

PRIMERA PARTE

GENERALIDADES Y ELEMENTOS

- CAPÍTULO I.—Importancia de los cimientos.
- CAPÍTULO II.—Estudio del terreno.
- CAPÍTULO III.—Reseña de los procedimientos de cimentación.
- CAPÍTULO IV.—Tipos de pilotes y tablestacas.
- CAPÍTULO V.—Hinca de pilotes y tablestacas.
- CAPÍTULO VI.—Tipos de ataguías.
- CAPÍTULO VII.—Material para la ejecución de los cimientos.

CAPÍTULO I

IMPORTANCIA DE LOS CIMIENTOS ⁽¹⁾

Cimientos de un edificio. — Cimientos de las obras fluviales o marítimas. El agua es la mayor dificultad de los cimientos. — Cimientos en terreno firme. — Importancia que debe darse a los cimientos. — Ventajas de las soluciones económicas. — Problema de la cimentación. — Cálculo de las presiones máximas. — Variación de presión en los cimientos. Importancia del estudio del terreno.

Cimientos de un edificio. — Se llama cimiento de un edificio la base de la obra construída por debajo del terreno natural.

Los cimientos de los edificios tienen por objeto sustraer su base a las degradaciones de la intemperie, alcanzando al mismo tiempo una capa de terreno adecuado, para repartir convenientemente sobre él las presiones máximas a que esté sometida la construcción.

Cimientos de las obras fluviales o marítimas.—Cuando se trata de puentes, muelles y, en general, de obras en ríos o mares de nivel variable, el cimiento comprende la parte de la construcción que ha de quedar *constantemente sumergida* por las aguas más bajas.

En estas obras el cimiento no sólo debe repartir las presiones

(1) Muchos ingenieros emplean la palabra «fundación»; pero es un galicismo inútil, ya que hay palabra castellana.

máximas sobre un terreno conveniente, sino que debe profundizarse o prepararse, al menos, para resistir a las socavaciones a que pueda estar sometido el lecho del río o del mar, por efecto de las corrientes que en su pie produzcan las mayores avenidas o los más violentos temporales.

El agua es la mayor dificultad de un cimiento. — Esta última condición de *insocavabilidad* que debe tener el cimiento de una obra hidráulica obliga, pues, a precauciones y a procedimientos diferentes de cimentación de los empleados comúnmente en los edificios.

En puentes y muelles, el agua es la principal dificultad de la construcción de un cimiento, no solamente cuando su corriente es apenas perceptible, sino, y sobre todo, cuando se eleva su nivel y aumenta su velocidad.

Pero es, además, el agua una gran dificultad cuando hay que cimentar, como es muy frecuente, en terrenos permeables, como son las arenas y gravas, pues las corrientes subálveas invaden las excavaciones y entorpecen los trabajos.

Hay que luchar, pues, contra el agua durante la construcción; pero, además, hay que precaverse contra las socavaciones que alrededor del cimiento se producirán, por efecto de los aumentos de velocidad en avenidas o en temporales, puesto que las obras deben resistir a esta contingencia inevitable y frecuente.

En cambio, los cimientos de los edificios pueden construirse generalmente en seco y, una vez terminados, no hay para ellos peligro de socavación. Sin embargo, en los edificios aislados y en las poblaciones situadas al borde o en las márgenes de los ríos, cuyos lechos sean aluviones permeables, existirán también corrientes subálveas que perturbarán la ejecución de los cimientos.

Cimientos en terreno firme. — Es muy vulgar la frase de que *debe cimentarse en terreno firme*, entendiéndose por tal las rocas o, por lo menos, las arcillas compactas y duras.

Y hay aún Ingenieros y Arquitectos que, obsesionados por esta frase tradicional, no vacilan en gastar sumas enormes para *ir a buscar el firme* a grandes profundidades.

Es un error lamentable y un dispendio inútil, ya que con cier-

tos procedimientos de fundación más económicos pueden conseguirse análogas garantías de resistencia y duración.

Claro es que la cimentación en roca es siempre la ideal; pero no debe perseguirse sino cuando la diferencia de coste con otros sistemas no resulta muy elevada.

Hay obras monumentales, puentes de gran luz y peso, cimentados en arena, y hasta en fango, que no han sufrido en varios siglos el menor asiento.

Un buen cimiento no depende, pues, solamente, de un buen terreno: exige un buen sistema de cimentación.

Importancia que debe darse a los cimientos. — De la estabilidad y duración del cimiento, que es la base de la obra, depende la permanencia de la construcción.

No quiere esto decir, sin embargo, que siempre tengan que cimentarse las obras *a todo evento*, precaviéndose contra las más remotas contingencias.

Tal criterio, adoptado, sin embargo, por Ingenieros temerosos de responsabilidad, conduce a veces a un gasto en los cimientos muy superior a la importancia y utilidad de las obras. Tan absurdo sería construir un edificio monumental o una obra de gran necesidad sobre un cimiento precario, como emplear costosos sistemas de cimentación para una construcción de escasa importancia.

Cada obra debe tener *el cimiento que se merezca*, y el Ingeniero no debe vacilar a veces en reducir el coste de los cimientos, aun a trueque de exponerse a la ruina de la obra, si con ello no se produce un perjuicio irremediable.

Un puente de camino vecinal, un muelle provisional, por ejemplo, no requieren tantas garantías de solidez y estabilidad como un viaducto de ferrocarril de una línea general o la presa de un pantano, cuyos derrumbamientos pudieran ser catastróficos.

El crédito profesional de un técnico no queda empañado por el consciente peligro de una obra sometida a inevitables y previstas contingencias, sino por una imprudencia temeraria o por su ineptitud evidente.

El Ingeniero que, para evitarse la más remota responsabilidad o molestia, ocasiona a sabiendas un gasto excesivo, comete un verda-

dero abuso de confianza con la Administración, de la que es, no sólo técnico, sino gerente.

Ventajas de las soluciones económicas. — Como en todas las obras, el Ingeniero debe tener en cuenta, no sólo las economías efectivas e inmediatas que puede conseguir, merced a un concienzudo estudio, sino el *interés compuesto* de estas economías, que constituyen un verdadero *fondo de seguro* (1).

Claro es que, tratándose de una obra aislada, las economías obtenidas en ella no pueden constituir *un seguro* contra las contingencias que pudieran presentarse *al poco tiempo de su construcción*.

Pero obsérvese que las obras hidráulicas, donde estas contingencias pueden ocurrir, forman parte de un plan general de obras construídas por el Estado o por grandes Compañías. Las obras se aseguran entonces unas con otras, como hacen las grandes Sociedades de navegación o industriales.

En estos casos se acumulan las economías que en el conjunto de todas las obras se obtienen, lo que equivale a constituir un fondo de seguro, cuyos intereses compuestos permiten subvenir con ventaja a las contingencias aisladas de cualquiera de ellas.

Con el criterio económico que preconizamos, no sólo se ahorran desembolsos inmediatos, sino que las economías realmente obtenidas permiten reconstruir las obras derruídas, aprovechando la experiencia adquirida por la misma contingencia y los perfeccionamientos constantes del arte y ciencia de la construcción, y aun quedará un remanente de importancia, utilizable para otros gastos provechosos.

Problema de la cimentación. — El problema de la cimentación de un edificio o de las pequeñas obras de fábrica (2), en las que no suele haber socavaciones sensibles, se reduce a repartir las presio-

(1) Con intereses compuestos de 5, 6 y 7 por 100 se duplican los capitales al cabo de 14, 12 y 10 años, respectivamente. Estos capitales se cuadruplican a los 28, 24 y 20 años, y así sucesivamente, alcanzan en pocos años cifras enormes.

(2) Llamamos pequeñas obras de fábrica, los caños, tajeas, alcantarillas y pontones, que son las obras de desagüe de luces hasta 0,80 m., 1,00 m. y 9,00 m., respectivamente. Las obras de luces de 10 m. en adelante se llaman puentes.

nes máximas de sus muros y apoyos sobre una superficie tal, que nunca puedan estas presiones determinar asientos de la obra.

Se comprende, por tanto, que no hay dificultad en cimentar una población con edificios de gran altura y peso sobre un suelo de arena, como lo están, por ejemplo, Madrid y San Sebastián. Todo es cuestión de aumentar la superficie de apoyo.

En cambio, el problema se complica y dificulta cuando hay que construir las pilas o estribos de un puente o de un muelle en un lecho de aluvión, fácilmente socavable, porque entonces, además de la resistencia del terreno a la presión, tiene que sustraerse el cimiento a las más violentas socavaciones que puedan producirse.

El estudio de todo cimiento comprende, pues, dos partes esencialmente distintas:

1.^a Cálculo de las presiones máximas a que puede estar sometido.

2.^a Estudio del terreno, en el suelo y subsuelo, y consiguiente elección del sistema de cimientos.

El cálculo de las presiones es un problema preciso, científico, cuya exactitud sólo depende de la que tengan las hipótesis que la mecánica acepta para la resolución de sus problemas de Estabilidad y Resistencia.

La elección del sistema de cimentación es, en cambio, un problema indeterminado, artístico, por decirlo así, por el gran número de soluciones que permiten resolverlo.

Para acertar, tiene el constructor *artista* que *hacerse cargo de la importancia relativa* de cada uno de los factores que deben influir en cada obra, y que son: economía, estabilidad, resistencia, solidez, conservación, régimen hidráulico y contingencias evitables.

Y una vez en equilibrio estos factores, debe apelar a su buen sentido, si no dispone de experiencia bastante para diagnosticar por apreciación personal.

Cálculo de las presiones máximas. — Como hemos dicho, es un problema concreto, perfectamente determinado por los pesos propios de la obra y las sobrecargas que actúan sobre sus diferentes partes.

En los edificios, basta cubicar los muros, pisos, cubiertas y sobrecargas para obtener automáticamente las presiones máximas

que actúan sobre muros y pilares. Pocos son los casos en que intervienen, o en que haya que tener en cuenta esfuerzos oblicuos, ya sea por empujes de tierras, ya por los efectos del viento.

En obras pequeñas de fábrica no suele tampoco ser necesario calcular las presiones máximas. Las dimensiones que la Estabilidad exige para las pilas y estribos de tajeas, alcantarillas y pontones se bastan por sí solas, generalmente, para repartir presiones muy reducidas sobre los cimientos. Sólo en terrenos casi fangosos es, a veces, preciso ampliar la superficie de apoyo para reducir la presión por centímetro cuadrado a límites admisibles.

En los puentes en que los tramos sólo ejercen en los apoyos y cimientos presiones verticales es también elemental la determinación de las cargas máximas.

Variaciones de presiones en los cimientos. — Pero cuando los puentes están formados por bóvedas, se producen empujes oblicuos, *que pueden variar de intensidad y dirección*, según que los arcos estén cargados o no.

Hay que recurrir entonces al estudio mecánico de estas presiones.

Asimismo, en los muros de muelles, sometidos a las variaciones

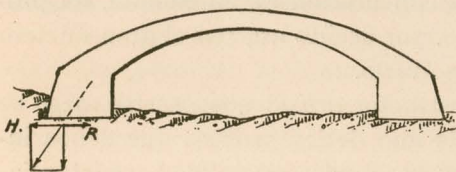


Fig. 1.^a

de nivel del agua por el exterior, y a la diferencia de presiones producidas en su interior por el terraplén, según que esté o no mojado, varían sensiblemente las presiones sobre el terreno.

Igual ocurre en las esclusas de canales, en los diques de arena, en las presas de pantanos y, en general, en todas aquellas obras en que el nivel del agua, que ejerce el esfuerzo principal, es esencialmente variable.

Deben, pues, estudiarse todas estas variaciones de presión para determinar con precisión, no sólo los esfuerzos máximos que pueden producirse, sino la dirección de dichos esfuerzos, que también pueden influir en el sistema y en las dimensiones de los cimientos.

Efectivamente, hay casos como, por ejemplo, en los grandes puentes en arco de pequeña flecha (fig. 1.^a), en que las componen-

tes horizontales H de los empujes son superiores al rozamiento del cimiento R contra el terreno, y es preciso entonces precaverse contra un posible corrimiento de los apoyos, con disposiciones especiales en los cimientos.

La determinación de estas presiones corresponde a la Mecánica aplicada y sólo recordaremos la conveniencia de que los esfuerzos, máximos, sobre todo en obras hidráulicas, no salgan nunca del núcleo central de los apoyos, para evitar esfuerzos de tensión en las fábricas y subpresiones peligrosas en los cimientos.

Importancia del estudio del terreno. — Pero el problema de la cimentación, ante todo y sobre todo, exige un estudio previo y minucioso del terreno en que ha de apoyarse la obra.

Hay que estudiar, no sólo la superficie a la vista, sino, por decirlo así, *las entrañas del suelo*.

Ocurre a veces que en la superficie el terreno se presenta firme, pero puede serlo sólo en una capa delgada o estar formado por gruesos bloques erráticos, por debajo de los que existan terrenos blandos y socavables.

Otras veces se encuentran en la superficie arenas o fangos, en apariencia de gran espesor, lo que no impide que a profundidades no muy grandes haya una espesa capa de terreno duro.

Frecuente es también que los terrenos varíen de resistencia y socavabilidad en una y otra margen de un río, lo que puede obligar, no sólo a variaciones en el sistema de cimientos de los distintos apoyos, sino hasta en el tipo de tramos o arcos de la obra.

Es, pues, el estudio del terreno en que ha de cimentarse una obra quizá el más importante de todos los problemas que integran su proyecto completo.

En puentes, en muelles, en esclusas, en presas, *los cimientos mandan* casi siempre.

El estudio del terreno en que han de cimentarse esa clase de obras localiza, por decirlo así, las soluciones que conviene adoptar, no sólo por lo que se refiere a la clase de material, sino a la distribución de luces y hasta a la disposición de elementos.

En terrenos blandos, por ejemplo, convienen obras de poco peso y deben reducirse, si no pueden suprimirse, los empujes oblicuos.

En lechos muy socavables es ventajoso reducir el número de apoyos, pues no sólo cada uno de los cimientos y sus defensas resulta caro, sino que cada pila es un foco de remolinos en la corriente, y, por tanto, de socavación.

Cuando el terreno firme está próximo, los cimientos resultan económicos, y no hay inconveniente, en cambio, en multiplicar el número de pilas y en aceptar soluciones con empujes muy oblicuos.

Toda concepción de proyecto debe, pues, ser precedida del estudio minucioso del terreno, del que puede depender la disposición general de la obra.

Veamos cómo deben y pueden estudiarse los terrenos.