

Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Civil
Estructuras de Concreto II (LIC 25)



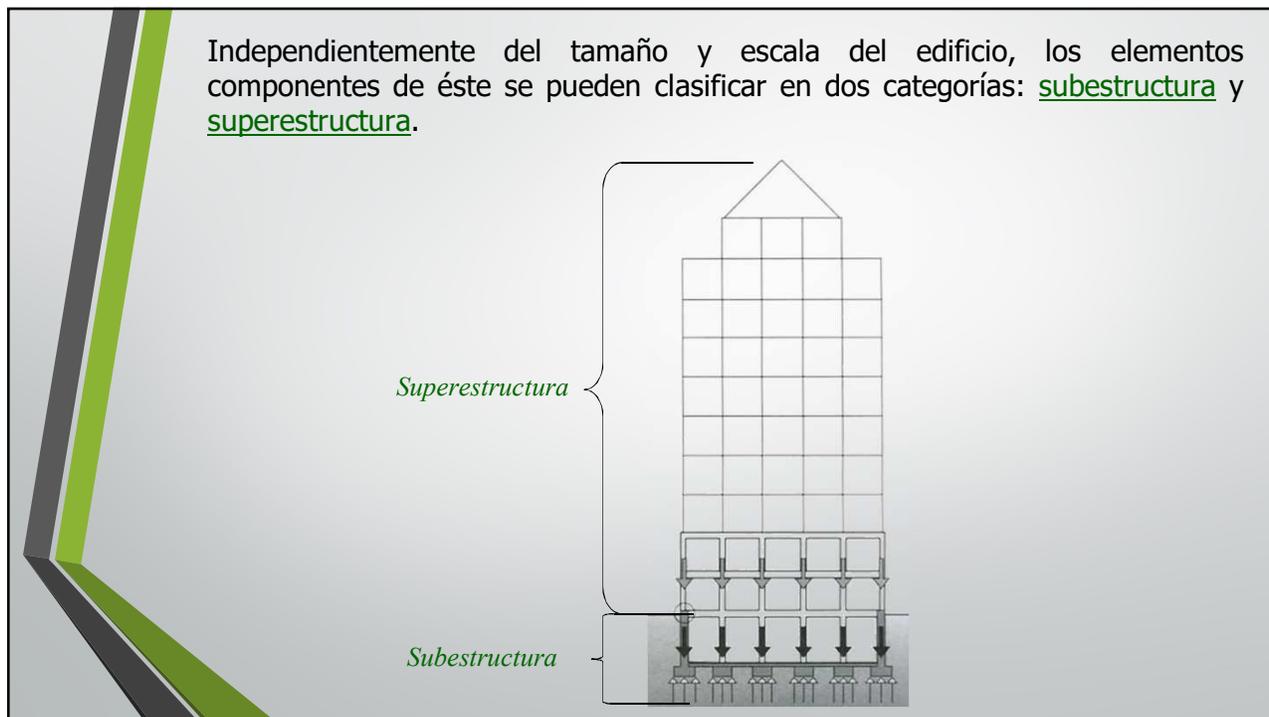
Prof.: Ing. Ronald Jiménez Castro
III Cuatrimestre, 2022

INTRODUCCIÓN

El sistema estructural de un edificio puede visualizarse como un ensamblaje de elementos diseñados y construidos para soportar y transmitir las cargas aplicadas hacia el terreno de manera segura sin exceder los esfuerzos permisibles en los elementos.

Cada uno de los elementos exhibe un comportamiento único ante las cargas aplicadas. Sin embargo, antes de efectuar un análisis individual es de vital importancia que el diseñador comprenda cómo el sistema estructural genera la forma deseada.





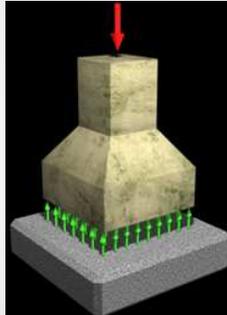
Subestructura

Es la "porción" inferior o más baja del edificio (fundaciones), construida parcial o totalmente bajo el nivel del terreno.

Su principal función es anclar la superestructura y transmitir sus cargas de manera segura al suelo. Debido a que funciona como un vínculo crítico en el flujo de cargas, el sistema de fundaciones (usualmente oculto) debe ser diseñado para alojar la forma de la superestructura y además responder a las variantes condiciones del suelo, roca o nivel freático.

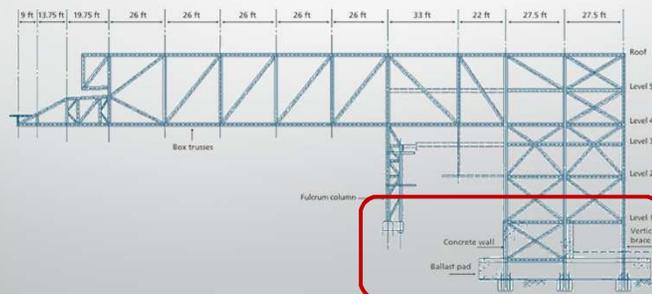
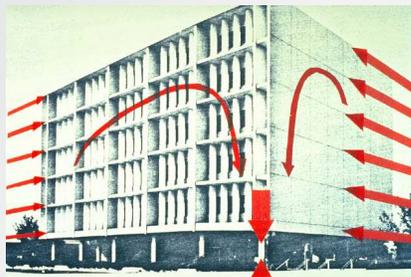
La cimentación, por tanto, constituye un elemento de transición entre la estructura propiamente dicha y el terreno en que se apoya.

Las principales cargas en una fundación son las **gravitacionales**, concretamente una combinación de cargas permanentes y temporales provenientes de la superestructura.

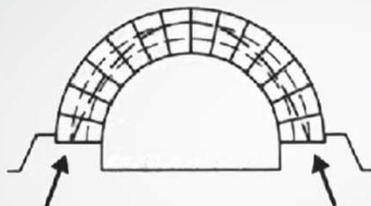


Sin embargo, el sistema de cimientos debe ser capaz de anclar la superestructura contra una serie de sollicitaciones tales como:

- Deslizamientos y volcamientos inducidos por cargas laterales (sismo o vientos)
- Presiones impuestas por la masa de suelo circundante



En algunos casos, el sistema de fundaciones deber ser capaz también de resistir el empuje de estructuras tipo arco o que posean tensores.

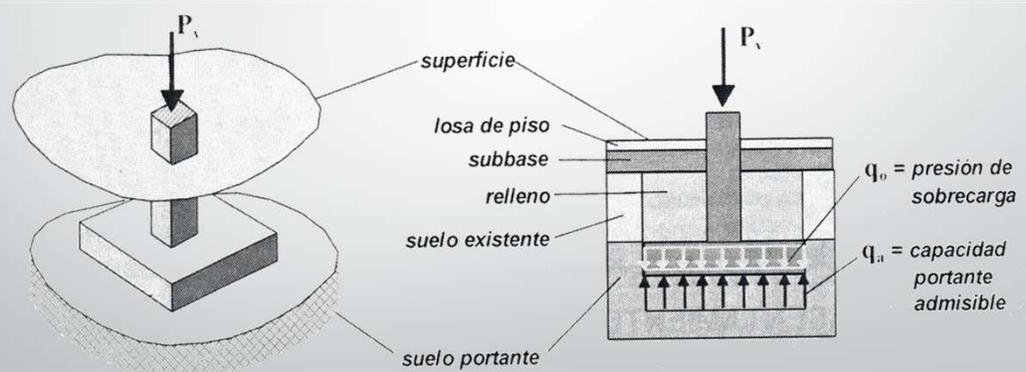


Una importante influencia en el tipo de subestructura que se seleccione, y en consecuencia, el patrón estructural que se diseñe es el tipo de suelo así como el contexto del edificio.

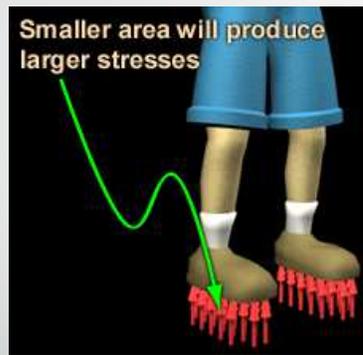
- Relación con la superestructura: El tipo y patrón de la fundación requerida repercuten directamente en el diseño de la superestructura. La continuidad vertical de la carga debe mantenerse para obtener eficiencia estructural.
- Tipo de suelo: la integridad de una edificación dependen de la estabilidad y resistencia del terreno bajo sus fundaciones. La capacidad soportante del suelo puede limitar el tamaño de un edificio o hacer que se requieran fundaciones profundas.
- Relación con la topografía: Las características topográficas del sitio tiene implicaciones y consecuencias ecológicas y estructurales.

Conceptos fundamentales de cimentaciones

La carga de los edificios se concentra en las áreas relativamente pequeñas de las columnas y éstas tienen que transmitirse al suelo a través del área de contacto entre los cimientos y el suelo.



Dado que el suelo tiene una capacidad mucho menor en comparación con el material de las columnas (acero o concreto), el área de las fundaciones debe ser necesariamente mayor.



La fuerza (peso) aplicada en un área pequeña causa grandes esfuerzos



Si el área de contacto aumenta, la presión en el suelo se reduce

Clasificación de las cimentaciones

La forma más común de clasificar las cimentaciones es en función de la profundidad de los estratos a los que se transmite la mayor parte de las cargas que provienen de la estructura. En estos términos se dividen en superficiales y profundas.

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Son aquellas que se apoyan sobre los estratos poco profundos los cuales tiene suficiente capacidad para resistir la carga de la estructura. A no ser que existan dificultades especiales para excavar, se considera como profundidad límite aquella que no exceda de dos a tres veces el ancho del cimiento.

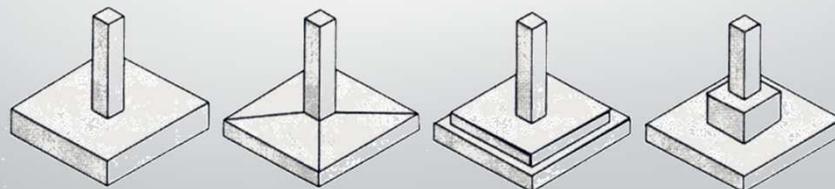
Los tipos de cimentaciones superficiales más ampliamente usados son:

- a. Placas aisladas
- b. Cimientos combinados
- c. Cimientos continuos
- d. Losas de fundación

a. Placas aisladas (*spread footing*)

Son los elementos de soporte de las columnas y pueden visualizarse como un ensanchamiento de su sección transversal. Esto hace que se distribuyan las cargas de estos elementos a un área mayor de suelo, para que los esfuerzos en el terreno serán menores que si se colocara directamente la columna con un área pequeña.

De acuerdo con la necesidad se diseñan en formas geométricas sencillas las cuales a su vez facilitan el proceso constructivo. Entre ellas la más simple y utilizada es la cuadrada.



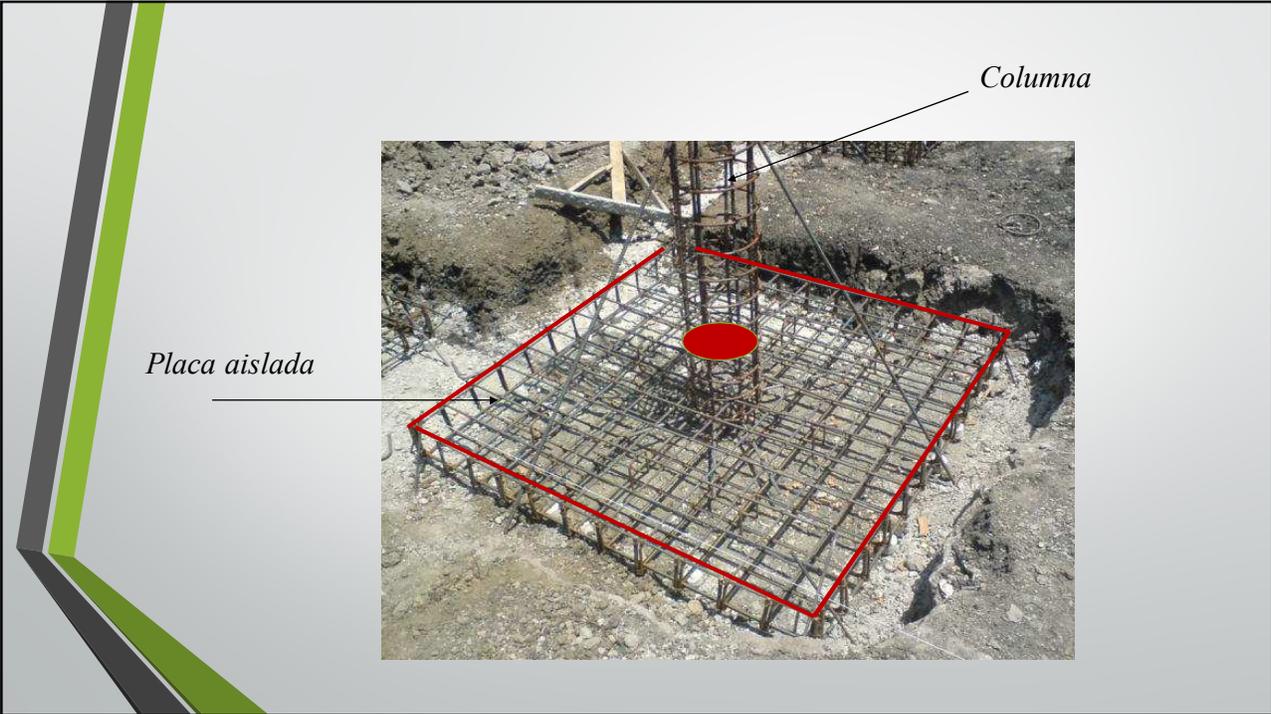
Zapata de espesor uniforme

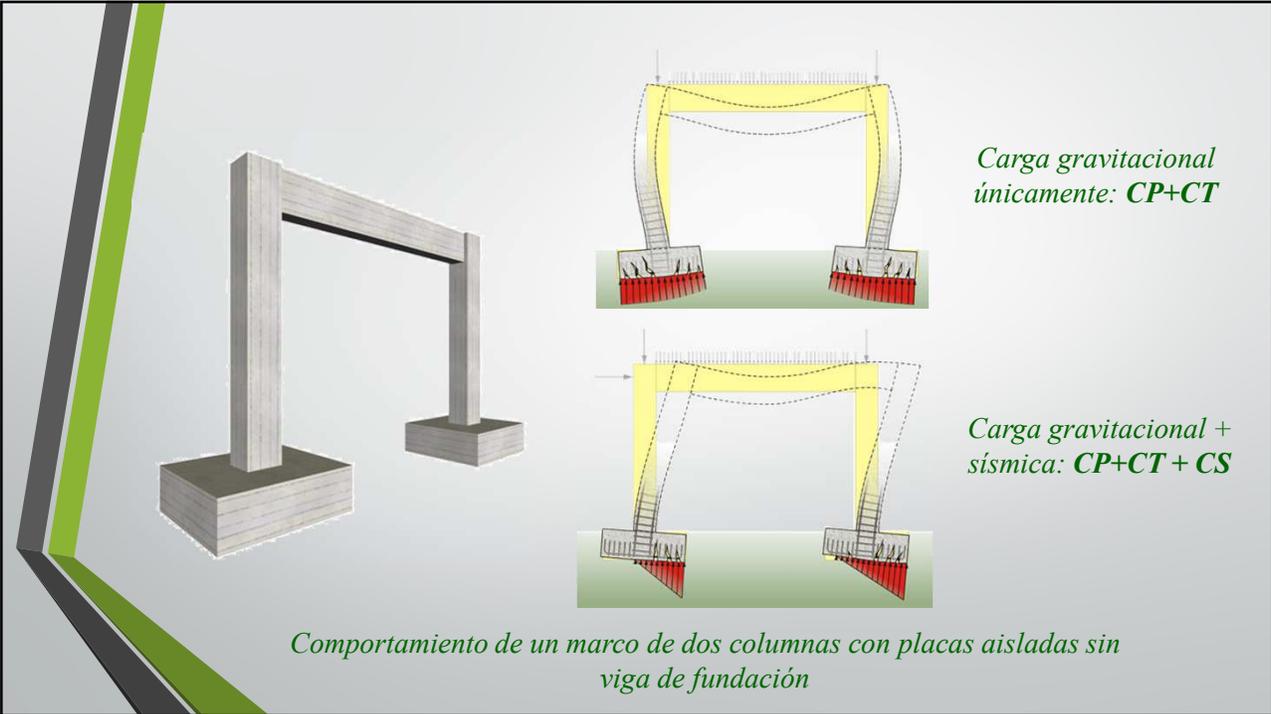
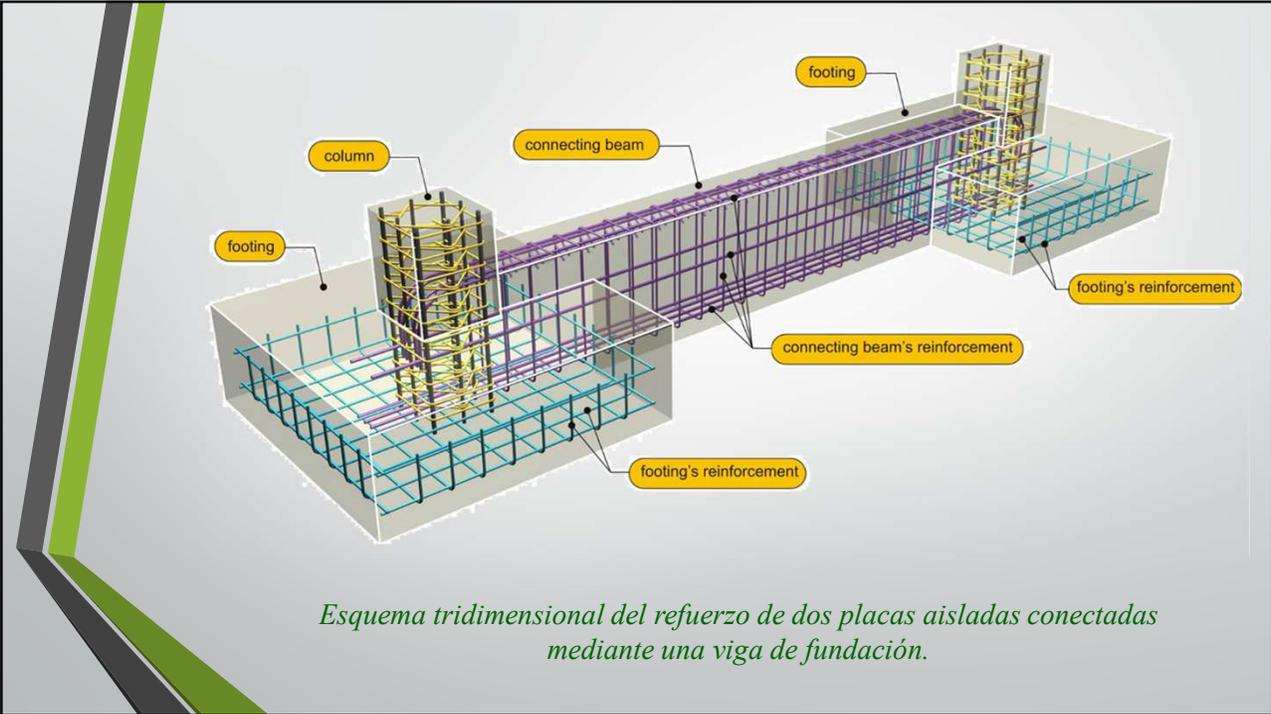
Zapata inclinada

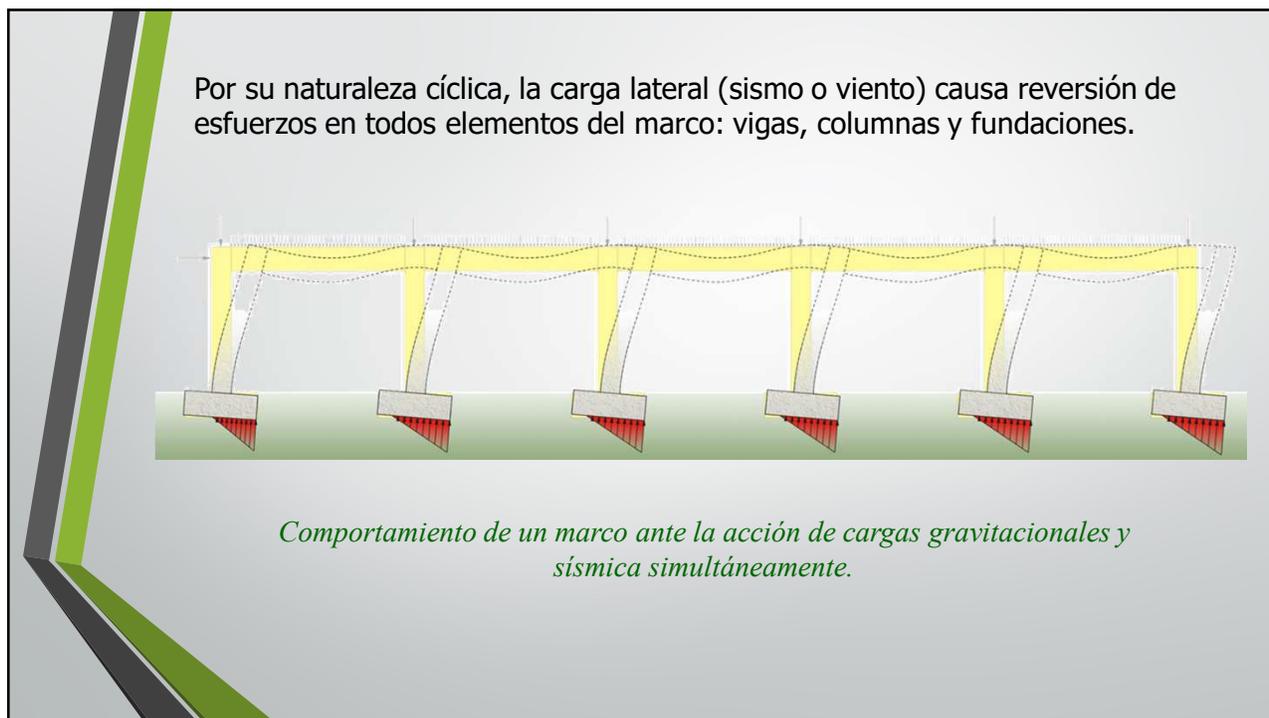
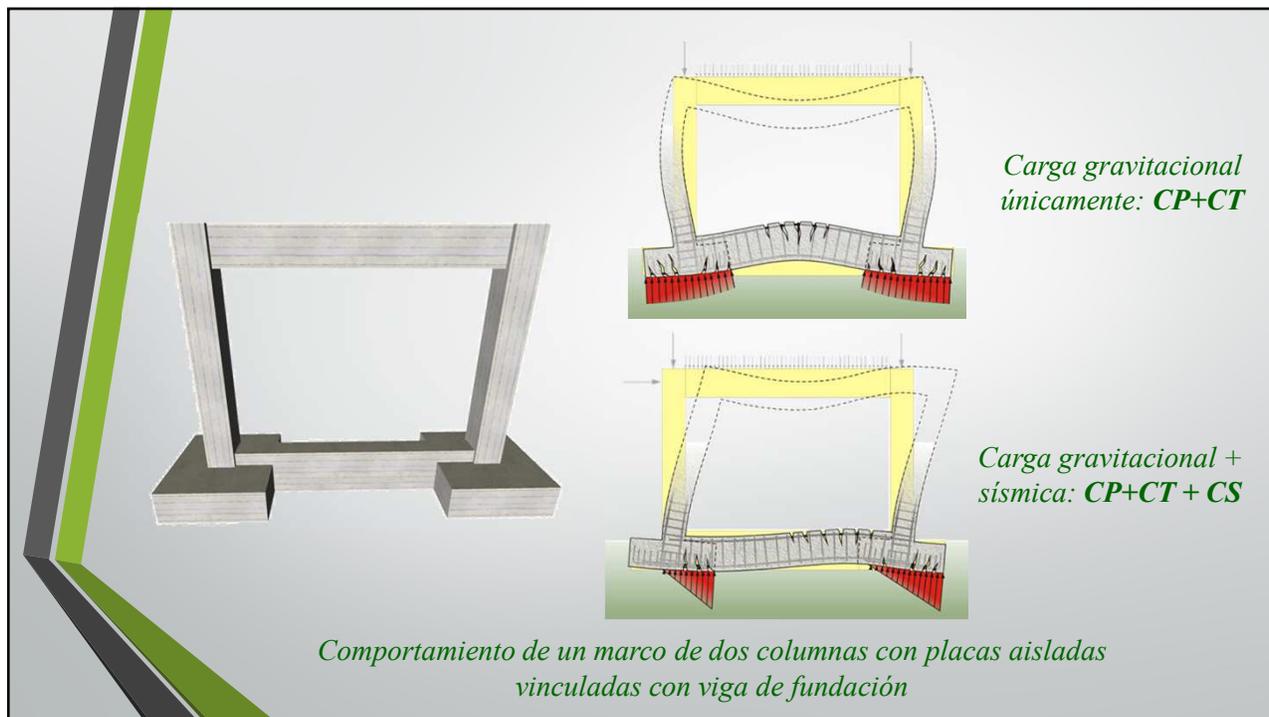
Zapata escalonada

Zapata con pedestal

Tipos de zapatas aisladas









Placas de fundación (circular) de una torre de generación eólica

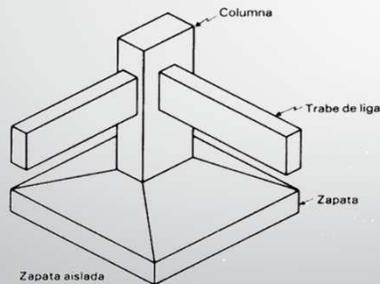
Este tipo de cimentación se usa cuando las cargas de la estructura son relativamente pequeñas y existe a poca profundidad estratos de suelo con la capacidad de carga y rigidez necesarios para aceptar las presiones transmitidas por las placas sin que ocurran fallas o hundimientos excesivos.

Cuando se requieran de grandes áreas de contacto o el volcamiento que experimenta la placa esa muy grande, la solución con fundaciones aisladas se vuelve ineficiente, ya que se trata de elementos que trabajan en voladizo en los que se presentan momentos flexionantes muy grandes.

En estos casos conviene recurrir a losas corridas de cimentación o realizar el apoyo en estratos más firmes por medio de pilotes o de algún otro tipo de cimentación profunda.

En estas condiciones resulta casi siempre conveniente unir las placas por medio de vigas de fundación, las cuales tienen también la función de reducir la rotación de la placa.

En zonas de riesgo sísmico como nuestro país, es conveniente unir las placas aisladas por medio de vigas de fundación, cuya función es lograr que la estructura se mueva como una sola unidad ante la acción del desplazamiento horizontal del terreno.

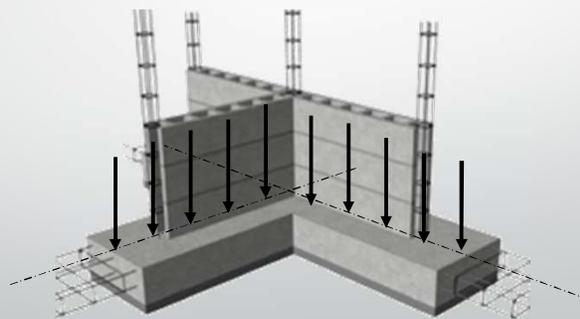


Vigas de fundación

c. Cimientos continuos

También llamados placas corridas, éstos son cimientos en los que la longitud es mucho mayor que el ancho.

Su uso usual es para cargas distribuidas linealmente, como muros de carga (paredes) de concreto o mampostería.

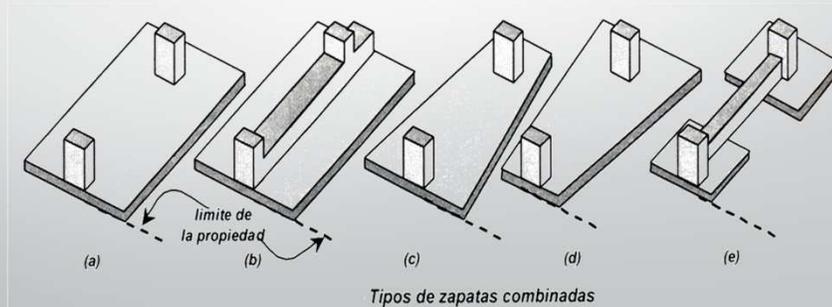




b. Cimientos combinados

Este tipo de cimiento se da cuando se requiere proyectar cimientos aislados de forma geométrica simple, pero que por condiciones del terreno se tiene que:

- Las áreas de cimentación se traslapan al usar cimientos aislados contiguos.
- Resulta una excentricidad de cargas, respecto al centroide del área de soporte. Esto es común en columnas en colindancia.





Ejemplos de placa de fundación combinadas

d. Losas de fundación o losas flotantes (*mat foundation*)

Consiste en una única estructura de fundación tipo placa, para todos los elementos de soporte de una estructura.

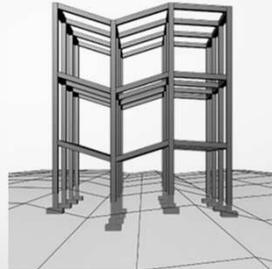
En términos estructurales, una losa de fundación consiste en una losa de concreto reforzado de espesor constante y cuya forma en planta coincide con la "huella" del edificio.



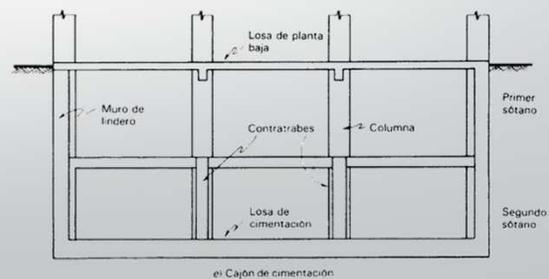
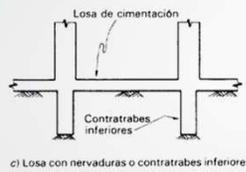
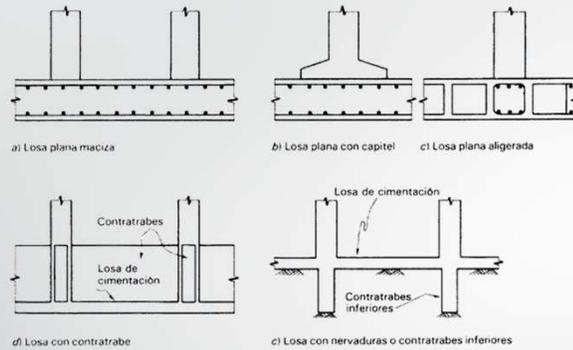
La losa de fundación es una alternativa utilizada cuando:

- La resistencia del suelo es excesivamente baja que
- Es necesario limitar los asentamientos diferenciales en construcciones muy susceptibles a éstos.

Asentamientos diferencial



- Cuando la alternativa de cimientos aislados, combinados o continuos, se llega a situaciones de traslape. Cuando el área cubierta por dichas soluciones ocupen 50% o más del área proyectada de la edificación, probablemente resulte más ventajosa y económica la solución de losa de fundación.



Placas aisladas de fundación (*spread footing*)

Las dimensiones en planta de un cimiento (aislado o corrido) pueden estimarse con buena precisión si se conocen 2 parámetros: las cargas axiales de servicio P_{CP} y P_{CT} que "bajan" por ese punto y la capacidad de soporte del suelo q_{adm} .

$$A_{placa} \approx \frac{P_{CP} + P_{CT}}{q_{adm}}$$

A_{placa} : área de la placa [m^2]

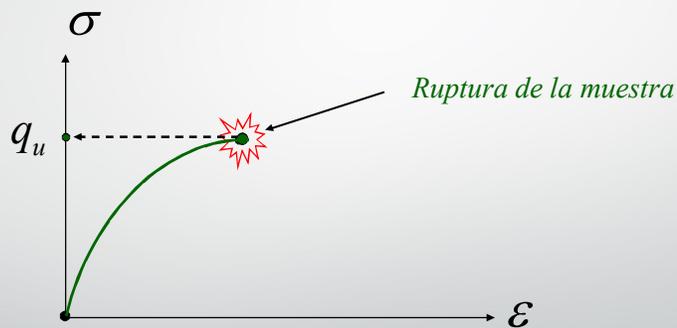
P_{CP} , P_{CT} : cargas axiales permanente y temporal que actúan sobre el terreno [Ton]

q_{adm} : capacidad admisible del terreno [Ton/m^2]

La capacidad admisible del terreno es un valor que se obtiene experimentalmente a través de un estudio de suelos.

Resistencia última a la compresión del suelo q_{ult}

La capacidad última a compresión que posee el suelo muestreado corresponde al máximo esfuerzo que se obtiene al someter a un espécimen cilíndrico a carga axial en una prueba de Compresión Inconfinada.



Generalmente se expresa en Ton/m^2 y se le designa con el símbolo q_u .

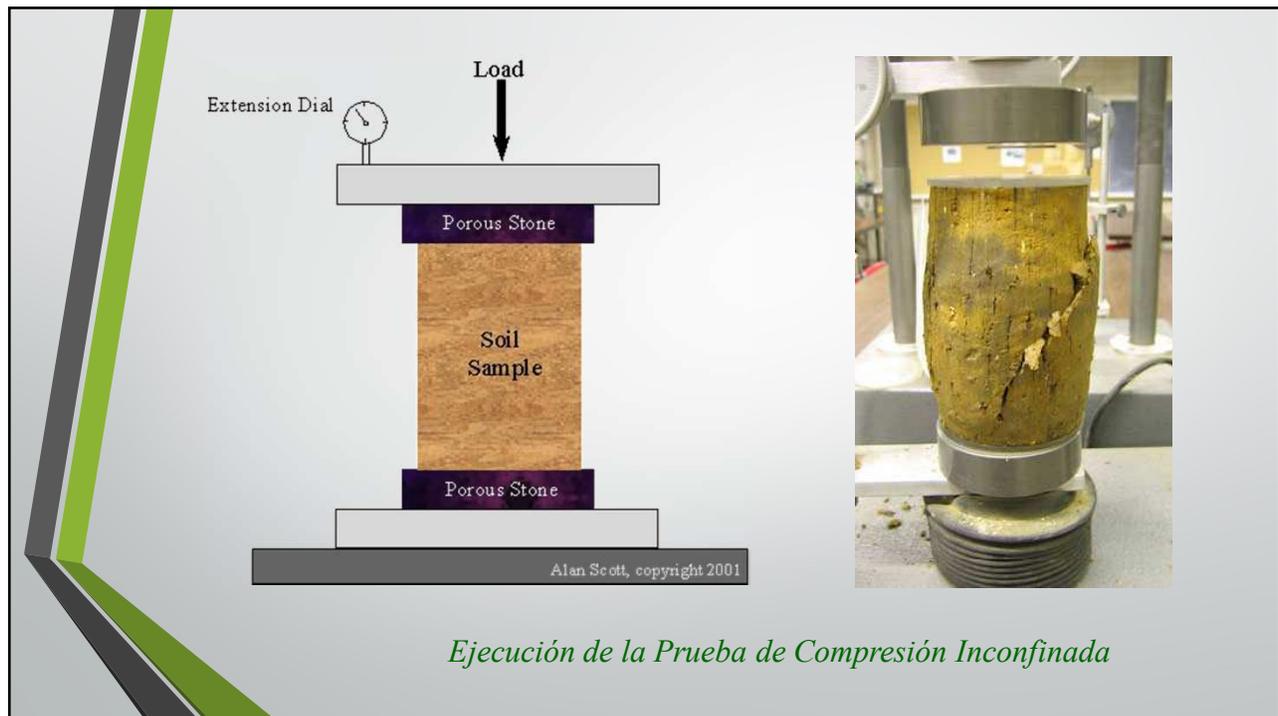
Sin embargo, y dado que las propiedades del suelo pueden variar notablemente aún dentro del mismo lote, para efectos de diseño se trabaja con un valor más bajo llamado capacidad admisible q_{adm} .

Dicho valor se obtiene dividiendo la resistencia última por un factor de seguridad $F.S.$ (usualmente igual a 3.0).

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S.}$$

Es decir, si el laboratorio reporta en el informe que la capacidad última del suelo son 45 Ton/m², la capacidad admisible será 15 Ton/m².

Nota: La resistencia última q_u obtenido del ensayo equivale a la capacidad nominal q_n según la notación del CSCR-10, ecuación [13-1].

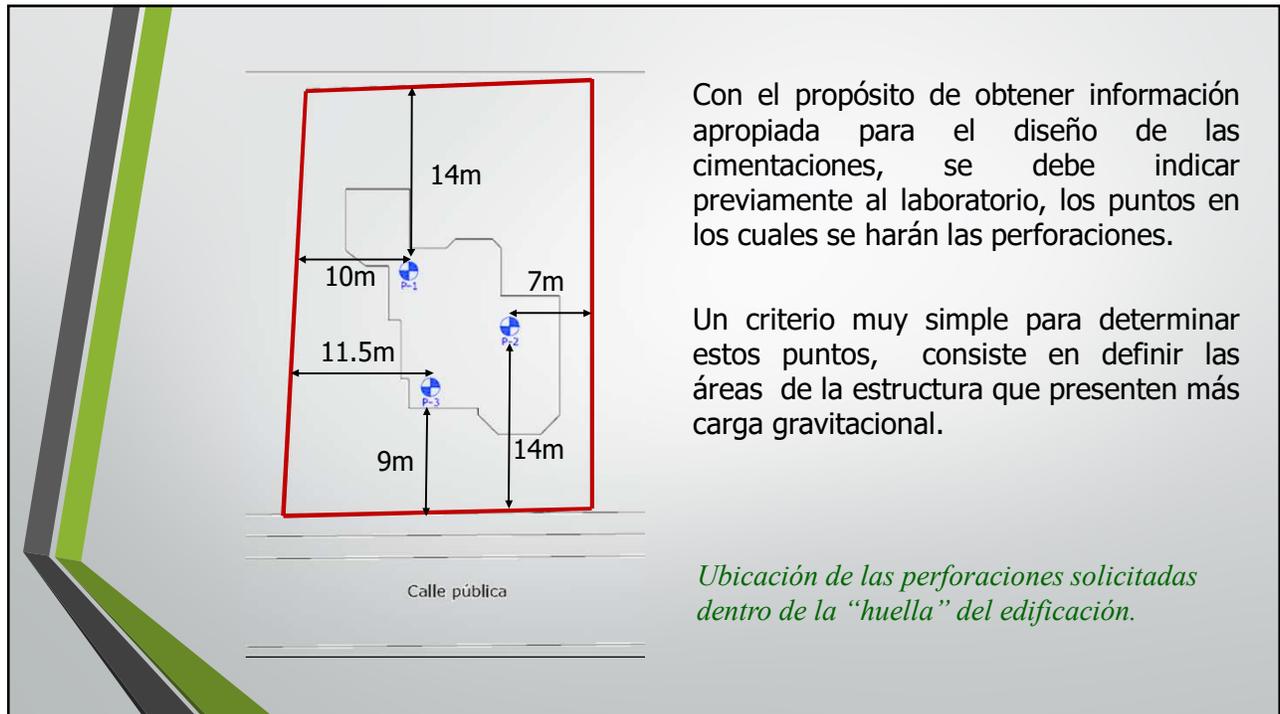


Posterior a las pruebas de laboratorio, la empresa contratada emite un informe con los resultados así como recomendaciones acerca del tipo de cemento más apropiado para el proyecto. Normalmente se presenta una tabla que muestra cómo varía la capacidad del terreno en términos de la profundidad. Esta información le permite al diseñador tomar decisiones en torno al nivel final de desplante.

Muestra de informe geotécnico

Tabla 5. Parámetros de cimentación para las estructuras del proyecto

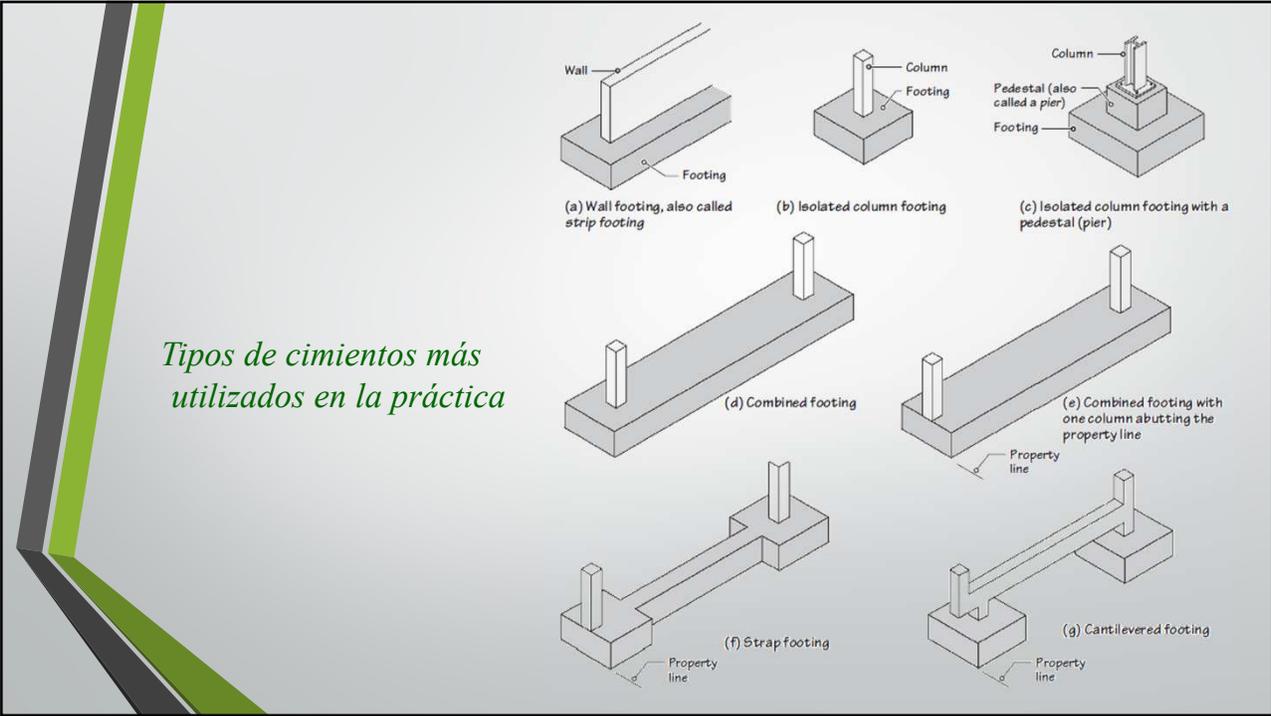
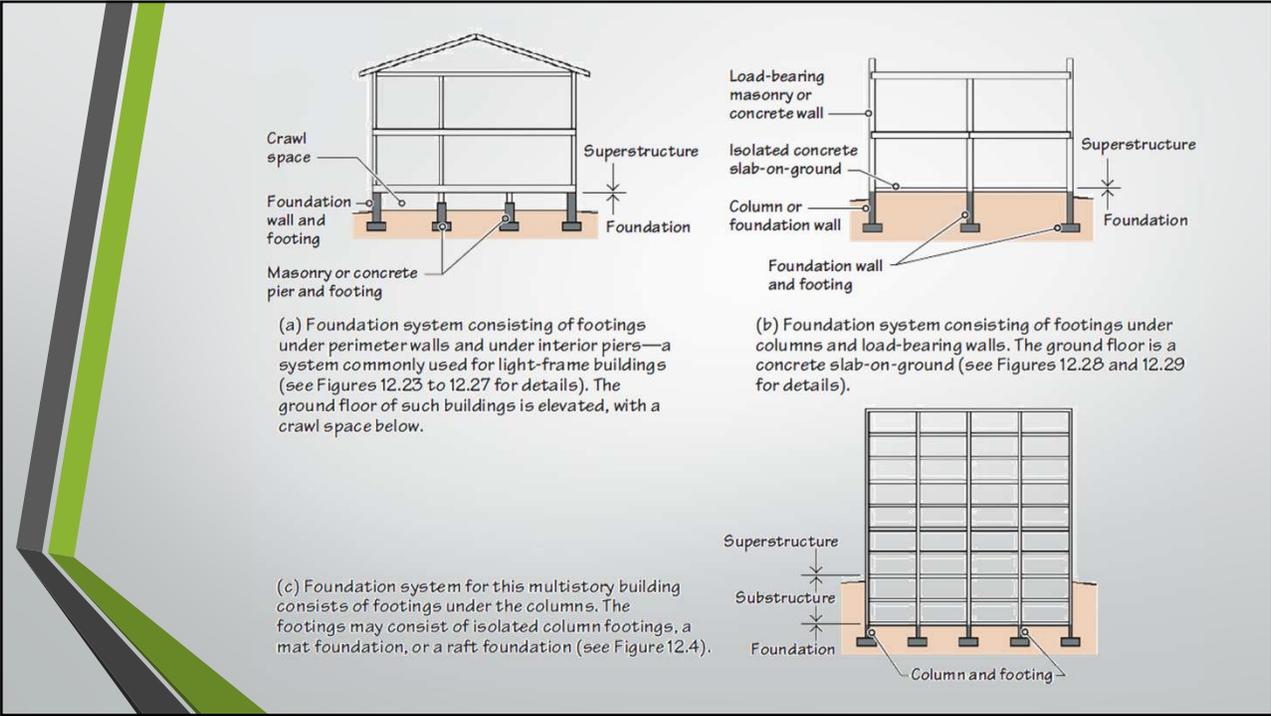
Sitio Sondeo (1)	Z min (m) (2)	qa (ton / m2) (3)
P1	0.80	17
	1.20	19
	1.50	19
P2	0.80	19
	1.20	18
	1.50	17
P3	0.80	16
	1.20	17
	1.50	17

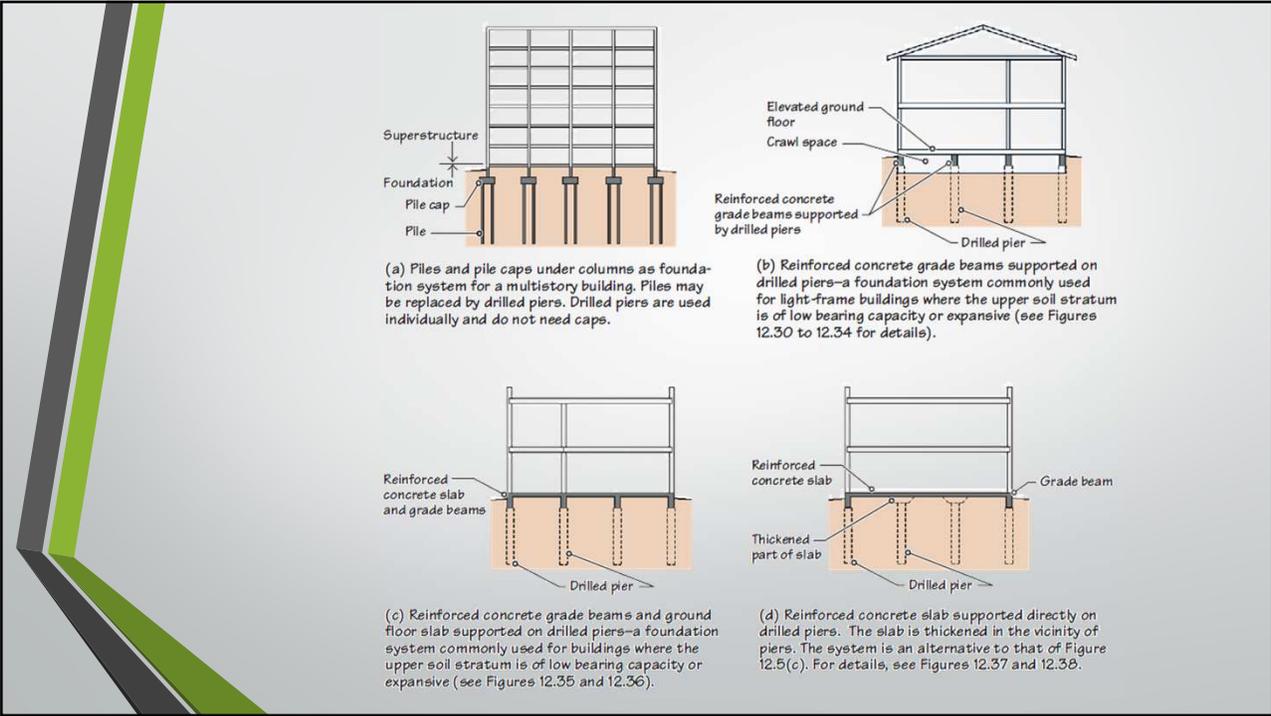
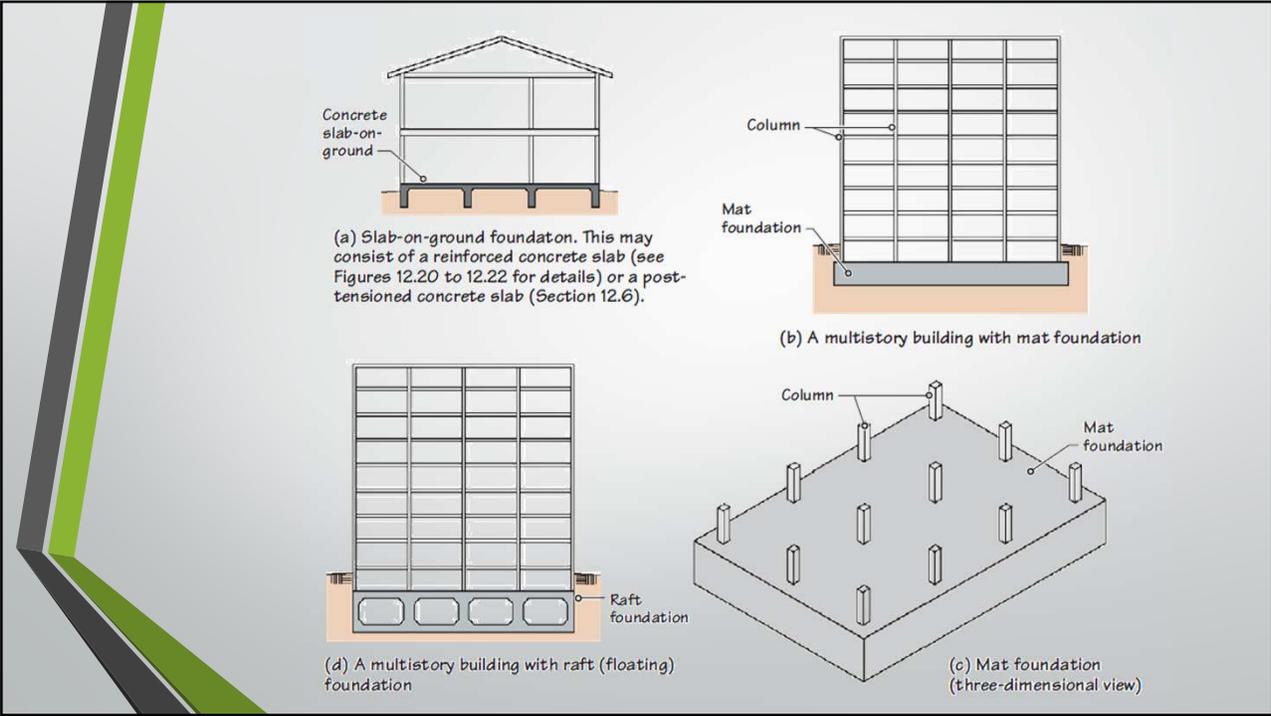


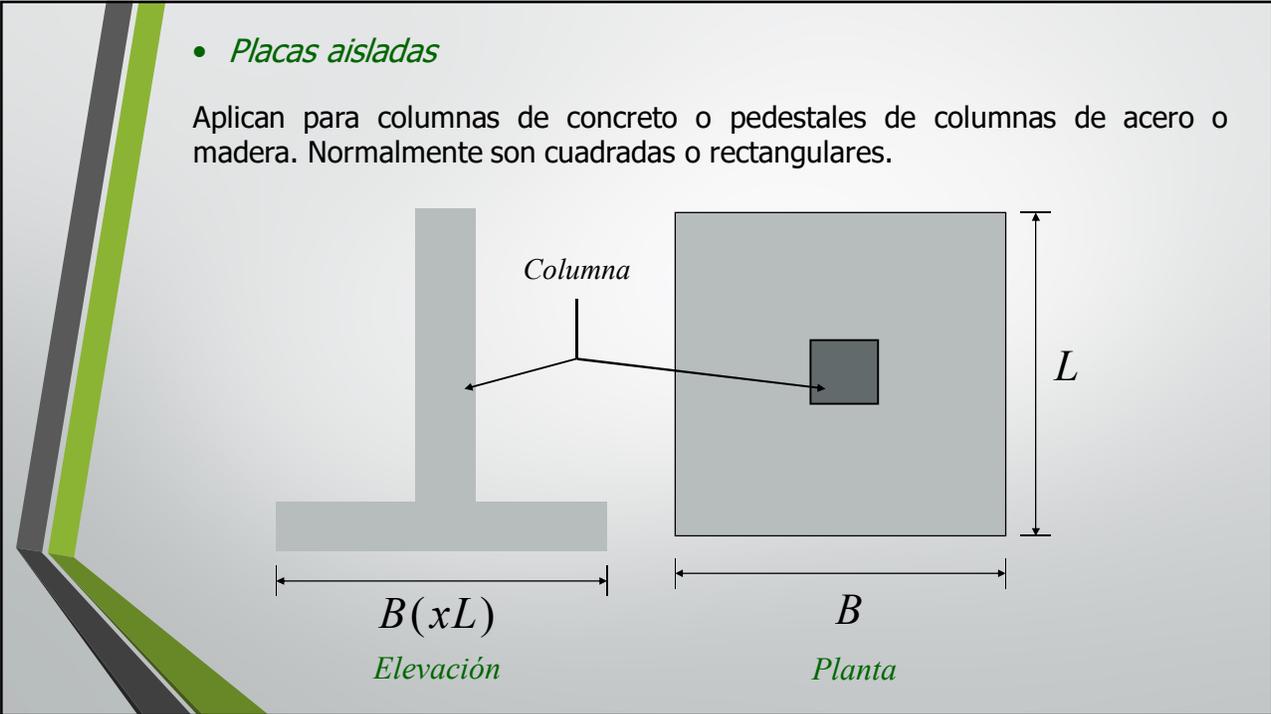
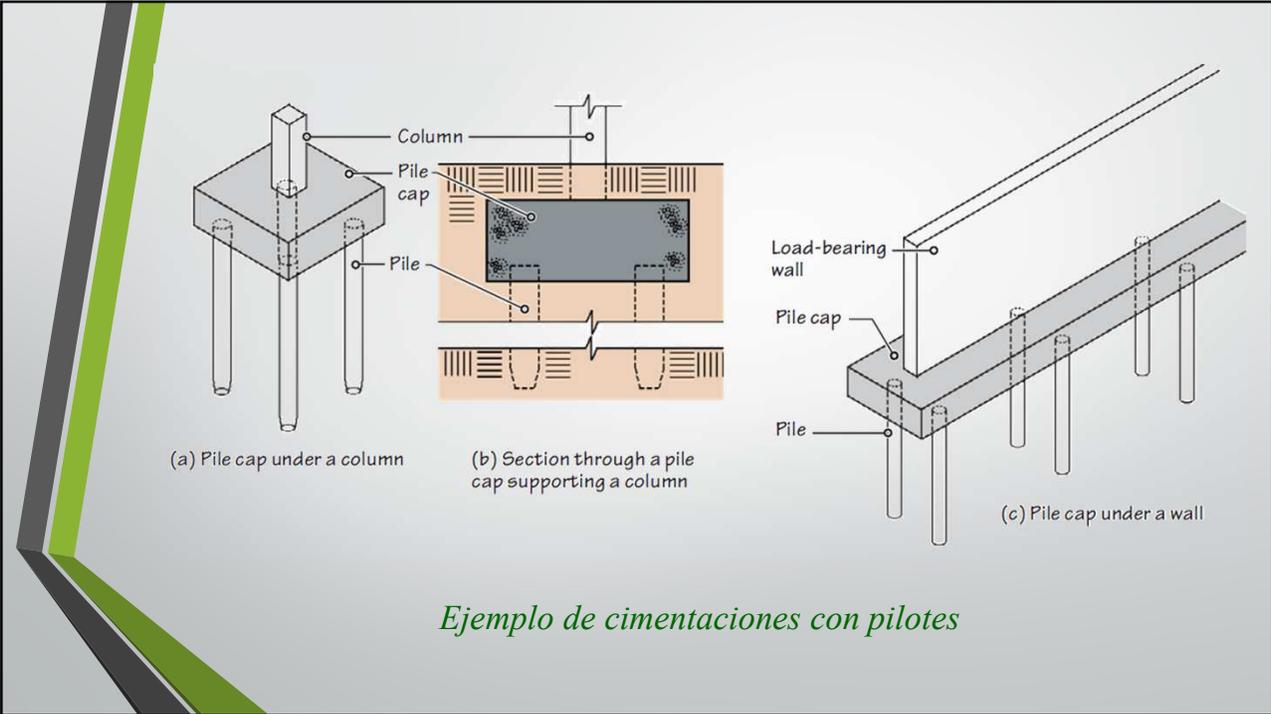
Con el propósito de obtener información apropiada para el diseño de las cimentaciones, se debe indicar previamente al laboratorio, los puntos en los cuales se harán las perforaciones.

Un criterio muy simple para determinar estos puntos, consiste en definir las áreas de la estructura que presenten más carga gravitacional.

Ubicación de las perforaciones solicitadas dentro de la "huella" del edificación.





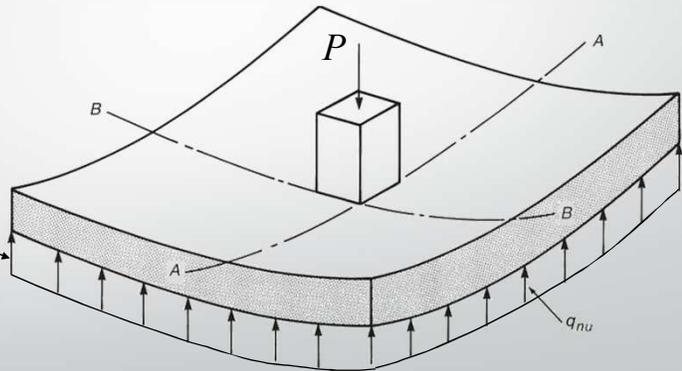


Diseño a flexión

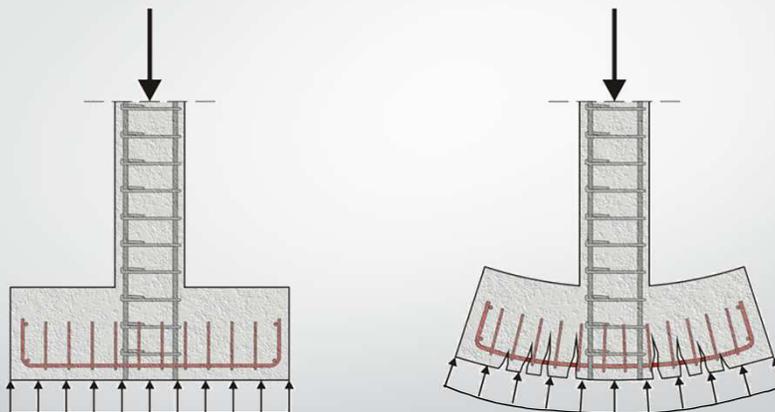
Cuando la carga axial P_u se aplica sobre la placa, como reacción se genera una presión uniforme del suelo contra la cara inferior del cimiento que tiende a "levantar" las porciones de la placa adyacentes a la columna (voladizo invertido).

Presión ascendente del suelo contra la placa (se asume una presión uniforme para placas sin momento)

$$q = \frac{P}{A}$$

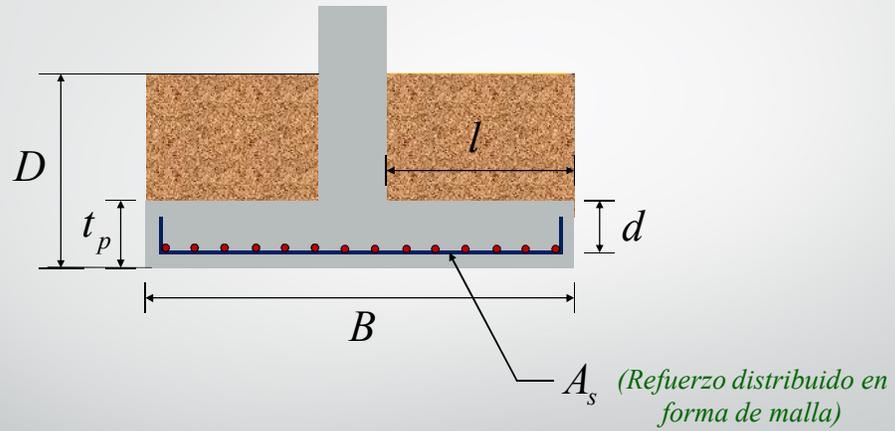


Esta presión en toda la placa se traduce en una carga distribuida para efectos de un análisis del cimiento en dos dimensiones.



Comportamiento de una placa aislada de fundación bajo carga céntrica (Carga axial sin presencia de momento)

Los parámetros de diseño de una placa aislada se muestran en la siguiente figura:



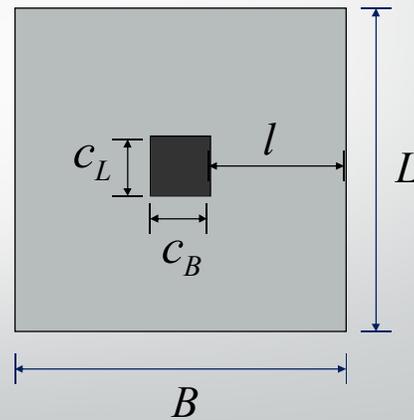
Para efectos prácticos, se puede considerar: $d \cong t_p - 7.5\text{cm}$

Una vez que se han estimado las dimensiones en planta, se debe calcular la presión del suelo contra la placa q_u mediante la fórmula:

$$q_u = \frac{P_u}{A_{real}}$$

$$M_u = \frac{q_u \cdot L \cdot l^2}{2}$$

$$A_{s,req} \cong \frac{M_u}{0.9^2 \cdot f_y \cdot d}$$



El refuerzo en una placa aislada consiste en varillas que se colocan paralelas entre sí con una determinada separación s y formando una grilla o malla.

Una vez que se determina la cantidad de acero requerida $A_{s,req}$, se debe proponer un valor escogido de la siguiente tabla:

Áreas de acero en un metro de ancho (cm²)
(Losas, muros, placas)

Separación (cm)	Varilla					
	#3	#4	#5	#6	#7	#8
10	7.10	12.90	19.80	28.40	38.70	51.00
12.5	5.68	10.32	15.84	22.72	30.96	40.80
15	4.73	8.60	13.20	18.93	25.80	34.00
17.5	4.06	7.37	11.31	16.23	22.11	29.14
20	3.55	6.45	9.90	14.20	19.35	25.50
22.5	3.16	5.73	8.80	12.62	17.20	22.67
25	2.84	5.16	7.92	11.36	15.48	20.40

Finalmente, debe verificar que la cantidad de acero en tensión que se propuso no sea inferior a $A_{s,min}$ y en el caso de losas, que la separación no exceda el valor máximo permitido s_{max} .

➤ **Acero mínimo $A_{s,min}$:**

La cantidad mínima de acero será:

$$A_{s,min} = 0.20 \cdot t \quad \text{si } f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{ó}$$

$$A_{s,min} = 0.18 \cdot t \quad \text{si } f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2.$$

➤ **Separación máxima s_{max} :**

La separación máxima del refuerzo en una losa será el valor menor entre 30cm y 3 veces el espesor.

$$s_{max} = \text{menor} \{30\text{cm}; 3t\}$$

Distribución del acero por flexión

En placas de una dirección y placas cuadradas en dos direcciones, el refuerzo se distribuye uniformemente a través de todo el ancho de la placa.

Sin embargo, en placas rectangulares en dos direcciones, el refuerzo se debe distribuir de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

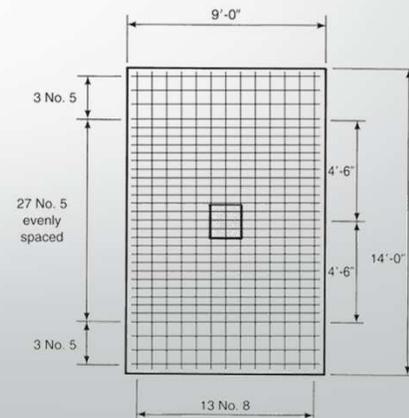
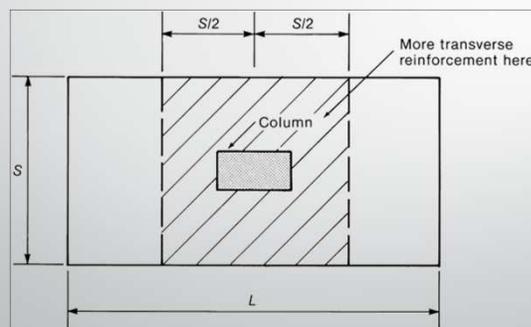
- ✓ El refuerzo en la dirección larga será distribuido uniformemente a través del ancho de la placa.
- ✓ El refuerzo en la dirección corta, se deberá repartir en dos partes: una porción (la mayor) será distribuida uniformemente sobre una franja central, con un ancho igual al de la zapata en la dirección corta.

$$\frac{A_s \text{ en la franja central}}{A_s \text{ total}} = \frac{2}{\beta + 1}$$

El parámetro β se define como:

$$\beta = \frac{\text{Longitud larga de la placa}}{\text{Longitud corta de la placa}}$$

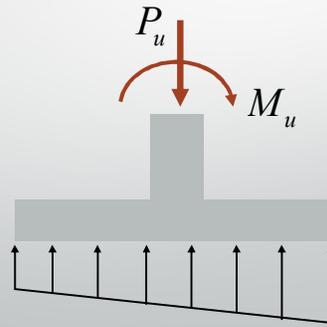
El refuerzo restante será distribuido uniformemente sobre la franjas laterales.



Efecto de la carga excéntrica en las cimentaciones

Las fundaciones pueden estar sometidas a carga excéntrica, es decir, a la aplicación de un momento simultáneo con la carga axial. Esto evidentemente modifica la distribución de presiones en el suelo.

Por esta razón, es recomendable dimensionar la placa de manera que la carga esté dentro del tercio central para evitar así "esfuerzos de tracción en el suelo".

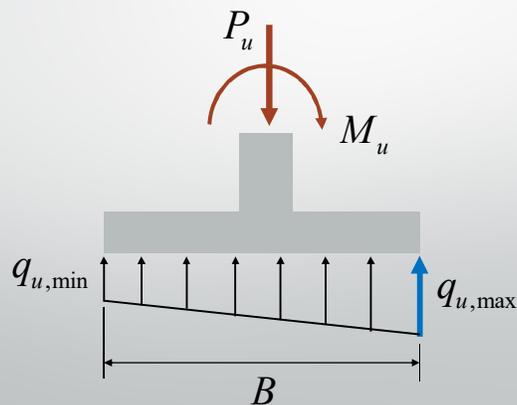


Se define la excentricidad e como:
$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

Se pueden presentar 3 posibles casos:

➤ Caso I: $e < B/6$

Esta condición genera una distribución trapezoidal de esfuerzos en el suelo.



$$q_{u,max} \leq \phi_{suelo} \cdot q_n$$

Las presiones máxima y mínima se calculan como:

$$q_{\max,\min} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq \phi_{\text{suelo}} \cdot q_n$$

↑
Se obtiene de la Tabla 13.1 del CSCR-10.

➤ **Caso II: $e = B/6$**

Esta condición genera una distribución triangular de esfuerzos en el suelo.

$q_{u,\max} \leq \phi_{\text{suelo}} \cdot q_n$

$q_{\min} = 0$ $q_{\max} = \frac{2P_u}{A}$

➤ **Caso III: $B/6 < e < B/2$**

Si la carga actúa fuera del tercio central, resultan esfuerzos de tracción en el lado opuesto a la excentricidad. Si el esfuerzo máximo debido a la carga axial no excede la capacidad admisible, no se espera que se levante ese lado de la cimentación y el centro de gravedad del triángulo de esfuerzos debe coincidir con el punto de aplicación de la carga.

$q_{u,\max} \leq \phi_{\text{suelo}} \cdot q_n$

$q_{u,\min} = 0$ $q_{u,\max} = \frac{2P_u}{B' \cdot L}$

$B' = 3 \left(\frac{B}{2} - e \right)$

En algunos casos, cuando la carga axial es muy baja y el momento es muy alto, la excentricidad excede la mitad del ancho de la placa; es decir, $e > B/2$.

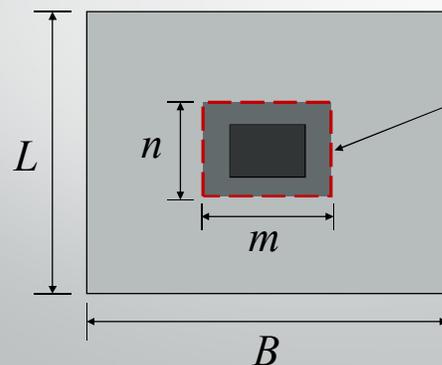
Si se alcanza esta condición se debe aumentar el ancho de la placa. De hecho el Código Sísmico estipula en la *sección 13.4* denominada Contacto suelo - cimiento:

“Se acepta que en una parte de la cimentación no existan esfuerzos de contacto siempre que, en cada sistema resistente, el área total en compresión no sea inferior al 50% del área total de los cimientos de ese sistema”

Revisión a cortante en dos direcciones (two-way shear)

La condición para determinar (o revisar en caso de que ya se había propuesto) el peralte efectivo d de una placa, se basa en que la sección deber ser capaz de resistir el cortante por punzonamiento (en dos direcciones).

Se asume que ese punzonamiento es resistido por la superficie bajo la línea punteada que muestra la siguiente figura:

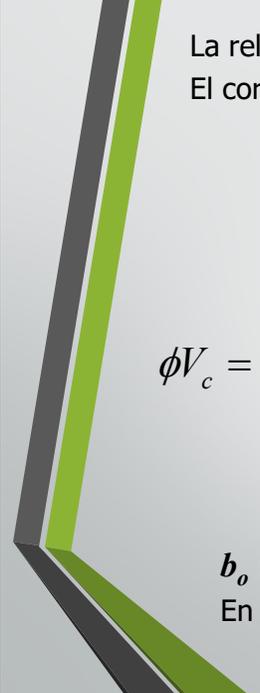


Perímetro b_o a una distancia $d/2$ de las caras de la columna:

$$b_o = 2m + 2n$$

$$m = c_B + d$$

$$n = c_L + d$$



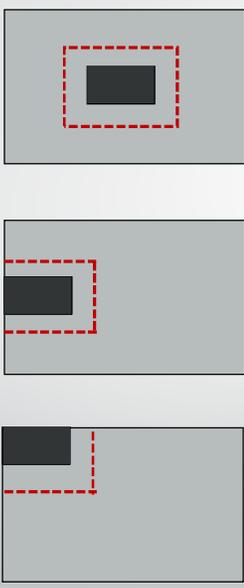
La relación básica que se debe satisfacer es: $\phi V_c \geq V_u$
 El cortante último por punzonamiento V_u se calcula como:

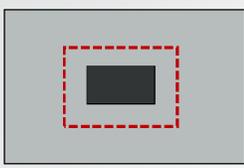
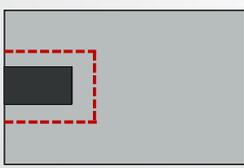
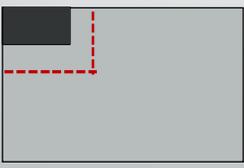
$$V_u = P_u - q_u \cdot (c_B + d) \cdot (c_L + d)$$

$$\phi V_c = \text{menor} \begin{cases} \phi V_c = \phi \cdot 1.1 \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\ \phi V_c = \phi \cdot 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \\ \phi V_c = \phi \cdot 0.27 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \end{cases} \quad \phi = 0.75$$

b_o : perímetro de los planos de falla.
 En caso de columnas concéntricas con la placa: $b_o = 2 \cdot [(c_B + d) + (c_L + d)]$
 β_c : razón del lado largo al lado corto de la columna

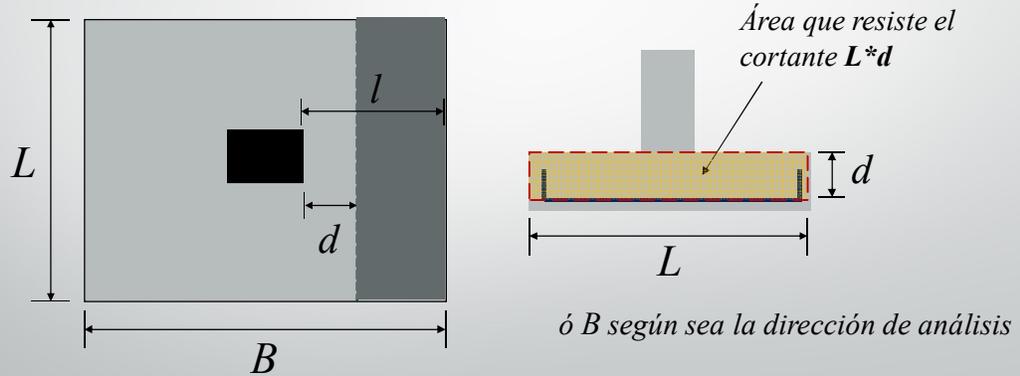
El parámetro α_s depende de la posición de la columna respecto al cimiento:



	<i>Caso I: columnas con sección crítica de 4 lados</i>	$\alpha_s = 40$
	<i>Caso II: columnas con sección crítica de 3 lados</i>	$\alpha_s = 30$
	<i>Caso III: columnas con sección crítica de 2 lados</i>	$\alpha_s = 20$

Revisión a cortante en una dirección (one-way shear)

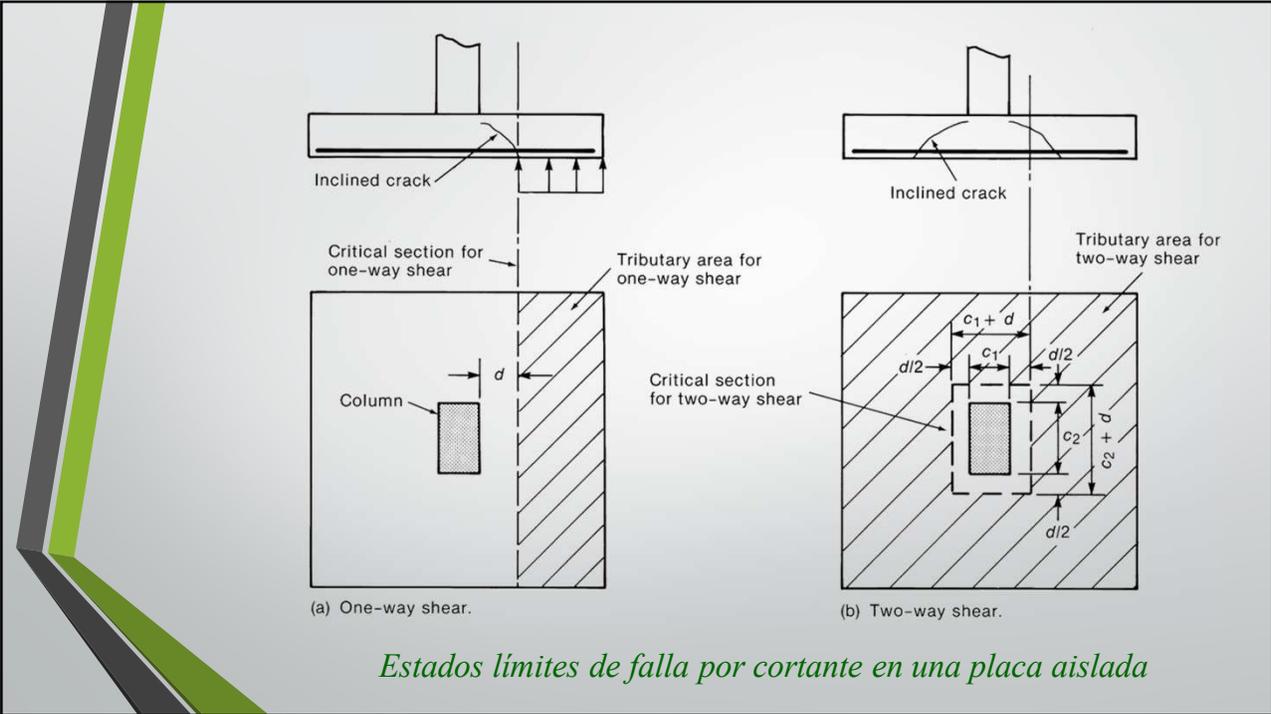
Otro estado límite que debe revisarse es la falla por cortante unidireccional que puede presentarse a lo largo de un plano a una distancia d de la cara de la columna.

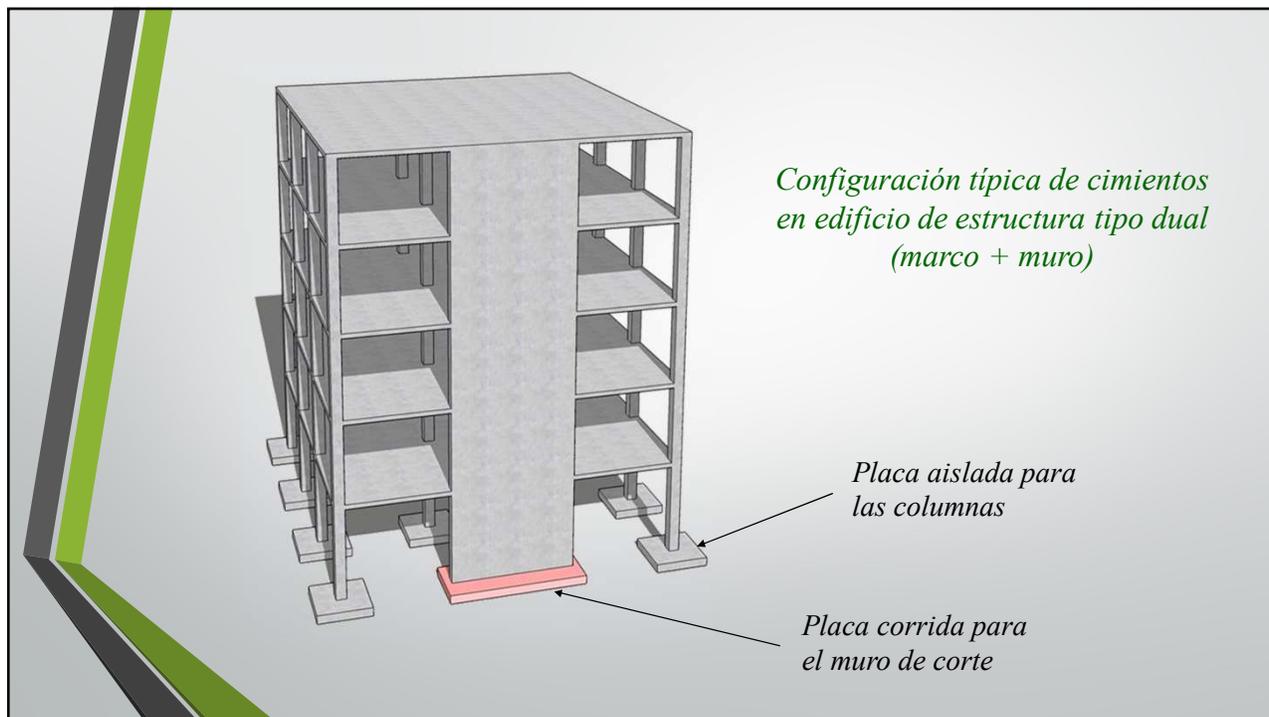


En este caso, igualmente debe satisfacerse: $\phi V_c \geq V_u$

$$\phi V_c = \phi \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot (L \cdot d)$$

$$V_u = q_u \cdot L \cdot (l - d)$$





- *Placas corridas (strip foundation)*

Aplican como cimiento de muros o paredes. Su dimensión a calcular es el ancho B . Se aplica la misma fórmula que para placas aisladas con la particularidad de que las cargas P_{CP} y P_{CT} se determinan para una longitud de muro de $1m$.

Pared o muro

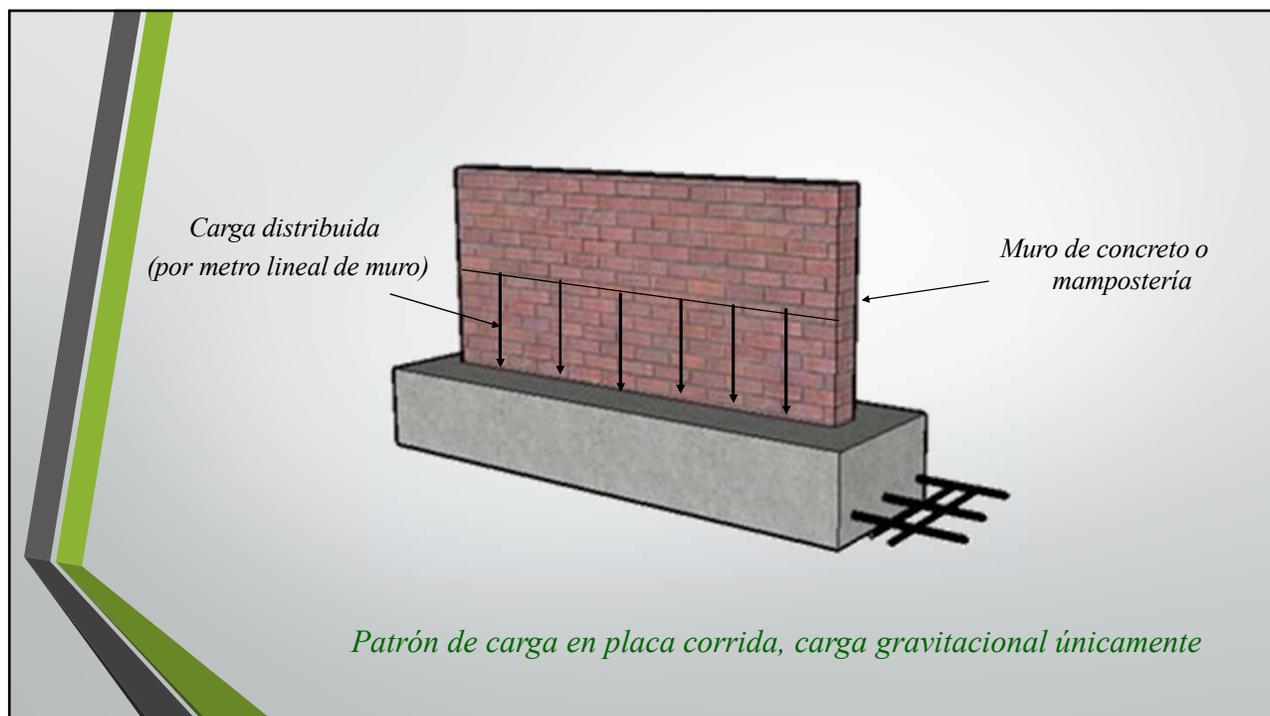
Elevación

Planta

The diagram shows two views of a wall foundation. The 'Elevación' (elevation) view shows a vertical wall on a rectangular base of width B . The 'Planta' (plan) view shows a vertical strip of width B with a grid of reinforcement bars.

$$B_{placa} = \frac{P_{CP}^* + P_{CT}^*}{q_{adm}}$$

$P_{CP}^*; P_{CT}^*$
:Cargas axiales permanente y temporal calculadas para un metro de longitud de muro



Semana 11 Ejemplo 1: Diseño de una placa de fundación aislada con carga excéntrica

Efectuar el diseño estructural de una placa aislada de 2.0x2.0m que será sometida a las siguientes cargas: $P_u=41.2 \text{ Ton}$ (incluyendo el peso de la porción de columna enterrada, del relleno y de la placa misma) y $M_u=15.7 \text{ Ton}\cdot\text{m}$. Los anteriores valores corresponden a la combinación [6-3] del CSCR-10.

De acuerdo con el estudio geotécnico, la capacidad admisible del suelo es de 10 Ton/m² a una profundidad de 1.0m.

Suponga que la columna es de 30x40cm y la flexión es con respecto al eje fuerte de la misma. Considere para los cálculos $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_y=2800 \text{ kg/cm}^2$.

Aspectos prácticos y detalles constructivos de cimentaciones

Para cualquier estructura se debe realizar algún tipo de excavación. En todo caso, siempre deberá removerse la capa superficial llamada "capa vegetal" dado que es altamente compresible.

De acuerdo con la magnitud del proyecto y al tipo de suelo a remover, es necesario contar con maquinaria pesada tanto para el proceso de excavación del material sino también para la posterior compactación.

Para cualquier estructura se debe realizar algún tipo de excavación. En todo caso, siempre deberá removerse la capa superficial llamada "capa vegetal" dado que es altamente compresible.

Arenas



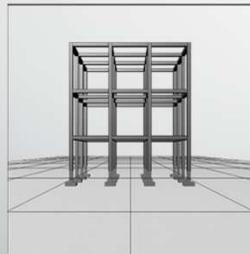
Arcillas



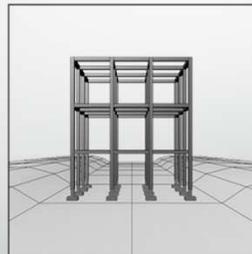
La importancia de contratar un estudio geotécnico (estudio de suelos) radica no solo en que determina la resistencia del suelo y la profundidad a la que debe cimentarse sino que usualmente también sugiere el tipo de fundación a usar en el proyecto. Lo último implica: funcionalidad, seguridad y rentabilidad.

El costo promedio de las fundaciones para un edificio de varios pisos oscila entre el 3 y el 8 % del costo de la construcción. Sin embargo, para estructuras poco convencionales y/o suelos inapropiados, el costo puede incrementarse hasta un 20%.

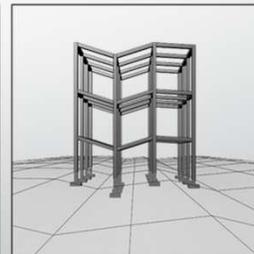
El diseño de las fundaciones es de vital importancia para lograr "llevar" las cargas al terreno sin generar asentamientos que pongan en peligro la estabilidad de la estructuras total o parte de ella.



Sin asentamiento



Asentamiento uniforme



Asentamiento diferencial







Fase de colocación del refuerzo en placa de un muro de retención



Proceso constructivo de placas de fundación aisladas



*Placa de fundación con
espesor variable*



*Recalce de cimentación como parte
de un reforzamiento estructural*