

# ORTOFOTO Y DIGITALIZACIÓN DE LOS PUENTES DE LEONCILLO Y SASTRE. ACUEDUCTO DE SAN TELMO. MÁLAGA

José Antonio Molina Muñoz<sup>i</sup>, Juan Antonio Camino de Miguel<sup>ii</sup>  
y Helena Torres Herrera<sup>ii</sup>

**RESUMEN:** Motivado por el proyecto de limpieza arqueológica del acueducto de San Telmo, se realizan estos trabajos de documentación y registro gráfico completo que nos permiten examinar el estado actual de los puentes de Leoncillo y Sastre. Con ello obtendremos un volumen de datos con el que poder trabajar sobre planos y fichas de registro obtenidas mediante digitalización y ortofotos que nos sirvan en futuras intervenciones.

**PALABRAS CLAVE:** Proyecto, Limpieza arqueológica, Registro gráfico, Documentación, Digitalización, Ortofotos.

## ORTOPHOTOGRAPHY AND DIGITATION OF THE LEONCILLO AND SASTRE BRIDGES. AQUEDUCT OF SAN TELMO. MÁLAGA

**KEYWORDS:** Project, Archaeological Cleaning, Graphic Recording, Documentation, Digitation, Orthophotography.

**ABSTRACT:** Motivated by the archaeological cleaning project on the aqueduct of San Telmo, the documentation research and the complete graphic record that have been done allowed us to examine the current state of the Leoncillo and Sastre bridges. This will produce a volume data with which to work on plans and registration cards obtained by digitizing and the orthophotos will be helpful in future interventions.

## BREVE RESEÑA HISTÓRICA

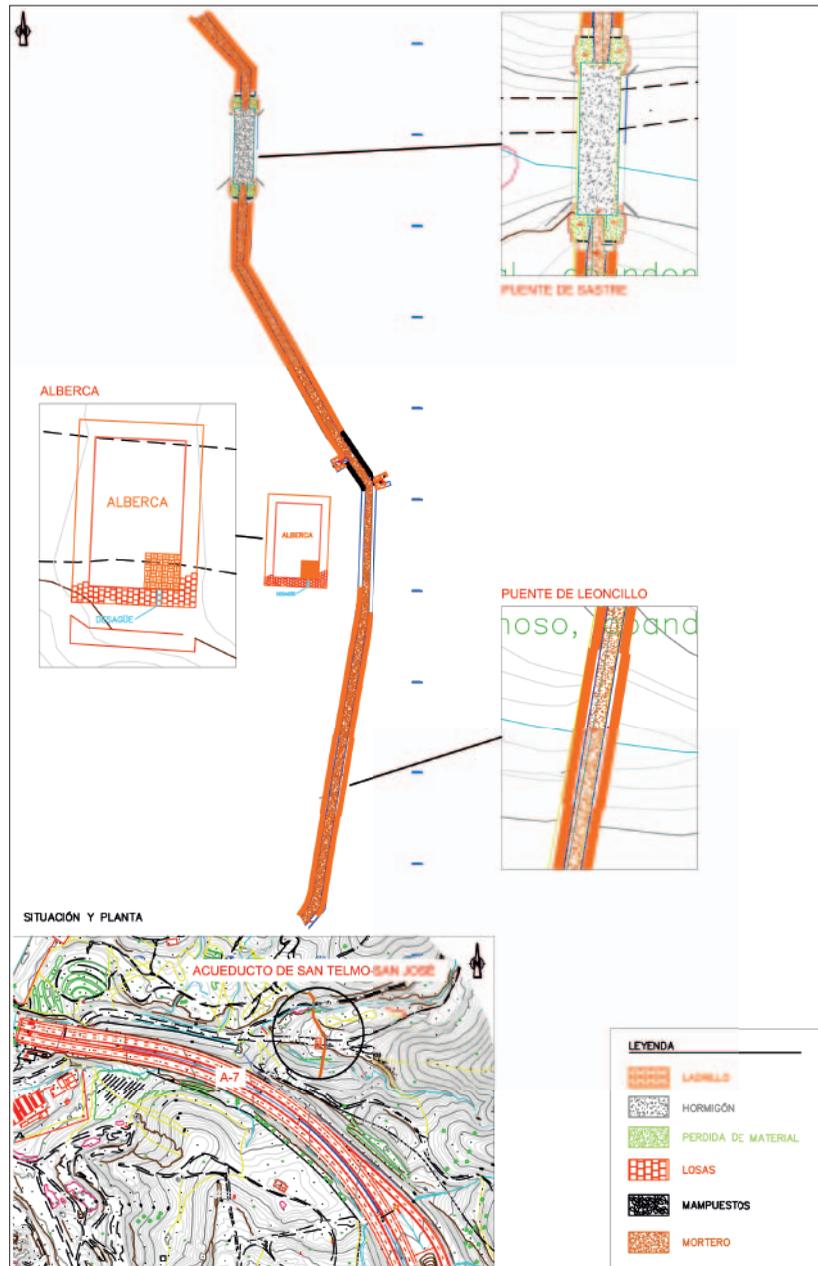
El acueducto de San Telmo es una obra de ingeniería hidráulica del siglo XVIII declarada Bien de Interés Cultural, en calidad de Sitio Histórico, mediante el Decreto 64/2009, de 17 de marzo, por el que se inscribe en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz.

El abastecimiento de agua había sido desde la Edad Media uno de los problemas más acuciantes para la ciudad de Málaga. Se abastecía de pozos de agua dulce, pero con el paso del tiempo y con el aumento de la población urgían otros suministros de agua a grandes distancias.

<sup>i</sup> Técnico de Delineación. Diputación Provincial de Málaga.

<sup>ii</sup> Topógrafo.

<sup>iii</sup> Técnico de Arqueología. Taller de Investigaciones Arqueológicas, S.L.. tarqueologia@gmail.com, helenisticat@gmail.com.



Tras la toma de Málaga en 1487 se hacen los primeros esfuerzos por acometer las traídas de agua desde el río Guadalmedina para el abastecimiento necesario mediante obras hidráulicas, y así resolver tanto los problemas sanitarios como de índole cívica. A mediados del siglo XVI

destaca la traída de aguas que se hizo del arroyo de la Culebra y el Almendral del Rey. Durante el siglo XVII el marqués de Villafiel, corregidor de la ciudad, elabora una serie de proyectos basados en pozos contiguos al río. La falta de financiación también acabó por llevar al traste al



Vista oeste del Puente de Sastre

proyecto del acueducto de la Fuente del Rey, en Churriana, cuyas obras nunca llegarían a concluirse. No sería hasta el 8 de octubre de 1782 cuando se acometieron las obras del acueducto de San Telmo, tras la autorización de una Real Orden de Carlos III, promovidas a expensas del obispo José Molina Lario y Navarro y diseñado por el arquitecto José Martín de Aldehuela, prolongadas hasta el 7 de septiembre de 1784.

Fue la primera obra de gran envergadura técnica en nuestra ciudad. Su trazado abarcaba aproximadamente un recorrido de 11 Km. desde su toma en el río Guadalmedina y a través de dos cauces superpuestos y ejes paralelos: el inferior entubado para aguas potables y el superior al aire libre para riegos y molinos. Se compone de 30 acueductos, destacando el del Arroyo Humaina, el Hondo, el de Quintana, de Melero y Camero, 30 puentes, 33 alcantarillas así como numerosos elementos asociados, tales como arcas, minas, molinos y fuentes.

El acueducto presenta un trazado irregular debido a la abrupta topografía del terreno. El recorrido del mismo se inicia en el denominado Molino del Inca (s. XVIII), una presa que atraviesa diagonalmente el cauce del río Guadalmedina, localizada bajo el viaducto número 4 de la carretera nacional N-331, a una

cota suficiente para que el agua pueda llegar a sus distintos puntos de destino en caída por gravedad.

Siguiendo su recorrido, el acueducto cruza los arroyos Ahorcado y Humaina, por el que hoy día sigue circulando el agua. A continuación discurre por un tramo subterráneo denominado Mina del Álamo y por algunos pequeños puentes, tras pasar el Molino de San Telmo y otro gran puente en el recorrido, el de Arroyo Hondo. Continúa su recorrido por otros puentes: el de la Rambla, el Leoncillo y de la “Huerta Nueva”. Desde aquí entra en el casco urbano de Málaga, hasta llegar al Arroyo Quintana, el mayor acueducto de todo el trazado, también conocido como el “Puente de los Once Ojos”, de 170 metros de longitud.

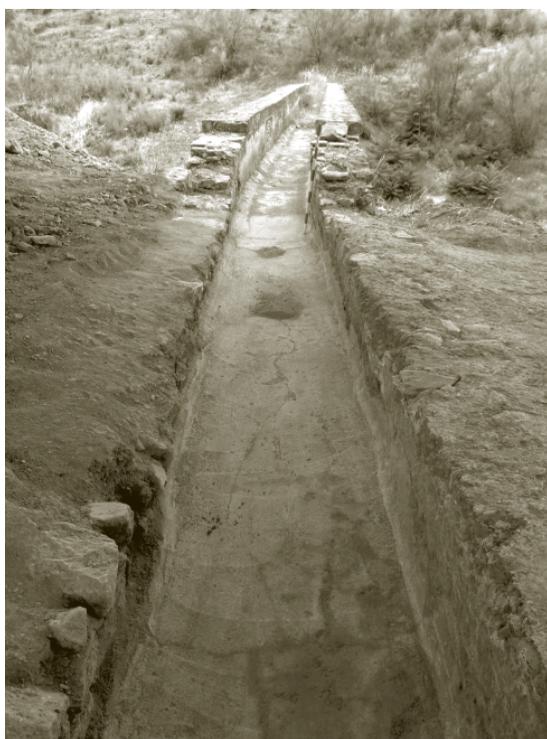
Posteriormente nos encontramos con un espacio donde deberían estar otros puentes pequeños (la mayoría destruidos o enterrados) a su paso por las huertas y vaquerías que entonces había en la zona, junto a la barriada de Santa Teresa, Cortijillo Bazán, los Cipreses y Mangas Verdes, hasta llegar a los arroyos Melero y Aceitero, que son salvados con sendos puentes de un ojo y por los que discurría el agua hasta el último puente, el de Olletas, actualmente enterrado. Y en este punto se introduciría en la zona de Capuchinos hasta el arca principal de distribución o alcubilla mayor, emplazada en la confluencia de la calles Refino, Carrera de Capuchinos y Postigos, donde acabaría el trazado del acueducto como tal.

El arca de distribución se conserva bien, de forma pentagonal y techado de teja vidriada, rematada con una inscripción de las autoridades de la época, incluyendo una imagen de la divina pastora.

Aún en los años 60 del pasado siglo, el agua corría limpia por el cauce de acueducto, al que se denominaba el “Cau”, y a su paso por las distintas huertas llenaba las albercas de cada una de ellas.



Imagen de la zona ocupada por el canal antes de la limpieza



Aspecto final de la misma tras la limpieza

## PROYECTO DE LIMPIEZA ARQUEOLÓGICA

Tal y como mencionamos anteriormente, el proyecto de limpieza arqueológica del acueducto de San Telmo viene motivado por los trabajos de remodelación del enlace entre rondas de Málaga y la CN 32, acometiéndose un proyecto de intervención global en el tramo de Virreinas para examinar el estado actual de los puentes de Leoncillo y Sastre, conjunto de elementos comprendidos entre los dos puentes citados que abarcarían unos 100 m, que incluyen, además de éstos, dos arquetas de distribución y una alberca reguladora para riego situada justo debajo del viaducto, y así verificar su integridad y actuar con algunas medidas de conservación y restauración.

Los objetivos fundamentales eran comprobar el estado de conservación de los elementos dejando visibles los alzados completos y originales para realizar un primer levantamiento topográfico exhaustivo, realizar las ortofotos evitando la ocultación vegetal, dibujo de alzados, así como la limpieza del tramo del canal entre puentes, permitiendo una primera valoración de las patologías que exponían a la obra de ingeniería a un continuo deterioro.

Los pasos a seguir para la limpieza del canal situado entre los puentes se iniciaron con el replanteo de unas pequeñas catas para detectar las estructuras y determinar el estado de conservación de la fábrica del mismo. En las primeras exploraciones manuales se comprobó su buen mantenimiento, puesto que únicamente ofrece pérdidas de material en algunos sectores en alzado. Asimismo, se realizó la limpieza de las arquetas de distribución y de riego.

Con posterioridad se llevaría a cabo la retirada de vegetación y detritos de toda la parte superficial del canal. Otra labor prevista y muy importante era facilitar la visibilidad de los paños originales para trabajar sobre ellos.

Entre las actuaciones previstas a ejecutar en los puentes de Leoncillo y Sastre se contemplaron las siguientes:

- Estudio microestratigráfico mediante lectura estratigráfica de enfoscados y recubrimientos.
- Estudio tipológico de los elementos que lo componen (materiales y huellas de obra, aparejos, elementos singulares, etc.).
- Análisis técnico constructivo: estudio estructural-estudio geotécnico.
- Reconocimiento del terreno.

Al producirse a lo largo de los años una sustancial modificación del entorno, dentro del proyecto de restauración se analizarían las causas, agentes y mecanismos de deterioro:

- Estudios de humedades:
  - Humedad ascendente.
  - Humedad descendente.
  - Fisuras en revoques: por los desagües verticales en el muro.
    - a) Humedades de ascensión capilar.
    - b) Aportes directos de lluvia o evacuación de aguas.
- Caracterización de materiales:
  1. Estudio petrográfico
  2. Mapas de tipos petrológicos
  3. Análisis del material alterado y distribución de los indicadores de deterioro.

## REALIZACIÓN DE LAS ORTOFOTOS<sup>1</sup>

La irrupción del formato digital en las cámaras fotográficas supuso apenas hace unos años un salto cuantitativo y cualitativo en la producción y precisión de los levantamientos

geomorfológicos de muros y paramentos en arqueología, comúnmente denominados “dibujos piedra a piedra” y, erróneamente, fotogrametrías.

Estos nuevos métodos permitieron, en gran parte y sobre todo, un ahorro considerable de medidas auxiliares de campo y el tener que dibujar a “estima”, con más mano artística que exactitud métrica, las citadas “piedras” que componen el dibujo realista.

Ahora, simplemente tomando una fotografía relativamente cenital o frontal mediante unos puntos de ajuste o control se podían corregir las deformaciones y aproximarnos bastante a la realidad, limitándose el delineante a calcar o vectorizar sobre las fotos las “piedras”.

Pero nada es perfecto. El nuevo método también tiene sus defectos: la resolución de las cámaras digitales, la dificultad la mayoría de las veces de poder sacar fotos relativamente cenitales o frontales, el necesitar de la participación de un topógrafo o disponer de estaciones totales para la toma de datos y, sobre todo, las propias limitaciones de los softwares disponibles o accesibles para esos tratamientos de imágenes tan puntuales para un usuario ocasional o por libre, fuera de empresas de fotogrametría, facultades u organismos públicos.

Con todas estas premisas surge el encargo de documentar gráficamente los alzados de estos dos tramos del acueducto de San Telmo. La idea inicial era ver la posibilidad de que si a partir de fotografías digitales y los nuevos métodos empleados para el dibujo arqueológico se podían conseguir ortofotos para la digitalización y vectorización del dibujo “piedra a piedra” de los mismos, a modo de una fotogrametría terrestre, de andar por casa.

Vistos sobre el terreno los dos tramos de acueducto, el reto que se presentaba era grande,

1 Nuestro agradecimiento a José Luis Gutiérrez por la excelente calidad del trabajo realizado en la toma de fotografías con cámara digital profesional de alta resolución.

no sólo por la magnitud y dimensiones de uno de los tramos, sino incluso por la propia dificultad técnica para sacar las fotografías lo más frontalmente posible por la orografía del terreno, que a su vez impedía hacerlas todas desde una misma distancia. Asimismo, la magnitud de las distancias a las que estaríamos obligados a tomar las fotografías no haría posible que la resolución fuese suficiente para que en la pantalla de ordenador se pudiesen ver con la suficiente claridad los detalles para su posterior calcado. Por otro lado, la presencia de zonas estucadas y decoradas con pintura mural obligaba a tener zonas con muy alta resolución. Otro de los problemas sería controlar la deformación y transformación de la oblicuidad de las fotografías para aproximarnos lo más posible a su vista ortogonal, lo que conllevaría una resolución más densa de la malla de puntos de ajuste y control para arrastrar los píxeles a su posición correcta, máxime cuando aparecía el mayor de los enemigos de las ortofotos: las cornisas, con los cambios de plano de proyección y sombras ópticas que eso produce.

Planteamos el trabajo de otro modo: crear una ortofoto de cada alzado, entendida una ortofoto como una fotografía corregida de forma que se obtiene una imagen ortogonal y frontal lo más parecida a la realidad métrica, de modo que todas sus magnitudes están a tamaño real, de manera que al calcar sobre ella sería equivalente a un levantamiento fotogramétrico terrestre convencional, obteniéndose una digitalización al detalle "piedra a piedra" de los tramos del acueducto. Del mismo modo, la misma ortofoto en sí serviría como documentación gráfica auxiliar, ya que la riqueza de detalles e información es aun mayor que una digitalización vectorizada.

Para conseguir burlar las adversidades de la orografía y mantener lo más posible una posición frontal al alzado al realizar la ortofoto, decidimos emplear una cámara profesional de alta resolución montada sobre trípode. Esto nos

permitiría, por un lado, tener siempre una resolución óptima para las visualizaciones en pantalla del ordenador y, a la vez, posicionarnos pseudofrontalmente en el peor de los casos. Como contrapartida conllevaría realizar las fotos por sectores o zonas, tomando infinidad de fotos a diferentes distancias y de diferentes tamaños de un mismo alzado. Aunque esto implicaría crear y trabajar sobre un mosaico de fotos, no nos plantearía más problemas inicialmente que densificar la red de puntos de ajuste y control y conseguir siempre que en cada fotograma digital del mosaico, independientemente de sus puntos de ajuste internos, los puntos envolventes fuesen comunes con los envolventes de cada una de las imágenes contiguas, formando una red poligonal de puntos de ajuste comunes de solape o cosido, para que las transformaciones de cada foto en la línea de sutura coincidiera, al ser común, con la siguiente.

Realmente, la labor de campo de toma de fotografías fue más complicada y dificultosa de lo previsto y la colocación de la red de puntos de ajuste y control aún más difícil y densa, sobre todo por la dificultad de hacer coincidir sobre el terreno puntos que se reconociesen en la fotografía vista en la pantalla del ordenador portátil y que se identificasen en el alzado en la realidad para ser tomados con estación total mediante medidas indirectas con láser sin prisma, y crear a la vez una red poligonal homogénea y lo suficientemente densa de puntos de ajuste.

La labor de gabinete no se quedó a la zaga, ya que la cantidad de fotografías era ingente y de gran resolución, lo que originaba unos archivos de conjuntos de imágenes muy pesados, difíciles de procesar y manipular. Pero poco a poco se fueron insertando las imágenes en su posición en el alzado, ajustándola a los puntos de control y aplicando las transformaciones necesarias para eliminar las deformaciones y conseguir la vista ortogonal, recortando finalmente la parte de la imagen que queda fuera del polígono de ajuste y

que forma el solape con la siguiente, creando un mosaico o puzzle de pequeños trozos de fotografías ortogonales.

En condiciones normales, aquí habría finalizado el trabajo, pues ya se ha creado una ortofoto general del alzado, lista para calcar y vectorizar, pero recordemos que el objetivo era otro: crear una ortofoto continua en la que no se noten los solapes ni el efecto mosaico.

Esta es la parte más laboriosa, ya que de entrada obliga a ajustar e igualar resoluciones para que no haya escalones ópticos al viajar sobre la foto con vistas muy próximas, pero con la salvedad de que en las zonas de estucos decorados dejaríamos la resolución máxima, lo que nos obligó a realizar resoluciones de transición para el resto de las fotos del alzado.

Otro de los ajustes que eliminan el efecto mosaico es el del color de cada una de las imágenes, de forma que cada una de ellas tenga un color igual a las inmediatamente colindantes. Finalmente, y para que en las impresiones o pleteados en papel no se vean los píxeles blancos intercalados por los softwares de impresión, al no saber éstos qué color interpolar entre la línea de unión de dos imágenes y que da un resultado pésimo al imprimir, ya que se verían la mayoría de las líneas de sutura del mosaico, se efectúa un pequeño solape de apenas 1 cm entre una imagen y otra, a modo de un tejado de lasjas de pizarra, de forma que al imprimir la mezcla de color es la correcta.

Con todo este proceso, se consiguió una ortofoto continua y a una calidad y resolución muy buena de cada uno de los alzados de los dos tramos del acueducto de San Telmo sobre los que se ha realizado el trabajo<sup>2</sup>.

## DIGITALIZACIÓN SOBRE ORTOFOTOS Y DIFERENCIACIÓN MATERIAL

Tras las labores de campo y registro fotográfico, el siguiente paso de actuación es el de la digitalización y diferenciación de los elementos y materiales que componen las estructuras.

El método de documentación más adecuado parte de un estudio previo de las necesidades de registro, de los análisis que vayan a realizarse basados en los datos geométricos y de las representaciones gráficas que quieran obtenerse, así como el grado de detalle que queramos alcanzar.

Teniendo como base el montaje del mosaico de las ortofotos realizadas (georreferenciadas y en una excelente calidad para poder ampliar zoom y así acercarnos a los pequeños detalles en los que con una observación normal no podríamos detectar), el siguiente paso es la superposición de la digitalización a la ortofoto en un archivo en formato CAD, diferenciando mediante colores y tramados todos los elementos que conforman el acueducto.

Primero establecemos capas o niveles, que serán las bases para contornear los elementos teniendo en cuenta una serie de criterios para diferenciarlos tales como polilíneas cerradas para piedras y objetos de entidad o masa irregular, líneas para objetos rectos (como cornisas y cajones), y entidades especiales como la spline para algunos objetos que disponen de ciertas curvas.

Tras este proceso base, el siguiente paso es primordial para diferenciar las patologías y alteraciones del acueducto: Toda la información gráfica se jerarquiza en niveles mediante una

2 En el tiempo transcurrido entre la realización del trabajo y la escritura de estas líneas, los softwares específicos para tratamientos de imágenes bajo CAD permiten de ese mosaico obtener una única foto ortogonal, de gran peso y capacidad aunque a costa de una leve merma de resolución, de forma que se pueden ver bajo cualquier programa visualizador o editor de imágenes, sin tener que estar obligados a hacerlo bajo entorno CAD.

codificación y correcta organización de la información obtenida.

Asignamos diferente color y tramado para elementos como el mampuesto, el ladrillo, la argamasa, el mortero disgregado, pintura de falso despiece, grietas o fisuras, pérdida de material, vegetación, etc., y así cualquier indicador para hacer más comprensible la lectura paramentaria y su posterior actuación sobre ella.

El tramado nos sirve para indicar los elementos vegetales que rodean y afectan a la estructura y para diferenciar los materiales constructivos, ya sean morteros de agarre o tratamientos posteriores como el enfoscado o enlucido. Además, utilizamos polilíneas o splines engrosadas para evidenciar las fisuras o grietas en los paramentos.

Estas serían las prioridades en el dibujo de gabinete, que nos dan como resultado un dibujo homogéneo en su composición y heterogéneo en su interpretación.

También es posible combinar ambas técnicas para una mejor comprensión (superponiendo las ortofotos y la digitalización) y así hacer visible el estado de conservación real en el que se encuentra el edificio.

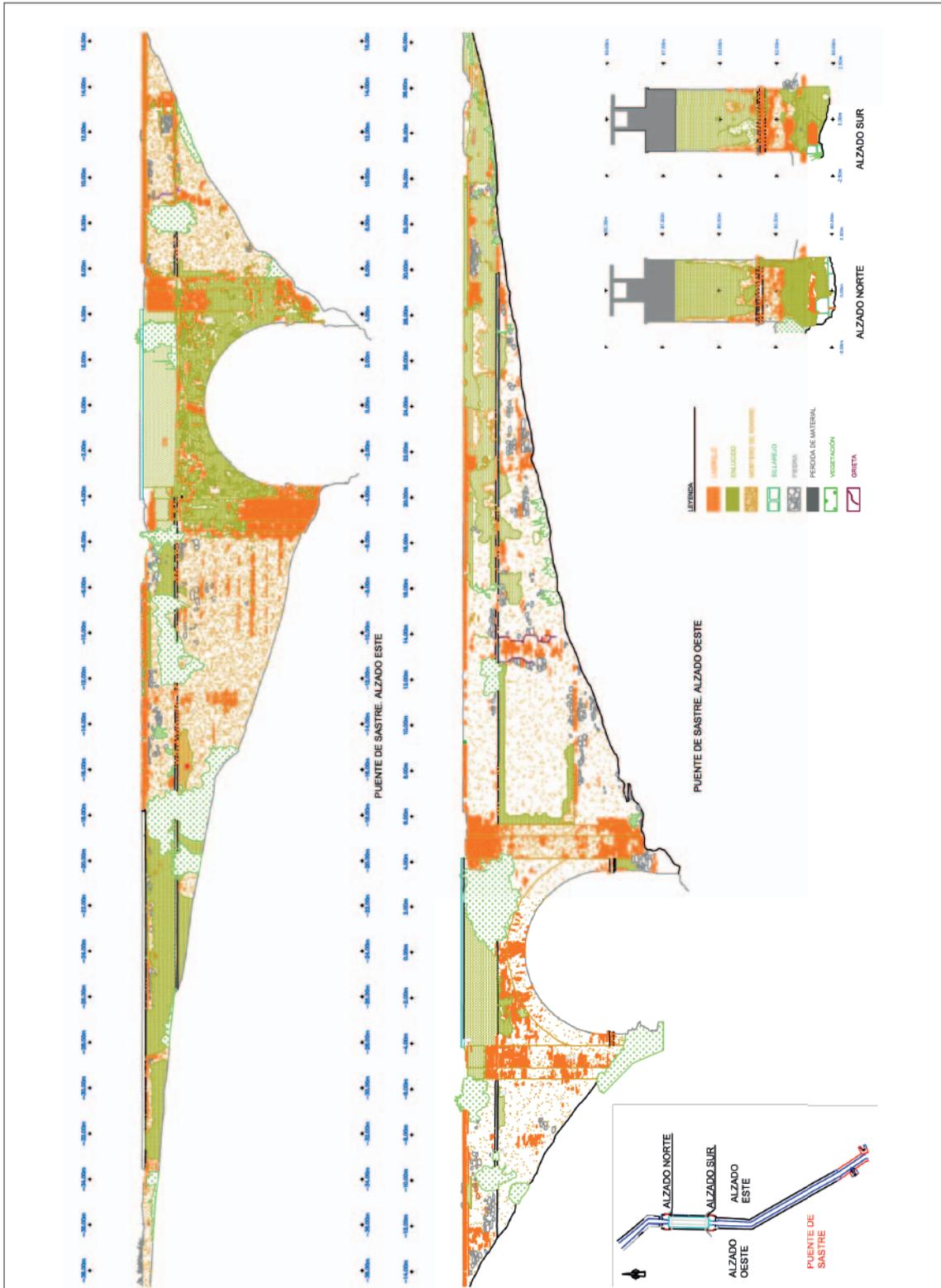
Como resultado final de este proceso se han obtenido un conjunto de planos tales como:

- Planos generales del trazado.
- Ubicación sobre cartografía y parcelario.
- Plantas arqueológicas de las actuaciones.
- Documentación fotográfica de todo el proceso.
- Ortofotografías de los alzados.
- Planos digitalizados de los alzados con las diferentes patologías.

Gracias a esta labor con los planos que hemos obtenido, se puede reproducir el estado actual de los puentes, con la ventaja de realizarse en cualquier momento y con una precisión no inferior a la que se obtendría en campo.



Paño tras su digitalización







## BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACIÓN DE AMIGOS DEL ACUEDUCTO. *Acueducto de San Telmo*. Folleto. Servicios Operativos del Excmo. Ayuntamiento de Málaga.
- DAVÓ DÍAZ, P. J. (1986): *El acueducto de San Telmo*. Servicio de Publicaciones Diputación Provincial de Málaga.
- GONZÁLEZ MART, F. (1984): *Málaga nuestra*.
- MONTES, J. R.: *Andar por el Parque Natural Montes de Málaga*. Penthalon.
- SOTO SALIDO, R. (1999): *La Ciudad Jardín mucho antes*. Gráficas Digarza.
- VICENTE Y MONZÓN, R. (1994): *Relación de la obra del acueducto de San Telmo*. Edición y estudio introducido de Rosario Camacho Martínez. Real Academia de Bellas Artes de San Telmo.
- RAMBLA TORRALVO, J. A. (2007): Remodelación de enlace entre Rondas de Málaga y la A-45, Málaga. Documento administrativo inédito.
- (2007): Informe de la limpieza arqueológica del tramo del acueducto de San Telmo comprendido entre los puentes de Leoncillo y Sastre. (Málaga). Documento administrativo inédito.
- TARMA RESTAURACIÓN Y PATRIMONIO (2007): Proyecto de restauración y consolidación de los puentes de Leoncillo y Sastre, acueducto de San Telmo. Málaga. Documento administrativo inédito.