Cómo trabajan, se deforman y lesionan los elementos estructurales en la edificación

Manuel Muñoz Hidalgo

Depósito Legal: SE 92-2018
I.S.B.N. 978-84-697-9086-1

MANUEL MUÑOZ HIDALGO
Técnico en Cálculo de Estructuras
Especialista en Patología de la Edificación

Edita:
MANUEL MUÑOZ HIDALGO
C/.José Laguillo 27
41003 SEVILLA
Edición año 2018

Dirección técnica:
FCO. JAVIER MUÑOZ CALLE

Colaboradores:
JESÚS MANUEL MUÑOZ CALLE
PELAYO CEIJAS SALA

Imprime:
Autores Editores SAS

ES PROPIEDAD
Derechos reservados

© Prohibida la reproducción total o parcial de este libro.

El contenido de esta obra está protegido por la ley, serán responsables los que la reprodujeren.

Lo dedico a mis hijos, Jesús, Javi y María del Mar por su intervención en la composición, escritura y montaje de todos mis libros

AGRADECIMIENTO A PROFESIONALES

El autor expresa su agradecimiento por la gran ayuda en su importante labor de revisión, crítica y mejora de este libro a los profesionales siguientes:

D. Alberto Ballesteros Rodríguez	Arquitecto
D. Enrique Cabrera Luque	Ingeniero de Caminos
D. Miguel Ángel Callejas Ortego	Dr. Arquitecto
D. Francisco Caro Rivero	Profesor
D. Pelayo Ceijas Sala	Arquitecto Técnico
D. Manuel Ferrero Gómez	Arquitecto Técnico
D. Fernando Medina Encina	Dr. Ingeniero de Caminos
D. Fernando Medina Reguera	Ingeniero de Caminos
D. Antonio Moya Ayucc	Ingeniero de Edificación
D. Fco. Javier Muñoz Calle.	Dr. Ing. Telecomunicación
D. Jesús Manuel Muñoz Calle	Dr. Ciencias Químicas
D. Juan Bosco Ruiz Heras	Arquitecto
D. Antonio José Sánchez Garrido	Arquitecto y P. Judicial
D. Alejandro Vozmediano Torres	Arquitecto
D. Ignacio Ortiz Chopitea	Arquitecto

PRÓLOGO

Los elementos de hormigón armado, bien sea atendiendo a su formas resistentes o a su aplicación dentro del conjunto de la estructura del edificio, comprenden un amplio número de tipos estructurales. Su comportamiento resistente, es decir su respuesta en tensiones y deformaciones a las cargas a las que se ven sometidos, es previsible de forma genérica conforme a los principios generales del cálculo de estructuras y de las hipótesis de aplicación para el dimensionamiento y comprobación del hormigón armado.

Sin embargo, los diversos elementos que componen la estructura se ven afectados de forma diferente por las acciones. Así se producen esfuerzos principales diferente en unos y otros según sea el tipo de elemento y su disposición. Los elementos horizontales sean lineales o planos como vigas, placas y forjados presentan fundamentalmente esfuerzos de flexión y cortante mientras que los elementos verticales del edificio, pilares y pantallas transmite las cargas a la cimentación resistiendo principalmente esfuerzos de compresión.

Igualmente las estructuras de edificio, en su conjunto también responden de forma distinta a las diferentes acciones que deben resistir, según sea su tipología, su proporción y dimensiones, y según sea la manera en que se distribuyen los elementos resistentes dentro de la misma.

Pero la realidad estructural es bastante más compleja y con frecuencia se produce interacción de esfuerzos que obligan a estudiar separadamente la forma en que se comportan los elementos en relación a determinadas acciones. Así, por ejemplo, los pilares del edificio se verán afectados mucho más por flexión y esfuerzo cortante que por compresión cuando han de resistir acciones sísmicas severas. Todo ello obliga a un análisis específico de los elementos estructurales de forma particularizada.

El análisis y dimensionamiento de los elementos estructurales exige el conocimiento de la normativa, reglamentos y recomendaciones oficiales correspondientes, de la formulación de los modelos de cálculo y de los

métodos computacionales y el software necesario para su aplicación. Pero me atrevo a decir, basándome en mi propia experiencia, que lo más importante es el conocimiento de los conceptos básicos, de los fundamentos, y la comprensión de como "trabajan" las estructuras.

El autor posee una amplísima experiencia en el cálculo de las estructuras de edificios y todos los temas relativos a la patología de estructuras de hormigón y ha publicado números libros al respecto. Aquí presenta un compendio de conceptos de aplicación basado en muchos años de dedicación profesional.

Este nuevo libro de Manuel Muñoz Hidalgo aborda de forma concisa, concreta y práctica una casuística muy extensa de elementos estructurales que forman parte del edificio y su cimentación, además de otros varios como piscinas, muros, etc. Se describen los aspectos más característicos en cuanto a esfuerzos, deformación y fisuración. Pero también se introducen en muchos casos recomendaciones de uso que son muy valiosas para el proyecto.

El libro va dirigido a un amplio sector de profesionales involucrados en el proyecto y la construcción de estructuras de edificios de hormigón armado. La claridad y concreción con que se exponen las ideas contenidas en el libro suponen un valor añadido hoy día en que se dispone de tan poco tiempo para proyectar o analizar estructuras. Será una buena referencia de consulta en muchos casos.

Sevilla, Octubre de 2017

Fernando Medina Encina
Dr. Ingeniero de Caminos

INTRODUCCIÓN

El técnico debe tener los conocimientos suficientes de cómo trabajan los elementos estructurales, se deforman y lesionan al tener que soportar axiles, momentos flectores, cortantes y torsiones. Esto es muy importante en las fases siguientes:

1. Al proyectar una estructura se evitan diseños problemáticos que pueden ocasionar problemas y posibles daños.
2. Al calcular estructuras, conociendo como trabajan, se deforman y se pueden fisurar, se toman las precauciones suficientes para evitar posibles daños.

   Sin estos conocimientos, al calcular una estructura con sistemas informáticos, si el programa no está correctamente configurado o si se introducen datos incorrectos, se obtendrán resultados erróneos que el técnico no podrá valorar si son correctos y si son graves, después surgirán daños en la edificación, a esto se le ha llamado “Patología asistida por ordenador”.
3. En las direcciones de obra se suele prestar mayor atención a los elementos problemáticos y a los posibles errores que puedan surgir durante la ejecución.
4. Una vez finalizada la construcción, en caso de surgir daños, se conocerá mejor la gravedad y se podrán tomar decisiones con mayor seguridad y eficacia, pudiendo indicar soluciones adecuadas.

Confío en que este libro será de gran utilidad a los profesionales de la construcción, tanto para el que se inicia, como al especialista, ya que en él está explicado con sencillez y amplitud, mediante 167 figuras, cómo se comportan los elementos estructurales, y al tener mayor conocimiento, evitarán fallos tanto en la fase de proyecto como en la de ejecución, al mismo tiempo que les ayudará a solucionar las anomalías que puedan surgir.

El autor.

ÍNDICE

Prólogo I
Introducción III
Índice V

ELEMENTOS ESTRUCTURALES

1. Muros de contención de sótanos 1
2. Zapatas armadas 15
3. Zunchos de cimentación 19
4. Vigas centradoras 23
5. Soleras arriostrantes y soleras 29
6. Losas de cimentación 35
7. Pilares 37
8. Vigas 47
9. Zunchos de forjados y nervios de borde 57
10. Ábacos de forjados reticulares 63
11. Nervios de forjados reticulares 67
12. Nervios “in situ” en forjados 71
13. Ménsulas cortas 75
14. Losas de escaleras 77
15. Forjados de losas macizas 79
16. Viguetas en forjados 83
17. Muros de fábrica 85
18. Piscinas 87

CONJUNTOS DE ELEMENTOS AFECTADOS POR CAUSAS EXTERNAS

19. Cómo le afectan los terrenos a los edificios 99
20. Cómo se comporta una estructura durante un sismo 107
21. Cómo le afecta un incendio a una estructura de hormigón 117
22. Cómo le afecta a una estructura las acciones térmicas . . . 123
23. Cómo le afecta el ambiente marítimos a los edificios 135

BIBLIOGRAFÍA 139

ELEMENTOS ESTRUCTURALES

1. Muros de contención de sótanos

Los muros de contención de sótanos pasan por fases muy distintas de trabajo en las que pueden surgir fallos, y que el técnico siempre no conoce y en caso de que surjan daños, éste puede quedar desorientado al no saber qué es lo que sucede. Debido a ello se indican todas las fases por las que pasan los muros de contención.

Cuándo se realiza la excavación de un terreno para la ejecución de un sótano, si las tierras tienen la cohesión suficiente y no se supera la altura crítica, el terreno suele quedar cortado en vertical, dando la impresión de no precisar muro (**Figura 1**) que es lo más usual en la excavación de un sótano en suelos cohesivos, mientras que en granulares es necesario entibar para que no se desprendan las tierras.

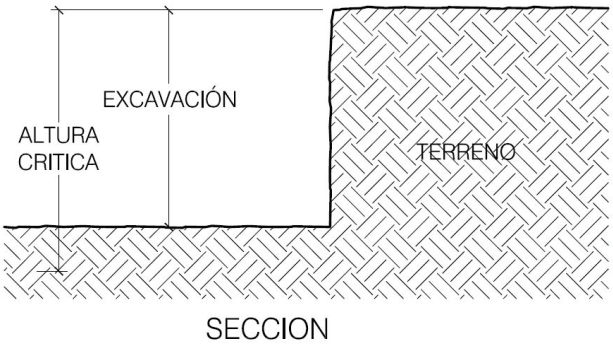

Figura 1

Cuando se supera la altura crítica, que es la profundidad que se puede alcanzar en su corte vertical sin que las tierras se desprendan y que depende de su cohesión, se produce la rotura del terreno con una línea de rotura, llamada “círculo activo” (**Figura 2**). En este caso es imprescindible apuntalar para que no se desprendan las tierras.

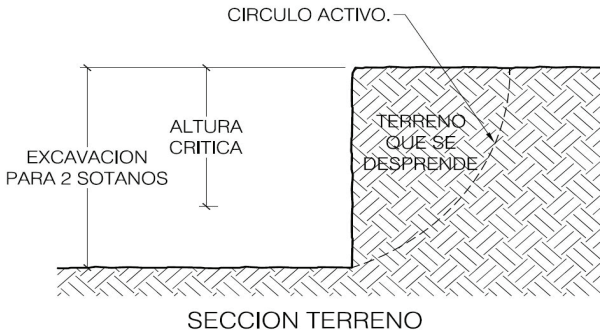

Figura 2

1ª FASE MURO AISLADO

En el caso de la excavación de un sótano donde el terreno tenga la cohesión suficiente para quedar cortado en vertical, vamos a ver las fases de trabajo por las que pasa la ejecución del muro de contención.

Primero se suele ejecutar la cimentación con puntera y después el muro.

En esta primera fase, si se trata de época muy calurosa y el muro contiene escasa cuantía de armadura longitudinal y han transcurrido más de 28 días desde la ejecución de la cimentación, el hormigón del muro retrae, pero al quedar unido a la cimentación, ésta se lo impide. Debido a ello pueden surgir fisuras verticales muy finas en su base a distancias periódicas que lo seccionan, llamadas de “coacción interna”, por las que penetra el agua existente en el terreno cuando el sótano está terminado (**Figura 3**).

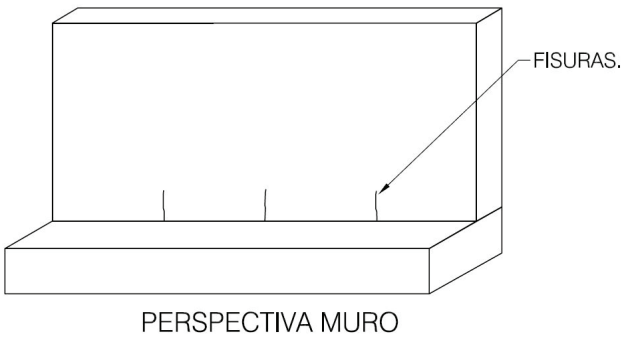

Figura 3

En esta fase también pueden surgir fisuras verticales de retracción, que se inician en la coronación del muro y que lo seccionan y se van cerrando a medida que descienden, como se indica en la **Figura 4**, por las que penetra el agua existente en el terreno. Para evitar el inicio de las fisuras se debe colocar una armadura horizontal en la coronación del muro.

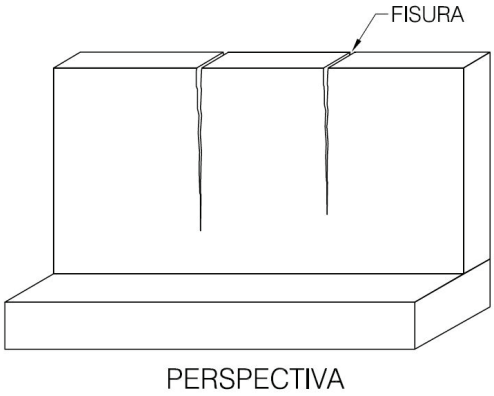

Figura 4

Como la rotura surge por retracción hidráulica durante el fraguado y endurecimiento del hormigón, los bordes de las fisuras son más redondeados, incluso quedan más abiertas por la cara exterior del muro que es la que recibe mayor soleamiento (**Figura 5**).

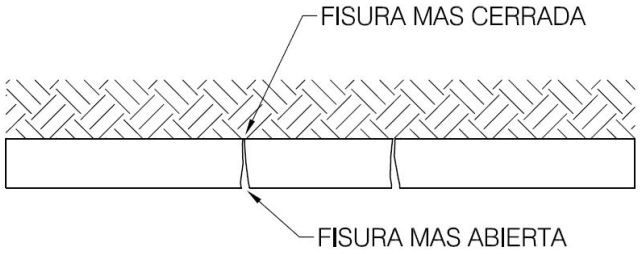

Figura 5

Cuando se ejecutan primero las esquinas del muro, éstas impiden la retracción del muro y es más usual la rotura comentada, incluso hay veces que la rotura surge cerca de las esquinas (**Figura 6**), donde el muro cambia de trabajar a flexión en ménsula a trabajar a flexión en horizontal.

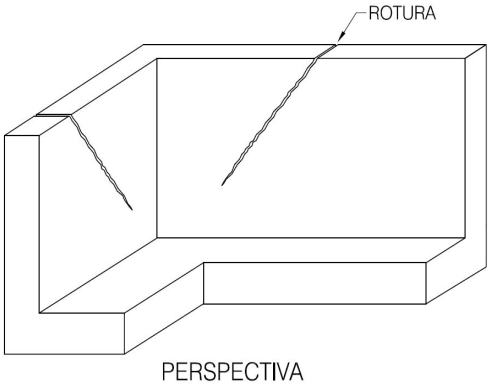

Figura 6

Cuando ha transcurrido bastante tiempo desde la ejecución del muro, como puede ser un año, y no se ha ejecutado el forjado, al quedar expuesto el muro a elevados saltos térmicos, ya que de día al estar sometido al rigor del sol, aumenta su temperatura y al llegar la madrugada se enfría y retrae pudiendo surgir fisuras de retracción térmica que aunque aparentemente son iguales que las de retracción hidráulica, se diferencian en que los bordes de las fisuras son más perfilados, por romper con el hormigón endurecido, incluso hay veces que la fisura queda en discontinuidad (**Figura 7**).

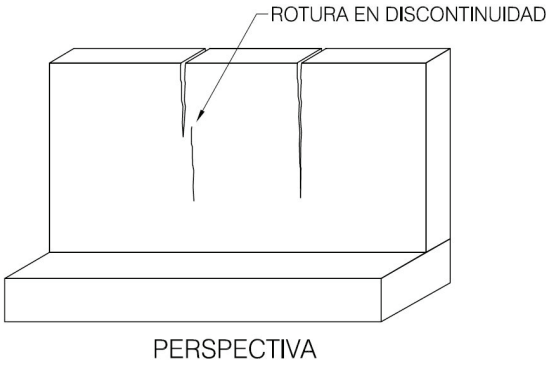

Figura 7

Estos muros se suelen calcular como ménsulas con un empuje de tierras triangular aplicado a un tercio de su altura, como se indica en la **Figura 8**. Pero si el terreno es expansivo también existe el empuje por la expansividad de las tierras, que es mayor en la zona superior del muro y se va reduciendo hasta llegar a la profundidad activa, que es donde las tierras suelen tener una humedad constante, aunque suele descender en épocas de grandes sequías.

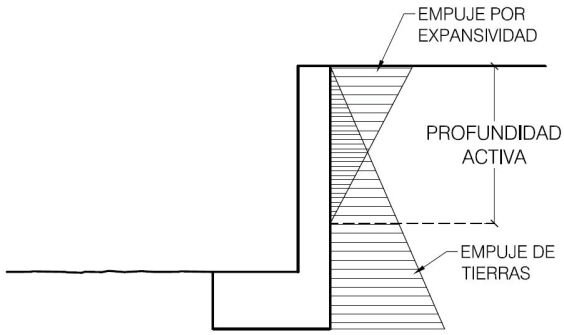

Figura 8

Si en este estado se da la circunstancia de que la cimentación es insuficiente y no se manifestó cuando se ejecutó porque no existían empujes ya que el terreno tenía su cohesión y después la ha perdido, el muro no será estable y tenderá a volcar, que es lo peor que le puede suceder a un muro de contención (**Figura 9**).

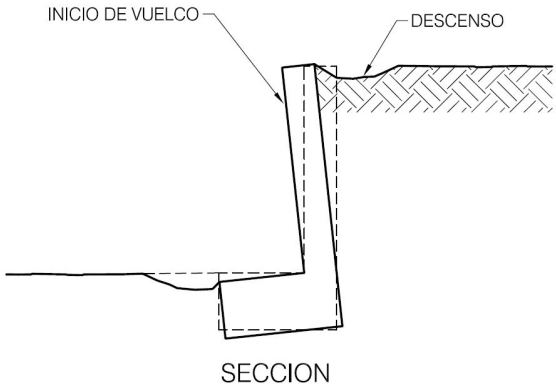

Figura 9

Cuándo se inicia el vuelco, las tierras en contacto con el muro quedan más flojas y se producen descensos en la edificación medianera y aunque de momento queda reducido el empuje de las tierras, más adelante cuando vuelvan a adquirir su empuje inicial al encontrar un muro debilitado puede volcarlo.

Cuando las tierras pierden su cohesión sólo en una zona localizada y el muro contiene escasa cuantía de armadura en horizontal puede romper por flexión horizontal como se indica en la **Figura 10**. Esta rotura no secciona al muro y, si tiene escasa rigidez queda deformado.

La armadura horizontal en la cara vista del muro juega un papel muy importante evitando fisuras verticales de retracción y flexión horizontal.

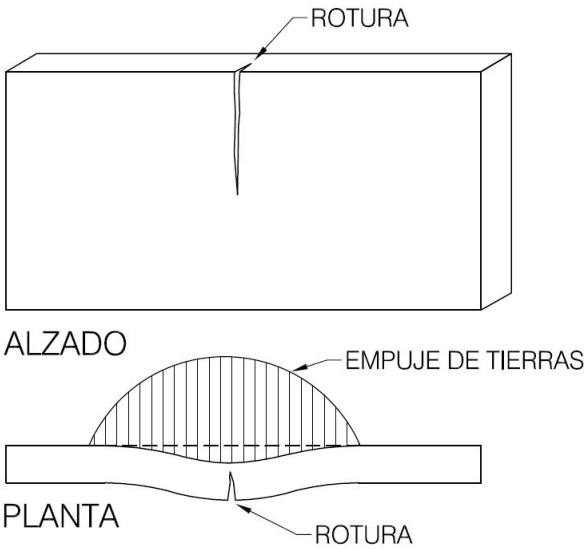

Figura 10

La armadura más importante en un muro de contención calculado como ménsula es la vertical en la cara en contacto con las tierras, como se indica en la **Figura 11**. Si esta armadura es insuficiente, el muro romperá a flexión. Al no ser accesible esa zona no se puede observar, y uno de los síntomas que manifiesta es que el muro se desplaza en su coronación como si se tratara de una flecha, que sucede cuando tiene poca rigidez (**Figura 12**). Esta anomalía suele ocasionar descensos en la cimentación del edificio medianero.

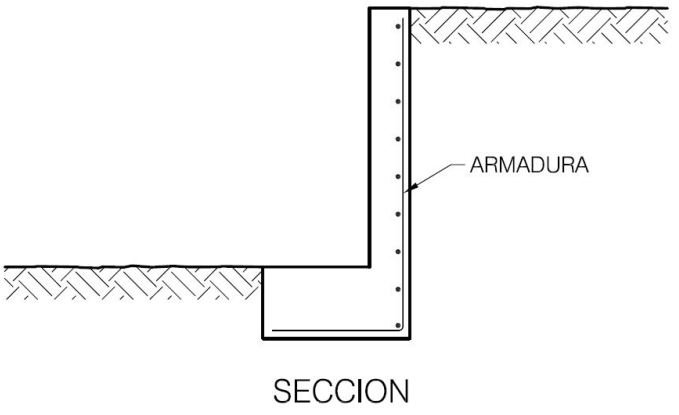

Figura 11

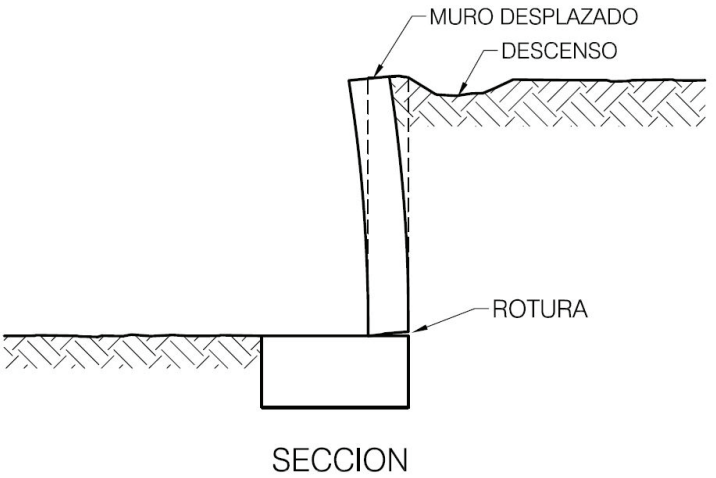

Figura 12

El deslizamiento en los muros de contención sucede cuando tienen poco peso. En sótanos no suele pasar, ya que quedan atados con los zunchos de las zapatas, pero sí puede suceder que el muro no quede bien unido con el cimiento y éste se desplace por esfuerzo rasante y se confunda con un deslizamiento (**Figura 13**).

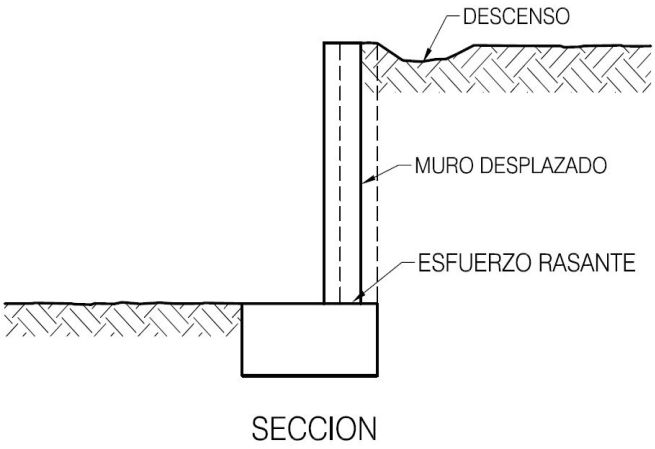

Figura 13

Una forma de evitar el esfuerzo rasante entre la cimentación y el muro, incluso la posible penetración de agua existente en el terreno, consiste en realizar un cajeado en la cimentación como se indica en la **Figura 14**. Otra opción para evitar la entrada de agua consiste en colocar cordones de bentonita sódica que se expanden al quedar en contacto ésta.

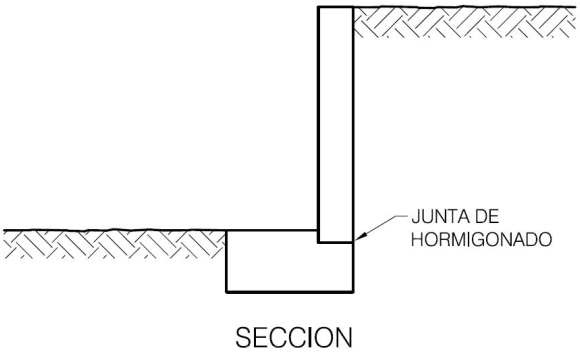

Figura 14

Los muros de contención de sótano, además de resistencia deben tener la rigidez suficiente para que no flecten, ésto es más necesario cuando existen edificaciones medianeras, pues tendrán que soportar el empuje de las tierras y también una parte del que le ocasiona la edificación. Es como si el terreno tuviese las tierras con mayor altura (**Figura 15**), en este caso soportará un empuje trapecial, es decir, ya comienza con un empuje en su zona superior.

Es parecido a lo que sucede en terreno expansivo, donde se suman los empujes de las tierras con los de la expansividad, como se indicó en la **Figura 8**.

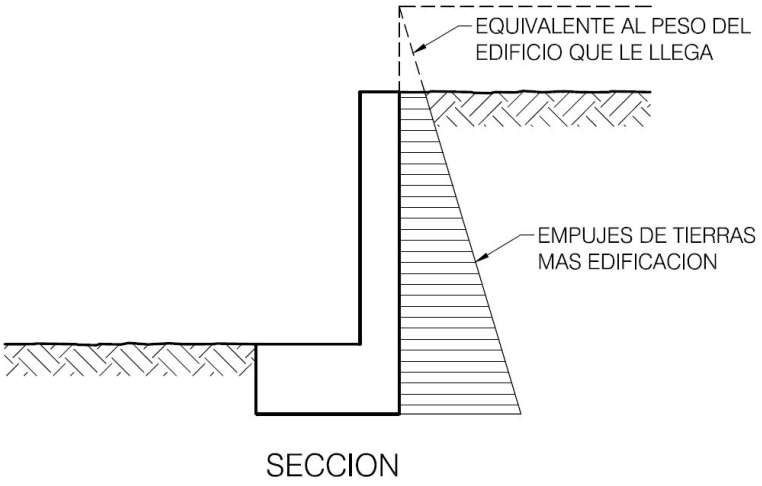

Figura 15

Aunque el muro tenga la armadura correcta para que no rompa, si no tiene la rigidez suficiente para soportar el empuje de las tierras más el empuje que le llega del edificio medianero, flectará como se indica en la **Figura 16**. Las tierras quedarán descomprimidas y se producirán descensos en la cimentación de la edificación medianera.

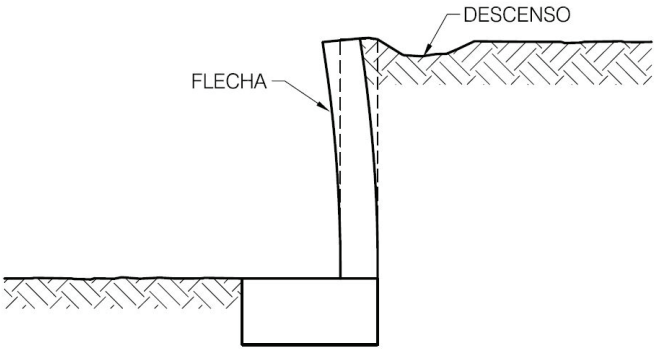

Figura 16

Los muros de contención de sótano al tener esquinas cambian su forma de trabajar de ménsula a horizontal y la armadura que precisa en vertical en su trasdós, es decir, en la cara en contacto con las tierras, al llegar a las esquinas la necesita en horizontal. En la **Figura 17** se indica como cambia la forma de trabajar el muro al llegar a las esquinas y en la **Figura 18** el diagrama de momentos en las esquinas y la situación de la armadura para soportar el momento flector por el empuje al que queda sometido.

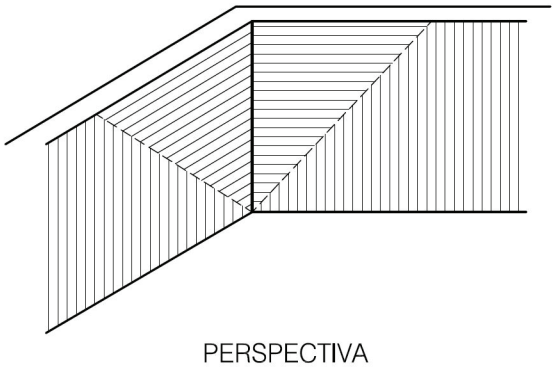

Figura 17