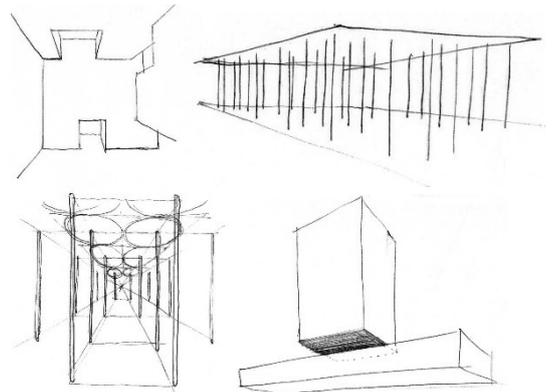


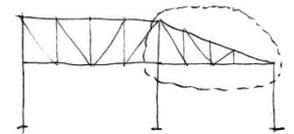
En este documento se presenta un conjunto de aclaraciones sobre el proyecto estructural, organizadas por temas, que es recomendable revisar durante la realización del Trabajo Fin de Máster para evitar errores típicos de tipo supersticioso, es decir, soluciones generalizadas que en ocasiones no tienen justificación científico-técnica y que parecen perpetuarse en el tiempo por repetición y emulación. Las consideraciones expuestas corresponden a la casuística usual de TFM: edificios de uso público en zona de sismicidad media-alta, con cierta libertad compositiva y sin grandes restricciones presupuestarias que impidan alardes formales y estructurales.

MATERIAL ESTRUCTURAL

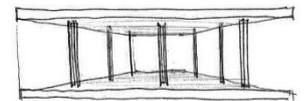
01 La elección del material estructural debería ante todo potenciar la idea de proyecto y su expresividad. No es más adecuado un material u otro, ni debe ser desechada una solución a priori; cualquier solución puede ser resoluble hasta cierto punto. Los materiales estructurales más usados (y algunas de sus cualidades compositivas) son: hormigón (masivo, potente), acero (ligero, tecnológico), madera (natural, amable) y fábrica (austero, artesanal). Las estrategias expresivas de la estructura, de menos a más protagonismo, son: oculta (dentro de particiones); difuminada (elementos vistos repetidos como textura); explícita (elementos vistos reconocibles); y alarde (convertido en idea de proyecto).



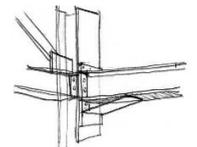
02 Sinceridad estructural no implica que la estructura esté vista ni que se use un solo material estructural: significa que no haya elementos que parece que trabajan de manera distinta a como en realidad lo hacen, o elementos sobredimensionados por cuestiones estéticas.



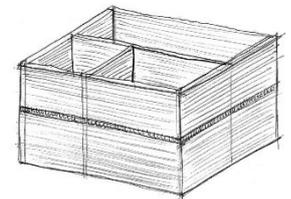
03 Utilizar un solo material no es ninguna virtud, ni mezclar materiales un crimen; simplemente deberían seguir unas reglas coherentes (ej.: forjado de hormigón sobre pilares metálicos, bien; pero, a ser posible, no usar pilares de hormigón en otra parte similar del proyecto a menos que esté justificado).



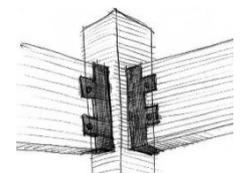
04 En zona sísmica sí se puede utilizar estructura solamente de acero. Es cierto que realizar nudos totalmente rígidos en acero es costoso y exige muchos rigidizadores que le quitan ligereza visual, pero la solución es proyectarlos semirrígidos y simplemente colocar más arriostramiento en el conjunto.



05 Si la fábrica (especialmente si se quiere dejar vista) está presente en un gran número de cerramientos y particiones del edificio, y no hay grandes problemas para que tengan un cierto espesor, puede ser adecuado usarlos como muros estructurales sin pilares de otro material, siempre y cuando formen un sistema arriostrado en dos direcciones, tengan zunchos a nivel de forjado y no se supere el límite de altura (cuatro plantas para sismicidad media, dos para sismicidad alta). Se recomienda armar la fábrica en tendeles.

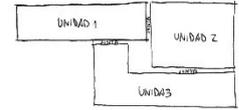


06 En zona sísmica sí se puede ejecutar un edificio en seco (sin mortero ni hormigón). Estructuras completas de madera o plástico pueden ser proyectadas siempre que se garantice el monolitismo de sus uniones mediante herrajes o machihembrados (otra cosa es que sea económico o conveniente). En el caso de hormigón prefabricado se deberá evitar las uniones simplemente apoyadas por rozamiento.

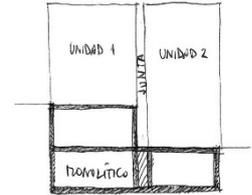


CONFIGURACIÓN GENERAL

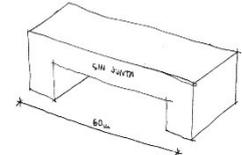
07 La porción de edificio entre juntas estructurales se llama “unidad estructural”, no “junta”.



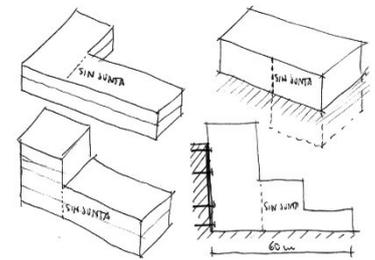
08 Las juntas estructurales funcionan simultáneamente como juntas de dilatación y como juntas sísmicas, y no cortan ni a la cimentación ni a los muros de sótano, ni en general a cualquier elemento bajo rasante.



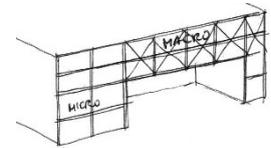
09 Las juntas de dilatación cada 40 m no son obligatorias, sino solo una opción para no tener que incluir las cargas térmicas en el cálculo. Si el edificio tiene una macroestructura de más de 40 m que necesita ser monolítica para su estabilidad, mejor sin junta.



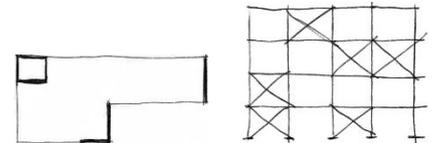
10 Las juntas sísmicas dentro de un mismo edificio se deben evitar. Solo suelen ser necesarias en edificios de más de 6-8 plantas con planta irregular (en L o en T) o en torres altas situadas en posición no centrada sobre pódiums más extensos. No hacen falta ni cuando el edificio cambia de altura ni cuando la cimentación cambia de cota ni cuando el edificio es intraslacional por estar anclado a una ladera del terreno.



11 En estructuras singulares con grandes luces, suele ser una buena opción plantear dos órdenes estructurales: uno “macro” para resolver dicha singularidad (vigas pared o similar) y otro “micro” que se extiende por todo el edificio.



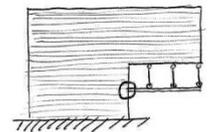
12 En zona sísmica, para arriostrar lateralmente suele bastar con colocar muros de hormigón o cruces de acero aprovechando paños ciegos: fachadas, medianeras, núcleos... Mejor cuanto más hacia el contorno del edificio. Los arriostramientos no tienen por qué ser continuos en altura: pueden ir variando de posición en planta.



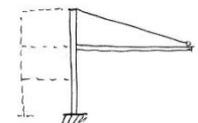
13 En zona sísmica sí se pueden proyectar pilares apeados (apoyados sobre vigas sin pilar inferior); basta con considerar la acción sísmica en el eje vertical.



14 En zona sísmica sí se pueden proyectar plantas colgadas de otras, siempre y cuando se garantice el arriostramiento lateral.



15 Para resolver un gran voladizo no basta solo un gran canto sino que esté compensado detrás al menos con la existencia de un vano completo.

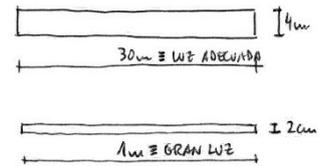


16 En general, solo se justifica la existencia de rótulas en un edificio porque sea muy caro ejecutar un nudo rígido, porque se quiera evitar el pandeo de un pilar esbelto o en bases de pilares sobre zapatas tan lejanas de las contiguas que no permitan colocar vigas centradoras. Pensar que es más seguro articular las vigas para que no sufran a sismo es una superstición, puesto que harán sufrir más a los pilares. Articulaciones, cuantas menos mejor.

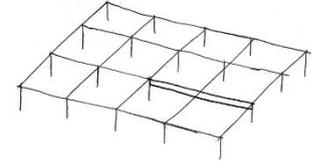


FORJADOS

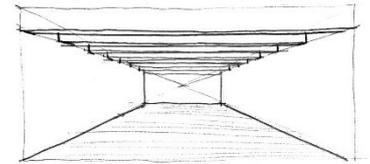
- 17 No existe ningún límite máximo de luz: 7, 10, 15, 20 m... El problema de la flexión es un problema de proporción, de dar canto proporcionado a la luz. De entre los sistemas que permiten menores cantos con luces similares, están los forjados pre-postesados y los de vigas-viguetas mixtas.



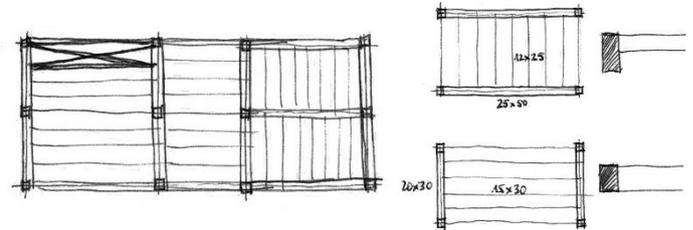
- 18 Aumentar el canto de forjado en todo el edificio por culpa de una zona específica con mayores luces no es una buena opción. Se puede optar por solucionar el problema concreto descolgando algunas vigas o disminuyendo los interejes, por ejemplo.



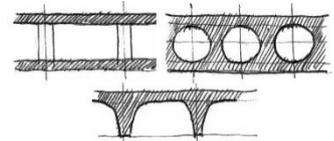
- 19 Asociar unidireccional con luces pequeñas y bidireccional con luces grandes es una superstición. De hecho, el forjado más económico para luces de hasta 5-6 m suele ser la losa maciza de pequeño espesor. El forjado unidireccional puede preferirse cuando se tengan paños de forjado muy rectangulares (más de 2:1) o cuando se quiera dejar los nervios vistos para ofrecer una textura.



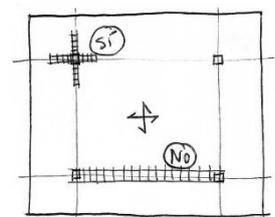
- 20 En forjados unidireccionales, la viga no tiene por qué ir en la luz larga y la vigueta en la pequeña; de hecho, colocarlo a la inversa suele ayudar a obtener cantos similares en vigas y viguetas. La decisión suele venir de la posición de los huecos del forjado, para evitar brochales. No es ningún problema cambiar la dirección del forjado en el mismo edificio.



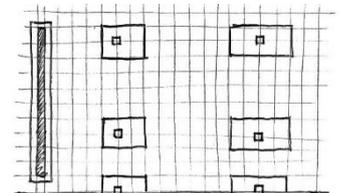
- 21 De entre los forjados bidireccionales, se prefiere una losa maciza para cantos pequeños (hasta 25 cm) y una solución aligerada para cantos mayores: Elesdopa o Bubble Deck si se quiere dejar la cara inferior vista y reticular en caso contrario.



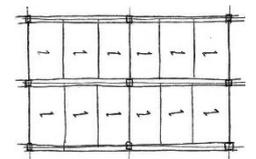
- 23 Los forjados bidireccionales de hormigón no llevan vigas embebidas, ni de hormigón ("jaulas" estribadas) ni perfiles de acero, salvo para crucetas de punzonamiento.



- 24 Los forjados bidireccionales aligerados sobre pilares requieren de ábacos cuyo lado suele ser un tercio de la luz entre pilares en cada dirección, típicamente 3-4 casetones para luces medias-altas. Los ábacos pueden ser asimétricos y descentrados. En su encuentro con muros también suele ser necesario un pequeño macizado de medio casetón a cada lado.



- 25 Los forjados de vigas mixtas con chapa colaborante suelen ser unidireccionales y se resuelven con tantos órdenes de vigas-viguetas-correas como haga falta para reducir la distancia entre apoyos de la chapa a 1.5-2.5 m. Pueden funcionar perfectamente con luces grandes siempre que haya suficientes conectores.

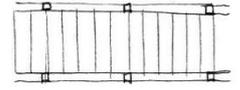


- 26 En forjados de chapa colaborante, la capa de compresión suele ser suficiente con 6-10 cm por encima de la onda.

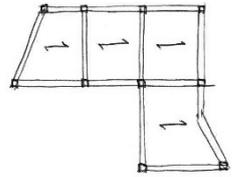


VIGAS

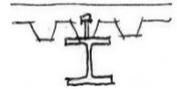
- 27 En forjados unidireccionales, los zunchos o vigas transversales son solo necesarios por sismo; en el resto de casos, la capa de compresión es suficiente para dar monolitismo transversal.



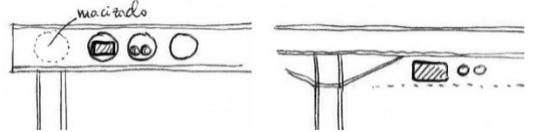
- 28 No es ningún problema colocar vigas oblicuas, quebradas o embrochadas siempre que exista capa de compresión.



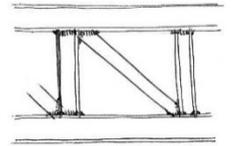
- 29 Las vigas o viguetas mixtas trabajan mejor con perfiles HEB que IPE.



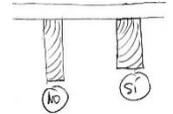
- 30 El uso de vigas Boyd solo se justifica por causas formales, ya que su resistencia a cortante está muy mermada. Un perfil más pequeño de acero con cartelas en su unión con el pilar, que permita pasar instalaciones en su parte central, puede ser más eficiente.



- 31 Las cerchas pueden ejecutarse con nudos rígidos (soldados o de cualquier otra forma). Cuando se sitúan bajo un forjado, no hace falta materializar el cordón superior; análogamente, no es necesario materializar los montantes extremos si se une a muros de hormigón.

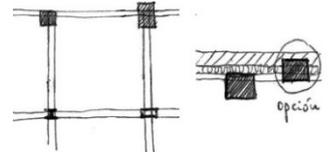


- 32 Las vigas y viguetas de madera en edificios públicos con una exigencia importante a incendio no suele ser posible realizarlas de sección muy estrecha y esbelta.

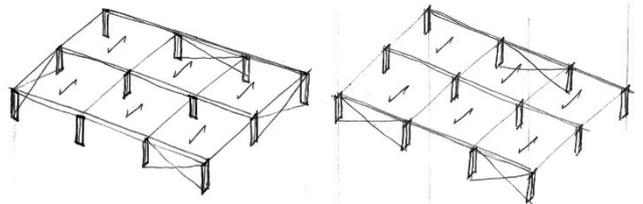


PILARES

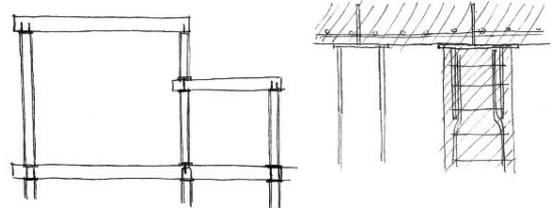
- 33 Es fundamental que haya una relación clara entre los pilares y particiones-cerramiento: embebidos o exentos. Debería evitarse las "mordeduras" y los "granos". Si para evitarlos hay que tolerar un puente térmico, habría que cuantificarlo y decidir.



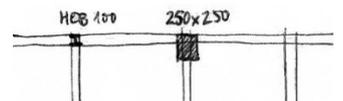
- 34 En edificios arriostrados, la dirección de apantallado de los pilares es indiferente, no necesitan estar apantallados en la dirección de las vigas. Si hay menos arriostramiento en una de las direcciones, es conveniente disponer el apantallado de pilares en esa dirección. En acero se pueden ejecutar pilares apantallados soldando perfiles adosados.



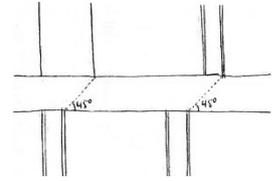
- 35 En zona sísmica no es imposible proyectar pilares cortos (por cambios de nivel de forjado, interacción con mesetas de escalera, etc.): basta con ejecutarlos biarticulados en pie y cabeza (si es en hormigón, mediante placas de anclaje) y garantizar que en esa planta hay suficiente arriostramiento lateral.



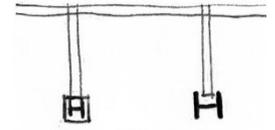
- 36 En edificios arriostrados de menos de 4 plantas con luces moderadas, usar pilares de hormigón puede resultar sobredimensionado. Puede ser conveniente proyectarlos en acero.



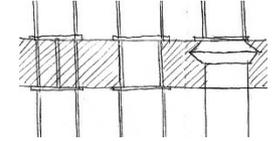
- 37 No hay ningún impedimento para que un pilar superior sea mayor que el inferior siempre y cuando la viga o forjado de transición tenga un canto igual a la diferencia de dimensiones. De igual forma, puede existir una excentricidad entre ambos pilares igual al canto del forjado.



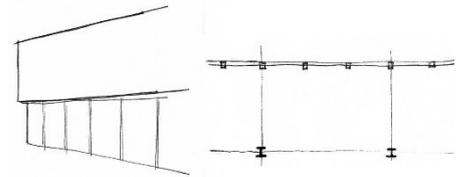
- 38 En edificios públicos con elevada exigencia ante incendio, no es imposible tener pilares vistos de acero (solo con pintura intumescente); basta con sobredimensionarlos.



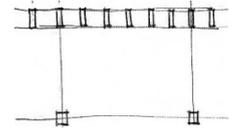
- 39 A su paso a través de losas de hormigón, los pilares de acero pueden interrumpirse o atravesarlas.



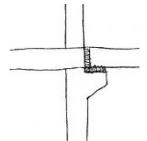
- 40 En paños extensos de vidrio, es posible utilizar los montantes tubulares como pilares estructurales a distancias pequeñas ("muro de pilares"), a fin de dar una imagen continua.



- 41 Es posible utilizar las lamas verticales de hormigón como un muro de pilares, siempre y cuando estas tengan al menos una sección de 15x45 cm.

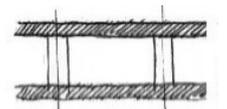


- 42 No es necesario duplicar los pilares a ambos lados de una junta estructural (diapasón): se pueden ejecutar juntas en ménsula incluso en zona sísmica.

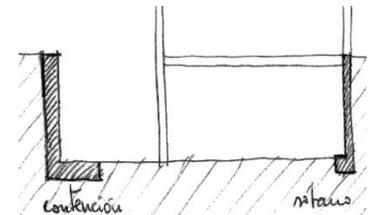


MUROS

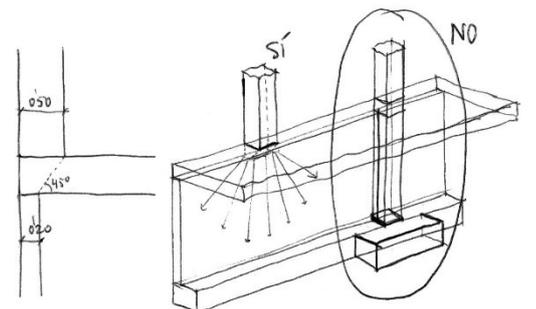
- 43 El espesor requerido por los muros de hormigón es mucho menor que el de los pilares: el muro mínimo de 20 cm suele ser suficiente en la mayoría de los casos con luces moderadas. Si se desea un mayor espesor para mostrar potencia visual, hay que recurrir a muros aligerados (Elesdopa o similares).



- 44 Los muros de sótano no son muros de contención puesto que su cabeza está acodada. Por tanto, su espesor requerido es mucho menor.



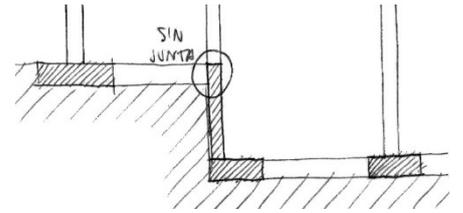
- 45 Los muros de sótano pueden ser de menor espesor que los pilares que apoyan sobre los mismos; basta con disponer un forjado de un canto mayor que la diferencia de dimensiones. Está totalmente injustificado prolongar los pilares hasta la cimentación, no hacen falta ni dichos pilares ni sus respectivas zapatas.



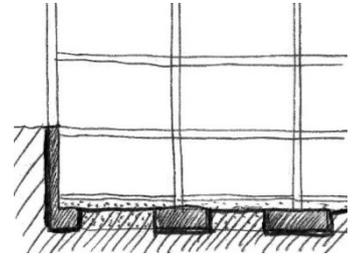
- 46 En zona sísmica el uso de muros de hormigón no obliga a disminuir la ductilidad.

CIMENTACIÓN

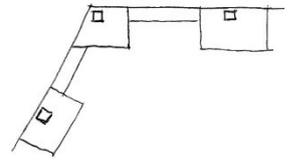
- 47 Tener zonas del edificio cimentadas a varias cotas no suele ser problemático, y no requiere de juntas de cimentación. Las zapatas corridas pueden presentar desniveles (banqueos) o incluso ser inclinadas si están empotradas en el terreno.



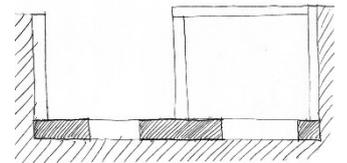
- 48 Ni la existencia de terreno poco resistente ni la existencia de sótanos obliga necesariamente a pasar de zapatas a losa, que es mucho más cara. Solo se justifica si, debido a la gran altura del edificio, su carga elevada o la baja calidad del terreno, las zapatas salen tan extensas en planta que se solapan u ocupan casi toda la parcela; o si se encuentra bajo el nivel freático, por facilidad de impermeabilización.



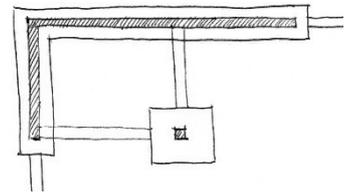
- 49 Las zapatas pueden tener cualquier forma y orientación en planta; basta que tengan suficiente superficie de apoyo.



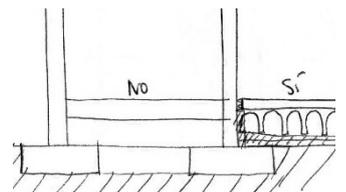
- 50 Las zapatas corridas centradas bajo muro de sótano tienen un ancho muy pequeño, mucho menor que bajo muro de contención y que las zapatas aisladas.



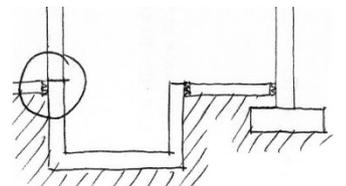
- 51 Las zapatas corridas necesitan vigas riostras transversales a distancias similares que los pilares, y vigas centradoras si son excéntricas.



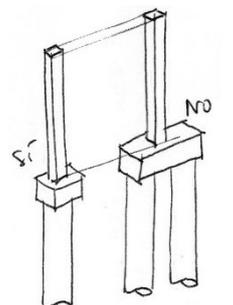
- 52 En zona sísmica se debe evitar el forjado sanitario monolítico con los pilares, puesto que generaría pilares cortos; mejor una solución tipo Caviti.



- 53 Los pilares del contorno de ascensores no necesitan zapata si se apoyan en los muretes que rodean al foso.

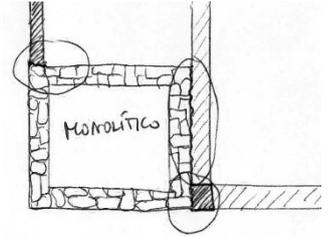


- 54 Si hay que pilotar, es preferible colocar un solo pilote de más sección bajo cada pilar, antes que varios. Igualmente, mejor una sola hilera de pilotes bajo un muro.

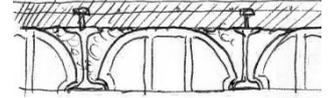


REFUERZO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

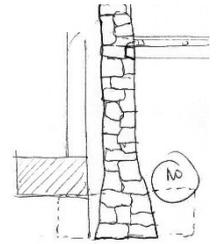
- 55 Las estructuras existentes de muros de fábrica no armada suelen ser deficitarios ante sismo. Por tanto, suele ser mejor que las partes nuevas sean monolíticas con las existentes a fin de que las nuevas arriostren a las antiguas, en lugar de pensar que es mejor no tocarlas. Además, el peso suele mejorar su estabilidad.



- 56 Si es necesario reforzar los forjados debido a un aumento importante de la sobrecarga de uso, será preferible hacerlo por la cara superior (típicamente añadiendo una capa de compresión suficientemente anclada), a menos que el pavimento sea de interés y haya que buscar una solución por la cara inferior (parteluces, pletinas...).



- 57 Aumentar la superficie de apoyo de las zapatas debido al aumento de sobrecarga de uso suele tener alto coste y no siempre es necesario, puesto que dicho aumento relativo suele ser despreciable frente a la carga permanente debido al gran espesor de los muros, y debido a que las tensiones iniciales solían ser bajas y además el terreno suele estar ya consolidado después de un cierto periodo de vida.



Bibliografía

- Calavera, J. (1999). Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón. INTEMAC, Madrid.
- CEN. Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance—Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. European Standard EN 1998-1:2003- Comité Européen de Normalisation, Brussels. 2004.
- CEN (2005). Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance-part 3: assessment and retrofitting of buildings, European Standard EN 1998-1:2005. Comité Européen de Normalisation, Brussels.
- CDNS (2002). Norma de construcción sismorresistente NCSE-02. BOE 2002 N° 244, Madrid.
- CPHE (2008). Instrucción de hormigón estructural EHE-08, Ministerio de Fomento, Madrid.
- De Miguel Rodríguez, J. L. (2019). Estructuras 2. Munilla-Leria, Madrid.
- Fardis, M.N. (2009). Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings. Springer, London.
- MF (2006). Código Técnico de la Edificación, CTE. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Pagano, M. (1968). Teoria degli edifici. Liguori, Napoli.