

La intervención en cimentaciones en suelos problemáticos a través de los tratados históricos de construcción en español

Intervention in foundations in problematic soils through historical construction treaties in Spanish

Resumen

Autores:
Fernando da Casa-Martín*
fernando.casa@uah.es
Ernesto Echeverría-Valiente*
ernesto.echeverria@uah.es
Flavio Celis-D'Amico*
flavio.celis@uah.es

*Universidad de Alcalá

España

Recibido: 12/Mar/2021
Aceptado: 20/Sep/2021

Los tratados históricos de construcción y arquitectura son una fuente de información fundamental. Nos indican el cómo y el porqué de los sistemas constructivos en los últimos siglos. Han sido los textos docentes de los arquitectos desde el siglo XVI. La cimentación es uno de esos elementos. El objetivo de este trabajo es conocer su origen constructivo y el modo de abordar la cimentación en suelos problemáticos. Para ello se han analizado los doce tratados históricos de construcción en español que tratan en su texto los aspectos relacionados con el diseño y ejecución de las cimentaciones. Se han extraído los aspectos relacionados con la cimentación y su aplicación en los suelos problemáticos. Se han ordenado y analizado, y se han podido concluir las referencias que son antecedentes de las técnicas actuales de tratamiento de terreno, así como técnicas para aplicación en recalces de cimentación.

Palabras clave: tratados históricos; construcción; cimentación; suelos problemáticos; tratamientos de terreno.

Abstract:

Historical construction and architectural treatises are a fundamental source of information. They tell us the how and why of construction systems in recent centuries. They have been the teaching texts of architects since the 16th century. The foundation is one of those elements. It is of interest to know its constructive origin. The objective of this work is to know more specifically how to approach foundations in problem soils. For this purpose, the twelve historical treatises on construction in Spanish that deal in their text with aspects related to the design and execution of foundations have been analyzed. Aspects related to the foundation and its application in problem soils have been extracted. They have been ordered and analyzed, and it has been possible to conclude the references that are antecedents of current soil treatment techniques, as well as techniques for application in foundation undercuts.

Keywords: historical treaties; construction; foundation; problem soils; terrain treatments.

1. Introducción

1.1. La necesidad de intervenir en la cimentación de un edificio

Intervenir en una cimentación existente es la definición de recalce. Es un tipo de actuación que conlleva una problemática específica respecto de otras actuaciones dentro del campo de la rehabilitación.

La construcción de la cimentación de un edificio no siempre es la adecuada. En ocasiones se observan soluciones inadecuadas por ausencia de conocimiento (de la técnica, o de los parámetros del suelo), y en otras directamente no hay cimentación (es la fábrica superior la que se introduce en el terreno). A veces las soluciones adoptadas han sido forzadas por las circunstancias (materiales, economía, medios disponibles).

La elección del lugar no responde habitualmente a la calidad del terreno. En ocasiones el suelo es inadecuado para soportar las cargas. La ubicación viene determinada por aspectos ajenos a su condición constructiva, que han provocado finalmente la necesidad de abandono de la población (como es el caso de Calatrava la Vieja en Ciudad Real, por su implantación estratégica en un cruce de caminos, si bien resultó ser un terreno muy insalubre).

Esta situación implica que las condiciones del terreno no serían las adecuadas para construir. Encontramos casos de edificios apoyados en terrenos blandos, aluviales, zonas arenosas, o con problemas propiciados por la presencia de agua. No solamente este tipo de terrenos pueden provocar problemas geotécnicos (Basset, 2020), también los elementos apoyados en rocas pueden presentar graves problemas en su cimentación, por situaciones asociadas a la degradación del macizo rocoso. Conocidos son los problemas de hundimientos, desprendimientos, e incluso la afección por problemas cársticos (formación de cuevas).

Hay que tener en cuenta que, si bien se ha cimentado a lo largo de la historia en todo tipo de terrenos, en muchos casos la inadecuación de la cimentación ha producido movimientos y lesiones que han favorecido el colapso del edificio y la desaparición del mismo. Esto ha afectado incluso a edificios de gran relevancia en el Patrimonio Arquitectónico.

Es fundamental conocer los procesos de diseño de cada técnica; debemos conocer sus posibles aplicaciones, sus problemáticas, y los aspectos relativos a su puesta en obra. Conocer el origen de los sistemas de cimentación, sus razones y modos de resolver los problemas, es relevante para poder comprender cómo funcionarán

(da Casa et al., 2007). Algunos de los problemas de la patología actual derivan del olvido en la razón de ser y hacer de determinadas soluciones constructivas.

De ahí surge el interés en conocer la historia de las cimentaciones, el cómo y por qué se adoptan determinadas soluciones. Las técnicas de aplicación para intervenir en una cimentación surgen de la evolución de las técnicas de cimentación. Teniendo en cuenta que muchas de las intervenciones se realizan sobre cimentaciones históricas, es importante conocer el modo en el que están construidas.

1.2. Los tratados de construcción y arquitectura como fuente de información

Los tratados históricos de construcción y arquitectura son libros que tienen un papel importante en la transmisión del conocimiento, rompiendo con algo como era el secreto de taller, propio del gremio de la cantería o albañilería. Es destacable la frase de Felipe II, contenida precisamente en la licencia que se da al libro de Serlio (tercer y cuarto libros, traducidos por Villalpando y publicados en Toledo durante la década de los cincuenta del siglo XVI), donde expresa su gran interés en que se publique el libro “para el bien de la República, para el bien de la Monarquía, para el bien de la cosa pública en fin” (Bonet, 25-26 de octubre de 2002).

Se debe indicar que sobre los propios tratados se dispone de estudios profundos generales sobre su naturaleza, contenido y relevancia (Bonet, 1980, 2002). A lo largo de la bibliografía disponible se puede observar que los trabajos utilizan los tratados como fuente de información en diferentes aspectos: desde la búsqueda del conocimiento de diversos tipos de arquitectura (Crespo, 2018), hasta estudios dirigidos para establecer cómo la representación del proyecto es la herramienta de trabajo (como germen del proyecto moderno), usando como fuente los tratadistas de la época (González, 2017; Castaño e Irisarri, 2014). En algunas ocasiones se plantea el estudio de determinados casos concretos (Candelas, 2018). En otras, el objetivo es su análisis desde el punto de vista docente (Onecha et al., 2020).

Los tratados que versan sobre el proceso constructivo se convierten en compendios del modo de hacer, y en mayor o menor medida en el argumento justificativo de dichas formas de hacer. Aunque su lenguaje es propio de la época, es de gran interés poder conocer las razones de cada uno de los sistemas, con sus propias formas de expresión. Por tanto, es una oportunidad investigar el origen de los diferentes sistemas constructivos, o incluso cómo abordaban las problemáticas constructivas actuales.

El objetivo del presente trabajo es conocer el origen de algunas de las soluciones de cimentación actuales, así como su particular consideración en la aplicación a los suelos problemáticos.

2. Métodos

Para la consecución del objetivo planteado se ha desarrollado la investigación en 4 fases.

La primera fase, ha sido establecer la selección de tratados de construcción y arquitectura en español (originales o traducciones), base del estudio. Se ha definido el periodo de análisis a partir del siglo XVI, ya que el uso de la imprenta permite una mayor difusión, conocimiento y uso de los tratados en el mundo hispánico. Se tiene conocimiento de cerca de medio centenar de tratados sobre el ámbito de la construcción y la arquitectura (la mayoría disponibles en la web de la Sociedad Española de Historia de la Construcción¹).

En el periodo estudiado se observa la tendencia a la separación entre técnica (construcción), por un lado (Parapetros, 2013), y el arte (arquitectura), por el otro (Rodríguez, 2019), siendo el siglo XVIII su momento álgido. Este aspecto tiene su reflejo en los tratados. Se puede observar cómo se tratan de forma independizada estos aspectos.

Se seleccionan los 12 tratados históricos de construcción en idioma español (tabla 1), en los que se tratan los aspectos relacionados con el diseño y ejecución de las cimentaciones.

De los tratados que no son de autores españoles, se ha seleccionado, de las diferentes traducciones existentes, la más ajustada a la versión original. En el caso de Vitrubio, se ha seleccionado la traducción de José Ortiz y Sanz, de 1787. Hay traducciones anteriores, como las manuscritas de Hernán Ruiz (el Joven) en 1550-1560, la de Lázaro de Velasco en 1564, o la de Miguel Urrea, de entre 1554 y 1564; o las impresas, como la de Miguel Urrea de 1582, o la más tardía de Joseph Castañeda, en 1761. Sin embargo, la traducción de José Ortiz y Sanz, aunque es una versión más tardía, es la que más se acerca en la interpretación

de Vitrubio. Incluso el traductor viajó a Italia para aclarar dicha interpretación, según se nos indica en el propio texto de la traducción (Vitrubio, 1787).

En el caso del Tratado de Palladio, son conocidas las primeras traducciones: la de Juan de Ribero Rada, en 1578, la de Francisco de Santiago Palomares de 1581, otra anónima de 1616, y la de Francisco de Praves, en 1625 (solo de los dos primeros libros). Se ha seleccionado la traducción de 1797 de José Ortiz y Sanz, promovida directamente por la Academia de San Fernando, ya que destaca por su carácter crítico, al igual que en el caso de Vitrubio.

En el caso del trabajo de Alberti, la primera traducción impresa al castellano es la de Francisco Lozano, en 1582, que es la seleccionada. No siendo una traducción modélica, el autor sí muestra el esfuerzo por articular las ideas y conceptos albertianos, y obtiene el visto bueno de la traducción del propio Juan de Herrera.

En el caso del Tratado de Barberot, se ha seleccionado la primera traducción realizada, a la 5ª edición de la versión francesa, realizada por Lino Álvarez Valdés en 1927.

En una segunda fase se analizan de forma individualizada cada uno de las obras. Se extraen las referencias específicas al ámbito de la cimentación, con especial atención a las que versan sobre suelos problemáticos. Se considera de interés el modo de describir las cuestiones en los propios tratados. Las expresiones utilizadas, salvando las cuestiones lingüísticas, muestran la relevancia y conocimientos del momento.

Tratados históricos de construcción seleccionados		
Año del Tratado	Título del Tratado	Autor
S. I. (trad. 1787)	Los Diez Libros de Arquitectura	Marco Vitrubio Polión
1524 (trad. 1797)	Los Cuatro Libros de Arquitectura	Andrea Palladio
1452 (trad. 1582)	Los Diez Libros de Arquitectura	León Baptista Alberti
1598	Teoría y Práctica de Fortificación	Cristóbal de Rojas
1639	Arte y Uso de Arquitectura	Fray Laurencio San Nicolás
1738	Escuela de Arquitectura Civil	A. Genaro Brizguz y Bru
1763	Elementos de toda la Arquitectura	Cristiano Rieger
1841	Práctica del Arte de Edificar	Manuel Fornes y Gurrea
1859	Construcciones de Albañilería	P. Celestino Espinosa
1879	Manual del Albañil	Ricardo Marcos y Bausá
1898	Construcción Civil	Florencio Ger y Lobež
1888-1911 (trad. 1927)	Tratado Práctico de Edificación	Étienne Barberot

Tabla 1: Tratados históricos de construcción seleccionados para el estudio. Se indica la fecha del a 1ª edición, y en el caso de traducción, el año de la seleccionada

Fuente: Elaboración propia

¹ Véase http://www.sedhc.es/biblioteca/tratados.php?id_col=1#

En una tercera fase se analizan las referencias obtenidas para su agrupación según la problemática, en este caso los suelos problemáticos. De este modo se ha podido ver el modo de evolución, tanto en lo técnico como en los tipos de estudios de parámetros a considerar (para el diseño de la solución).

En una cuarta fase se ha buscado la relación de las técnicas reflejadas con las actuales, a fin de detectar indicios para que puedan ser consideradas como sus antecedentes. Se han analizado especialmente las técnicas de tratamiento de terreno.

3. Resultados

Se ha considerado de interés diferenciar los resultados obtenidos en dos bloques. Por un lado, los aspectos relacionados con las cimentaciones en general, sus conceptos, enfoques y evolución. Por otro, las técnicas para resolver cimentaciones en suelos problemáticos, y que tienen por objetivo la mejora de las características del terreno.

3.1. La cimentación en los tratados históricos de construcción

Entrando en el análisis de los documentos donde se desarrollan los aspectos relacionados con la cimentación de los edificios, hay que indicar que en dichos textos se incluyen instrucciones precisas de cómo dimensionar y ejecutar las cimentaciones. En el tratado más antiguo seleccionado, del siglo I a. C., Vitrubio indica:

Se cavará hasta hallar suelo firme si se puede y allí se tomará mayor anchura de la que se le quiere dar a la pared de fuera de tierra, en aquel tanto que pareciere conveniente, atendida la magnitud y la calidad de fábrica; y este hueco se irá llenando de estructura solidísima (Vitrubio, 1787, p.18).

En su tratado, Vitrubio muestra la cimentación como parte integrada de la estructura del edificio:

Los edificios sobre terreno macizo, haciendo los fundamentos según advertimos en los libros antecedentes hablando de muros y techos, serán firmes y aptos sin duda alguna para la duración; pero si debaxo han de quedar sótanos y bóvedas, los fundamentos se harán más anchos de las paredes de encima, y estas, los pilares y columnas sentarán perpendicularmente en medio de los cimientos; pues si el peso de las columnas y pilares sienta sobre pendiente podrán permanecer poco (Vitrubio, 1787, p. 158).

Y además, refleja el comportamiento estructural que tiene la cimentación como parte relevante de la construcción:

Sobre la tierra se edifiquen las paredes por debajo de las columnas del medio grueso más anchas que las columnas, que se han de poner encima, para que sean más firmes los fundamentos que lo de arriba, los cuales se llaman pedestales, porque éstos reciben la carga de las columnas, las salidas de las basas no huellen fuera de lo sólido de la pared. (Vitrubio, 1787, p. 160)

León Batista Alberti, en el Renacimiento, retoma las consideraciones de Vitrubio, y las desarrolla indicando:

Para designar los fundamentos conviene que te acuerdes que los primeros principios o zócalos de las paredes, que también llaman fundamentos, han de ser por una parte alicuota más anchos de lo que ha de ser la pared, a imitación de aquellos que en los Alpes de la Toscana andan por las nieves, porque estos aplican a los pies unos crivos con soguillas texidas para este uso

con cuya anchura se hundan menos las pisadas (Alberti, 1582, pp. 63-64).

En el tratado de Alberti se aborda un aspecto relevante, como es la nivelación del terreno previo a la cimentación: “que por ninguna parte esté cuesta abajo, para que las cosas que se hubieren de poner estén balanzadas con pesos iguales, porque el peso tiene esto en sí por instinto natural de agravar, y apremiar las cosas más bajas” (Alberti, 1582).

En los diferentes tratados se encuentran referencias concretas a la importancia del conocimiento de la naturaleza del suelo. Así Brizguz y Bru, a mitad del siglo XVIII, advierte y pone de manifiesto la importancia que el conocimiento del subsuelo y de los tipos de terreno había adquirido en ese momento. En el capítulo II de su libro (“De los fundamentos y de algunas condiciones que se deben observar para firmeza y seguridad de los edificios”), se advierte en su comienzo: “el primer conocimiento de que el arquitecto debe estar prevenido, es de la naturaleza de los terrenos, que se haian profundando en la tierra” (Brizguz, 1738).

Al respecto de la importancia de la cimentación también encontramos otras referencias. Vitrubio pone énfasis en que las cosas se hagan bien para después tener los menos problemas: “la mayor diligencia del Architecto debe ser en orden a la estructura de los cimientos” (Vitrubio, 1787).

Fray Laurencio San Nicolás muestra su preocupación por el riesgo de posibles asentamientos diferenciales en el caso de bancadas. De este modo, indica: “levantar todo el edificio a nivel (...) sin dejar en ellos bancos, sino es el caso que arrimado a un templo o en el edificio de alguna casa se hiciera una torre” (San Nicolás, 1639). Se debe tener en cuenta que este tratado tiene un marcado carácter docente, utilizando múltiples ejemplos, abarcando tanto aspectos teóricos, como prácticos, y usando un lenguaje sencillo y claro.

Respecto de la definición de cimentación, Palladio, citando en muchas ocasiones a Vitrubio, define la cimentación como la parte soterrada del edificio. Además, avanza el cuidado que hay que tener con ella al indicar: “de todos los errores que se pueden cometer en el arte de edificar son extremadamente perniciosos los cometidos en los fundamentos, porque causan la ruina de toda la obra, y no pueden enmendarse sin mucha dificultad y gasto” (Palladio, 1797).

Ahora bien, curiosamente Alberti no considera la cimentación como una parte del edificio: “El cimiento no es manera alguna parte del edificio, y que donde se ha de echar se ha muy bien de linear”, y la define como “ir hacia lo hondo y cavar donde se ha de buscar el suelo firme y estable (...) y por ventura de piedra” (Alberti, 1582).

Sin embargo, a pesar de ello le da un alto grado de importancia:

... tantas son las cosas que van debajo de tierra sin saberse, a las cuales no seguramente someteréis el peso y el gasto del edificio para que le sostengan, y cierto conviene así en todo el edificio, como principalmente en los fundamentos no menospreciéis cosa en que se puede echar de menos la razón y diligencia de un cauto y bien mirado edificador; pues si en algo se hierra

en las demás cosas, daña más livianamente y se enmienda más fácilmente y sufre más cómodamente que no en los fundamentos, en los cuales no se puede admitir ninguna causa de error (Alberti, 1582, p. 64).

Esta cita nos lleva a reflexionar una posible razón de la ausencia del detalle de la cimentación en gran parte de la documentación de los proyectos arquitectónicos de carácter histórico. En estos planos, a partir del encuentro con el terreno, habitualmente nos encontramos con una línea y el blanco del papel, o en el mejor de los casos solo una zanja rellena de piedra. Valga de ejemplo el plano de 1714 de la Casa del Rey en la Haya (Figura 1).

Rieger, en su capítulo III, define lo que es la cimentación de un edificio. Se diferencian por primera vez en un tratado las dos partes que lo componen: “fundación y cimiento. Fundación es el mismo foso, dentro del cual se constituye la ínfima parte del muro. El cimiento es la estructura, o construcción del sustentante, basa, o asiento, en que estriba todo el edificio” (Rieger, 1763).

Es la primera ocasión en la que se aprecia una consideración específica del carácter estructural.

Espinosa concibe tan solo dos tipos de terrenos: los terrenos firmes (compuestos por terrenos naturales de tierras compactas, arcilla, pedregosos compactos y rocas); y los terrenos flojos o compresibles, los cuales estarían formados por “los terrenos fangosos, los de arena suelta si no está encajonada o contenida por los costados, los terraplenes que no están bastante consolidados por la acción del tiempo, etc.” (Espinosa, 1859). Se puede concluir que para una correcta cimentación solo es necesario dimensionarla correctamente, así como la utilización de diversos sistemas auxiliares para no tener futuros problemas.

En el tratado de Fornes y Gurrea también se identifican dos tipos de terrenos: flojo y fuerte. Si bien su referencia

al dimensionado es una opinión: “tengo por preferible que se dé mayor extensión que profundidad a su planta (...) cuanto mayor sea la base o planta de los cimientos, menor debe ser la presión” (Fornes, 1841).

A diferencia de otros, que primeramente examinan el terreno, y después comienzan las excavaciones, Marcos y Baussa primero propone excavar, y posteriormente comprobar si el terreno encontrado es válido:

... hallado el terreno que se cree firme se procede a sondearle, es decir, a investigar si a mayor profundidad cambia de naturaleza, lo que se hace con la tintera o varilla de hierro, terminada por un extremo en punta dentada y por el otro en un travesaño, también de hierro; la tintera se mete en el suelo verticalmente con precaución para que no se tuerza, untando antes con sebo los dientes y una vez introducida por completo se la da un pequeño movimiento giratorio como de barrena, para sacarla con cuidado y salgan pegados al sebo granos de tierra de las sitios más profundos a que haya llegado. (Marcos, 1879, p. 129)

Aunque insiste en que no solo es suficiente conocer si las capas inferiores donde se va a cimentar son constantes, e igualmente resistentes. Sino que también es necesario conocer la existencia o no de socavones que pudieran hundir los cimientos. Para esto propone dos ensayos por rebote:

... se da un fuerte golpe con un madero o pisón; y se juzga por el sonido hueco o macizo que produzca: también suele emplearse un cubo lleno de agua colocado en el terreno, con un pedacito de papel fino en la superficie del líquido, de modo que no se moje su cara superior, se da un fuerte golpe con el pisón al lado del cubo, y si el agua queda tranquila y no moja el papel por arriba, el terreno será macizo (Marcos, 1879, pp. 129-130).

En una primera aproximación, Ger y Lobe, en su capítulo denominado “De los cimientos y terrenos para fundar”, divide a los cimientos en dos grandes grupos en función de la presencia de agua. Son los “Ordinarios si se establecen en terreno seco donde es fácil excavar hasta encontrar un suelo suficientemente sólido sin que lo

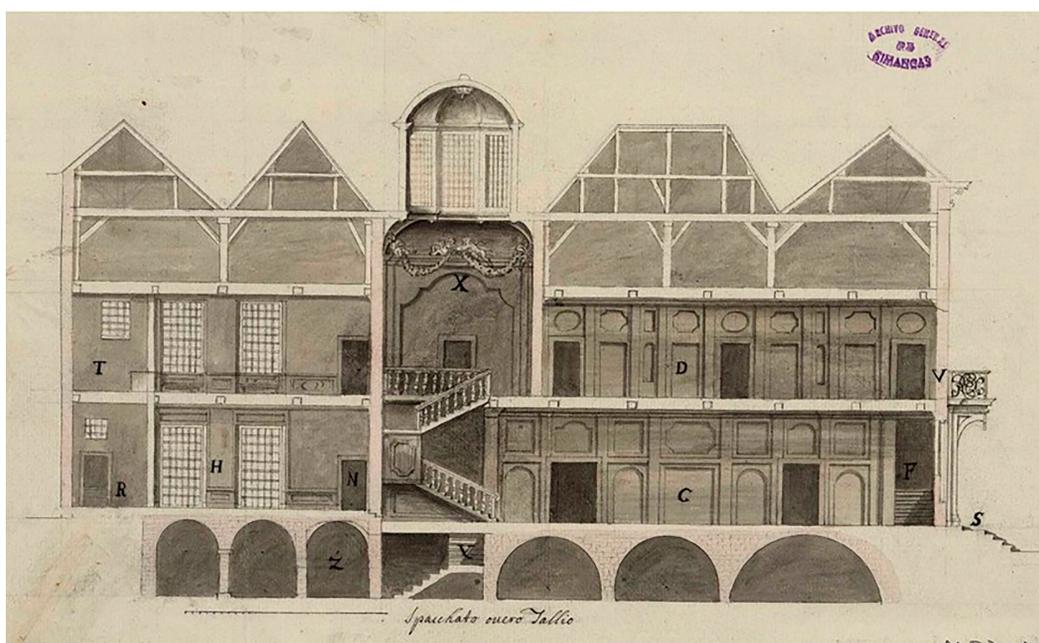


Figura1: Plano de 1714 del edificio de la casa del Rey de España en la Haya

Fuente: Archivo General del Estado de Simancas. Legajo 06384

impida el agua”, y por otro lado los “Hidráulicos cuando estos trabajos se tienen que ejecutar en terrenos llenos de filtraciones y manantiales o que se hallan cubiertos de agua” (Ger, 1898). Es el primero que basa sus cálculos no solo en la experiencia, sino partiendo de una cierta base científica.

A pesar de esto, sus dimensionados no son válidos para todos los terrenos ni para la totalidad de modos de ejecutar las cimentaciones. Plantea en su primer método basar el dimensionado en la resistencia de la fábrica y no de la resistencia del terreno. De este modo, el edificio puede sufrir asientos insoportables por el conjunto estructural. El segundo método solo sería válido para el apisonado sobre terrenos compresibles. No serviría si este tuviese una calidad muy baja, o fuese un terreno “paludoso”.

El primer autor en mostrar abiertamente un ejemplo claro y preciso del dimensionado de los cimientos es Barberot. Relaciona la capacidad resistente del terreno con la carga que, aproximadamente, transmite el edificio al terreno. Esto lo hace válido para todos los tipos de terrenos. Para ello es necesario conocer las resistencias características de los terrenos, y en su tratado presenta un cuadro con las resistencias aproximadas.

3.2. Los tratamientos de terreno en suelos problemáticos en los tratados históricos de construcción

En la lectura de los tratados de arquitectura se observa la preocupación de los diferentes autores por las actuaciones en suelos problemáticos. Se pueden observar diversas técnicas específicas que versan en la variación de las características geotécnicas del terreno para adecuarlas a las necesidades del edificio. Son soluciones que no alteran el tipo de apoyo de la cimentación convencional. Son los antecedentes de los tratamientos de terreno.

Vitrubio hace la referencia de actuación ante suelos de poca cohesión (Figura 2), blandos o no firmes, y cómo mejorarlos:

Si no se hallare suelo firme, por ser paraje postizo hasta muy hondo, o fuere paludoso, entonces se cavará y vaciará la zanja, y se hincarán dentro estacas de chopo, de olivo, o de roble, chamuscadas, metiéndolas a golpe de máquina. Clavaránse bien espesas, y los intersticios que dexaren se llenarán de carbón. Sobre esta empalizada se construirán los cimientos de estructura solidísima. (Vitrubio, 1787, p. 69)

Esta solución será literalmente incluida por Fray Laurencio en su Tratado (San Nicolás, 1639).



Figura 2: Lámina de *Los Diez Libros de Arquitectura*
Fuente: Vitruvio, 1787

Otra referencia similar es la de Palladio dentro de los capítulos VII y VIII, sobre la forma de dimensionar los fundamentos. En ellos hace referencia a la ejecución de cimentaciones profundas ante terrenos paludosos. Para ello indica: “profundizar las zanjas hasta dar en sólido y firme; o si esto no se lograra sin demasiado coste, se cavará un poco en la arena o lastre y allí se harán empalizadas, cuyas puntas (...) lleguen hasta lo firme (Palladio, 1797). Estas consideraciones también sirven para los terrenos arenosos o guijosos, si se encuentran cerca de un río o cauce de agua.

Como última solución, en suelos pésimos Palladio indica que “si el sitio fuere flojo hasta muy profundo (...), se harán empalizadas; y sus maderos ó estacas tendrán de largo una octava parte de la altura del edificio hacedero, y de grueso una duodécima de su largo” (Palladio, 1797). Aporta no solo un dimensionado, sino la advertencia de que no haya huecos entre ellos.

Alberti incorpora a este tipo de solución una propuesta de dimensionado, y el modo de ejecutarlo:

... fijarás copia de palos y pértigas con punta tostada cabeza abajo, hasta lo alto, de suerte, que el área de esta obra sea doblado ancha de lo que ha de ser la pared que de ser, y sea su grosseza respecto de su largura, no menos que responda una duodécima parte. Finalmente unos con otros recalcados se fijen hasta tanto que cuando has fijado muchos no haya entrada para otros (...) con golpe continuo (...) el dar muchos golpes apriesa, cansa y doma toda rebeldía del suelo y la porfía con su continuar (Alberti, 1582, p. 67).

Otros textos presentan tratamientos similares. En esta última línea Brizguz y Bru describe la solución de los enrejados de madera “de buenos marranos de madera bien empalmados, que tengan 9 o 10 dedos de grueso, y llenar los vacíos o cuadraditos que forman de buena mampostería de ladrillo y canto” (Brizguz, 1738). Con la intención de generar un nivel que funcione como apoyo de la cimentación, indicando a su vez la necesidad de una mayor anchura que la cimentación, en uno o dos pies.

Otros tratados dan por conocido este sistema. Rieger, por ejemplo, indica para cimentar en arena floja: “se enreja el suelo con vigas prietas horizontales” (1763).

Se podría decir que esta técnica de enrejados es el precedente de la losa de cimentación como medida habitual para los suelos que, en los tratados, se denominan flojos.

A pesar de ello no es hasta el tratado de Marcos y Baussa en el que se puede observar el proceso de ejecución sobre estos emparrados, e indica advertencias precisas

sobre los cuidados necesarios para evitar la degradación del conjunto “trabando con mortero, pero teniendo cuidado de que este no toque a los maderos, pues la cal los destruiría” (Marcos, 1879). Incluso advierte sobre la necesidad de que los primeros sillares de la fábrica se coloquen en seco (sin mortero), para evitar el mismo contacto con la madera.

Es también en este tratado donde se refiere por primera vez el término de “fundación artificial”, considerando esto como lo que consiste en “comprimir el terreno para formar una masa suficientemente compacta y resistente, que aplaste por igual las capas más inferiores” (Marcos, 1879).

Ger y Lobez plantea esta técnica, pero como sistema de precaución previa a la cimentación. Desarrolla además la descripción para su ejecución, indicando “a fin de comprimir el terreno en lo posible y disminuir, en cuanto se pueda, el asiento que resultaría de su compresibilidad, empleando para ello pisones de gran peso levantados por varios hombres, o mazas” (Ger, 1898). Se podría considerar el antecedente de los tratamientos de compactación superficial.

Para terrenos de mala calidad hasta cierta profundidad, Alberti proyecta una alternativa de concentración de carga y profundización de la cota de apoyo mediante la disposición de arcos apoyados en pilares. En su capítulo III del Tercer Libro indica: “mas con espacios puestos en medio hacemos fundamentos como quien ha de poner pilares y columnas, solamente para que desde allí echados arcos desde las una a las otras se levante la pared restante” (Alberti, 1582). Es el paso de cimentaciones continuas a aisladas.

Brizguz y Bru complementa esta solución:

... algunas veces es forzoso cavar tan hondo para hallar el buen terreno, en estos casos se hagan pilares a cierta distancia, y que sobre estos se erijan unos botarates o pequeños arcos, para que a poca costa se pueda llegar al nivel de la tierra (...) si alguno se haya menos seguro que los otros, sea sostenido por los arcos vecinos, que no pudiendo retroceder por la tierra, que tienen debajo, no es posible que el pilar mude de situación, aunque cargue sobre vacío (Brizguz, 1738, p. 144).

Es el tratado de Cristiano Rieger el que hace una advertencia sobre los apoyos en suelos de diversas consistencias, recomendando actuar con la misma prevención que en suelos de mala calidad, como primera referencia a la problemática de los asientos diferenciales. Asimismo, establece referencias a las cimentaciones mediante pilares y arcos invertidos (Figura 3), si bien considera la disposición del arco inverso de modo que los pilares “solo estriben en lo sólido, puestos de trecho en trecho, y unidos con arcos, los cuales, si se halla algún terreno firme, podrán invertirse (...), la convexidad del arco debe insistir, o en el terreno, en otro contra-arco” (Rieger, 1763)

La solución de una cimentación mediante arcos es incorporada en el tratado de Barberot. Lo recomienda no solo para suelos blandos, sino para suelos rocosos, definiendo el proceso de ejecución:

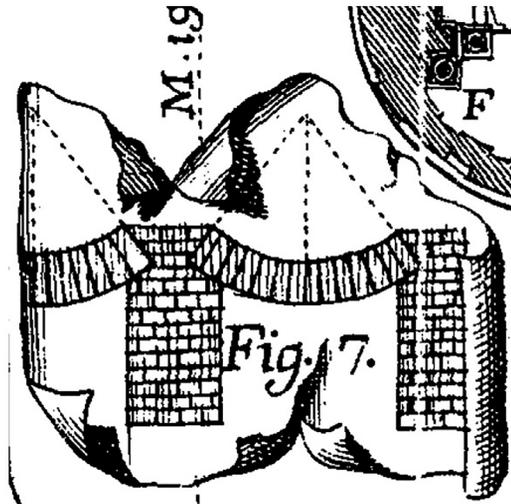
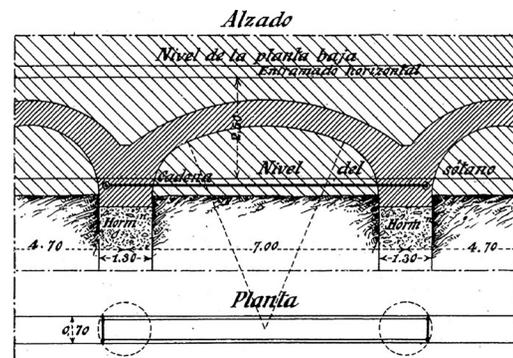


Figura 3: Figura del tratado *Elementos de Toda la Arquitectura Civil*. Figura 7 de la lámina XX. Fuente: Rieger, 1763

Quando se trata de un terreno de roca o de toba, es inútil dar base de sustentación a los muros; se podría incluso prescindir de las zanjas, pero los terrenos suficientemente resistentes para soportar grandes cargas no están siempre a flor de tierra, y en muchos casos habría que descender las cimentaciones ordinarias a profundidades que pueden ser considerables. Entonces hay que recurrir a la cimentación sobre pozos (...) Después de hechos los pozos se rellenan de hormigón bien apisonado por capas de 20 a 30 cm de espesor hasta una altura que está determinada por la flecha de los arcos que se voltean entre los mismos para sostener la fábrica, cuyo peso se refiere de este modo a los pozos. (Barberot, 1927, pp. 15-16)

Es el primer tratado en referir la necesidad de disponer tirantes para aumentar la distancia entre apoyos: “cuando los pozos están muy espaciados y los arcos se eligen de medio punto o elípticos, es necesario encadenarlos a la altura de los arranques de modo que se compensen los empujes, que pueden ser considerables” (Barberot, 1927), lo que se ilustra en la Figura 4. Barberot muestra que para la toma de decisiones en el diseño de estos elementos es necesario el conocimiento del comportamiento estructural del edificio a soportar.



Figs. 16 y 17. — Cimentación sobre pozos.

Figura 4: Figura del Tratado práctico de Edificación. Fuente: Barberot, 1927

Como evolución de estos tipos de tratamientos, Marcos y Baussa advierte el potencial de generar un efecto de confinamiento bajo el emparrillado mediante la disposición de nuevos elementos:

... se le contiene por estos lados con barreras formadas de estacas aguzadas, clavadas a continuación una de otra y a corta distancia, tapando el espacio intermedio con grueso, de pie a pie y medio de ancho, metidos de canto por las canales o ranuras laterales hechas previamente a lo largo de las estacas; estas barreras se conocen con el nombre de tablestacas. (Marcos, 1879, p. 133)

Es la primera definición del tablestacado.

Ger y Lobez hace suya la aplicación del tablestacado en el caso de arenas no cohesivas (Figura 5). Pero lo plantea como sistema de revestimiento de las zanjas de cimentación:

... será indispensable apelar a cajones hechos de tablas clavadas en bastidores de madera, cuyo descenso se ejecuta vaciando los peones el interior de los cajones, con lo que estos descienden: cuando se hallan enterrados, se apoyan otros sobre ellos, los cuales bajarán del mismo modo hasta encontrar la base que se desee (Ger, 1898, p. 162).

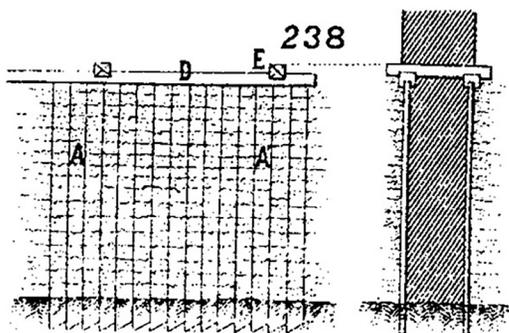


Figura 5: Figura del tratado *Construcción Civil*. Lámina IV
Fuente: Ger y Lobez, 1898

En este caso se plantea la técnica del tablestacado como una operativa para conseguir una cimentación convencional. Sería el antecedente de los pozos entibados.

Por último, en los tratados históricos se dispone el antecedente de las cimentaciones profundas mediante el pilotaje. Según se puede observar, los primeros planteamientos consideran este elemento nuevo fuera del propio cimiento. Por tanto, a modo de “tratamiento de terreno” para poder empezar a construir el cimiento propiamente dicho (Figura 6).

El primero en referir como tal este tipo de solución es Cristóbal de Rojas a finales del siglo XVI. Para cimentar un elemento fortificado (Figura 7) en terrenos muy blandos (pantanos o con agua), extiende en profundidad la solución referida por Vitrubio (la primera indicada en este capítulo):

... se juntará mucha cantidad de estacas de álamo negrilla o de encina, y serán tan largas cuanto sean bastante para llegar a lo firme del fundamento, y se hincarán con un ingenio de mazos, advirtiendo que esta estaca será más ancha cuatro o cinco pies, que el virro de la muralla (...) Hincadas se les echará un derretido de cal, arena y ripios muy fraguado que llegue al ras y plan de las cabezas (de Rojas, 1598, p. 189).

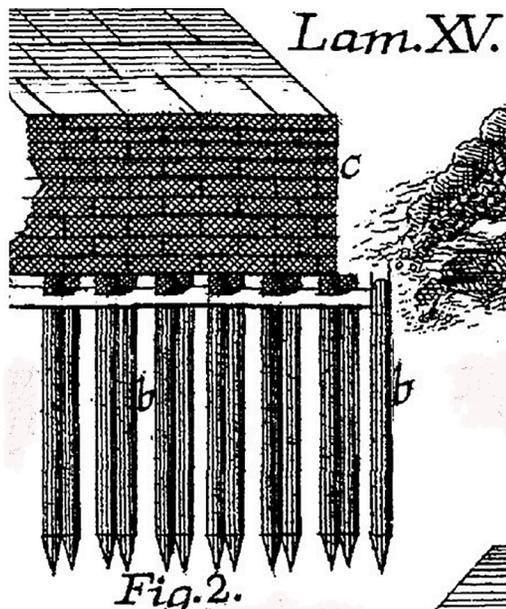


Figura 6: Figura del tratado *Construcción Civil*. Lámina XV
Fuente: Rieger, 1763

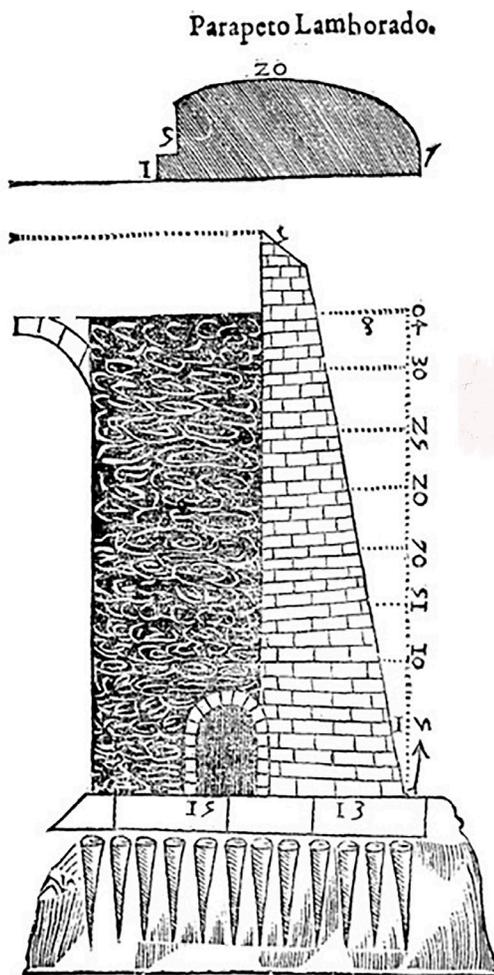


Figura 7: Figura del tratado *Teoría y Práctica de Fortificación* (3ª parte. Cap. VII)
Fuente: de Rojas, 1598

En el tratado de Celestino Espinosa se describe el sistema de perforación mediante la introducción de un pilote de madera (reforzado con collarín y una barra interior), hincándolo y girando a su vez: “de este modo se alisa la pared del terreno y se saca con más facilidad. En este hueco se echa el hormigón” (Espinosa, 1859). Es el antecedente de la perforación por rotación. Asimismo, es la primera referencia al uso del hormigón en pilotes.

El tratado de Marcos y Bausa ahonda en el funcionamiento del sistema, indicando como sistema de compactación: “valerse de los pilotes o estacas de madera metidos en él a plomo en filas que sigan la dirección de las construcciones y a unas, tres o cinco pies unos de otros, según la clase del terreno” (Marcos, 1879). Además, en el mismo texto se profundiza en el desarrollo del proceso de construcción: “hincando en el suelo, primero los que están alrededor del sitio en que se vaya a construir, después los del centro y por último, los que ocupen los puntos intermedios, golpeándolos hasta que la maza rebote” (Marcos, 1879). Incorpora la referencia a disponer las cabezas con una pieza de hierro para evitar su astillaje, colocando con posterioridad “maderos gruesos o traviesas, de mayor longitud que el grueso del cimientó, (...) que son las soleras, bien clavados y enclavijados, constituyendo así el zampeado” (Marcos, 1879). Todo ello acompañado con un correcto apisonado del material de intersticios para ser base de la cimentación (Figura 8).

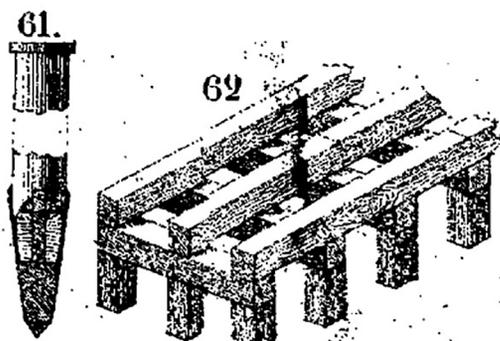


Figura 8: Figura del tratado Manual del Albañil. Lamina 2ª Fuente: Marcos y Bausa, 1879

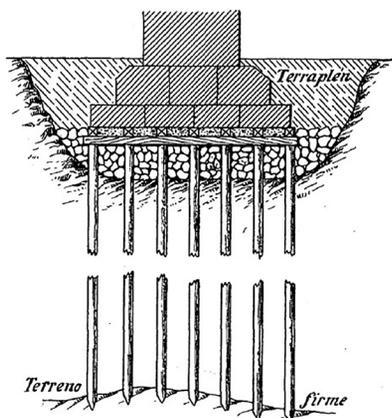


Fig. 29.—Pilotaje.

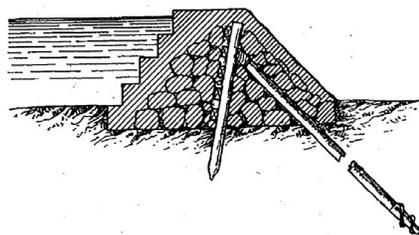


Fig. 30.—Pilotes oblicuos.

Figura 9: Figuras del Tratado Práctico de Edificación Fuente: Barberot, 1927

La traducción del tratado de Barberot, en la segunda década del siglo XX, presenta de un modo más completo todo el tema de la técnica de ejecución de pilotes (Figura 9). Si bien hace hincapié en la construcción con elementos de madera, también indica que “se hacen pilotes de hormigón armado que dan muy buenos resultados” (Barberot, 1927). Las instrucciones que aporta son indiferentes del material utilizado.

En todo caso, se debe indicar que las referencias a estas soluciones para suelos fangosos, reiteran las soluciones vistas e indicadas ya en los primeros tratados al respecto de la creación de zampeados con estructura de madera. El pilotaje se implementa como un elemento intermedio para dotar a la cimentación convencional del nivel de apoyo suficiente.

4. Conclusiones

El análisis de los tratados históricos de construcción en español ha mostrado la gran información disponible sobre el proceso constructivo a lo largo de los siglos. Su estudio permite descubrir el modo de resolver los diferentes elementos constructivos, y entre ellos el presentado en este artículo sobre la cimentación.

Se ha podido mostrar la evolución en el modo de entender el diseño, la construcción y el modo de su descripción lingüística, respecto de las cimentaciones. Todo ello en función de las prioridades y conocimientos de cada época y momento. La adaptación a la evolución de la técnica, y la preocupación hacia la obtención de parámetros de información que permitan resolver las diferentes casuísticas, es una constante de su estudio progresivo.

Es destacable que gran parte de los autores de los tratados hacen la advertencia sobre la necesidad de un correcto asesoramiento para tener la certeza de que lo teórico (lo considerado en el proyecto) coincide con lo real (lo que el terreno nos muestra en la obra), como nos advierte Fray Laurencio San Nicolás “de que el Maestro es bien se ayude de maduros consejos” (1639). Sobre todo, en lo que se refiere a las circunstancias particulares propias de una localidad.

Se ha realizado el análisis de los 12 tratados de construcción en su versión original en español (y las traducciones seleccionadas de autores no españoles), que presentan los aspectos relacionados con el diseño y ejecución de las cimentaciones.

El estudio se ha centrado en el ámbito de los suelos problemáticos, considerados antiguamente en los términos de “flojo”, “paludoso”, “cenagoso”, “fangos”, “movedizo”. Cada una de estas denominaciones aborda la problemática a resolver, mostrando la importancia de la consideración del léxico en cada tratado.

Una de las principales conclusiones de esta investigación versa sobre el origen del proceso constructivo de la cimentación. Se puede observar que en los tratados descritos se muestran aspectos de la técnica que son claros antecedentes de las técnicas actuales, incluso de aquellas que nos pueden parecer invento de la segunda mitad del siglo XX.

De hecho, sorprende que las soluciones de cimentación actual para la resolución de problemas en suelos complejos no difieren en gran medida de las soluciones aportadas en los tratados históricos vistos: tratamientos del terreno, cimentaciones profundas por pozos o pilotes, el uso de losas, o incluso de tablestacados para estabilización previa.

En la Tabla 2 se aporta una relación de cada caso, indicando el razonamiento o justificación de la definición de la cimentación, sus características, y las de la puesta en obra.

En algunas de las referencias presentadas se puede observar la actualidad de los conceptos de los planteamientos, tal y como son descritos en los tratados. Algunas de las advertencias realizadas pueden ser identificadas como propias de la ingeniería

geotécnica (ciencia creada en pleno siglo XX). Ahora bien, las explicaciones datadas se basan en la lógica y la experiencia, facilitando su comprensión. De su análisis se puede obtener un gran aprendizaje para entender el modo de la evolución de la técnica, las razones de su utilización, y las consecuencias de una mala aplicación.

En la actualidad, el ámbito de las cimentaciones especiales queda principalmente en manos de empresas especializadas, basándose su elección, en muchas ocasiones, en complejas cuestiones de cálculo, o en cuestiones de marketing agresivo, siendo un aspecto “tecnificado”, olvidando las razones intrínsecas del problema y el modo de resolverlo en base al funcionamiento del sistema constructivo.

Hay que advertir que ha sido frecuente a lo largo de la historia del hombre el olvido de las razones del hacer una solución constructiva concreta, o del origen de los sistemas que se aplican. Esto ha llevado, en ocasiones, a que el proceso de construcción haya sido por costumbre —simplemente como se ha hecho siempre—, sin saber la razón, sin conocer las consecuencias. Y a veces esto ha conllevado un gran fracaso.

Recuperar el saber hacer de nuestros antecesores es importante. Volver a nuestras raíces, conocer cómo lo hacían y sus razones, es tener memoria de nuestra historia. Ello nos permitirá buscar nuevos modos de actuar, aplicando las soluciones que nos permita la innovación tecnológica, y con su aplicación adecuada resolver los problemas concretos de cada ocasión.

5. Recomendaciones

Otro ámbito de potencial profundización en relación con la metodología de este estudio es el análisis de las cimentaciones en presencia de agua. También sería extrapolable a otros sistemas constructivos.

Antecedentes de técnicas y procedimientos aplicados en las cimentaciones actuales		
Solución precedente (tratado)	Técnica actual	Tratado (primera referencia)
Uso de enrejados	Losa de cimentación para los suelos flojos	Brizguz, 1738
Comprimir el terreno por golpeo o apisonado	Tratamiento de compactación superficial.	Marcos, 1879 / Ger, 1898
Disposición de arcos apoyados en pilares	Cimentaciones de muros mediante pozos	Alberti, 1582
Disposición del arco inverso	Atado transversal entre pozos	Rieger, 1763
Disposición de tirantes entre arcos	Mejora para ampliación de distancia entre pozos de apoyo	Barberot, 1927
Barrera formada de estacas clavadas juntas	Tablestacado	Marcos, 1879
Uso del tablestacado como una operativa de profundización en la excavación de zanjas	Sistema de contención de excavación descendente	Ger y Lobez, 1898
Clavado profundo de estacas para llegar a lo firme del fundamento	Cimentaciones profundas mediante el pilotaje	de Rojas, 1598
Uso de pilote de madera hincándolo y girando a su vez y extrayéndolo para vertido de hormigón	Sistema de perforación por rotación y uso del hormigón en pilotes	Espinosa, 1859

Tabla 2: Antecedentes de técnicas y procedimientos aplicados en las cimentaciones actuales

Fuente: Elaboración propia

Hay una necesidad de conocer el origen, y la razón de nuestros sistemas constructivos, sobre todo a la hora de intervenir en el Patrimonio Arquitectónico. Por ello es de gran interés investigar y difundir desde el punto de vista del ojo del técnico.

6. Agradecimientos

El resultado del presente trabajo es fruto del proyecto de investigación propio de la Universidad de Alcalá: "Profundización en la problemática de los recalces de cimentación: desde el método de selección, al proceso de ejecución, en especial atención a los detalles constructivos". Desarrollado por el Grupo de Investigación de alto rendimiento de la UAH: "Patrimonio arquitectónico y arquitectura sostenible".

Cómo citar este artículo/How to cite this article: da Casa-Martín, F., Echeverría-Valiente, E. y Celis-D'Amico, F. (2022). La intervención en cimentaciones en suelos problemáticos a través de los tratados históricos de construcción en español. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 11(21), 33-44. <https://doi.org/10.18537/est.v011.n021.a03>

7. Referencias bibliográficas

Alberti, L.B. (1582). *Los diez libros de Arquitectura de Leon Baptista Alberto* (Trad. F. Lozano). (Trabajo original: De Re Aedificatoria, publicado en 1452). Casa de Alfonso Gómez.

Barberot, E. (1927). *Tratado Práctico de Edificación*. (5ª ed. Francesa), (Trad. L. Álvarez Valdés), (Trabajo original publicado en 1888-1911). Gustavo Gili.

Basset, L. (2020). *Patología de las cimentaciones: Técnicas de intervención en el terreno*. Universitat Politècnica de València.

Bonet, A. (1980). Exposición bibliográfica del libro antiguo de arquitectura en España. 1498-1880. *Arquitectos: Consejo Superior de Colegios Oficiales de Arquitectos de España*, (40), 24-29.

Bonet, A. (25-26 de octubre de 2002). Los tratados clásicos de la arquitectura. Conferencia de las Jornadas ABBA (Bibliotecas y Bibliotecarios de Arquitectura, Construcción y Urbanismo) COAM.

Bonet, A. (2002). Tratados de arquitectura. En L. García (Ed.) *Historia de la ciencia y de la técnica en la corona de Castilla. 4 (Siglo XVIII)*, (pp. 679-684). Junta de Castilla y León.

Brizguz, A.G. (1738). *Escuela de Arquitectura Civil, en que se contienen los órdenes de Arquitectura, la distribución de los planos de templo y casas, y el conocimiento de lo materiales*. Oficina de Joseph de Orga.

Candelas, A.L. (2018). Trazado de armaduras de cinco paños según los tratados. Interpretación del manuscrito de Rodrigo Álvarez. *EGA. Expresión Gráfica Arquitectónica*, 23 (32), 174 -185. <https://doi.org/10.4995/ega.2018.8875>

Castaño, E., e Irisarri, C.J. (2014). Ilustrando la ideación: acerca del dibujo arquitectónico en los tratados de la España del siglo XVIII. *EGA. Expresión Gráfica Arquitectónica*. (24), 126-139. <https://doi.org/10.4995/ega.2014.3095>

Crespo Fajardo, J.L. (2018). Arqueología de la arquitectura griega en el tratado *De Varia Commesuration* de Juan de Arfe. *Arqueología iberoamericana*, 40, 93-100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3476919>

da Casa, F., Echeverría, E., y Celis, F. (2007). The intervention under soil level, the importance of its knowledge. The technique of the reinforced grouting, *Informes de la Construcción*. 59-505. 21-35.

de Rojas, C. (1598). *Teoría y Práctica de Fortificación, conforme las medidas y defensas de los tiempos, repartida en tres partes*. Luis Sánchez.

Espinosa, P.C. (1859). *Manual de Construcciones de Albañilería*. Severiano Baz.

Fornés, M. (1841). *Observaciones sobre la Práctica del Arte de Edificar*. Cabrerizo.

Ger, F. (1898). *Tratado de Construcción Civil*. La Minerva Extremeña.

González, E. (2017). De la traza al detalle: Analizando la construcción a través del dibujo. *EGA. Expresión gráfica arquitectónica*, 22 (29), 108-117. <https://doi.org/10.4995/ega.2017.7347>

Marcos, R. (1879). *Manual del Albañil*. (3ª edición). Dirección y Administración.

Onecha, B., González, J.L., y Puntos, S. (2020). La Enseñanza de la Arquitectura como Resultado de una Tríada Tergiversada. *VLC arquitectura. Research Journal*, 7 (2), 125-155. <https://doi.org/10.4995/vlc.2020.10981>

Palladio, A. (1797). *Los Cuatro Libros de Arquitectura de Andrés Palladio, Vicentino*. (Trad. J. Ortiz Sanz). (Trabajo original publicado en 1524). Imprenta Real.

Papapetros, S. (2013). Modern Architecture and Prehistory: Retracing The Eternal Present (Sigfried Giedion and André Leroi-Gourhan). *Res*, 63-64, 173-189. <https://doi.org/10.1086/690985>

Rieger, C. (1763). *Elementos de Toda la Arquitectura Civil, con las más singulares observaciones de los modernos*. (Trad. M. Benavente) (Trabajo original: *Universæ architecturæ civilis elementa*, publicado en 1756). Joachin Ibarra.

Rodríguez, D. (2019). *Ensayos sobre historia de la arquitectura del siglo XVIII en España: tradiciones hispánicas y modelos europeos*. Ediciones Complutense.

San Nicolás, F.L. (1639). *Arte y Uso de Architectura*. Juan Sánchez

Vitrubio, M. (1787). *Los diez libros de Architectura de M. Vitruvio Polión* (Trad. J. Ortiz Sanz). (Tratado original del Siglo I a.C.). Imprenta Real.