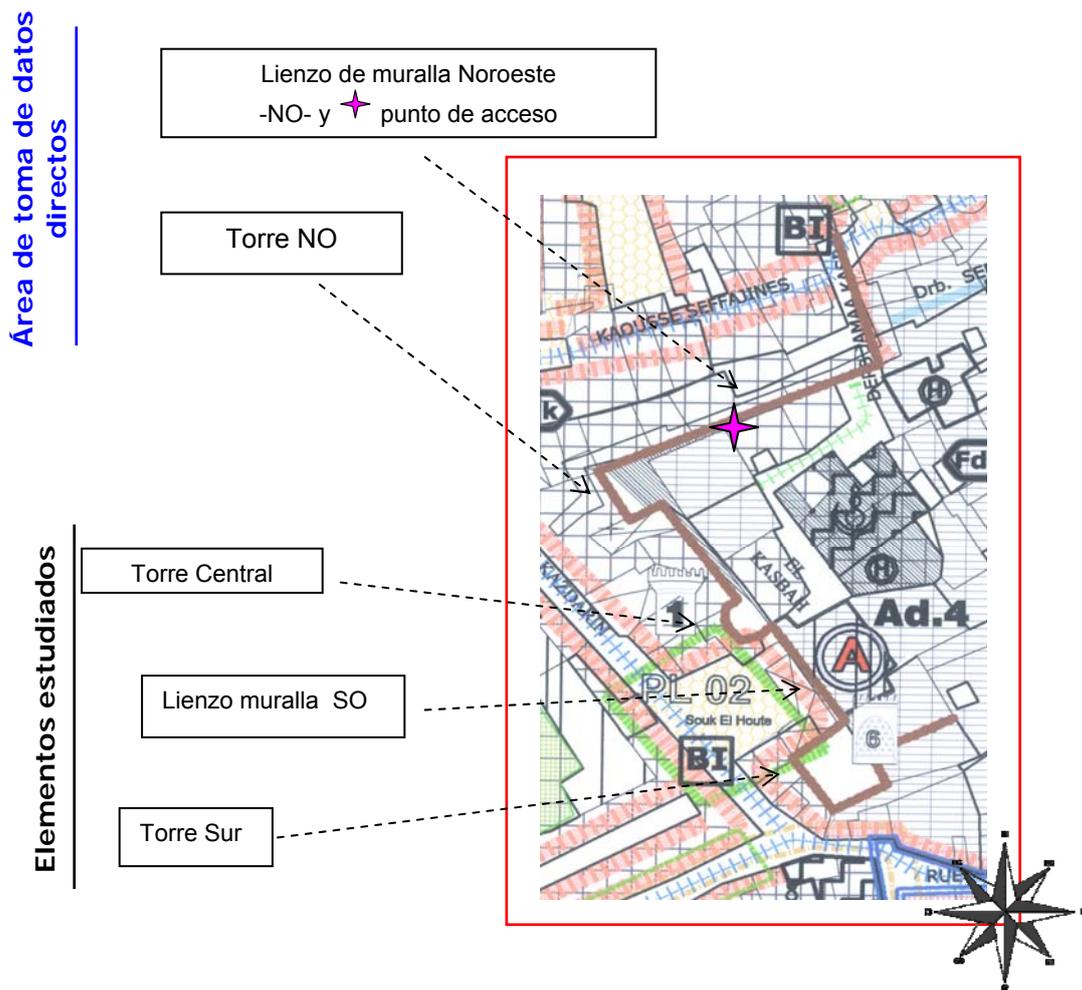


Fig. 29; Esquema que diferencia los elementos a intervenir de aquellos de los que se ha podido acceder y por tanto tomar contacto con los materiales.



Fig. 30; Aspecto actual de la Torre Noroeste -NO- captada desde la Plaza Tarbiaa Ghera Kbira. Este flanco se ve afectado también por la adhesión de comercios a los muros del Bien Inmueble, así como por la instalación de viviendas en su torre.



Figs. 31 y 32; Escaleras de acceso y camino de ronda del lateral Norte de la fortaleza. En este punto han sido tomados los datos a los que nos referimos.



Fig. 33; Aspecto actual de la Torre NO y la cara exterior del muro Norte.

Se aprecia de manera directa la técnica, los materiales y su estado de conservación.

Por su parte, en este bastión la que se ha instalado una vivienda de varias alturas por encima de la original. Imagen tomada desde las azoteas adheridas al muro.



Fig. 34; Detalle de las almenas invadidas por el añadido de tabiques no originales.

No quisiéramos concluir este apartado de toma de datos *in situ* sin comentar que, si bien el acceso a este punto fue relativamente sencillo, pues es el acceso a la vivienda instalada en la torre Norte, bastión de la fortaleza, la cercanía que este recinto mantiene con el actual Palacio Real, obliga a trabajar allí con una autorización previa emitida por el organismo pertinente ya que, como decimos, se trata de una localización ubicada en un punto de la ciudad cuyo protocolo de seguridad es especialmente sensible ante cualquier irregularidad.

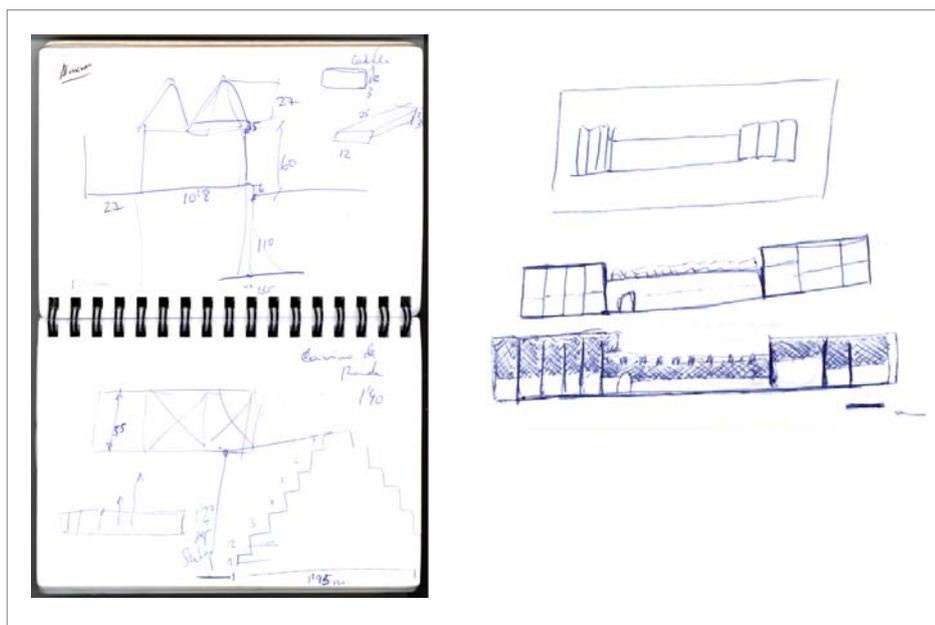


Fig. 35; Ejemplo de algunos de los dibujos y notas tomados alrededor de la fortaleza. Las cotas tomadas directamente sobre los elementos serán más tarde contrastadas con los datos aportados por los cálculos fotogramétricos.

3.2.2. Toma de imágenes

Las fotografías de los elementos sujetos de este estudio fueron tomadas desde la angosta y bulliciosa plaza Souk El Hut al-Kadim durante una sola sesión, como hemos indicado en la introducción de este texto, la elección de este Bien como motivo de este TFG fue tomada durante la breve estancia que tuvimos en la capital tetuaní. Sin lugar a dudas, esta circunstancia influyó en detrimento de una mejor planificación, cuya consecuencia última ha sido la imposibilidad de repetición de algunas de fotografías tras su visionado, así como la falta de algunas tomas a la postre imprescindibles para el procesado de las imágenes en conjunto.

De este modo y rodeados de este concurrido ambiente, nos situamos en el punto más alejado del lienzo de muralla y las torres, con el fin de contrarrestar al máximo el

punto de vista contrapicado que estamos obligados a adoptar debido a la altura de los elementos a fotografiar frente a la poca amplitud de la que disponemos.

Por otra parte, se han tomado también fotografías de detalle con el fin de captar aspectos como los materiales que conforman la cara exterior del Bien, el estado de conservación en el que se encuentran, los agentes del deterioro u otros elementos que alteran su aspecto, detalles en la que se ha basado en buena medida el diagnóstico sobre su estado de conservación, realizado fundamentalmente *a visu*.

Asimismo, se ha querido reflejar la situación y el contexto en el que se encuentra la alcazaba, tanto en cara exterior, como en el interior de sus muros, a nuestro juicio, hándicap de este área de la medina histórica.

Una vez realizado en reportaje fotográfico pertinente para la documentación de un Bien Histórico de estas características, a fin tomar los datos necesarios para un posterior informe, pasamos a realizar las fotografías necesarias para, una vez procesadas, generar una ortofotografía⁸ y su correspondiente modelo fotogramétrico sobre el que diseñar un mapa de daños cuantificable, fin último de este Trabajo Fin de Grado.

Dado que nos encontramos ante dos casuísticas diferentes, debido a la morfología y a la situación de los elementos -lienzo de muralla y torres-, hemos creído oportuno plantear la realización de las ortofotografías por medio de dos procesos digitales diferentes. Por este motivo el planteamiento de toma de imágenes impuesto por los programas informáticos encargados de gestionar más tarde esa información gráfico-geométrica debe llevarse a cabo siguiendo escrupulosamente lo requerido por cada *software*, a fin de optimizar a continuación el trabajo de gabinete y de obtener una imagen ortogonal lo más precisa posible.

⁸ La ortofotografía (del griego *Orthós*: correcto, exacto) es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico. Una ortofotografía se consigue mediante un conjunto de imágenes tomada a larga distancia del modelo (tomadas desde un avión o satélite, en el caso de las aéreas, utilizadas en topografía, como ejemplo más claro) que han sido corregidas para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y en la que por lo tanto es posible realizar mediciones exactas, al contrario que sobre una fotografía aérea simple, que siempre presentará deformaciones causadas por la perspectiva desde la cámara, la altura o la velocidad a la que se mueve la cámara. A este proceso de corrección digital se le llama *ortorectificación*. Por lo tanto, una ortofotografía (u *ortofoto*) combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano. Fuente; *Wikipedia*.

a) *Lienzo de muralla; tomas fotográficas para conformar una imagen panorámica*

En este caso la captura de imágenes necesarias para constituir más tarde la imagen panorámica fueron tomadas teniendo en cuenta las necesidades del programa encargado de coser o empalmar más tarde esas tomas. El *software* requiere unas imágenes que recorran el objeto de un extremo a otro.

En este *travelling descriptivo* debemos tratar que cada imagen *pise* a su anterior y posterior en un 20-30% de su área, se establecerán así varios puntos en común entre una fotografía, su predecesora y la posterior a la primera. Dichos puntos servirán al *software* como puntos de control, referencias por las que se establecerán las uniones de unas fotografías con otras hasta la conclusión en una sola imagen.

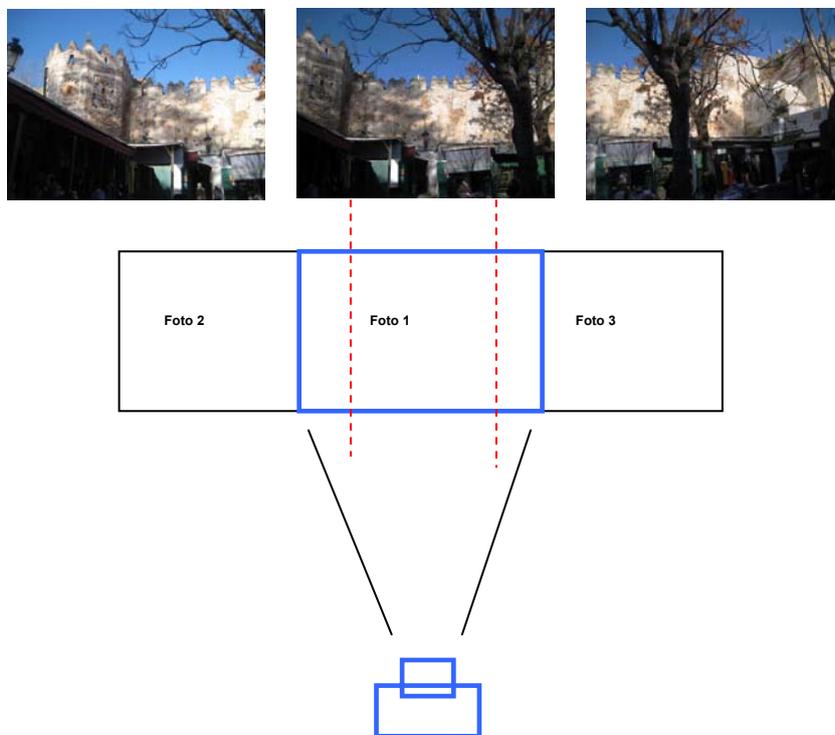


Fig. 36; El reportaje fotográfico del lienzo de muralla se levó a cabo siguiendo el criterio de pasada longitudinal y solape transversal de una imagen a otra de al menos un 20% de la superficie captada.

A pesar de estar tomada con una óptica más cerrada (50mm, que se traduce en 45° de ángulo de visión, el correspondiente al ojo humano), a fin de evitar, precisamente, las deformaciones propias de este tipo de objetivos, la panorámica final abarcará un ángulo de visión cercano a los 180°. Al ser el resultado de la suma de fotografías de mayor distancia focal, dicha panorámica queda libre de las aberraciones intrínsecas a

de un objetivo de gran angulación, como el *barrilete*, especialmente visible las imágenes captadas con un objetivo del tipo *ojo de pez*.

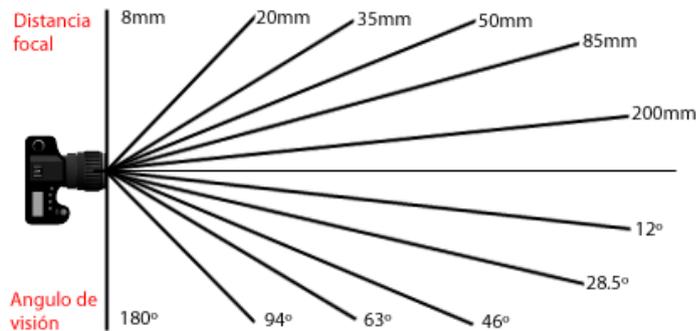


Fig. 37; Este esquema que recoge la relación entre la distancia focal y el ángulo de visión (apertura en grados) de un objetivo en una cámara de 35mm. La óptica que menos deforma el modelo es aquella que abarcan un ángulo de visión de entre 50 y 60°.

Una vez planteado el recorrido que haremos, situamos la cámara sobre el trípode y fijamos los parámetros de la toma a fin de que sean los mismos para toda la secuencia.

En este puesto debemos poner atención en que, al desplazarnos paralelos y a la misma distancia del lienzo de muralla, el "pasillo" que recorramos deberá estar libre de obstáculos que nos impidan situar el trípode y la cámara.

b) Torre Central -poligonal- y Sur -cuadrada-; tomas para la determinar la orientación relativa

En el caso de las torres, y siguiendo nuevamente las necesidades el programa que utilizaremos en este caso, debemos tomar al menos dos imágenes de cada una de las caras. Los resultados serán mejores cuanto más se diferencien los ángulos de cada una de las tomas, a fin de tener dos puntos de vista del mismo plano con los que establecer una triangulación que describa su geometría, pues el *software* se basa en la recomposición espacial de las imágenes para proyectarlas de nuevo sobre la forma geométrica que describe el elemento en la realidad, un plano rectangular en el caso de las caras de la torre.

Como se ha indicado anteriormente, el complicado acceso a algunas caras de la Torre Central -torre poligonal- o, la imposibilidad apenas de su contemplación en el

peor de los casos -Torre Sur, cara c^9 -, han supuesto una falta de información necesaria para conformar el modelo del elemento completo, como veremos durante el procesado de esa información por parte de los programas informáticos a lo largo de la siguiente fase de trabajo; *Trabajo de gabinete*.



Fig. 38; Torre Sur, caras *a*, *b*, y *c* y su conexión con el lienzo de muralla estudiado.

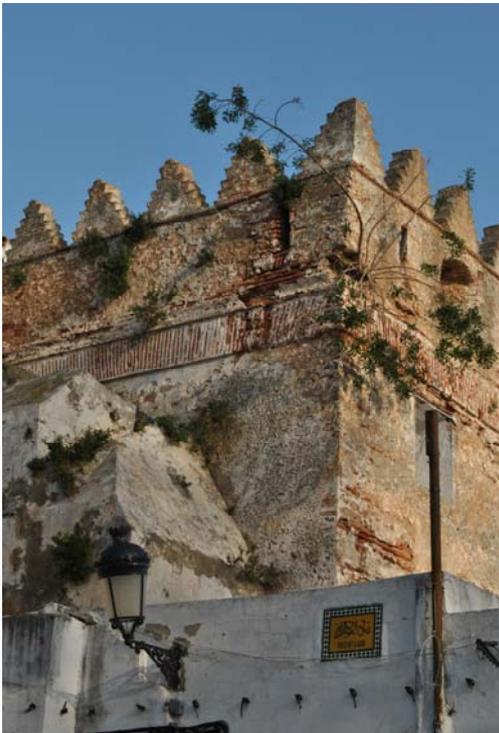


Fig. 39; Torre Central, caras *c*, *d*, *e* y *f*, y arranque de un nuevo tramo de muralla. La imagen, tomada desde el patio de una de las construcciones adosadas al muro original muestra su situación.

La fotografías realizadas a estas caras de la Torre Central no han sido lo suficientemente correctas como para una ortofoto fiable, por lo que se han excluido del mapa de daños.

⁹ La denominación de los lados -o caras- de cada una de las torres ha sido determinada de manera que el primer lado (*a*) se corresponde con el arranque de la torre con respecto al lienzo de muralla, de forma que: Torre Central -Poligonal-: La denominación de los lados ***a***, ***b***, ***c***, ***d***, ***e*** y ***f***, sigue el sentido de las agujas del reloj.

Torre Sur -cuadrada-: Sus cuatro lados, ***a***, ***b***, ***c*** y ***d***, se determinan en el orden inverso a las agujas del reloj.



Figs. 40, 41 y 42; Torre Sur, imágenes tomadas desde la plaza Souk El Hut al-Kadim, desde este punto sólo se tiene alcance visual a las caras *a* y *b* y su conexión con la muralla. La cara *c* de esta torre no puede apreciarse desde ningún punto de acceso público, motivo por el cual no se conoce y en consecuencia no se incluye en el mapa de daños realizado. No obstante, se ha querido incluir en el estudio a fin de dar unidad al conjunto.

3.3. Trabajo de gabinete

Esta fase se ha desarrollado fundamentalmente en tres puntos, cada uno de ellos correspondientes a los pasos necesarios hasta la consecución de un mapa de daños cuantificable¹⁰:

- Rectificación fotográfica por medio de dos procesos diferentes hasta la generación de la ortofoto para una fotogrametría de cada uno de los elementos descritos, a) Lienzo de muralla y b) Torres Central y Sur

- Diseño de un mapa de daños cuantificable a partir de una ortofotografía referenciada recogidos en un gráfico o póster capaz de reflejar toda esta información gráfica y numérica.

- Generación de un modelo 3D o maqueta virtual a partir de las cotas y medidas aportadas por la fotogrametría.

Llegados a este punto, creemos oportuno aclarar en qué consiste la fotogrametría, al menos de manera introductoria.

¿Qué es fotogrametría?

La fotogrametría (*Photos Gramma Metron*) es una técnica que estudia y define con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando medidas hechas sobre una o varias fotografías.

Las principales aplicaciones se encuentran en la cartografía y en el levantamiento de planos (tanto en las aplicaciones topográficas como no topográficas). En el caso de de la fotogrametría terrestre se utiliza en estudios en:

- Arquitectura y arqueología.
- Deformación de estructuras (presas, puentes, edificios,...)
- Criminología.
- Medicina y cirugía, etc.

El empleo de técnicas fotogramétricas ha ido incrementándose en los últimos años debido en parte al avance tecnológico y a su accesibilidad, tanto económica como técnica. La fotogrametría digital, consecuencia de este desarrollo tecnológico al

¹⁰ Ver anexo: ESQUEMA GRÁFICO; *Fases del Proyecto* al final de este capítulo, dónde se describe de manera fundamentalmente visual los pasos seguidos en cada punto del proceso, así como el/los programas utilizados en cada caso.

que nos referimos, se basa en la utilización de imágenes digitales. Una imagen digital es simplemente un mapa de píxeles y éste una matriz donde cada punto está ordenado en el espacio codificado unitariamente. Desde el punto de vista de las aplicaciones fotogramétricas, bastará conocer qué píxel corresponde al punto y cuál es la distancia principal, también medida en píxeles, para poder conocer su posición en el espacio. Al tratarse de información puramente numérica desaparece cualquier error derivado de los sistemas mecánicos de medición, así como de los ópticos de observación.¹¹

3.3.1. Rectificación fotográfica para una fotogrametría

De las diferentes técnicas utilizadas en fotogrametría, nosotros hemos optado por la rectificación fotográfica digital, al tratarse un método técnicamente asequible sin restar por ello calidad y rigor a los resultados.

La *rectificación fotográfica* es el proceso que consigue transformar o enderezar una perspectiva fotográfica obteniendo una representación semejante a la que se conseguiría en la fotografía estrictamente perpendicular al plano y eliminar las distorsiones geométricas producidas por el sistema óptico de captura. En la actualidad el resultado final es una fotografía digital corregida, realizada por una cámara sin ningún tipo de distorsión geométrica y presentada a una escala o resolución conocida.¹²

La limitación más importante de la rectificación es la falta de planeidad que pueda tener el elemento a rectificar. En el caso del lienzo de muralla y los lados de las torres a estudiar, cuya planeidad es total, esta limitación no supuso impedimento alguno.

De este modo, el proceso de restitución fotogramétrica se ha llevado a cabo en primer lugar por medio del programa de ensamblado de fotografías para conseguir la imagen corregida del lienzo de muralla y otro basado en la localización de la orientación

¹¹ Bonneval, 1972. En: Buill Pozuelo, F.; *Técnicas de levantamiento fotogramétrico de estructuras antiguas. Ejemplo de las murallas de Barcelona y Alepo*. Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico. Actas del XXXIV Curset. *Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico: Fortificaciones: intervenciones en el patrimonio defensivo*. Barcelona y Tortosa: Ministerio de Educación, Política Social y Deporte. Subdirección General de Información y Publicaciones, 2013, p. 81-86. A este respecto conviene recordar que la fotogrametría está recomendada por la UNESCO para la catalogación de monumentos y sitios.

¹² Martínez, J., Reche, E., y Buill, F.; *Modelo tridimensional de la Església parroquial de Sant Baldiri*, EPSEB-UPC, Barcelona, 2001.

relativa de un plano por medio de la intersección de los haces perspectivos de dos imágenes tomadas de un mismo modelo, utilizado en el caso de las torres.

Una vez fotografiados los elementos, siguiendo los requerimientos dictados por cada uno de los programas, éstas son volcadas a un ordenador donde, una vez seleccionadas las más adecuadas y corregidos levemente aspectos como el brillo, el contraste y la saturación, son cargadas en el *software* encargado de gestionarlas hasta la consecución de la fotografía ortogonal corregida, la ortofotografía.

A continuación describimos de manera pormenorizada ambos procesos, así como el programa específico utilizado en cada caso:

a) Lienzo de muralla

Hugin Panorama Photo Stitcher¹³. El *software* es capaz de obtener una imagen panorámica del lienzo de muralla mediante la suma o empalme de varias imágenes tomadas *ex profeso*. Sobre esta imagen resultante, podemos calibrar el punto de vista de la toma, la perspectiva y otras deficiencias inherentes en la técnica fotográfica (como la focal o las aberraciones propias del objetivo, entre otras), con el fin de eliminarlas y generar una imagen semejante a la que conseguiría una fotografía estrictamente perpendicular al plano.



Fig. 43; Batería de imágenes con las que se ha realizado la panorámica del lienzo de muralla, tomadas según requiere el programa utilizado.

¹³ Más información sobre este programa y sus características, en su página oficial:
<http://hugin.sourceforge.net/>

Cargadas las fotografías en el programa, el procedimiento seguido dentro de la aplicación ha sido el que sigue:

Unión de fotografías con puntos en común

En este caso, al tratarse de un elemento de formato eminentemente horizontal, las imágenes se han tomado con la intención de describir de lado a lado todo el lienzo de muralla, es este modo, el primer paso será unir esas fotografías y crear una imagen panorámica con ellas.

El programa Hugin empalma las imágenes seleccionadas asignando estos puntos en común como puntos de control, es decir, los puntos de *sutura* por dónde se establecerá la unión entre una fotografía y la siguiente.

De forma manual, el usuario puede afinar -con una precisión píxel a píxel- y reducir las cotas de error resultantes de por los puntos calculados por el sistema, a fin de tener pleno control sobre dichos puntos de unión.

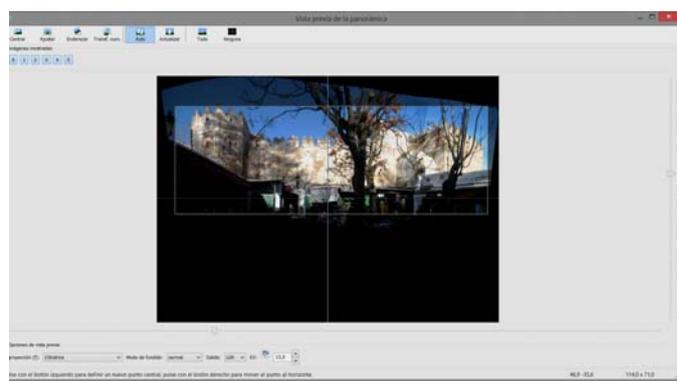
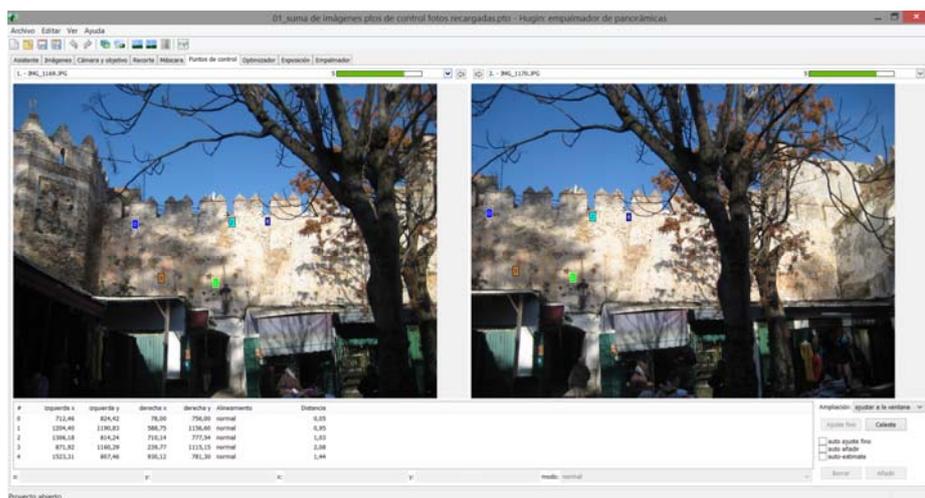


Fig. 44; Captura de pantalla durante el proceso de localización de puntos en común entre una imagen y su posterior. Estos puntos serán los *puntos de sutura* por medio de los cuales Hugin une las fotografías independientes hasta crear una panorámica completa -imagen inferior- que seguiremos ajustando en los sucesivos pasos.

Establecimiento de líneas verticales y horizontales. Corrección del punto de vista

A diferencia de otros programas de este tipo, conocidos como *Photo stitching* (literalmente *cose-fotografías*), una vez que se obtiene la imagen panorámica gracias al cosido de esas imágenes, Hugin ofrece también la opción de corregir la distorsión y otras aberraciones derivadas del punto de vista de la toma y su angulación, así como las relativas a la óptica seleccionada. En nuestro caso, al tomar las fotografías desde un punto de vista prominentemente contrapicado, éstas reflejan un acusada distorsión cónica, cuyo punto de fuga se situaría muy por encima del muro, por este motivo las líneas que en realidad son verticales y paralelas entre sí, aparecen en la imagen del conjunto oblicuas y orientadas hacia ese punto de fuga al que nos referimos. Con otras de sus herramientas, el *software* permite enmendar esta incorrección añadiendo de manera manual nuevos puntos de referencia, en este caso, aquellos que describen las líneas que se correspondan con verticales y horizontales en el modelo, en la realidad. De esta manera, las líneas erróneamente inclinadas debido a la toma, pasan a enderezarse y a trazar paralelas y perpendiculares correspondientes con la realidad, referenciados con los vértices y aristas contenidos en el muro con respecto a las torres que lo flanquean o a las almenas que lo coronan.

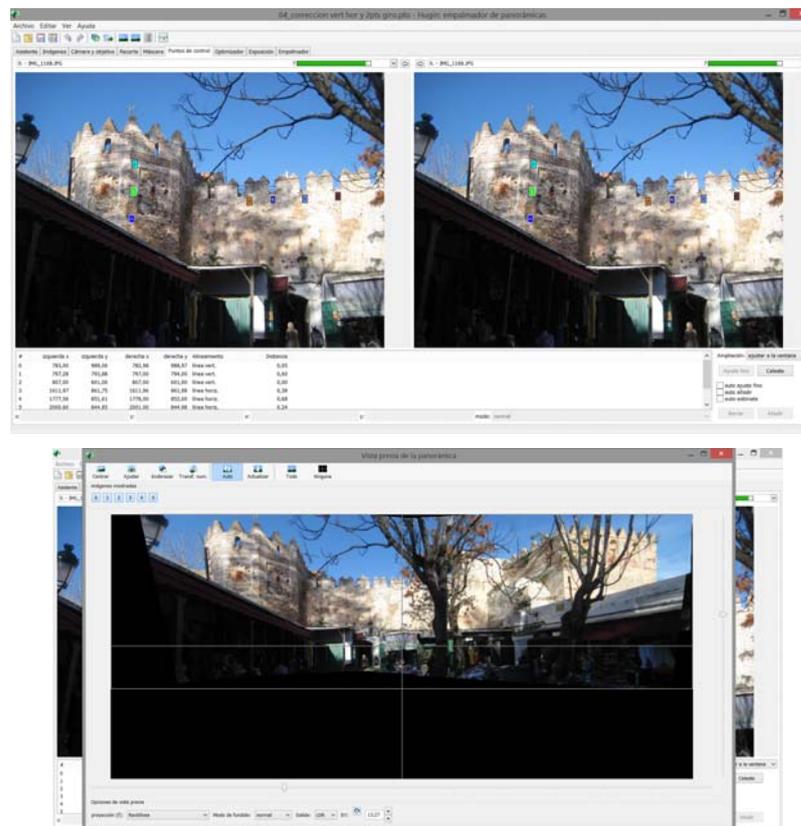


Fig. 45; Captura de pantalla, establecimiento de líneas verticales y horizontales. Una vez introducidas manualmente, el programa reajusta de nuevo el punto de vista de la toma y devuelve una nueva imagen más ajustada con el modelo real.

Tapado de elementos. Máscara

Como observamos en la Fig. 46, la panorámica obtenida presenta los dos árboles ubicados en la plaza y que interrumpen la visión de ciertas zonas del lienzo de muralla.



Fig. 46; Panorámica del lienzo de muralla con las líneas verticales y horizontales corregidas, lo que indica un punto de vista perpendicular y libre de deformaciones. Sobre esta imagen trataremos a continuación de incrustar dos imágenes más con la finalidad de aportar la información correspondiente al área tapada por los troncos de árbol.

Con la herramienta *Máscara de exclusión* del propio programa, tratamos de reducir al máximo las zonas tapadas por los troncos de árbol. Para ello sumaremos a las fotografías cargadas para hacer la panorámica dos nuevas imágenes, cuya toma capte las partes ocultas. Para conseguir dicha premisa, estas fotos extra han sido tomadas desde un punto de vista que no se corresponda con el *travelling* descriptivo al que nos hemos referido anteriormente, en este caso una fotografía de detalle del muro y otra toma situando la cámara prácticamente a misma altura del árbol.

Cargadas ambas imágenes, tratamos de encontrar los puntos que una y otra tienen en común con la panorámica. En este caso la asignación de esas coincidencias se realiza manualmente, dada la diferencia de estas nuevas imágenes con respecto a las tomadas en batería el programa no reconoce por sí mismo la relación entre imágenes como sí lo hiciera en pasos anteriores. Una vez asignados dichos puntos comunes, las fotografías añadidas y sobre las que se ha aplicado la máscara de exclusión, éstas quedan incrustadas en la panorámica final. Ahora se pueden apreciar nuevos puntos del lienzo antes ocultos tras los árboles.

Si bien la apreciación de estas áreas quizás no pueda considerarse determinante en el proyecto, hemos considerado que, además de aportar nueva información, es

importante conocer dicha herramienta incluida en el programa ya que, en situaciones menos forzadas que la que nos ocupa, el uso de esta máscara de exclusión puede suponer una considerable mejoría en la conformación de la imagen panorámica definitiva.



Figs. 47 y 48; Imágenes del propio lienzo de muralla, al ser tomadas desde otro punto de vista distinto al elegido para las fotografías de la panorámica, permiten apreciar *qué hay detrás de los árboles*. Por este motivo se han incrustado en la panorámica del lienzo, aportando ahora más datos sobre esta parte de la superficie de la muralla.

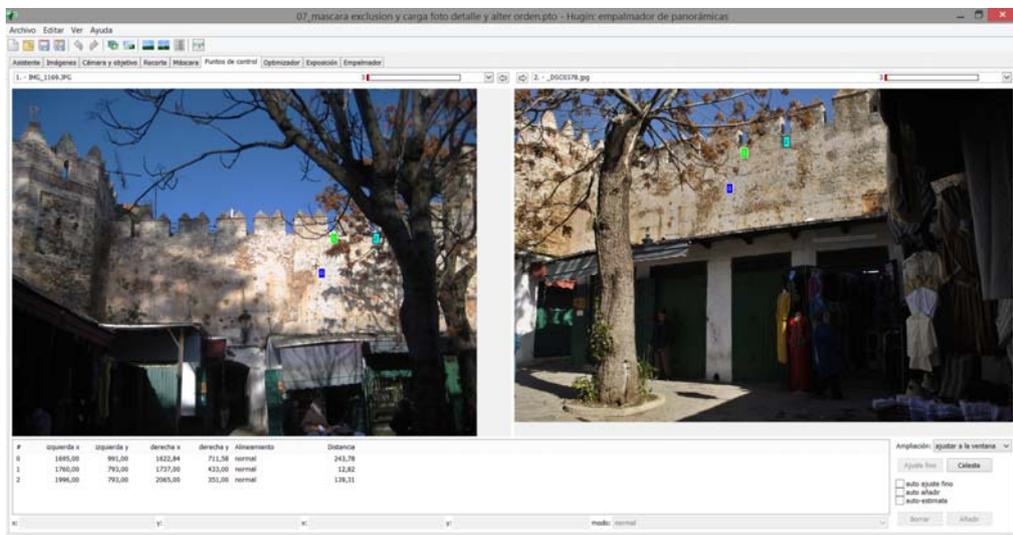


Fig. 49; Captura de pantalla, aplicación de la máscara de exclusión y adición de las fotografías antes referidas en la panorámica del conjunto. Los puntos en común entre las nuevas imágenes y la panorámica se introducen manualmente. Al no haber marcas o referencias claras, la búsqueda de dichos puntos ha sido muy minuciosa pero eficiente.



Fig. 50; Imagen panorámica del lienzo de muralla sin la aplicación de la máscara de exclusión que permite la incrustación de dos nuevas tomas a fin de minimizar en lo posible la obstrucción de los árboles situados ante el muro.



Fig. 51; Resultado tras la aplicación de la máscara de exclusión donde se aprecia la diferencia y por el alcance de esta herramienta. Esta panorámica definitiva será la que, a continuación, escalaremos con ayuda del programa Adobe Photoshop.

b) Torres Central y Sur¹⁴

En este caso las imágenes fueron tomadas igualmente desde la plaza Souk El Hut al-Kadim y sus alrededores, desde un punto de vista contrapicado. Como venimos indicando, sólo se ha podido realizar este proceso de obtención de la ortofotografía del conjunto sobre las caras *a*, *b* y *c* de la Torre Central de la alcazaba tetuaní.

Para la preparación de las imágenes corregidas de la torre Central de la alcazaba se ha recurrido al programa Autodesk ImageModeler 2009.¹⁵ El *software* es capaz *modelar* en 3D a partir de un conjunto reducido de imágenes, indicando puntos comunes en varias fotografías (15/20 puntos), a partir de los cuales el programa calibra las cámaras y sitúa en un espacio 3D tanto las cámaras como los puntos marcados, generando una pequeña nube de puntos sobre la que se pueden construir elementos en ese espacio 3D (cubos, cilindros, o en nuestro caso superficies rectangulares ajustadas a las caras de la torre) Sobre las superficies modeladas en 3D se proyecta la imagen fotográfica, corrigiendo la distorsión perspectiva de la toma.

Los pasos seguidos hasta la consecución de dichas imágenes de los lados *a*, *b* y *c* de la Torre Central han sido los estos:

Localización de puntos en común

Una vez cargadas las imágenes del modelo tratamos de localizar con la mayor precisión posible los puntos que aparezcan en ambas tomas, de esto modo, el programa calculará por triangulación la perpendicular al modelo, una cara de la torre en este caso.

Al tratarse nuestro modelo de un plano regular de cuatro lados -un rectángulo, en última instancia- la definición de los puntos en común puede complementarse con otras herramientas de calibración ofrecidas por el programa; *Restricciones*.

¹⁴ Aunque estaba previsto la realización de este modelo para las torres Central y Sur, finalmente y debido a un número de fotografías insuficientes según las requeridas por este proceso, sólo se ha podido trabajar sobre tres de las caras de la torre central -planta poligonal-. Nos obstante, seguimos trabajando en la búsqueda de otras herramientas y recursos que nos permitan obtener estos modelos y su ortofotografía para poder incluirlos finalmente en el mapa de daños. No obstante, estamos buscando otras vías para abordar las caras imposibles de obtener con este proceso.

¹⁵ Autodesk ImageModeler 2009 es un *software* de modelado y fotogrametría basado en imágenes que ayuda a generar modelos 3D a partir de imágenes digitales 2D.

En nuestro caso, se ha trabajado con una versión de prueba del mismo, cuya duración es de 30 días. La licencia de programa es gratuita con la suscripción a otros productos de Autodesk. Más en: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11390028&siteID=123112>

Restricciones

Localización de ángulos rectos

Las restricciones permiten ajustar sobre la imagen ciertos valores conocidos. De este modo, al indicar qué ángulos son rectos en el modelo, y por tanto, definir qué líneas son perpendiculares entre sí -el marco de la ventana en este caso-.

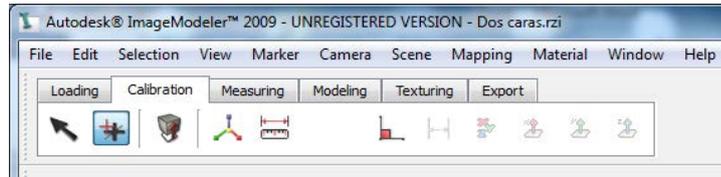


Fig. 52; Captura de pantalla del programa, barra de herramientas, iconos del tipo *Restricciones*.

Orientación de los Ejes XYZ

La orientación de los ejes XYZ de este espacio tridimensional, supone una reorientación de las imágenes y del haz que marca la triangulación de la toma por parte de la aplicación.

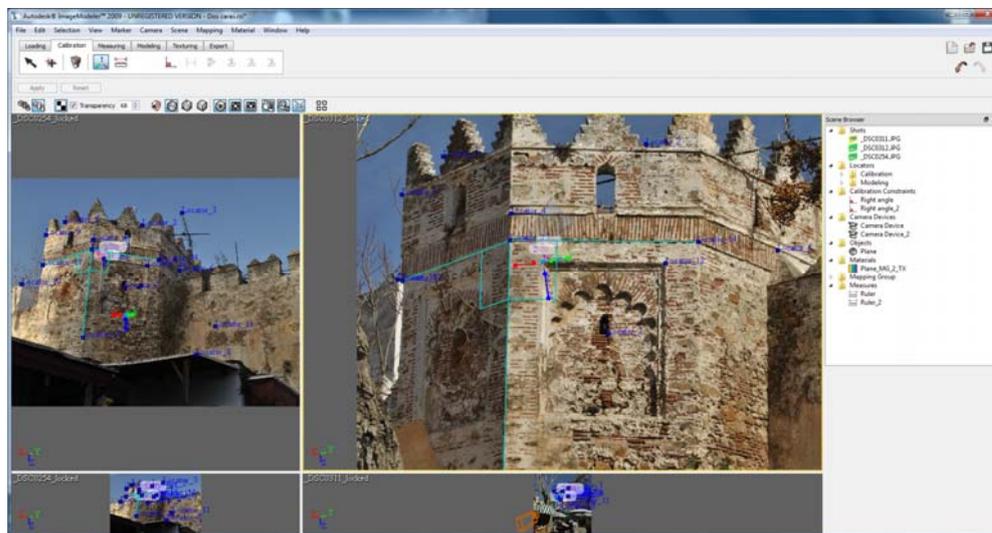


Fig. 53; Captura de pantalla, pueden apreciarse la aplicación sobre las imágenes de dichas restricciones; la definición de los ángulos rectos -azul claro- y la orientación de los ejes XYZ -rojo, verde y azul respectivamente-.

Definición del plano

Una vez establecida la orientación tridimensional del modelo, un plano correspondiente a uno de los lados de la torre en nuestro caso, definimos el área en el que éste se inscribe y que será el que delimite la imagen resultante.

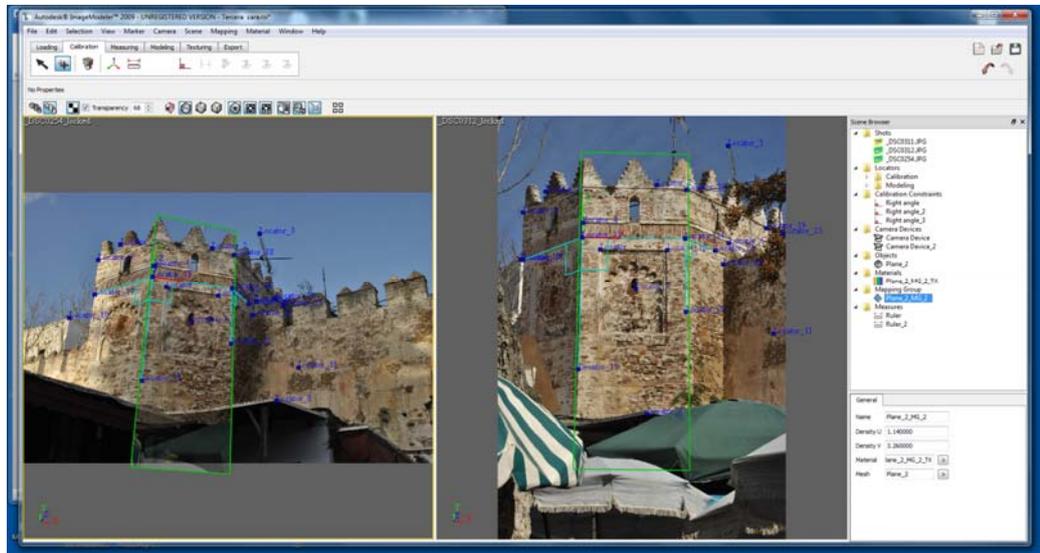


Fig. 54; Captura de pantalla de ImageModeler, el marco verde indica el área que será devuelta, una vez proceda, como imagen ortogonal, la ortofotografía que buscamos.

Obtención de la imagen reorientada

El resultado de esta operación es la salida de la imagen inscrita en el marco indicado anteriormente -definición del plano-, redefinida de manera que, por triangulación, se recrea lugar y orientación en el espacio tridimensional que rodea al modelo para situar en dicho espacio la cámara (punto de vista) perpendicular a la superficie a fotografiar.



Figs. 55, 56 y 57; Torre Central, Caras *c*, *b* y *a* respectivamente, imágenes ortogonales obtenidas tras este proceso. Al tratarse de archivos tipo *.tiff*, se puede trabajar con ellas como archivos de imágenes al uso.

3.3.2. De la ortofotografía a la imagen fotogramétrica. Escalado de las imágenes resultantes

Para concluir definitivamente el proceso digital de obtención de la ortofotografía de nuestro modelo debemos asignarle cotas y medidas, calculadas a partir de al menos un valor real conocido. Tras esta operación cualquier medida tomada en la imagen se corresponderá con el modelo real. De este modo, para poder tomar medidas y cuantificar directamente sobre la ortofotografía tenemos que hacer coincidir sus cotas con las reales. En este aspecto la fotografía digital ha supuesto un cambio radical, pues al no ser necesario sacar la imagen en papel -lo que correspondería a una positivo fotográfico en el ámbito de la fotografía argéntica- podemos medir directamente sobre la imagen vista en la pantalla del ordenador, basta con reajustar la resolución de la fotografía para redimensionarla digitalmente.

Como ya hemos señalado anteriormente la fotografía digital es simplemente un mapa de píxeles y éste, a su vez, una matriz donde cada punto está ordenado en el espacio y codificado unitariamente. Desde el punto de vista de las aplicaciones fotográficas digitales cada uno de éstos píxeles tendrá su punto correspondiente en el espacio real, razón que nos permite computar el valor numérico entre dos puntos.

Este cálculo se basa en la relación entre la distancia entre dos puntos dentro del modelo ($d_{\text{referencia}}$), y su equivalente en la imagen -fotografía- (d_{imagen}) por la que obtendremos f (factor de escala) en relación a la y la resolución de la fotografía, descrito en la siguiente fórmula:

$$f = d_{\text{imagen}} / d_{\text{referencia}}$$

$$\text{Tamaño de la imagen} = \text{resolución} \times f$$

En nuestro caso, al conocer las cotas en planta -Figs. 59 y 60 de las siguientes páginas, extraídas del archivo *.dwg*¹⁶ que recoge el plano parcelario de la ciudad de Tetuán-, una vez contratadas y/o complementadas con los datos tomados *in situ* en el lienzo Noroeste -NO-, aplicamos esta medida como referencia para nuestra ecuación y tomamos en la imagen varias cotas con ayuda de la herramienta *Regla* que ofrece Adobe Photoshop. Esta longitud conocida tanto en la imagen como

¹⁶ Archivo *medina tetouan.dwg* elaborado por la Escuela Técnica Superior Ingeniería de Edificación -ETSIE- de la UGR a partir de los datos tomados *in situ* y con los medios precisos y adecuados para la realización de plano parcelario de la ciudad de Tetuán.

en su referente, añadida a los datos relativos a la resolución de la imagen -tamaño de la imagen según Photoshop- nos permite completar los valores necesarios para calcular la ecuación y reescalarla de manera que las cotas reflejas en la fotografía se correspondan con las reales. Dicho reescalado nos permite ahora medir cualquier cota o elemento de nuestra imagen, es el caso de la altura de la muralla, y en consecuencia la distancia entre los cuatro puntos que describen su altura y longitud, sus coordenadas XY en un plano cartesiano -bidimensional-.

Photoshop. Herramienta Regla y Tamaño de imagen

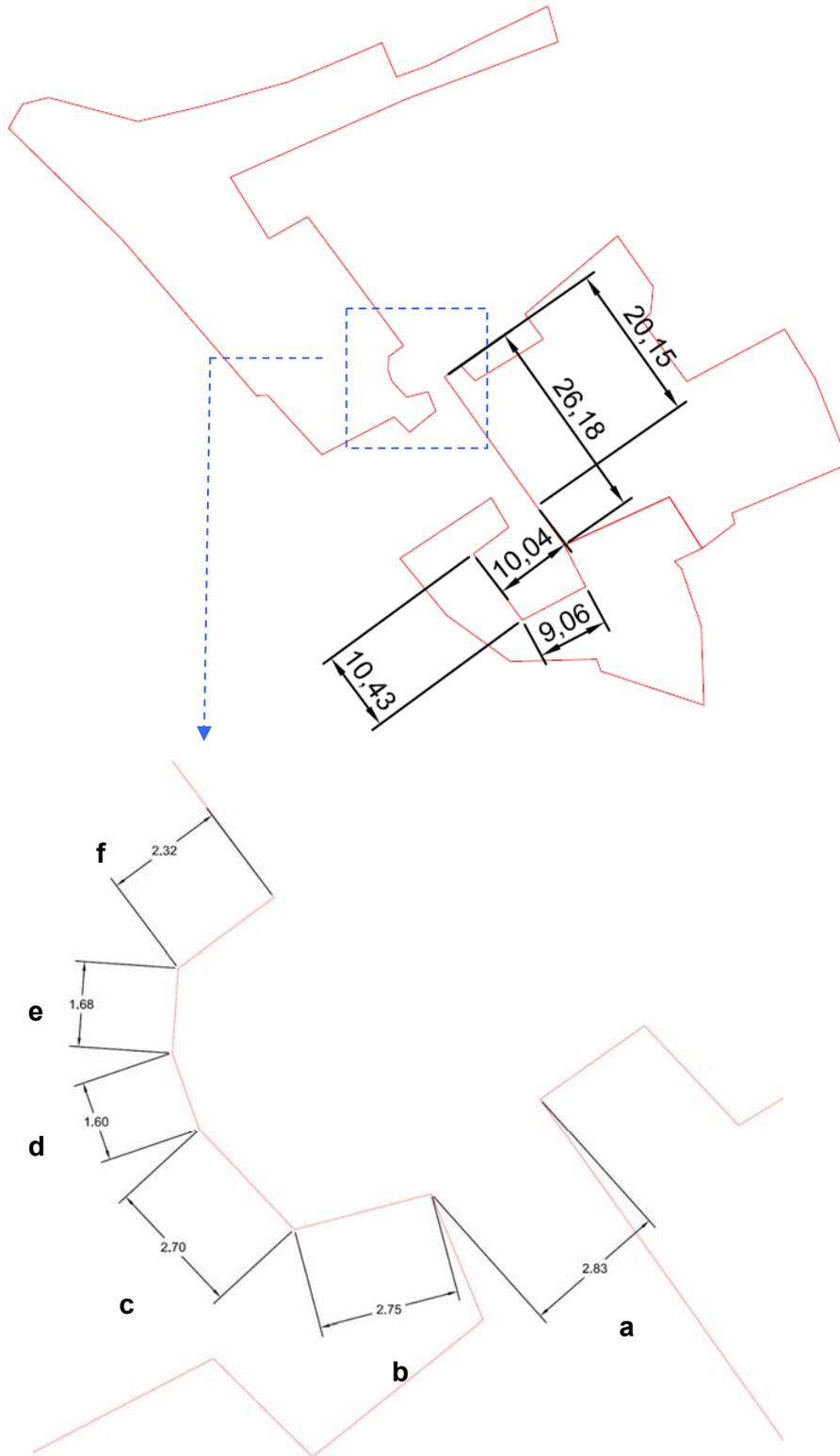
La mayoría de los programas informáticos concebidos para trabajar con imágenes fotográficas incluyen entre sus opciones la de redimensionar dicha imágenes cambiando su resolución.

En nuestro caso, hemos utilizado para esta tarea el *software* Adobe Photoshop, en su versión gratuita de prueba. Se trata de un programa de uso muy extendido y que permite realizar múltiples opciones sobre la imagen en la que se está trabajando. Para el redimensionado de nuestras ortofotografías nos centramos en el uso de la herramienta *Regla*.

Tomando como cota principal la longitud del lienzo de muralla -el largo que va desde su arranque en una y otra torre- realizamos a continuación el cálculo que relaciona esta medida con la real -20,15 metros- como indica el plano parcelario y aplicando este cálculo al tamaño de la imagen para su reajuste en el menú *Tamaño de la imagen* del propio programa. El resultado es una imagen cuyas dimensiones coinciden con la realidad, una imagen a escala 1:1.

Estas mismas operaciones se han llevado a cabo en cada uno de los lados de la torre de los que tenemos ortofotografía, es decir, los lados *a*, *b* y *c* de la Torre Central de la *kasbah*.

De la precisión en la generación de la imagen no deformada -ortofotografía- por un lado, y del tamaño final de estas imágenes -reajuste de su resolución- dependerán todos los datos cuantitativos que sobre ellas queramos calcular. Conscientes de esta premisa, gran parte del desarrollo de este TFG se ha centrado en la consecución de unas imágenes fotogramétricas fiables, hecho que consideramos un logro más que significativo.



Figs. 58 y 59; Cotas en planta (metros) de los elementos estudiados; Lienzo de Muralla SO y las Torres Central -detalle- y Sur, fragmentos extraídos del plano parcelario de la Medina de Tetuán. Se incluyen en la fotogrametría y el mapa de daños elaborados las caras *a*, *b* y *c* de la Torre Central.

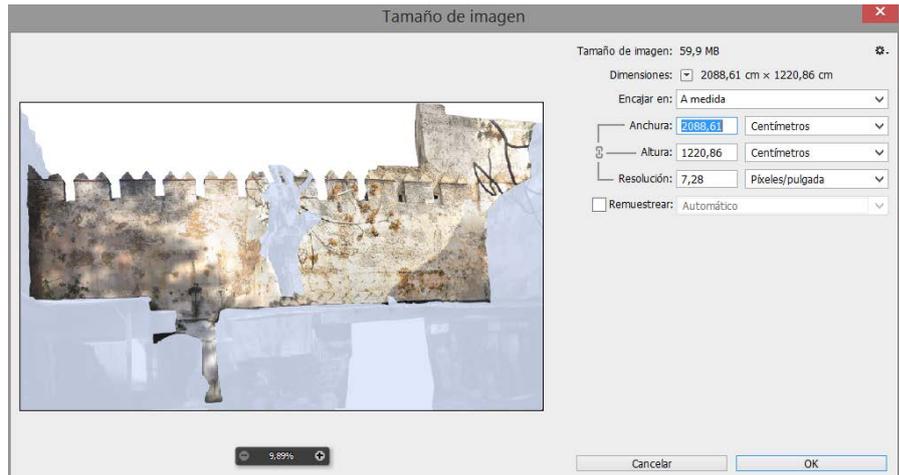


Fig. 60; Captura del pantalla de la ventana flotante *Tamaño de Imagen* en Phoptshop. Como vemos, al introducir el valor Resolución, realizado tras la aplicación de fórmula antes descrita, la aplicación redimensionará la fotografía a escala 1:1.

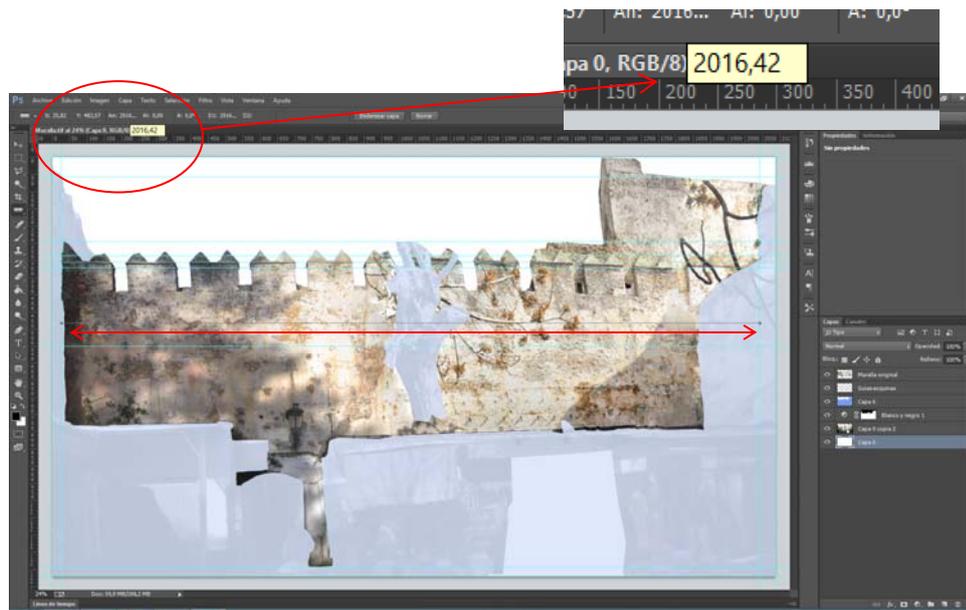


Fig. 61; Con la herramienta *Regla*, podemos tomar sobre la imagen todas las cotas que consideremos. Como vemos en esta captura de pantalla de la imagen del lienzo de muralla una vez reescalado, su longitud -20,15 metros, según el plano parcelario- pasa en la imagen a 20,16m, apenas un centímetro de diferencia en la toma de la medida más larga del modelo, dato que da muestras de la precisión de las imágenes. Ahora también podremos obtener con precisión las cotas en altura, valores desconocidos hasta este momento.

3.3.3. Generación de un mapa de daños, datos cuantificables

Una vez obtenidas las imágenes corregidas en deformaciones y escaladas de cada uno de los elementos, imágenes fotogramétricas, son muchas las aplicaciones que pueden darse a estas ortofotografías, pues en sí mismas recogen ya mucha información, especialmente la relativa a cotas y áreas y toda la que de ésta pueda desprenderse. En nuestro caso, y dado que este estudio se ha llevado a cabo en el ámbito del Grado en Conservación y Restauración en el que nos hallamos, hemos optado por la realización de un mapa de daños capaz de expresar de manera cuantitativa las alteraciones detectadas en el Inmueble, y por tanto, valorar con mayor precisión su alcance en superficie.

Para esta tarea se ha trabajado con el programa de sistema de información geográfica (SIG) QGis¹⁷ en su última versión, denominada 2.8 *Wien*, ya que, al concretar zonas sobre imágenes previamente georeferenciadas y acotadas es capaz de calcular numéricamente ese área, en nuestro caso, el alcance de una alteración sobre la fachada.

QGis, ¿Qué es?

Anteriormente conocido como Quantum GIS), Qgis es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Este programa permite manejar formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Algunas de sus características son:

Soporte para la extensión espacial de PostgreSQL, PostGIS.

Manejo de archivos vectoriales

Soporte para un importante número de tipos de archivos raster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.)

Este *software* es de uso libre que podemos descargar directamente de su página, las versiones están en continua revisión y mejora e incluye el español como uno de sus idiomas a elegir para la *interface*. Estas ventajas, sumadas a su rendimiento, han hecho que nos decantemos por esta programa para la realización de este estudio.

A continuación describiremos los pasos seguidos para el diseño de un mapa de daños sobre el modelo:

¹⁷ Más información en su enlace *web*: <http://www.qgis.org/es/site/>

Establecimiento espacial de los elementos. Capa raster, georeferenciador

En primer lugar tenemos que situar en el espacio los elementos incluidos en el proyecto. El establecimiento espacial preciso se consigue ubicando en el espacio de trabajo los cuatro elementos que compondrán nuestro mapa de daños, Lienzo de muralla SO y caras a, b y c de la Torre Central de la alcazaba, asignamos a sus puntos principales -cada una de sus cuatro esquinas al estar inscritos en un rectángulo- un valor de coordenadas XY. Al conocer las medidas exactas de cada elemento -tomadas con la herramienta *Regla* en Photoshop- podemos asignar a cada punto (0, 1, 2 y 3) un punto en el espacio de coordenadas XY. De este modo el lienzo de muralla, primer elemento a ubicar, se establecerá espacialmente según las coordenadas dadas por su medidas (largo; Eje X, horizontal y alto; Eje Y, vertical), siendo el punto XY=0.00-0.00.

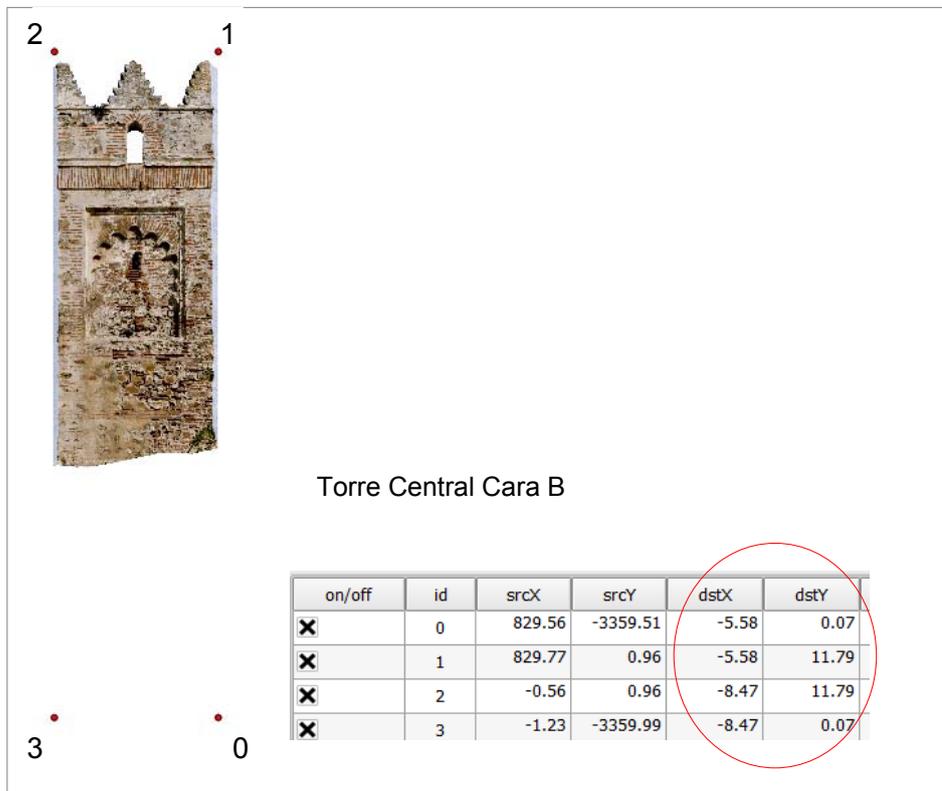
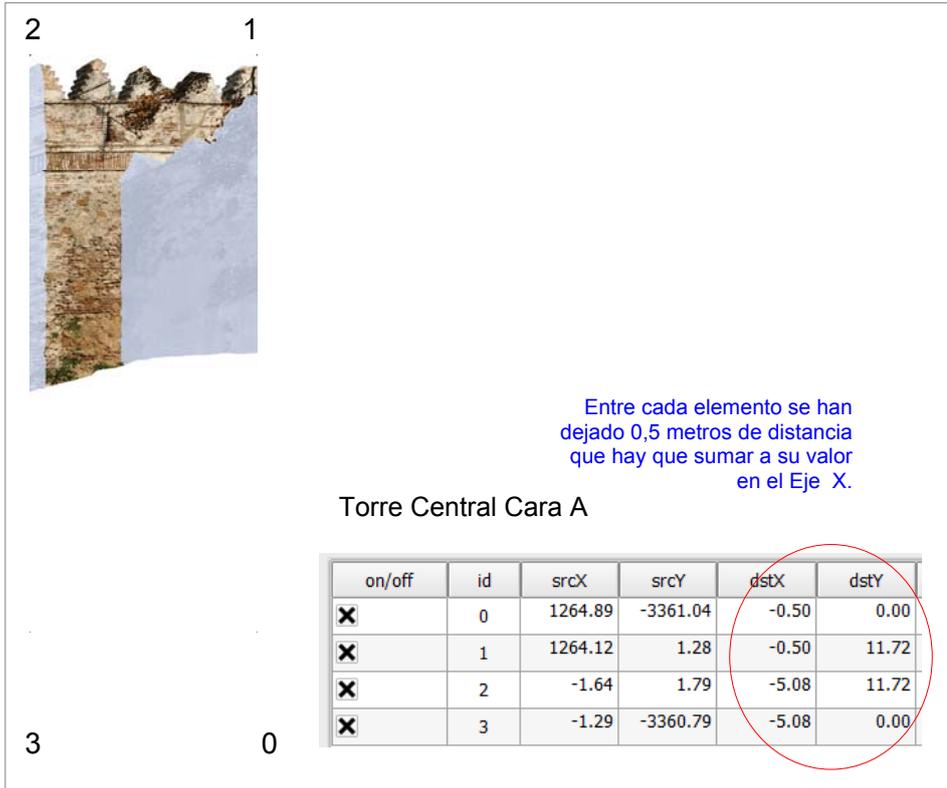


Este es punto 00, 00, desde aquí se asigna la ubicación espacial de los elementos, los colocados a su izquierda tendrán valor negativo en el eje X, horizontal

Lienzo de muralla SO

on/off	id	srcX	srcY	dstX	dstY
<input checked="" type="checkbox"/>	0	-0.46	-3499.53	0.00	0.00
<input checked="" type="checkbox"/>	1	5986.37	-3499.44	20.88	0.00
<input checked="" type="checkbox"/>	2	5986.55	0.62	20.88	12.20
<input checked="" type="checkbox"/>	3	-0.42	0.36	0.00	12.20

Fig. 62; Valores XY, coordenadas que se corresponden con los cuatro puntos que delimitan la imagen y que coinciden con sus medidas de largo y alto, tomadas de la imagen a escala real generada en los pasos anteriores de este proyecto.



Figs. 63 y 64; Ubicamos el resto de elementos, los lados de la torre, desde su lado a hasta el c, el más alejado de la muralla.

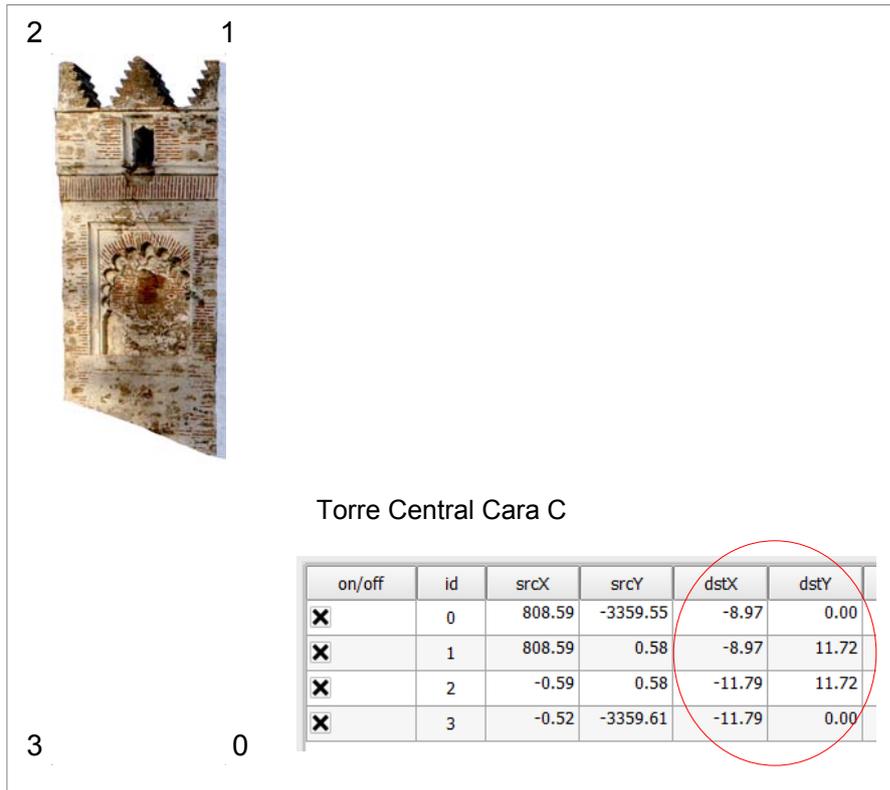


Fig. 65; Por último, la cara c de la torre y su ubicación en el espacio XY. Los valores X corresponden a la suma del largo de las caras a y b y del espacio de 0.5 metros que hemos dejado como margen entre cada elemento.

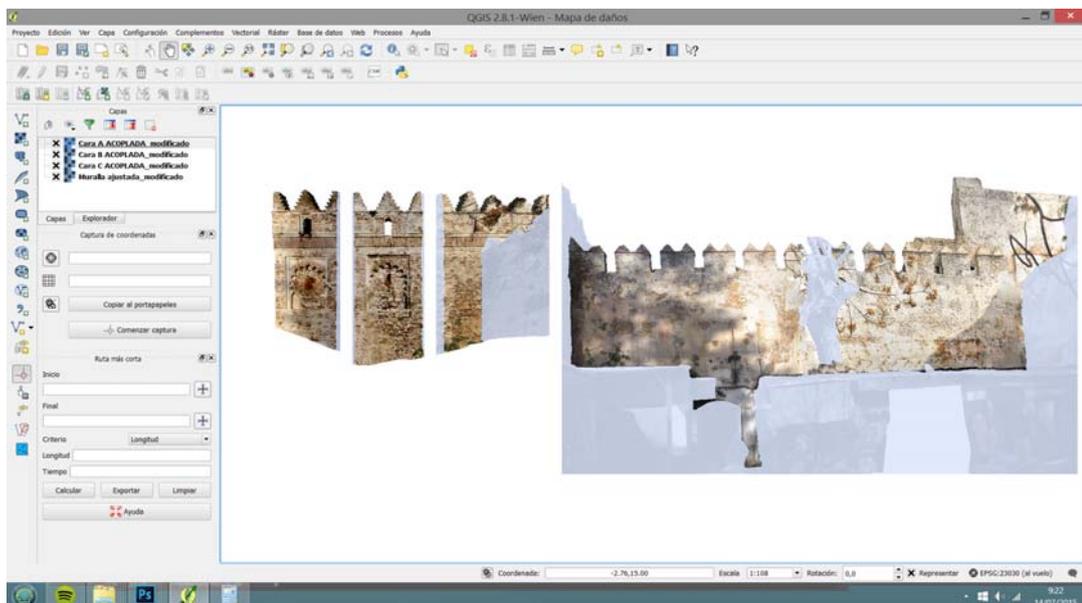


Fig. 66; Captura de pantalla una vez ubicados los cuatro elementos en el espacio de trabajo. Al conservar sus cotas, cualquier medición que realicemos será fidedigna con respecto al modelo real.

Introducción de las alteraciones

Una vez georreferenciados los elementos podemos a continuación dibujar sobre ellos las alteraciones, materiales o todo aquello que creamos oportuno valorar en el Bien Inmueble. Al trabajar por capas, podremos hacer tantas versiones, ocultándolas o no, como consideremos a la hora de mostrar gráficamente dichas alteraciones sin cambiar por tanto la imagen georreferenciada de este fragmento de la alcazaba. De este modo, se ha asignado una capa a cada una de las alteraciones que hemos incluido sobre la imagen. Estas capas son tratadas por el programa como *Capa de archivo Shape*, capa de tipo vectorial a la que se pueden asociar atributos en campos que más tarde utilizaremos para el cálculo de valores.

Las capas de archivo *Shape* pueden dibujarse como punto, línea o polígono, esta última opción es la que ha tomado para el dibujo de las manchas que recogen las alteraciones desarrolladas en superficie. En el caso de la alteración *Pérdida de material*, este tipo de capa es además de tipo categorizado, ya que permite establecer escalas de valor dentro de una misma capa. Dicha escala tendrá un aspecto gráfico diferente debido a su color, sin embargo, la mayor utilidad de la capa categorizada estriba a la hora de calcular y gestionar los datos numéricos relativos a esa capa y, en consecuencia, a la alteración que ilustra.

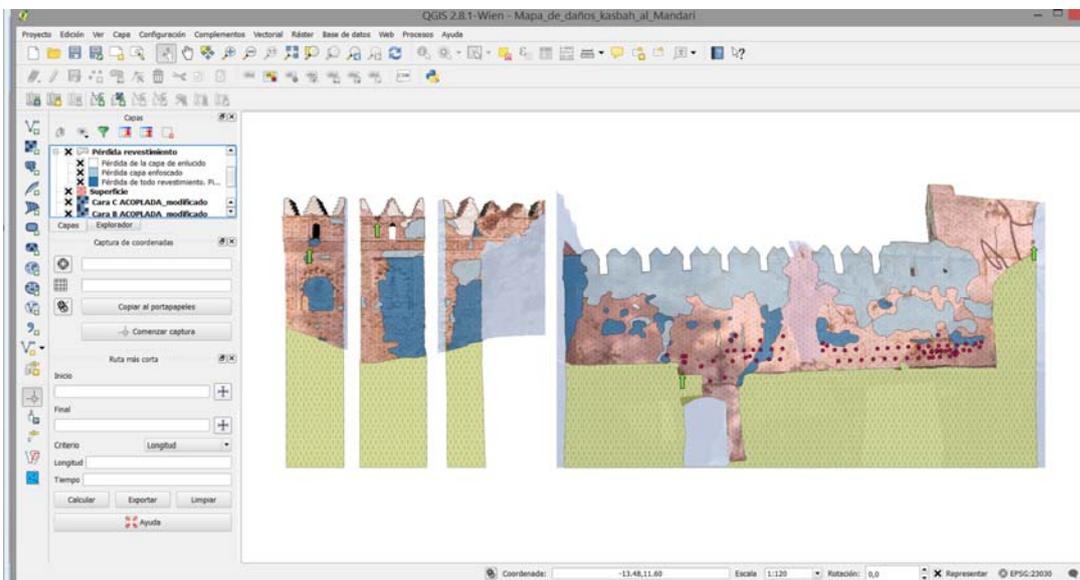


Fig. 67; Captura de pantalla realizada durante la definición de una capa de archivo *Shape*. Cada una de estas capas recoge una alteración. A la izquierda se encuentra el menú desplegado de las capas, podemos ocultarlas o dejarlas visibles y hacer así tantas versiones como queramos, por elementos, por alteración, o solamente las ortofotografías de dichos elementos arquitectónicos.

Obtención de datos numéricos y cálculo de operaciones en tablas o gráficos

Como si de una hoja de cálculo del tipo Microsoft Excel se tratara, QGis elabora tablas con los datos introducidos en las capas de archivo *Shape* antes referida, sobre éstos, nos permite calcular operaciones comunes en las hojas de cálculo, como sumas, restas y porcentajes. Una aplicación directa es la suma de áreas y por tanto el alcance en superficie de una alteración, patología o material de construcción utilizado, por ejemplo. Dichas tablas pueden ser exportadas como hojas de cálculo de los que extraer gráficos que contengan dicha información numérica.

Para este estudio, hemos calculado cuantitativamente el área total de los elementos (lienzo de muralla y caras de la torre), el área de las partes ocultas tras las construcciones adheridas y por tanto la relación entre la superficie total y la que se corresponde con elementos originales de la muralla medieval.

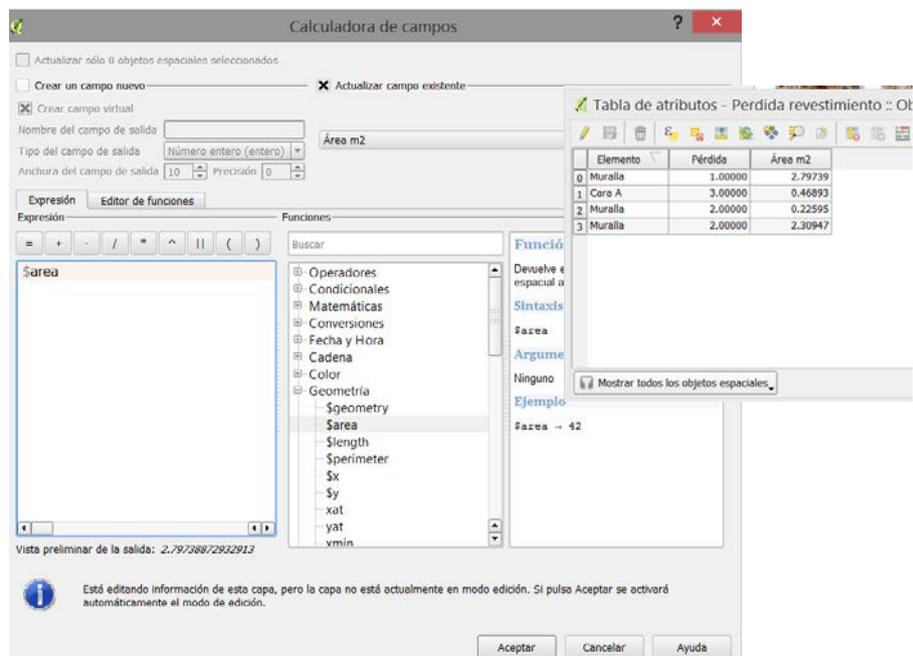


Fig. 68; Imagen de la calculadora de campos con algunas de sus funciones. Al agregar atributos a la capa de archivo *Shape* podemos aplicar cálculos sobre los datos que éstas incluyan.

Conocer con precisión el alcance de un deterioro supone una información de importante valor a la hora de establecer el estado de conservación del Bien Cultural al que nos enfrentamos, *máxime* si se trata de un Bien Inmueble donde los valores suelen de mayor tamaño que los que podamos encontrar en un lienzo, por ejemplo. En este sentido, establecer los criterios y prioridades, en definitiva, diseñar la intervención en cuanto a recursos técnicos y humanos será más precisa con el conocimiento de estos datos.

Diseñadores de impresión

Por último, el gestor de diseño del propio programa permite realizar un póster con toda esta información, haciendo continua referencia a la escala, ya que podemos incluir en nuestro diseño una escala gráfica relativa a los elementos. También nos permite incluir la leyenda de las capas, así como las tablas de datos con los cálculos que consideremos oportunos.

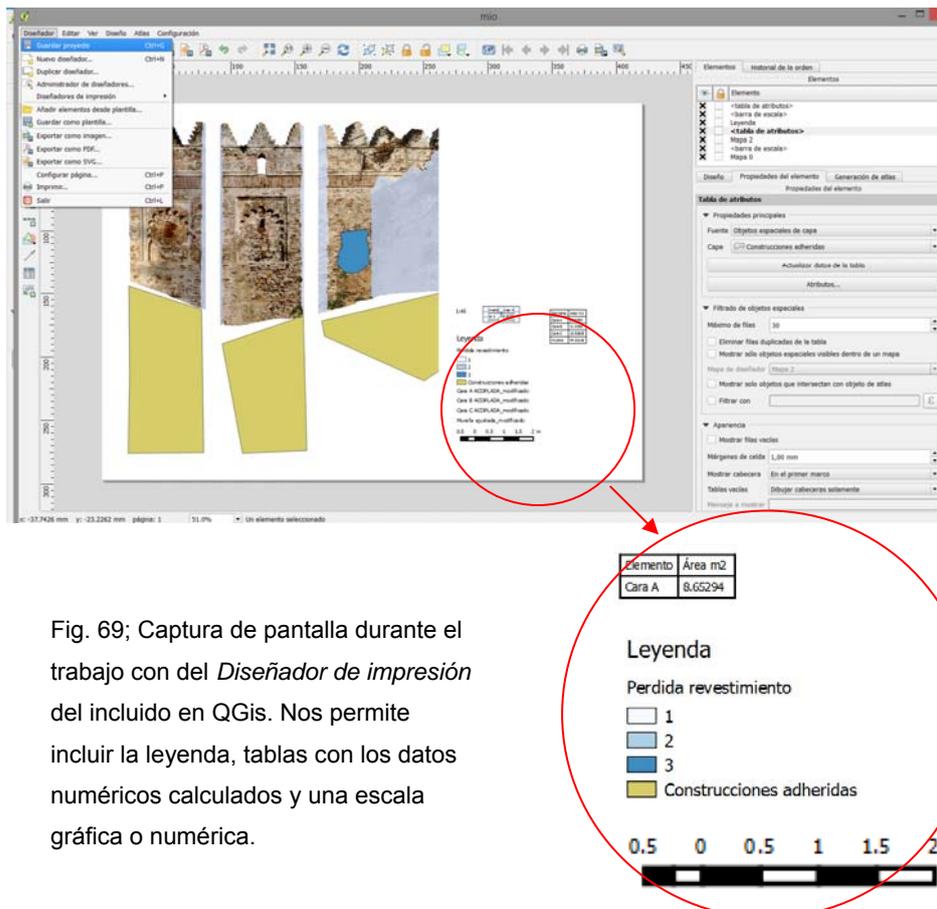


Fig. 69; Captura de pantalla durante el trabajo con del *Diseñador de impresión* del incluido en QGis. Nos permite incluir la leyenda, tablas con los datos numéricos calculados y una escala gráfica o numérica.

La extracción del archivo en formato *.pdf*, opción elegida finalmente, ya que estos mapas son presentados en soporte impreso, incluidos en el punto 4. *Productos finales* de este trabajo.

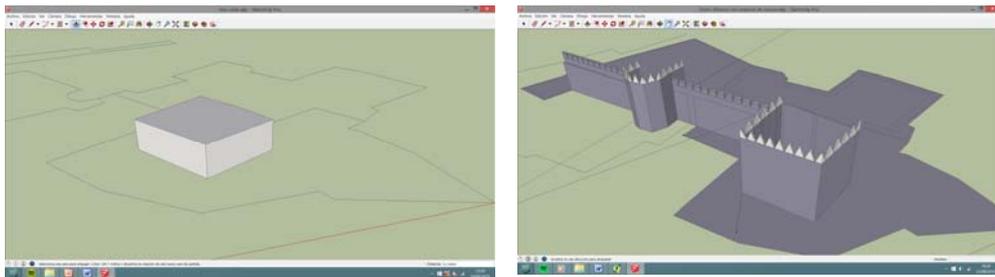
Además de lo que hemos visto, QGis tiene otras herramientas y opciones, como vincular archivos externos al proyecto (comentarios, fotos, enlaces, tablas, entre otras). Sin embargo, no han sido utilizadas en la elaboración de este proyecto, ya que desde el principio del mismo se optó en la presentación impresa de los resultados. No obstante, hemos querido referirnos a la existencia de estas opciones dadas por el programa como un posible punto de continuación de este estudio llevado a cabo sobre la alcazaba al-Mandari de Tetuán.

3.3.4. Maqueta virtual

Como una aportación extra a la elaboración del mapa de daños al que acabamos de referirnos, y a fin de presentar otra de las aplicaciones que pueden darse a la medidas reflejadas en las imágenes fotogramétricas de la alcazaba, se ha realizado una maqueta virtual, un modelo tridimensional del conjunto amurallado. Para ello se ha trabajado con SketchUp¹⁸ al tratarse de un programa de uso intuitivo y gratuito, sin restar por ello calidad a los resultados que pueden obtenerse.

El proceso de construcción de esta maqueta se ha llevado a cabo partiendo, una vez más, de las cotas en planta recogidas en el plano parcelario del Tetuán.

A continuación se han levantado las cotas en altura, aplicando los valores obtenidos con de las imágenes fotogramétricas, a las que hemos recurrido continuamente para medir sobre ellas con la herramienta *Regla* de Photoshop.



Figs. 70 y 71; Capturas de pantalla durante la realización de la maqueta virtual.

Una vez importada la planta desde un archivo *.dwg*, levantamos las cotas en altura según las medidas extraídas de la imagen gravimétrica a escala 1:1. Por su parte, las almenas y otros elementos ornamentales han sido diseñados con ayuda de los datos tomados sobre los mismos.

El resultado es una imagen del conjunto de toda la alcazaba. Sobre esta maqueta, las herramientas del programa nos permite medir fácilmente cotas y áreas.

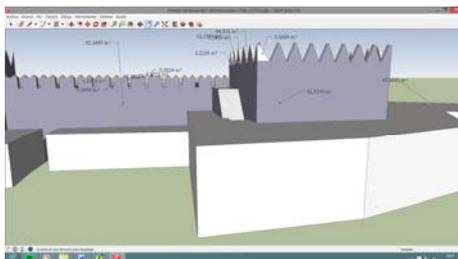


Fig. 72; Captura de pantalla con la Torre Sur en primer término. Se han señalado algunas áreas como ejemplo de esta herramienta, de gran utilidad en cualquier proyecto de intervención.

¹⁸ Más información en: <http://www.sketchup.com/es>

Además del propio modelo tridimensional, que puede visualizarse en SketchUp, el programa permite la importación del proyecto en versiones 2D -como imagen *.jpeg*, *.bmp*, *.tiff*, entre otras extensiones permitidas - o en 3D -extensiones de tipo *.eds*, *.dwg* o *.dxf*, como algunos ejemplos-. Por otra parte, SketchUp proporciona la opción de grabar un clip de vídeo del espacio creado a través del cual guiaremos la cámara de grabación.

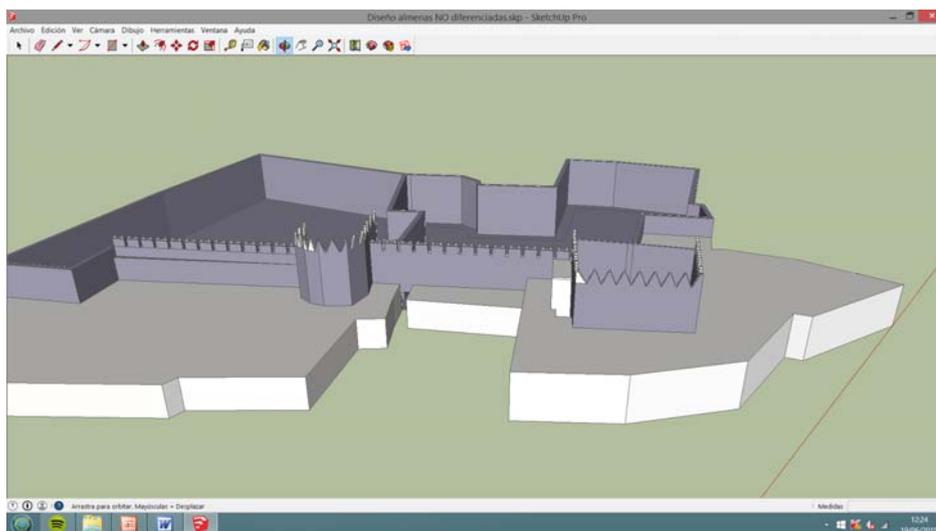


Fig. 73; Imagen del conjunto amurallado, pueden diferenciarse por tonos la parte original -gris oscuro-, de los elementos contemporáneos adosados a ésta -blanco-. Al poder realizar varias versiones del modelo, podemos contemplar en una y otra el conjunto en su estado actual, así como, exento de construcciones adheridas.

En nuestro caso hemos optado por utilizar el asistente gráfico del programa, LayOut, éste permite obtener vistas escaladas y otros gráficos del modelo con diferentes tratamientos y escalas.

En el siguiente capítulo de este trabajo, *4. Productos finales*, se adjuntan varios ejemplos impresos con los que tratamos de mostrar las posibilidades que ofrece esta maqueta virtual.

ANEXO:

ESQUEMA GRÁFICO; *Fases del Proyecto*

Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable de la Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)



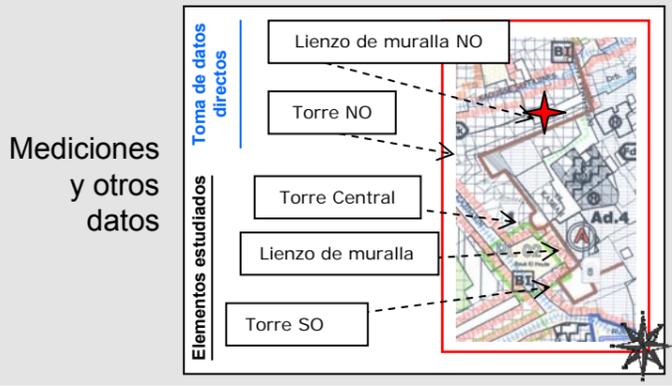
Fases del Proyecto

1. Análisis previos; Recopilación de la información

Introducción Histórico-artística Medina de Tetuán. *Kasbah al-Mandari*; Situación y contexto actual, materiales y técnicas de ejecución. Alteraciones. Búsqueda de *software* adecuados para el proyecto.

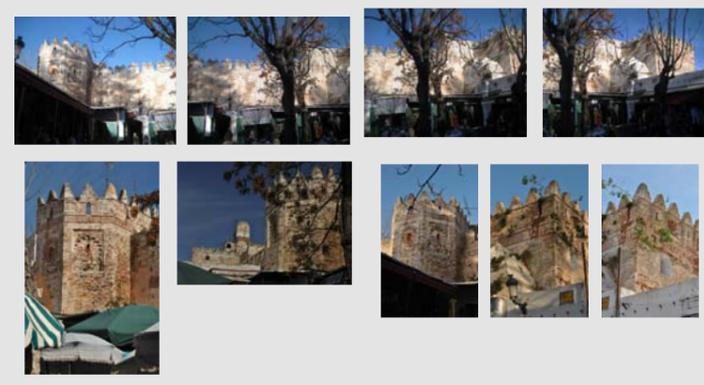
Protocolos I y II IAPH: *Cara exterior del Lienzo de muralla SO y torres Central y Sur de la alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)*; Examen diagnóstico y proyecto de intervención

2. Trabajo de Campo



Toma de imágenes

Toma de imágenes de conjunto y detalle, documentación de la alcazaba.
 Toma de imágenes específicas para la generación de ortofotografías:
a) Lienzo de muralla; *tomas fotográficas para conformar una imagen panorámica;* Travelling descriptivo
b) Torre Central: *Tomas para determinar la orientación relativa.* Fotografías de cada una de sus caras desde varios puntos de vista y angulaciones



3. Trabajo de Gabinete

Rectificación fotográfica para una fotogrametría

a) Lienzo de muralla Suroeste
 Cargado de imágenes
 Puntos de control comunes
 Verticales y horizontales
 Establecimiento del punto de vista/altura de posición la cámara
 Tapado de elementos; máscara de exclusión
 Resultado: Imagen ortogonal en formato TIFF

b) Torre Central, Caras a, b y c
 Cargado imágenes
 Puntos de control comunes
 Restricciones:
 -Ángulos rectos
 -Eje XYZ
 -Forma primitiva → Plano
 Resultado: Imagen ortogonal formato TIFF

Ortofotografías

De la ortofotografía a la imagen fotogramétrica. Escalado de las imágenes resultantes

Cotas en planta de los elementos estudiados.
 Plano parcelario; medina tetouan.dwg. ETSIE-UGR

Cálculo de medidas en la imagen y reescalado
 Herramienta *Regla*
 Tamaño de la imagen/resolución
 Leves ajuste finales de brillo, tono y saturación
 Aplicación de capas para atenuar zonas neutras (árbol y tiendas)
 Resultado: Imagen a escala 1:1 de cada elemento

$$f = d_{\text{imagen}} / d_{\text{referencia}}$$

$$\text{Tamaño imagen} = \text{resolución} \times f$$

Cotas en planta Torre Central - poligonal-
 Plano parcelario; medina tetouan.dwg ETSIE-UGR

Mapa de daños cuantificable

Maqueta Virtual

QGIS Wien 2.8
 Capa *Ráster* (imagen ortogonal escalada)
 Georreferenciado; puntos XY de cada elemento, ubicación en un eje de coordenadas.
 Alteraciones: Indicadas en Capas de archivo *Shape*
 Cálculo de valores/alcance de la alteración
 Información numérica/datos cuantificables

SketchUp
 Importación planta, archivo .dwg
 Levantamiento cotas en altura a partir de la ortofoto escalada y datos tomados *in situ*.
 Resultado: Maqueta virtual 3D de la *kasbah*
 Permite: Visión de conjunto del inmueble original y las construcciones adheridas, cálculo de áreas, distancias, volúmenes, etc.
 Exportación documentos versión 2D ó 3D

4. Productos finales

QGIS Wien 2.8
 Diseñadores de impresión:
 Incluimos al gráfico fotogramétrico leyenda, escala gráfica, tablas
 Resultado: Archivo .dwg, pdf, o .svg.

Mapa de daños Vistas de conjunto

LayOut
 Trazado y dibujo vistas a escala
 Versiones del modelo, elementos originales frente a los elementos adosados.
 Resultado: Documentos 2D, archivos .dwg, pdf, .tif, entre otros.

4. Productos finales

Toda la documentación fotogramétrica y gráfica que se aporta ha sido realizada por los autores de este Trabajo Fin de Grado, ya que no se han encontrado fuentes documentales que recogieran este tipo de información.

La elaboración de los diseños presentados se ha realizado a partir de las medidas en planta del lienzo de muralla y las torres adyacentes. Desde estos datos tomados por la ETSIE con medios precisos y adecuados para tal fin, se ha procedido al levantamiento de alzado y perfiles, transportando las cotas de la planta a las tomas fotográficas, comparándolas y contrastándolas con las medidas tomadas de los puntos accesibles de la medina, es decir, el camino de ronda, y almenas y ladrillos situados en muralla Noroeste -NO- de la misma alcazaba como se ha indicado anteriormente

A pesar de que la distorsión, implícita e inevitable en fotografía que ha tratado de ser anulada en la ortofotografía, cabe advertir que las medidas aquí reflejadas y en torno a las cuales se han realizado todos los cálculos, se ofrecen con un margen de error de +/- 5 cm en sus cotas principales.

Sobre estas imágenes fotogramétricas se han señalado las alteraciones más evidentes en relación al diagnóstico elaborado *a visu*:

Superficie total del Lienzo de muralla SO y las caras a, b y c de la torre Central

Construcciones adheridas

Pérdida de revestimiento y su nivel de alcance

Localización de plantas superiores

Puntos de anclaje de elementos no originales

En torno a estas alteraciones se han extraído datos cuantificables recogidos en tablas, como el número de puntos de cada alteración, su área, o el área total del mismo y por tanto el alcance de la alteración en el conjunto, entre otros ejemplos.

Por otra parte, una vez ajustadas las cotas en planta y altura, se ha elaborado también un modelo 3D o maqueta virtual con el programa *SketchUp 2013*. A partir de esta recreación volumétrica se obtiene una visión de conjunto de la fortaleza, además de las vistas del Inmueble y su situación con respecto a las viviendas y comercios adosados a sus muros, como posibles versiones de las que pueden extraerse del archivo original con extensión *.skp*.

Listado de productos finales

Imágenes fotogramétricas; Lienzo de muralla SO y Torre Central -Caras a, b y c-:

Elementos estudiados. Imagen original.

Superficies totales y superficies ocupadas.

Mapa de alteraciones detectadas a visu.

Maqueta virtual 3D:

001 Recreación del conjunto vistas con y sin construcciones adheridas.

002 Alzado, planta, perfil y perspectiva del conjunto.

003 Vistas de los elementos estudiados.

004 Cotas y áreas, ejemplo de datos aportados por el modelo.

Por motivos de distribución y autoría, los productos finales se adjuntan en la copia digital de este TFG sólo en formato *.pdf*.

Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)
Lienzo de muralla Suroeste y Torre Central -Caras a, b y c-

Elementos estudiados. Imagen original

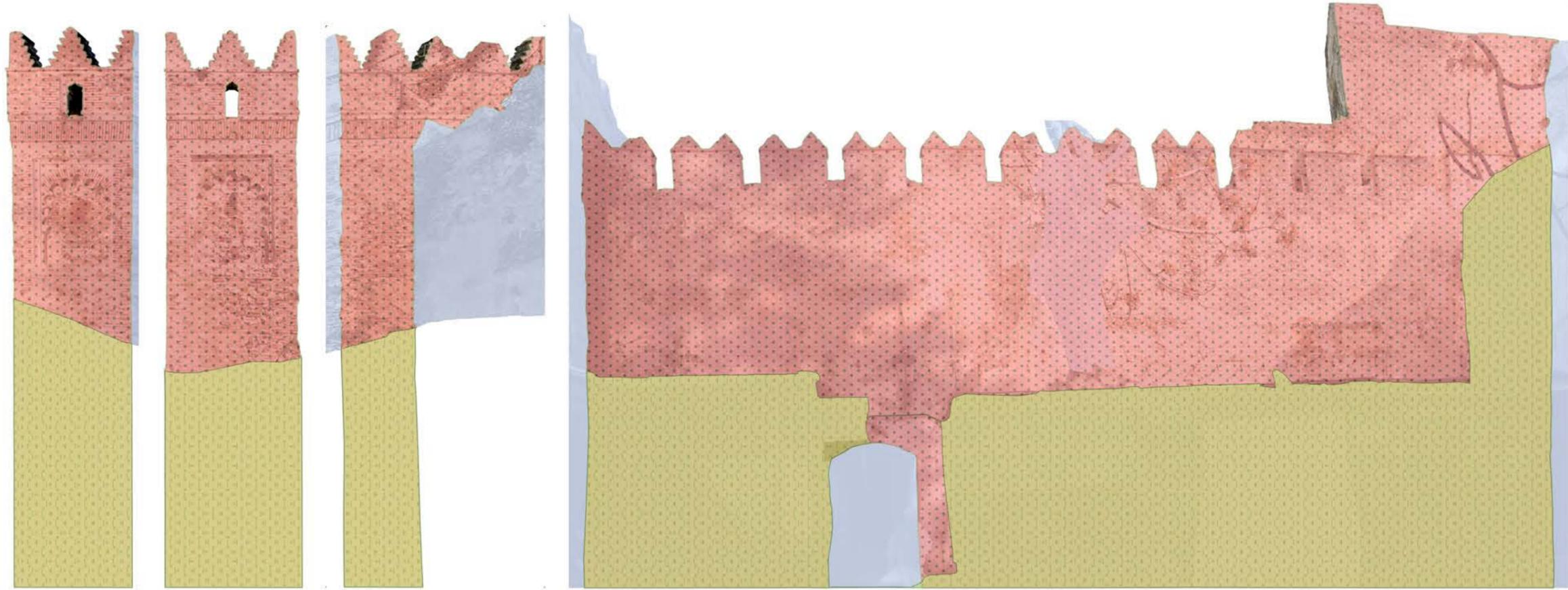


Escala: 1:100

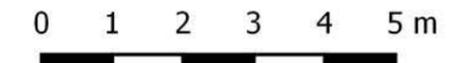
0 1 2 3 4 5 m

Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)
Lienzo de muralla Suroeste y Torre Central -Caras a, b y c-

Superficies totales y superficies ocupadas



Escala: 1:100



Leyenda

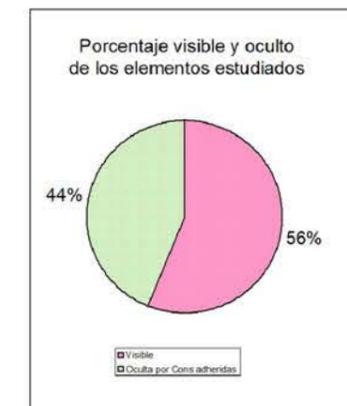
- Cons Adosadas
- Superficie

Superficie total de cada elemento

Elemento	Área m2
Muralla	191.4884
Cara A	20.5464
Cara B	30.9524
Cara C	27.7519

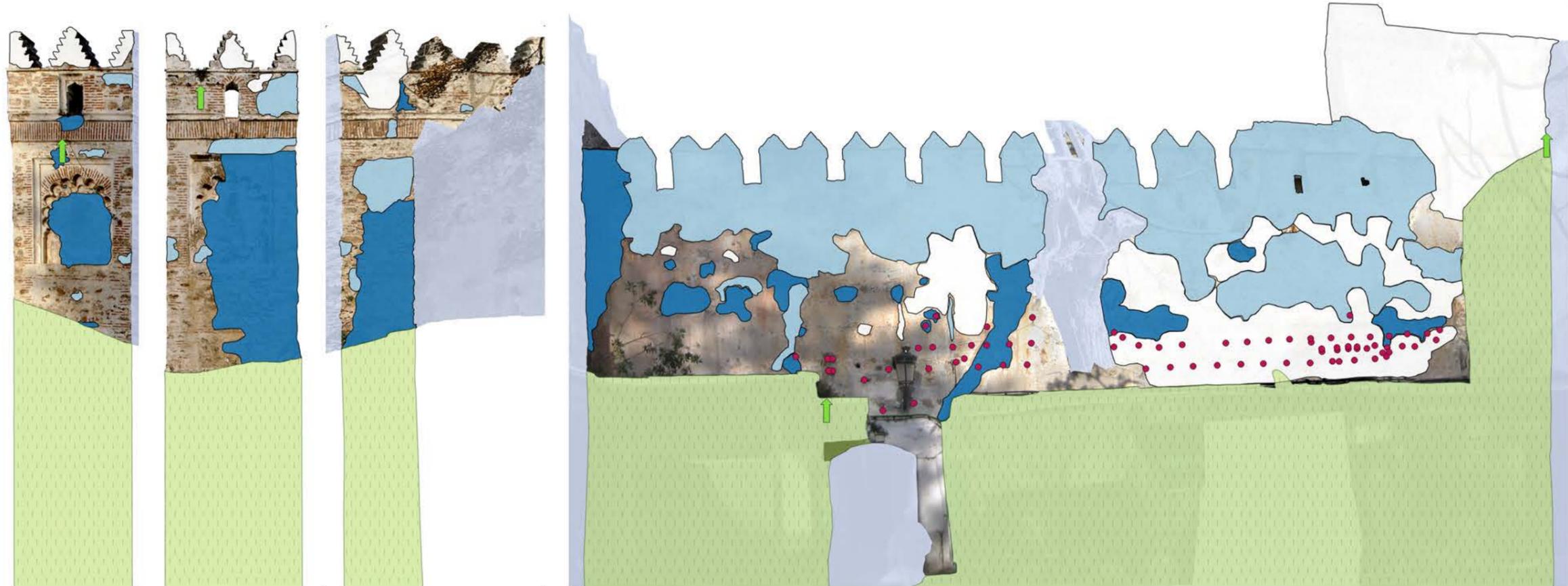
Superficie ocupada por elemento adosado

Elemento	Área m2
Muralla	84.2604
Cara A	8.0961
Cara B	13.1461
Cara C	13.6458



Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)
Lienzo de muralla Suroeste y Torre Central -Caras a, b y c-

Mapa de alteraciones detectadas a visu



Escala: 1:100



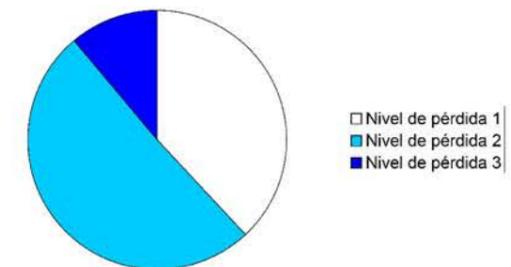
Leyenda

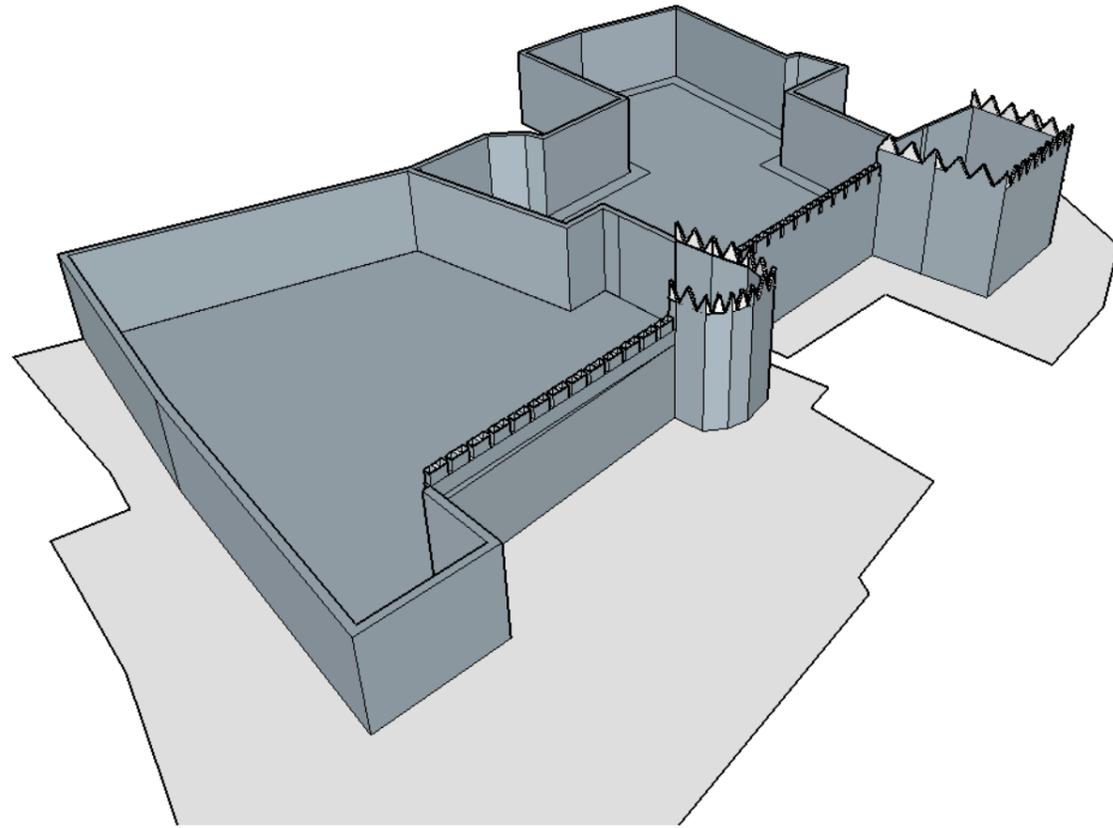
- ↑ Plantas superiores
- Cons Adosadas
- Puntos de anclaje
- Pérdida revestimiento**
- Pérdida de la capa de enlucido
- Pérdida capa enfoscado
- Pérdida de todo revestimiento. Piedra vista

Pérdida de revestimiento

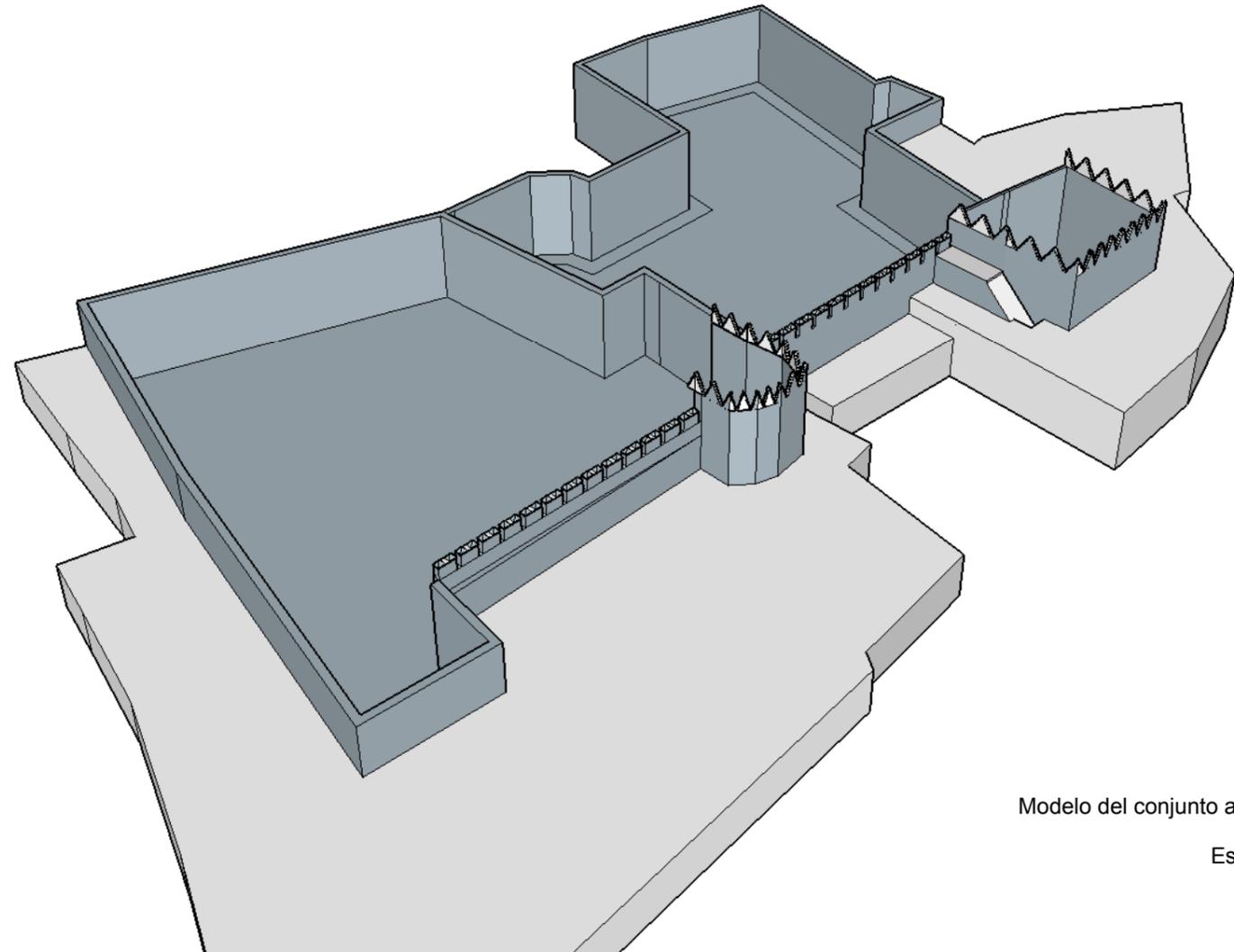
Elemento	Nivel de pérdida 1	Nivel de pérdida 2	Nivel de pérdida 3	Total área revestimiento afectado del elemento m2
Muralla	28,66	38,40	8,38	75,44
Cara A	1,25	1,44	3,30	5,99
Cara B	0,68	1,30	7,37	9,35
Cara C	0,85	0,29	1,91	3,05
Total m2	31,44	41,43	20,96	93,83

Pérdida de revestimiento Niveles





Modelo del conjunto amurallado original
Escala: 1:399,56



Modelo del conjunto amurallado en la actualidad
Escala: 1:247,177

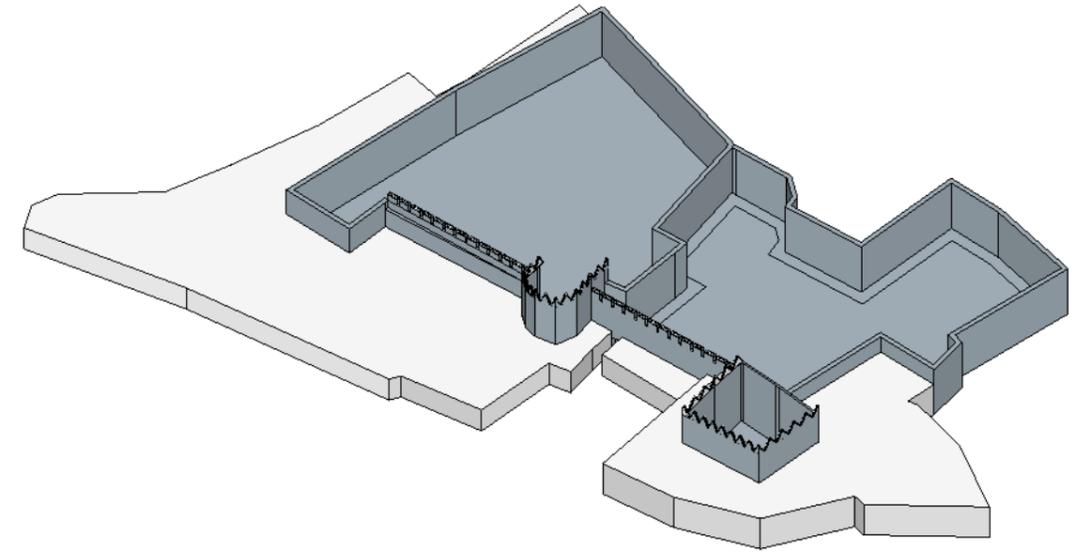
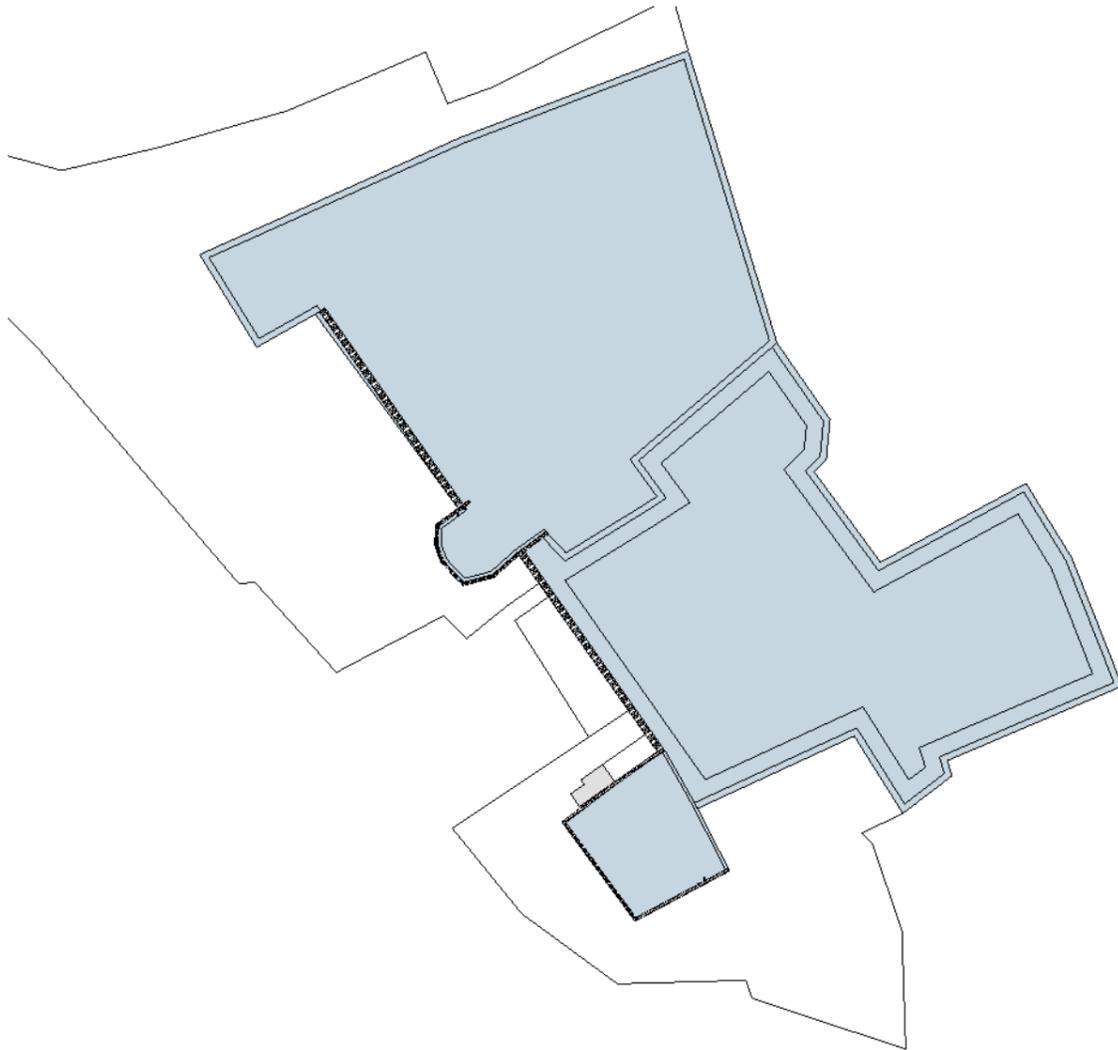
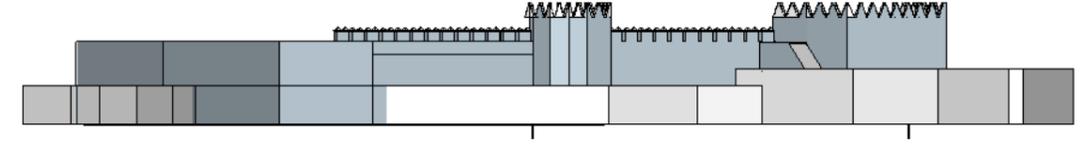
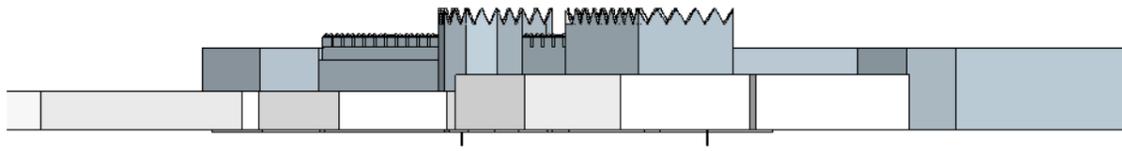
- Conjunto original
- Comercios y viviendas adosadas no originales



TFG; Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable. Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)

Fecha y otras notas

25/08/2015	Modelo generado a partir de los datos aportados por las cotas en planta y el estudio fotogramétrico
M. L. Cano Barrio	



Alzado, planta y perfil del conjunto Escala 1:600

Vista en perspectiva Escala 1:773

- Conjunto original
- Comercios y viviendas adosadas no originales



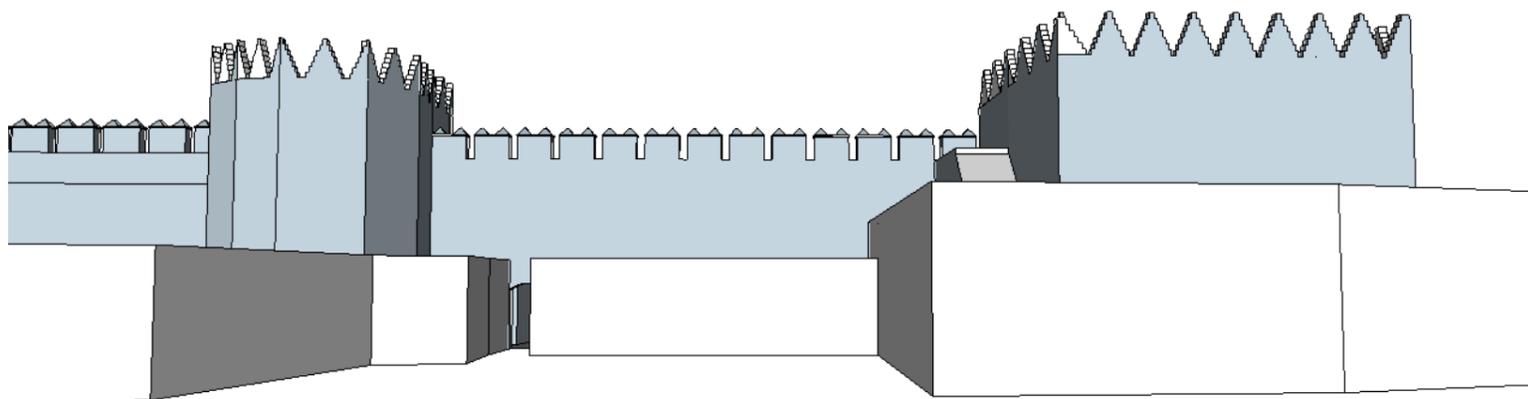
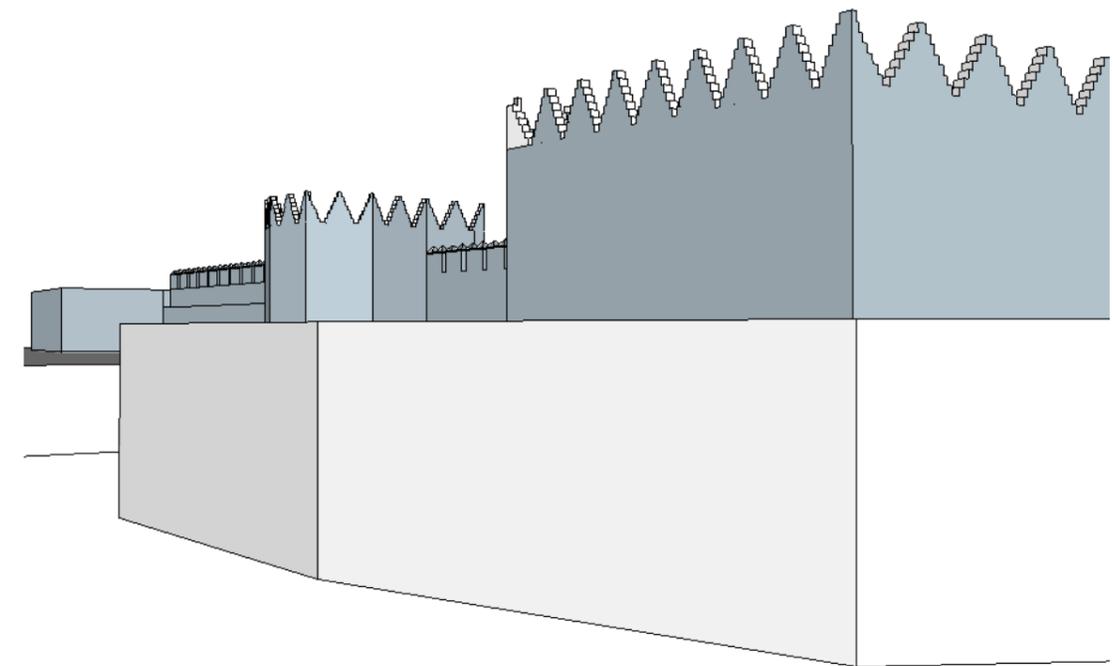
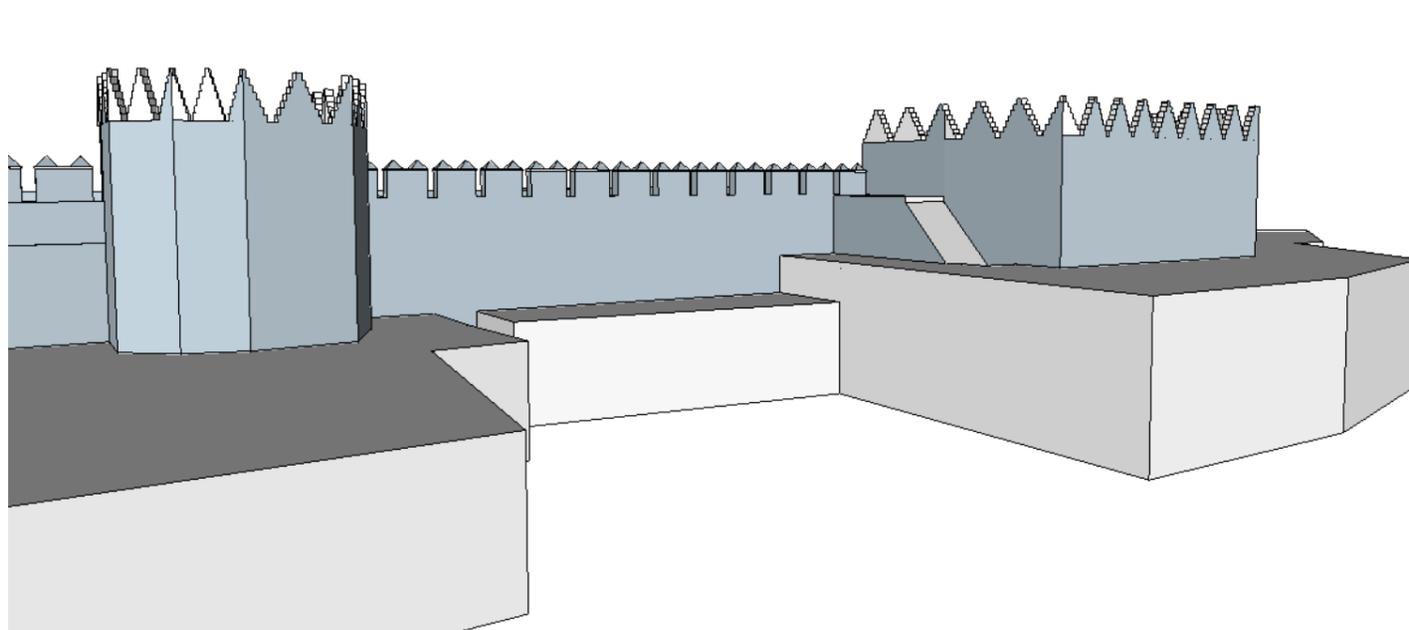
TFG; Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable. Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)

Fecha y otras notas

25/08/2015

Modelo generado a partir de los datos aportados por las cotas en planta y el estudio fotogramétrico

M. L. Cano Barrio



Distintas vistas del modelo que recrea los elementos a estudiados:

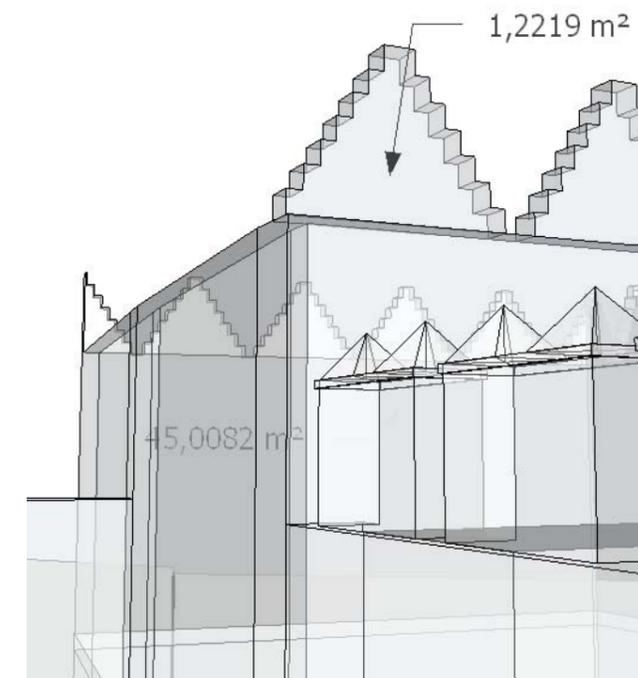
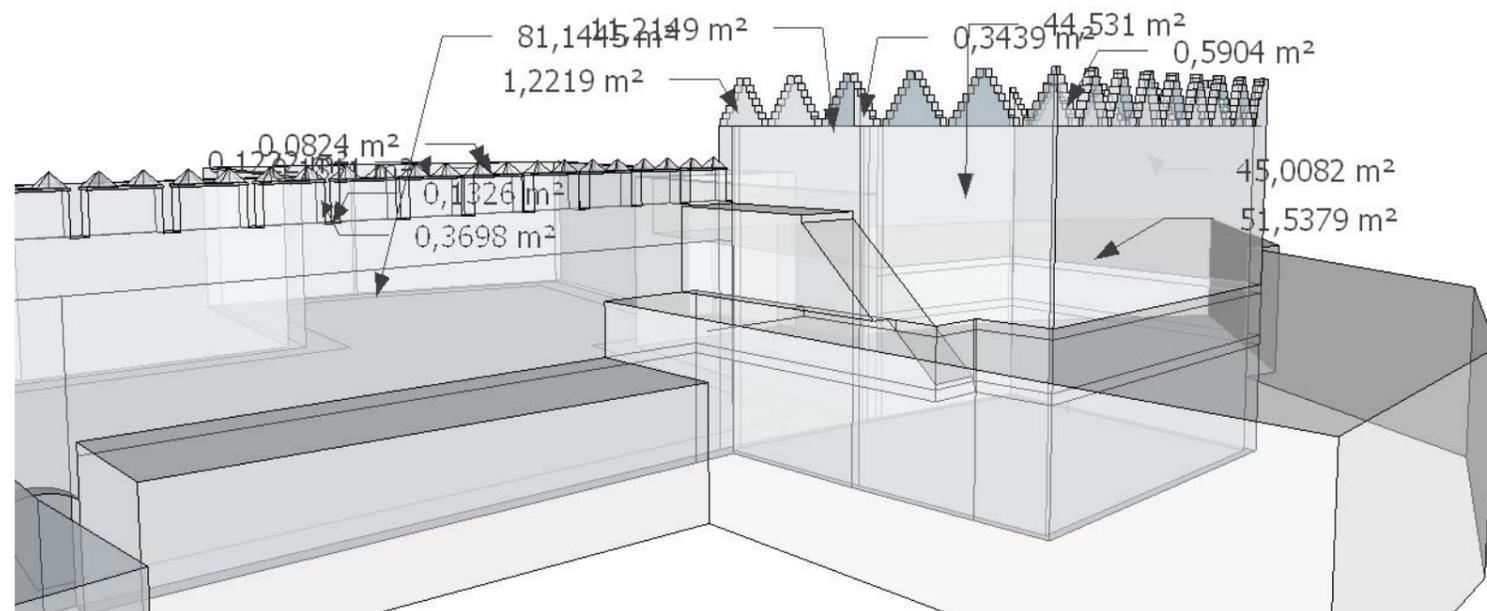
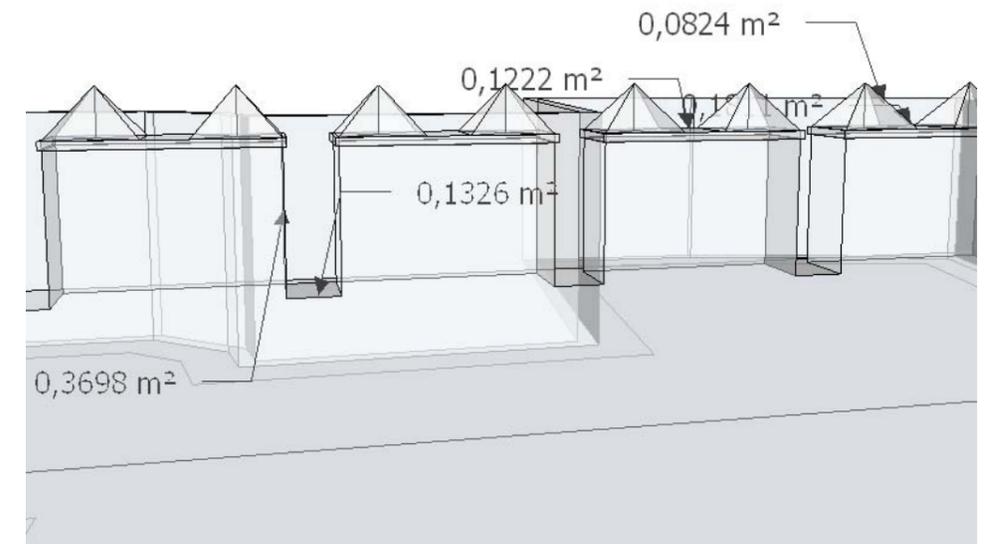
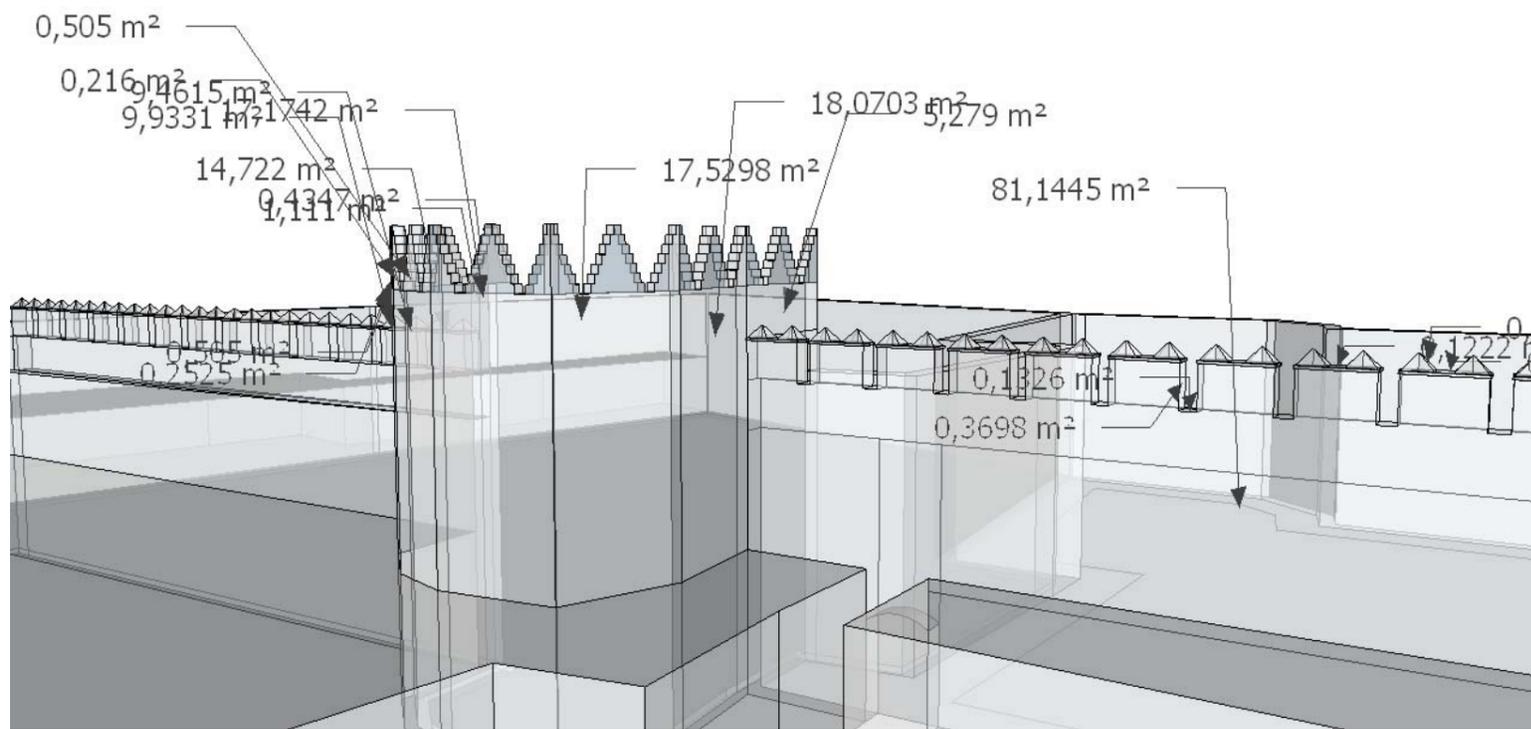
Torre Central -poligonal-
 Lienzo de muralla Suroeste -SO-
 Torre Sur -rectangular-

-  Conjunto original
-  Comercios y viviendas adosadas no originales



TFG; Generación de un modelo fotogramétrico y de un mapa de daños cuantificable. Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)

Fecha y otras notas	
25/08/2015	Modelo generado a partir de los datos aportados por las cotas en planta y el estudio fotogramétrico
M. L. Cano Barrio	



Algunas cotas y áreas extraídas de la maqueta virtual diseñada

- Conjunto original
- Comercios y viviendas adosadas no originales



TFG; Generación de un modelo forogramétrico y de un mapa de daños cuantificable. Alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos)

Fecha y otras notas

25/08/2015

Modelo generado a partir de los datos aportados por las cotas en planta y el estudio fotogramétrico

M. L. Cano Barrio

5. Conclusiones

5.1. Datos extraídos y análisis

Elementos estudiados, imágenes fotogramétricas

Las imágenes presentadas en este texto se corresponden con las imágenes fotogramétricas a escala obtenidas tras el proceso antes detallado. Sobre su archivo digital se pueden medir cotas y áreas, así como etiquetar zonas o añadir imágenes de detalle u otras llamadas.

En este sentido cabe incidir en las posibilidades que estas imágenes ofrecen, no sólo en la fase de documentación del Bien a intervenir, quizás la que hemos desarrollado en este caso, si no a lo largo de todo el proyecto, desde dicha fase de documentación, el seguimiento de tratamientos a lo largo de la intervención directa (sustancias para ciertos tratamiento, tiempos de trabajo, etc), así como, su observación una vez concluida la intervención por parte de todo el equipo interdisciplinar implicado.



Fig. 74; Documento entregado en versión impresa, *Elementos estudiados.*

Imagen original.

Superficie total de la fachada y partes ocultas

Con un simple golpe de vista llama nuestra atención la proliferación de tiendas adosadas los muros originales de la alcazaba, acorde con lo concurrido de la plaza y las viviendas que se instalan en las torres de la fortaleza medieval. vistiendo esta observación con datos numéricos, se deduce que alrededor de la mitad de la superficie de las torres y la muralla quedan ocultos tras estas instalaciones, y por tanto, nuestro alcance a la hora de determinar su estado de conservación completo. Como se ha indicado en el texto, y puede comprobarse en la imagen fotogramétrica, el alto de estas tiendas alcanza los 3,24 m aproximadamente, siendo incluso más alto que el arco de entrada a la alcazaba. Desconocemos a si esta altura tiene alguna razón concreta, lo que sí es cierto, es que es común a todos estos elementos adosados.

Superficie total de los elementos estudiados

Elemento	Área m2
Muralla	191,49
Cara A	20,55
Cara B	30,95
Cara C	27,75
Total	270,74

Superficie oculta de los elementos estudiados

Elemento	Área m2
Muralla	84,26
Cara A	8,10
Cara B	13,15
Cara C	13,65
Total	119,15

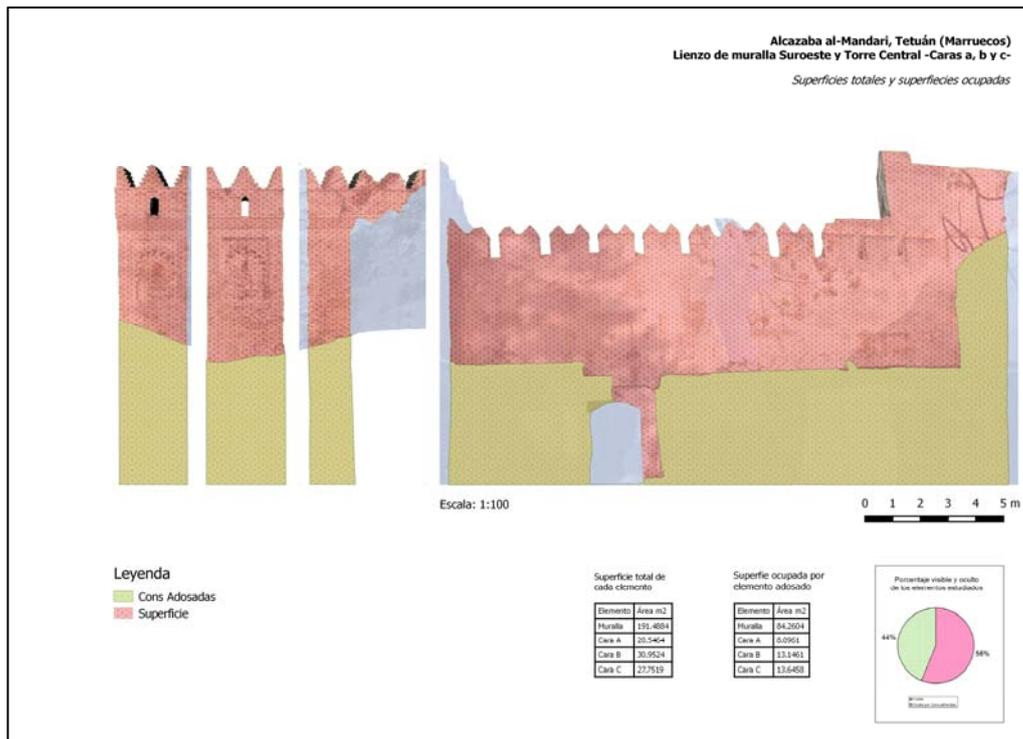


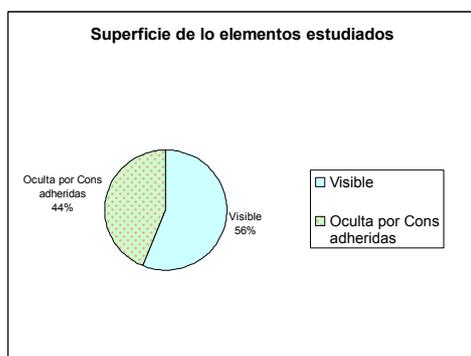
Fig. 75; Documento entregado en versión impresa, *Superficies totales y superficies ocupadas*, incluye las tablas con las áreas y su equivalente gráficos ampliados a continuación.

Superficie visible de los elementos estudiados

Elemento	Área m ²
Muralla	107,23
Cara A	12,45
Cara B	17,81
Cara C	14,11
Total	151,59

Porcentaje visible de los elementos estudiados

Elemento	%
Muralla	44,00
Cara A	39,40
Cara B	42,47
Cara C	49,17
Total %	55,99



Alteraciones detectadas a visu

Atendiendo a los datos numéricos extraídos relativo a la pérdida de revestimiento, y a su distribución por la superficie estudiada, detectamos que su alcance es importante, especialmente en el lienzo de muralla, ampliamente afectada en la capa de enlucido (la más superficial del revestimiento), siendo el área inferior derecha las más afectada en este sentido.

En este mismo elemento, el lienzo de muralla, el Nivel 2 de alcance se concentra fundamentalmente en la zona de las almenas.

El Nivel 3 de pérdida de revestimiento, sin duda la más grave al dejar al descubierto la fábrica, se concentra en las zonas de umbría. Aunque es difícil dilucidar a esta distancia, no parece que esas zonas presenten disgregación en la piedra, al ser la caliza resistente ante este agente del deterioro intrínseco en materiales pétreos, como la calcarenita bioclástica o la arenisca, muy comunes en el patrimonio granadino, por ejemplo, se ven mucho más afectadas ante la humedad, llegando a perder la totalidad de su resistencia mecánica al disgregarse con mucha facilidad.

En el ámbito de la Conservación y Restauración este dato es importante, ya que hay que intervenir en consecuencia, al ser la consolidación del material y su posterior capa de protección/hidrofugación motivo de nuevas alteraciones si no se actúa con las sustancias y proporciones adecuadas.

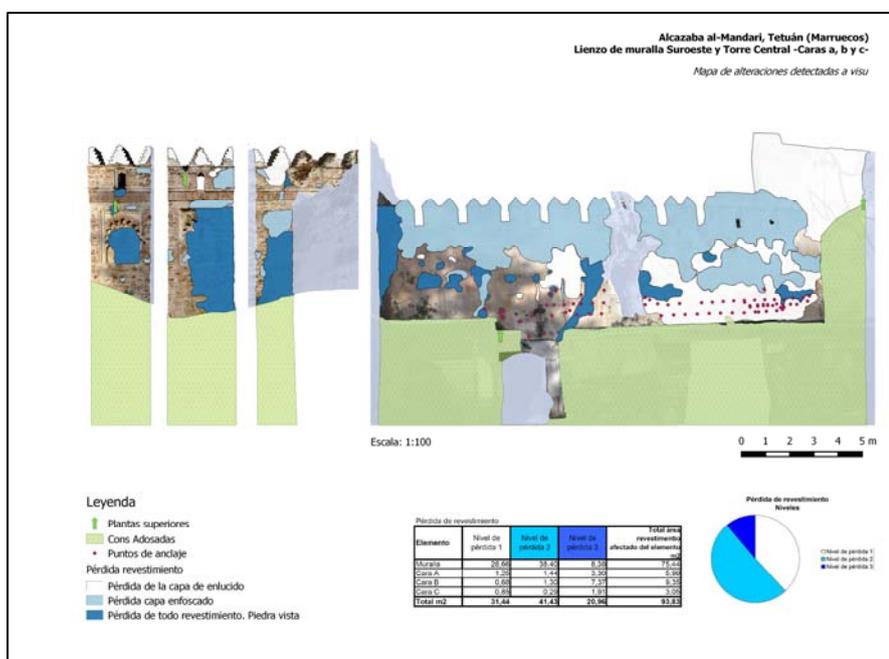


Fig. 76; Mapa de alteraciones detectadas a visu con algunos datos numéricos como ejemplo.

Sobre la pérdida de revestimiento, cabe destacar también que el Nivel 2 es el más extendido, alcanzando alrededor del 45% en las cifras totales relativas a esta alteración.

Pérdida de revestimiento

Elemento	Nivel de pérdida 1	Nivel de pérdida 2	Nivel de pérdida 3	Total área revestimiento afectado del elemento m2
Muralla	28,66	38,40	8,38	75,44
Cara A	1,25	1,44	3,30	5,99
Cara B	0,68	1,30	7,37	9,35
Cara C	0,85	0,29	1,91	3,05
Total m2	31,44	41,43	20,96	93,83



Otras alteraciones reflejadas en el mapa son, los elementos vegetales encontrados y los picados, éstos últimos presumiblemente para la colocación de elementos contemporáneos, como el cableado, antenas y farolas, picados, a nuestro juicio, perfectamente evitables.

Todos ellos, 80, se concentran en el lienzo de muralla.

Puntos de anclaje/Picados		Plantas superiores	
Elemento	Número	Elemento	Tipologías
Muralla	80	Muralla	Matorral, por determinar
Cara A	0	Muralla	Matorral, por determinar
Cara B	0	Cara B	Matorral, por determinar
Cara C	0		
Total	80	Cara C	Planta de porte arbóreo, tipología por determinar

La vegetación detectada en estos elementos tiene que ver con plantas y arbustos superiores, cuya alteración al Bien Inmueble tiene que ver con sus raíces, al brotar del interior del muro y crecer pueden empujar y desplazar sus piezas. En este caso, basta con eliminarlas de raíz para combatir esta alteración.

5.1. Conclusiones derivadas del proceso de realización

A pesar del tiempo y los medios disponibles, así como la peculiar la situación en la que fueron tomadas las fotografías, los resultados obtenidos son, a nuestro juicio, más que aceptables. Aportan información clara y precisa sobre el área estudiada, ésta puede ser compartida e interpretada por las diferentes disciplinas que intervienen en un proyecto de conservación de un Bien de estas características, de especial relevancia al tratarse de un Inmueble de difícil acceso y situado a una considerable distancia (Norte de Marruecos).

En este caso concreto, la realización de un mapa de daños, la aportación de valores numéricos permite dilucidar sobre el estado de conservación del bien a pesar de hacer un examen diagnóstico *a visu*. La información respaldada de manera cuantitativa supone un ajuste más preciso para el cálculo de medios humanos, materiales y técnicos, económicos en última instancia, necesarios para abordar una intervención de esta magnitud.

Cabe hacer especial hincapié en que, una vez generado el modelo fotogramétrico -sin duda la tarea más ardua de este proyecto- podemos aplicar sobre él todos los cálculos que requiramos, pues éstos serán ajustados sobre medidas y áreas reales. Si a éstas cotas sumamos aspectos como, la tipología material y su alcance, la puesta en obra o la potencia del muro, entre otros datos de obtención asequible, el cálculo de aspectos técnicos y relativos al ámbito de la ingeniería de la edificación es más que amplio.

Como decimos, la obtención de cotas reales a partir de la fotografía corregida -ortofotografía- ha permitido generar también una maqueta virtual. El modelo, realizado con la versión gratuita del programa SketchUp, permite obtener una visión del conjunto completo, su situación en el centro de la Media Histórica tetuaní, así como la influencia que los elementos adosados o añadidos tienen sobre la arquitectura original.

De este modelo podemos obtener también y de manera directa las áreas de diversos elementos, de manera individual o en suma con otros, un despiece de los elementos o bien capturar las vistas del modelo, pues podemos desplazarnos en torno a él.

En cuanto al proceso de realización de este trabajo, podríamos destacar como conclusiones los siguientes puntos, siendo la mayor parte de ellos relativos al equipo fotográfico y los programas utilizados.

En este sentido, la disposición de una cámara fotográfica réflex de gama media provista de un objetivo de que cubra las necesidades (equivalente a 50mm en soporte analógico) hubiese supuesto una calidad mayor en las imágenes que sirven de materia prima en todo este proceso, aportando mayor detalle en el resultado final sin alterar el proceso seguido en este caso.

Por otra parte, la elección del *software* Hugin frente a otros de similares aplicaciones viene dada porque éste permite controlar en momento los parámetros de corrección de las tomas que debe empalmar hasta conseguir la imagen panorámica. Esto se traduce en una imagen final más rigurosa que visualmente atractiva como pudiera resultar con el uso de otras aplicaciones, como PTGui o Pano2vr, por ejemplo.

Autodesk Image Modeler, sin duda el *software* más problemático, ya que la licencia con la que hemos trabajado es una versión *demo* de 30 días, pasado ese tiempo hay que formatear el equipo o instalarlo en otro. Con todo, creemos que este es el programa más adecuado para realizar tareas de este tipo, pues permite obtener el modelo 3D a partir de muy pocas imágenes, sin que éstas estén tomadas de manera perpendicular, si no con una inclinación muy acusada. Tampoco es necesario que la calidad de los archivos fotográficos sea muy alta, el programa modela en 3D de manera muy efectiva, aunque en nuestro caso hayamos extraído tan sólo las imágenes que cubrirían el prisma tridimensional definido por la torre, su finalidad es generar un cuerpo con volumen, en 3 dimensiones.

A diferencia del Autodesk 123D Catch, ImagenModeler no deposita en un servidor la imagen generada. Este punto es importante ya que trabajamos con obras cuyos derechos de imagen y difusión suelen ser muy sensibles. El programa tiene numerosas posibilidades, pero la duración limitada a 30 días corrientes limita nuestro trabajo con él, y por ende, el conocimiento y la práctica de otros proyectos se ve condicionada.

Por contra, el programa QGis, al que encontramos numerosas ventajas. La adaptación del un programa concebido para gestionar información geográfica al

campo de la Conservación-Restauración ha sido más que satisfactorio. A diferencia de la plataforma SICaR -*Web GIS for restoration projects*-, desarrollado para el campo de la C+R, QGIS es de licencia libre y gratuita.

Dada esta experiencia, nos decantamos por un uso extendido de este tipo de programas en el ámbito de la C+R, incluso estandarizar cuestiones como el diseño de una leyenda predeterminada, estándar/común y reconocible por todos, contenedora de las alteraciones y/o materiales más comunes en este campo.

Otras conclusiones reseñables tienen que ver con la proyección de este proyecto pues, tras la realización de este trabajo teórico-práctico consideramos mejorables o por abordar en un futuro los siguientes aspectos:

Finalización del modelo completo; abordar aquellos elementos en los que no hemos podido aplicar la técnica de restitución fotográfica para obtener el modelo corregido hacerlo por medio de modelización 3D y adhesión de texturas a las partes/caras de las torres no finalizadas. Programas como el propio ImagenModeler lo permiten.

Conscientes de que la ejecución de estas vistas hubiese supuesto la conclusión del modelo completo suponen, sin embargo, un punto de partida hacia la búsqueda de otras posibilidades en el uso de estas herramientas y su aplicación en el campo de la documentación de Conservación y Restauración.

Por tanto, dicha in conclusión no resta, a nuestro juicio, valor a este Trabajo Fin de Grado, la experiencia y los conocimientos adquiridos quedan patentes en los resultados obtenidos y recogidos en este texto.

Por último, cabe destacar que los elementos sobre los que hemos trabajado - Lienzo de muralla SO y torres Central y Sur- han supuesto todo un reto, incluso para profesionales en la materia, pues se trata de un modelo arquitectónico poco regular, fotografiado por partes y en acusada angulación debido a la poca amplitud en la que se encuentra, sumado al escaso tiempo del que se dispuso, con todo, creemos haber solventado eficientemente este proyecto en torno a la totogrametría arquitectónica y sus usos en nuestro campo, el relativo a la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

6. Referencias bibliográficas y otras fuentes

6.1. Bibliografía

Almagro, A.; *Sobre el uso métrico de fotografías digitales en los levantamientos arquitectónicos*. Congreso EGA, 2004.

Berlanga Mengibar, M.J.; *Modelización tridimensional del edificio "casa Pascual i Pons" mediante técnicas fotogramétricas*. Proyecto final de Carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Eginyeria del Terreny. Cartogràfica i Geofísica. 2010.

En [Consulta realizada el 4 de febrero de 2015]:

<http://hdl.handle.net/2099.1/11019>

Bravo Nieto, A. *Arquitectura y urbanismo español en el norte de Marruecos*. Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, 2000.

Buill, F., Núñez, M. A. y Rodríguez, J. J.; *Fotogrametría Arquitectónica*, Ediciones UPC, Barcelona, 2007.

Buill Pozuelo, F.; *Técnicas de levantamiento fotogramétrico de estructuras antiguas. Ejemplo de las murallas de Barcelona y Alepo*. Actas del XXXIV Curset. Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico: Fortificaciones: Intervenciones en el patrimonio defensivo. Barcelona y Tortosa: Ministerio de Educación, Política Social y Deporte. Subdirección General de Información y Publicaciones, 2013, p. 81-86.

En [Consulta realizada el 4 de febrero de 2015]:

<http://hdl.handle.net/2117/17628>

Campos Jara, P. y Duclos Bautista, G.; *Tetuán. Evolución urbana de la Medina*, Junta de Andalucía. II plan Regional de Centros Históricos, Sevilla, 2003.

Cano Barrio, M. L.; *La reproductividad creativa en la fotografía foto-química*. Texto para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados -DEA-. Universidad de Granada, Departamento de Pintura. HUM 736 Grupo de Investigación. Granada, 2012.

En: [Consulta realizada el 14 de febrero de 2015]:

<http://hdl.handle.net/10481/34107>

Cazalla Vázquez, O.; *Morteros de restauración y morteros antiguos. Técnicas de estudio*. En: *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Editorial Comares. Cuadernos Técnicos. Junta de Andalucía. Granada, 2003.

Deagostini Routin D. *et al.*; *Introducción a la fotogrametría*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Docencia e Investigación, El Ministerio, 1990.
de Diego, E.; *Rincones de postales. Turismo y hospitalidad*, Ed. Cátedra, Cuadernos de Arte, Madrid, 2014.

Fuentes Porto, A.; *Análisis cuantitativo de las lagunas en óleo sobre lienzo a través de la tecnología SIG*. Comunicación formato póster. En: XVIII Congreso Internacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Granada: Universidad de Granada, 2011.

En [Consulta realizada el 30 de mayo de 2014]:

http://www.academia.edu/1477572/An%C3%A1lisis_cuantitativo_de_las_lagunas_en_un_%C3%B3leo_sobre_lienzo_a_trav%C3%A9s_de_la_tecnolog%C3%ADa_SIG

Gascón Bernal, J.; *Estudio histórico del Convento Agustino Extramuros de Madrigal de las Altas Torres. La intervención clasicista del arquitecto Juan del Rivero Rada*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Tomo I, pp. 23 y siguientes.

En [Consulta realizada el 13 de enero de 2015]:

http://oa.upm.es/33419/1/JESUS_GASCON_BERNAL_TOMO%20I.pdf

Gozalbes Cravioto, E.; *Las murallas de Tetuán (Marruecos)*. Revista AMM, 19, 2002, pp. 279-307.

González Reyero, S.; *La fotografía en la arqueología española (1860-1960): 100 años de discurso arqueológico a través de la imagen*. Publicaciones del Gabinete de Antigüedades de la Real Academia de la Historia, Antiquaria, Hispanica, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2007.

Hernández López, D.; *Introducción a la fotogrametría digital*. Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos, Universidad de Castilla-La Mancha, 2006.

En [consulta realizada el 15 de mayo de 2014]:

http://www.sitopcar.es/modulos/descargas/manuales/Introduccion_Fotogrametria_Digital.pdf

Irlés Más, F., Maestre López-Salazar, R., (trad.); *Levantamiento de planos de fachadas a partir de una fotografía: perspectivas: Homograf. 1: aplicación infográfica para Autocad 14*. Universidad de Alicante, 2000.

Labarta Postigo, M.; *Análisis crítico de las prácticas discursivas en torno al plan de reforma de la muralla árabe en el centro histórico de Valencia*, *Arxius*, 23, 2010, pp. 205-212.

Lampérez y Romea, V.; *Arquitectura civil española de los siglos I al XVIII*. Maxtor Editorial, Valladolid, 2012.

Lerma García, J. L.; *Fotogrametría moderna: Analítica y digital*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2002.

Malo de Molina, J. y Domínguez, F.; *Tetuán. El ensanche. Guía de Arquitectura (1913-1956)*. Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, 1995.

Martín López, J.; *Fotointerpretación y fotogrametría*, EUTI Topográfica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1993.

Martínez Justicia, M. J.; *Restauración de Bienes Culturales en los textos normativos: Selección, traducción y estudio crítico de documentos normativos nacionales e internacionales*, Ed. Comares, Granada, 2009.

Martínez Justicia, M. J. y Sánchez Martínez, D.; *Historia y teoría de la Conservación y Restauración artística*, Ed. Tecnos, Madrid, 2009.

Martínez López, J. A. (Coord.); *Fortificaciones en el Norte de Marruecos: Tanger-Tetuán*. Dirección General de Cultura. Consejería de Cultura. Comunidad Autónoma de Región de Murcia. Murcia, 2005.

Mas i Barberá, X.; *Conservación y restauración de materiales pétreos: diagnóstico y tratamientos*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2010.

Medina Carrillo, F.; *La fotogrametría digital como herramienta de trabajo para la toma de datos y catalogación de las iglesias románicas en la comarca de Las Merindades (Burgos)*. Trabajo Fin de Grado. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alicante, Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía. 2014.

En [Consulta realizada el 13 de enero de 2015]: <http://hdl.handle.net/10045/43582>

Pavón Maldonado, B.; *Tratado de arquitectura hispano-musulmana, Vol. II Ciudades y fortalezas*, Centro Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1999.

Pavón Maldonado, B.; *Planimetría de ciudades y fortalezas árabes del Norte de África. Murallas, torres y puertas. Estado de la Cuestión*, en: *Cuadernos del Archivo Municipal de Ceuta*, Nº 9, pp. 17-162. Ayuntamiento de Ceuta. Ceuta, 1996.

Pavón Maldonado B.: *Murallas de Tapial, Mampostería, Sillarejo y Ladrillo en el Islam Occidental. Los despojos arquitectónicos de la Reconquista. Inventario y clasificaciones*. p. 84.

En [Consulta realizada el 8 de febrero de 2015]:

<http://www.basiliopavonmaldonado.es/documentos/murallastapial.pdf>

Sánchez González, M. B. (Ed.); *Intervenciones en el patrimonio arquitectónico, arqueológico y etnográfico*.

de la Torre López, M. J.; *Caracterización de las propiedades hídricas de los materiales lapídeos*. En: *Metodología de diagnóstico y evaluación para de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Cuadernos Técnicos. Ed. Comares, Granada, 2003. pp. 104-111.

Vergara Muñoz, J.; *Las puertas de la Medina de Tetuán. Estudio y datos para su conservación*. Tesis Doctoral. Ingeniería civil y arquitectura, Universidad de Granada, E.T.S de Arquitectura, Granada, 2012.

VVAA; *Marruecos y Andalucía: ciudades históricas*. Actas de las Jornadas de rehabilitación e intervención en las ciudades históricas del Norte de Marruecos y Andalucía.

VVAA; *Programa de actuaciones en la Medina*, en: *Programa de actuaciones de Tetuán*; Cooperación España-Marruecos, cooperación de la DGVA.

VVAA; *La medina de Tetuán: Guía de Arquitectura*. Consejo Municipal de Tetuán. Junta de Andalucía, Tercera edición Tetuán-Sevilla, 2011.

VVAA; *Estrategias de rehabilitación en la Medina de Tetuán*. p. 124 y siguientes.

VVAA; *Recomendaciones técnicas para documentación geométrica de entidades patrimoniales, Versión 1.0*. IAPH. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía, 2011. En [Consulta realizada el 7 de mayo de 2015]:

http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/patrimonio-cultural/documentos/gestion-informacion/recomendaciones_tecnicas_documentacionm_geometrica..pdf

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA NORMALIZACIÓN (AENOR). Norma UNE 41067. *Cal aérea para la construcción. Clasificación. Características*.

En [Consulta realizada el 4 de mayo de 2015]:

https://www.aenor.es/aenor/suscripciones/personal/pagina_per_busgador.asp

6.2. Otras fuentes

Cano Barrio, M. L.; *Cara exterior del Lienzo de muralla SO y torres Central y Sur de la alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos). Examen diagnóstico y propuesta de intervención*. Siguiendo el Protocolo I del IAPH para la asignatura Proyectos, Metodología y Seguridad. Curso 2013-14. Presentado en Junio de 2014. Texto no publicado.

Cano Barrio, M. L.; *Cara exterior del Lienzo de muralla SO y Torres Central y Sur de la alcazaba al-Mandari, Tetuán (Marruecos). Proyecto de Intervención*. Siguiendo el Protocolo II del IAPH para la asignatura Proyectos, Metodología y Seguridad. Curso 2013-14. Presentado en Septiembre de 2014. Texto no publicado.

<http://www.gotetouan.com>

<http://www.iaph.es>

<http://www.tetouan.ma/fr/index.php>

<http://whc.unesco.org/en/list/837>

http://www.laac.es/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1

<http://lc-architects.blogspot.com.es/2013/10/frida-kahlo-y-casa-goycolea-chile.html>

<http://www.liberologico.com/en/default/567/SICaR.html>

[Última consulta a estos enlaces realizada el 25 de agosto de 2015]

6.3. Programas y otros recursos técnicos

<http://www.qgis.org/es/site/>

<http://hugin.sourceforge.net/>

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11390028&siteID=123112>

<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

<http://www.sketchup.com/es>

http://www.usa.canon.com/cusa/support/consumer/digital_cameras/powershot_sd_series/powershot_sd750_silver

[Última consulta a estos enlaces realizada el 8 de agosto de 2015]

6.4. Fotografías e ilustraciones*

Fig. 1; *Plano del itinerario de Fridrich*, 1848. En: Vergara Muñoz, J.; *op. cit.*, p. 68.

Fig. 2; *Murallas y vista interior de la Medina en 1860*. Litografía N° 19 (53x71 cm) *Atlas histórico y topográfico del a guerra de África, sostenida por la nación española contra el imperio marroquí en 1859 y 1860*. Madrid: Depósito de la Guerra, 1861. (Imp. De M. Rivadeneyra). En: *Ibidem.*, p. 54.

Fig. 3; *Vista de la Alcazaba de los Adives. Murallas*. Colección de Fotografías de Rafael Milla (1925) de la Biblioteca Nacional. Ref. [17/LF/86. Sala Goya. B.N.]. En: *Ibidem.*, p. 57.

Fig. 4; Vista aérea del Centro Histórico de Tetuán en la actualidad, localización GPS y otros datos. Google Earth Corp. [Captura realizada el 8 de mayo de 2015]

Figs. 5 y 6; *Plano parcelario Tetuán -fragmento-*. Facilitado por la Escuela técnica superior de la Ingeniería de la Edificación -ETSIE-, Universidad de Granada.

Fig. 7; *Áreas y cotas extraídas de la kasbah al-Mandari*, fragmento extraído a partir del archivo *medina tetouan.dwg*. Facilitado por la Escuela técnica superior de la Ingeniería de la Edificación -ETSIE-, Universidad de Granada.

Fig. 18; *La alcazaba al-Mandari*. En: Campos Jara, P. y Duclos Bautista, G., *op. cit.* p. 68.

Fig. 19; *Zoco al-Hut al-Kadim*, 1848. En: *Ibíd.*, p. 156.

Figs. 27 y 28; *Plano parcelario Tetuán*. *op. cit.*

Fig. 29; *Plano parcelario Tetuán -fragmento-*. *op. cit.*

Fig. 37; Esquema óptica fotográfica y su apertura en ángulos. En [Consulta realizada el 7 de mayo de 2015]: <http://www.xatakafoto.com/tutoriales/uso-practico-de-los-objetivos-3-teleobjetivos-i>

Figs. 58 y 59; *Áreas y cotas extraídas de la kasbah al-Mandari*, fragmento extraído a partir del archivo *medina tetouan.dwg*. *op.cit.*

*Fotografías tomadas por la autora en febrero de 2014, capturas de pantalla y gráficos desarrollados por los autores de este proyecto durante su realización entre marzo de 2014 y septiembre de 2015, excepto las imágenes antes indicadas.

Ilustración de la portada; *Kasbah al-Mandari*, logotipo-imagen corporativa del Proyecto. Marisa Cano, 2014.

Impreso en Granada
el 2 de septiembre de 2015

