

# DISEÑO ESTRUCTURAL II



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



Carrera de **Arquitectura**

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo

UNIDAD 6

FUNDACIONES



Dr. Ing. Gonzalo S. Torrasi

2021

## 1. INTRODUCCION

Las fundaciones son los elementos encargados de transmitir las cargas desde la superestructura al suelo de fundación o apoyo y de brindar las reacciones de equilibrio para mantener las estructuras estables.

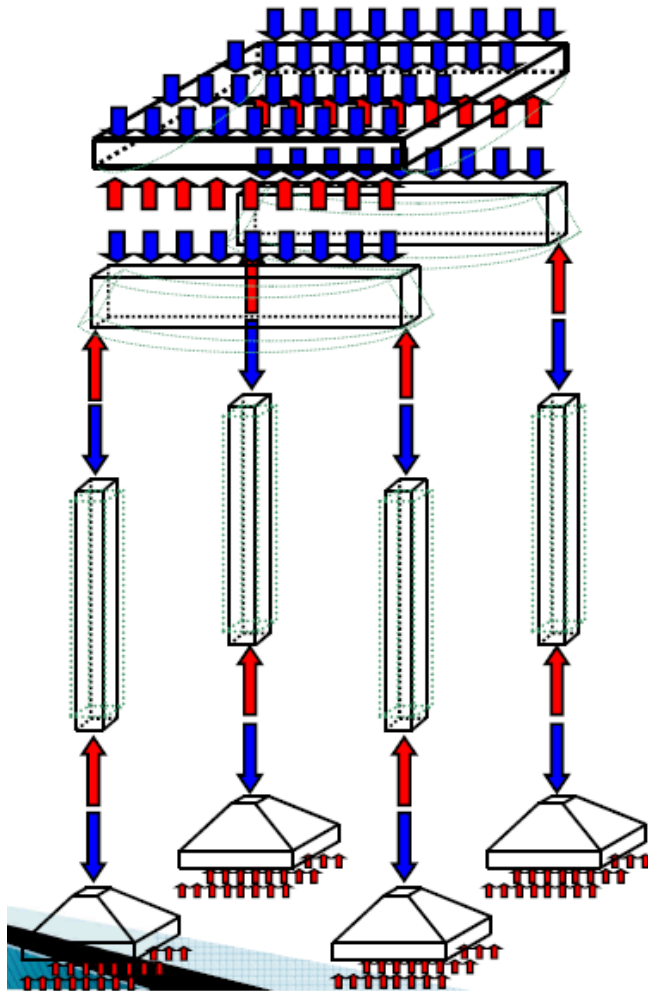


Figura 1

En la figura 1 se muestra la transferencia de cargas desde una losa hasta la fundación. En la losa existe una carga uniformemente distribuida en superficie ( $\text{kN/m}^2$ ), la cual se apoya y transfiere cargas a las vigas laterales que reciben una carga uniformemente distribuida a lo largo de toda su longitud ( $\text{kN/m}$ ). Estas vigas descargan a su vez en columnas que reciben una carga puntual ( $\text{kN}$ ) y que finalmente la transfieren a las bases que apoyadas en el suelo de fundación nuevamente distribuyen las cargas generando una presión o carga por unidad de superficie ( $\text{kN/m}^2$ ).

Este esquema mostrado si bien es muy básico muestra la transferencia de cargas total. Esta de más decir que la forma de las cargas que se transfieren, la cantidad de pasos y el origen

de las cargas es muy variable pudiéndose presentar cientos de casos distintos.

## 2. CLASIFICACION DE LAS FUNDACIONES

Las fundaciones pueden clasificarse dependiendo de diversos factores. Algunas de estas clasificaciones son:

**Según materiales:**

- Hormigón ciclópeo
- Mampostería
- Hormigón armado

**Según su profundidad:**

- Superficiales (Bases, cimientos, zapatas)
- Profundas (Cilindros, cajones)

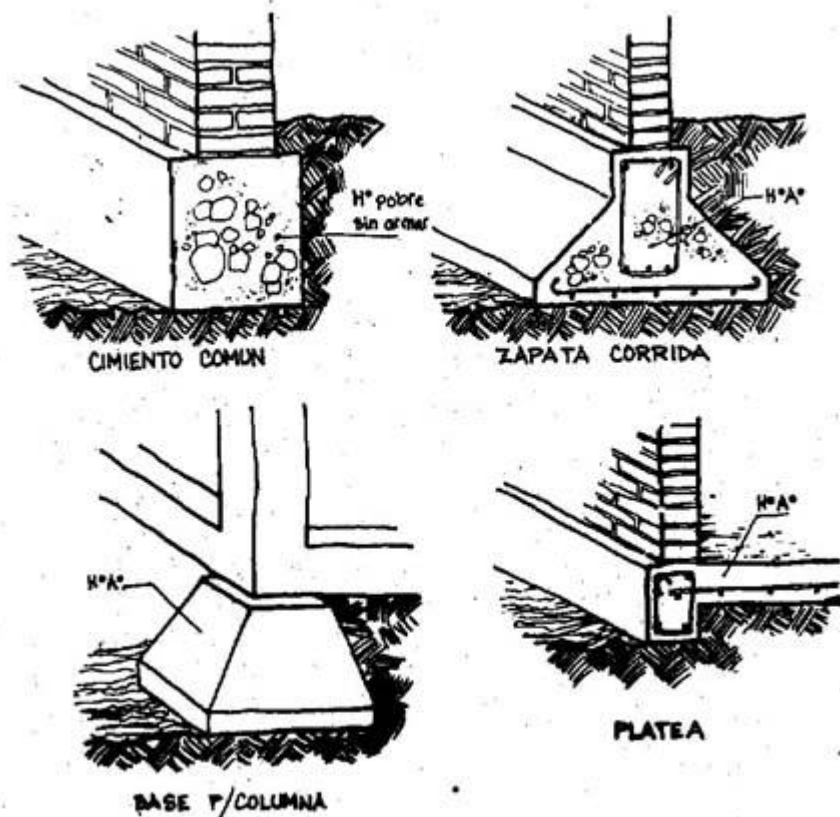
**Según su funcionamiento:**

- Aisladas (Bases, zapatas, pilotes) -> Cargas puntuales
- Corridas (cimientos, zapatas corridas) -> Cargas distribuidas lineales
- Combinadas (bases combinadas) -> Cargas puntuales
- Plateas (losas de fundación -> Cargas distribuidas superficiales

**3. FUNDACIONES SUPERFICIALES**

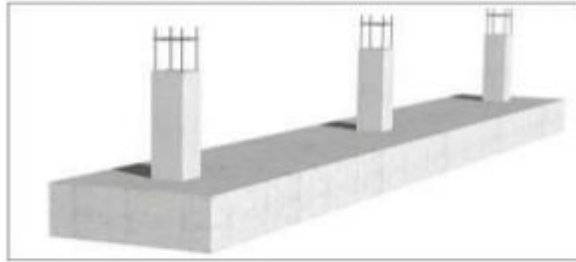
Las fundaciones superficiales son aquellas que se apoyan en las capas poco profundas del terreno, ya sea por tratarse de suelos de muy buena calidad o cargas muy bajas que generan presiones no muy elevadas en el terreno.

Algunas de estas fundaciones son:



**ZAPATAS CORRIDAS Y SUS USOS EN LA CONSTRUCCIÓN:**

Zapata Corrida para la unión de columnas.



Zapata Corrida en

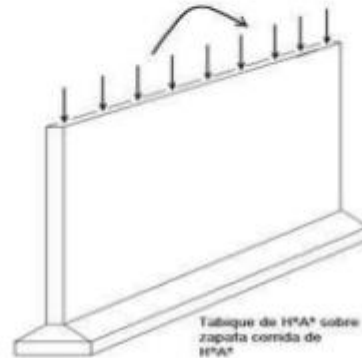
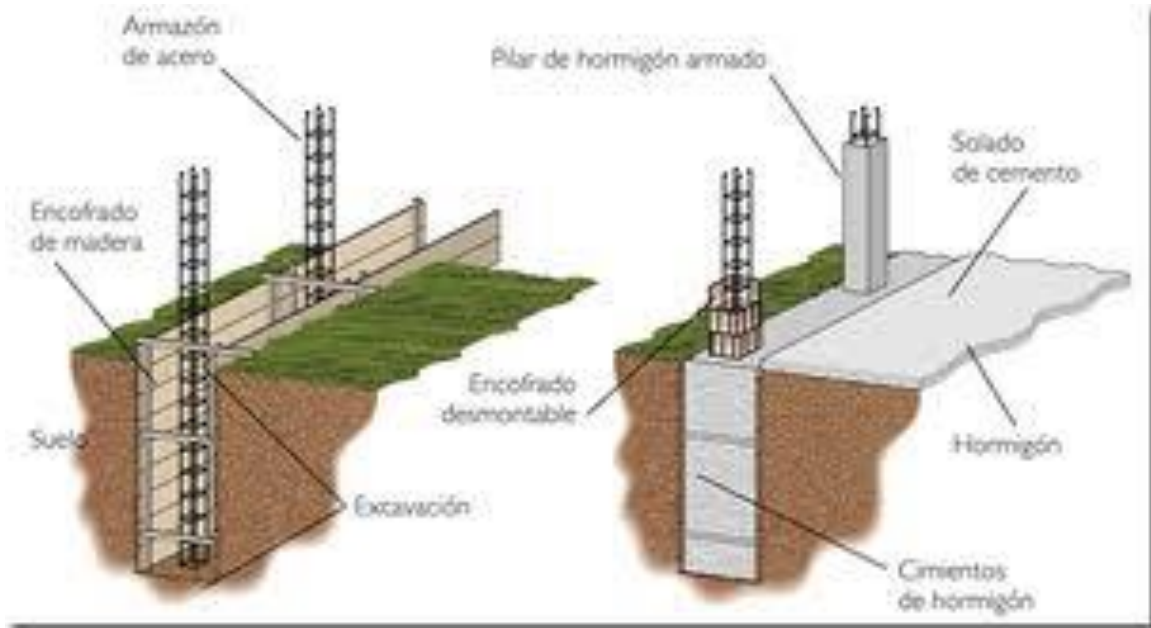


Figura 2: tipos de fundaciones superficiales

**3.1 Cimientos corridos de hormigón ciclópeo**

Dentro de las fundaciones superficiales más comunes, para estructuras relativamente pequeñas, se encuentran los cimientos de hormigón ciclópeo. Generalmente son utilizados para superestructuras que transfieren cargas uniformemente distribuidas en longitud, como son muros y tabiques. Estas estructuras son realizadas con hormigón y piedras, las cuales deben ser de una cierta calidad. En estructuras muy importantes se deberían realizar ensayos sobre las piedras, sin embargo en construcciones pequeñas basta con golpear la piedra. Si se produce un sonido hueco y sordo la piedra es blanda, pero si por el contrario el sonido es agudo y metálico la piedra es dura.



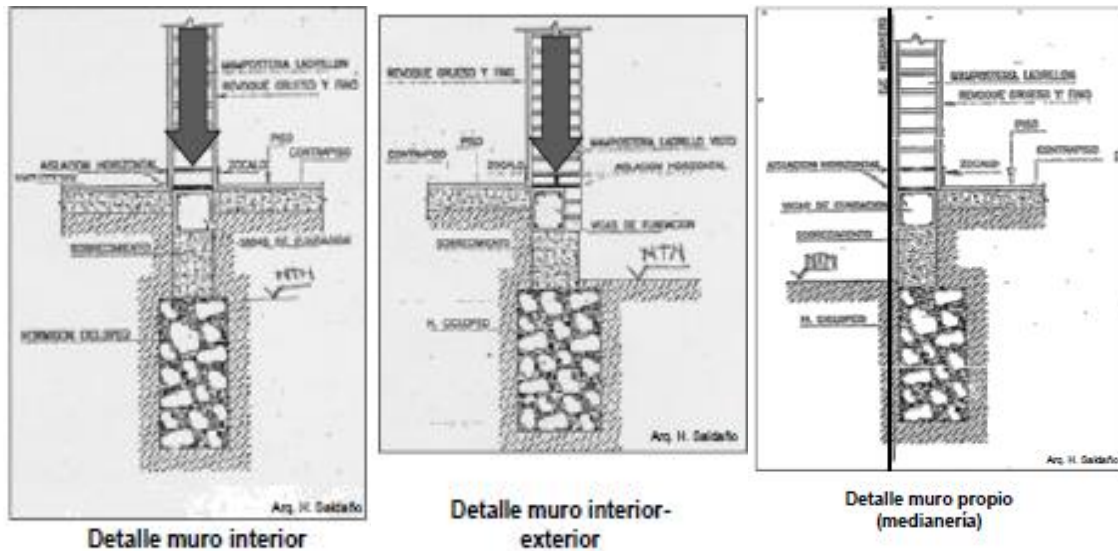


Figura 3: cimientos de hormigón ciclópeo

Estos tipos de fundaciones suelen tener profundidades que van entre los 70 y 120 cm y anchos acordes al elemento de superestructura que soportan, siendo el más común los muros de mampostería encadenada de ancho 20cm, generando cimientos de ancho entre 40 y 50cm.

El porcentaje de piedra bola que contienen varía entre el 30 y 40% del volumen, y la calidad del hormigón, si bien puede ser baja (H15), se recomienda utilizar calidades altas (H20) para que junto con el vibrado y los aditivos tengan un mejor control contra la humedad presente en el terreno.

Para evaluar la tensión media producida por cargas verticales en el suelo de fundación, basta con dividir las cargas por el ancho del cimiento, de esta forma:

$$f \left( \frac{kN}{m^2} \right) = \frac{q \left( \frac{kN}{m} \right)}{b(m)}$$

Siendo en este caso f la tensión actuante en el suelo de fundación, q la carga sobre el muro y b el ancho de la fundación.

Así mismo, es posible encontrar el ancho necesario de un cimiento simplemente invirtiendo la ecuación anterior, de esta forma:

$$b(m) = \frac{q(kN/m)}{f_{Lim}(\frac{kN}{m^2})}$$

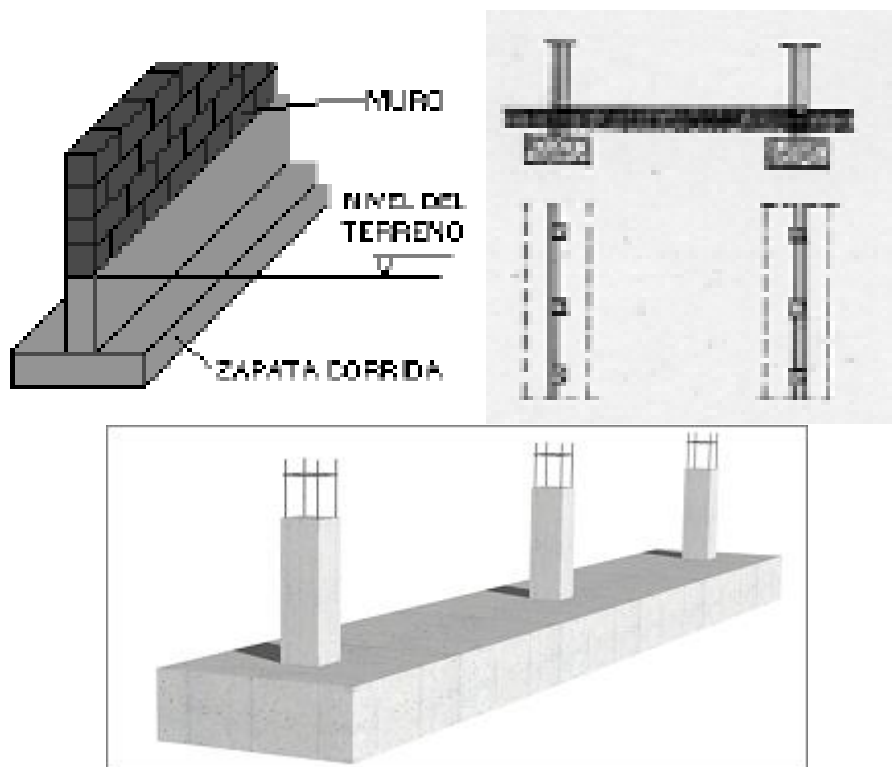
Siendo  $f_{Lim}$  la tensión límite del suelo para el estado de carga considerado.

Está de más aclarar que las unidades acá expresadas son indicativas y se deben utilizar unidades coherentes para todas las magnitudes.

### 3.2 Zapatas corridas de hormigón armado.

Otro caso similar al cimiento corrido de hormigón ciclópeo es la denominada zapata corrida o base corrida. Este tipo estructural es en esencia similar al cimiento corrido en cuanto las cargas que soportan son similares. Sin embargo, el cimiento de hormigón ciclópeo representa una fundación rígida y por lo tanto no lleva acero debido a las bajas tensiones y fuerzas de tracción que se generan en él. En la zapata corrida, dado que son elementos más anchos, el efecto de flexión es mayor y por lo tanto se debe colocar una armadura de refuerzo. Es así, que estas estructuras no llevan piedra bola y son solamente de hormigón armado.

Este sistema estructural también es apto para soportar columnas aisladas que se distan poco entre ellas.





Detalle zapata centrada

Detalle zapata excéntrica

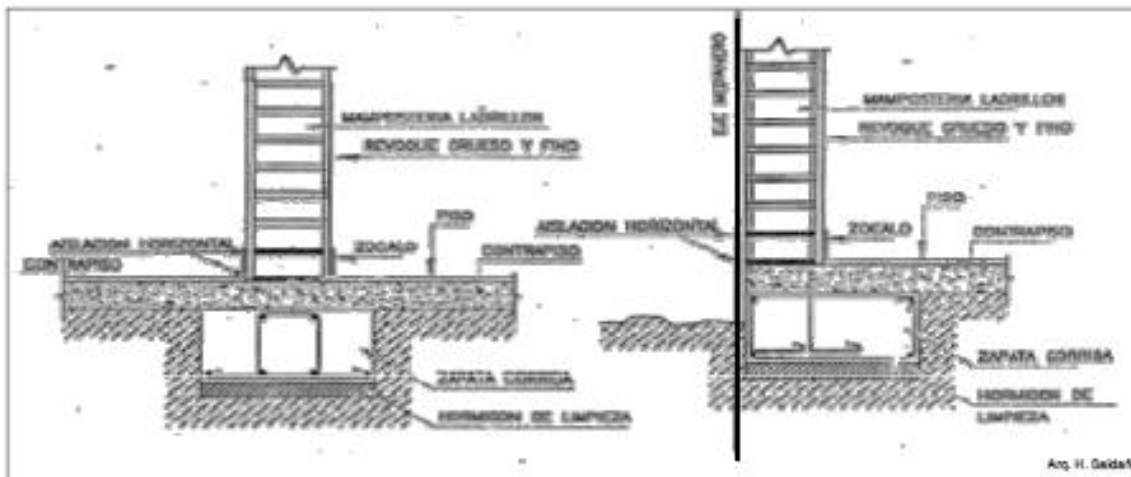


Figura 4: Ejemplos de zapatas corridas.



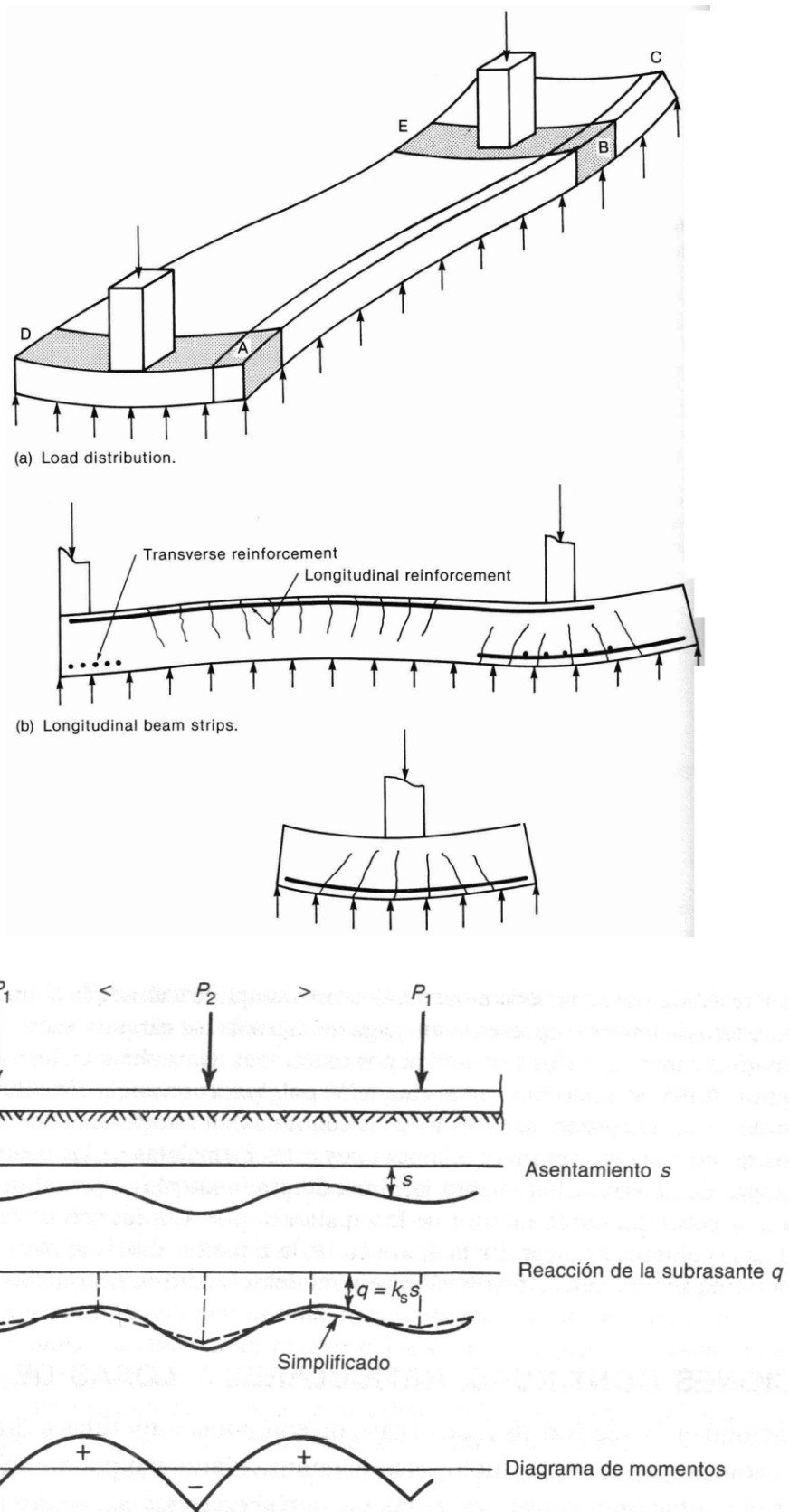


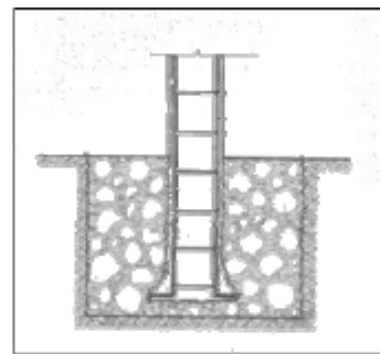
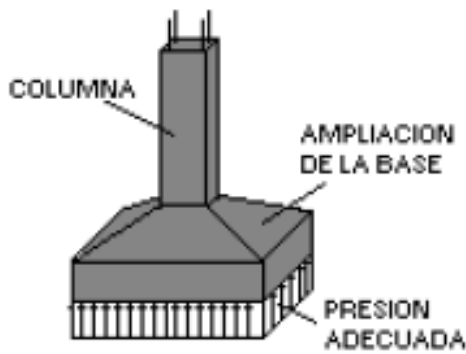
Figura 5: Deformacion de una zapata corrida que soporta columnas aisladas.

Se aprecia en la figura 5 como se deforma una zapata corrida que soporta columnas aisladas. Es importante notar que se produce una fisuración en la parte superior en la zona donde no hay columnas y una fisuración en la parte inferior donde llegan las columnas. Estas fisuras indican la presencia de fuerzas de tracción que deberán ser resistidas por barras de acero dispuestas en esa dirección.

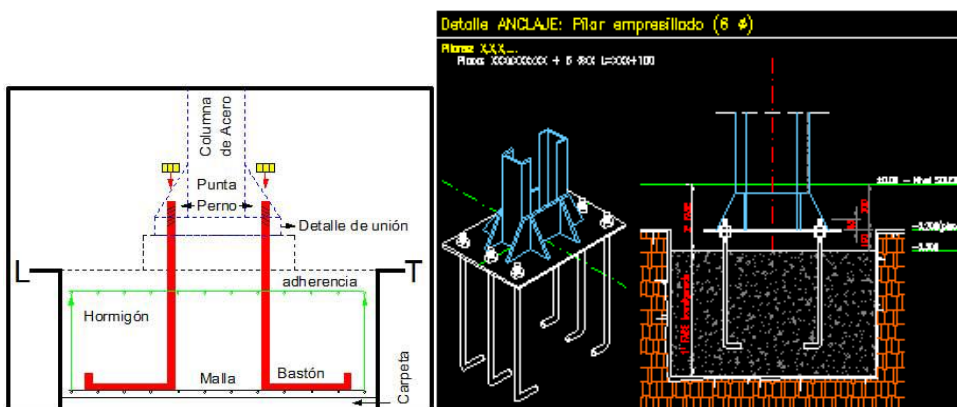
La altura de la zapata suele ser mayor a 20 cm y rondar los 20 a 30 cm. En general en medio se coloca la viga de fundación que suele ser de mayor altura, generando de esta forma una sección en forma de "T" invertida que le brinda mayor rigidez a la fundación.

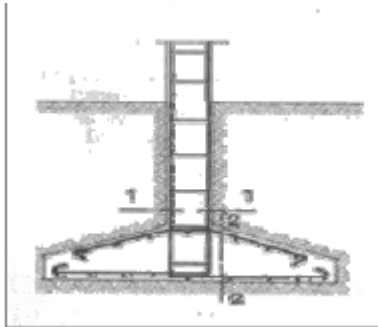
### 3.3 Bases aisladas

Las bases de hormigón armado son elementos aislados de hormigón armado, prismas, que reciben cargas puntuales y las disipan al terreno en forma de cargas superficiales (cargas por unidad de superficie). Estas bases son utilizadas comúnmente para soportar columnas, ya sean de hormigón armado o acero.



Dado de Hº Simple





Base de H°A°



Arq. H. Saldarfo



Figura 6: tipos de bases aisladas.

### 3.4 Comportamiento de las Bases

Las bases de hormigón armado pueden ser rígidas o flexibles dependiendo de la relación de aspecto que posean. Esta clasificación es importante para conocer el modo en que van a fallar estas estructuras y poder diseñarlas correctamente.

Viendo la figura 7, una base rígida es aquella en que la relación  $v/h < 2$  y flexible en los casos en que  $v/h \geq 2$ .

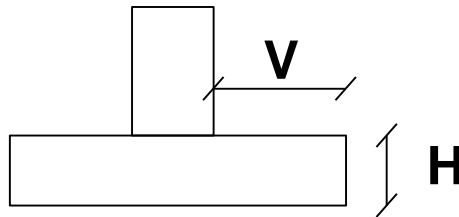
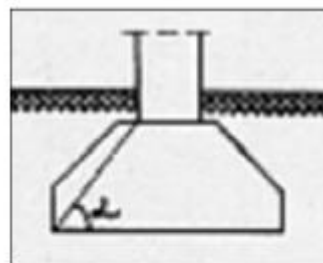
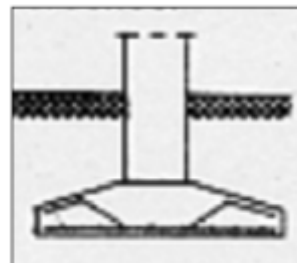


Figura 7.

Esta relación está asociada al ángulo que se forma entre el borde de la columna y el borde inferior de la base. Si este ángulo es pequeño indica que la base es muy alargada y que tendrá grandes deformaciones, por otro lado, si el ángulo es elevado se trata de una base rígida donde las deformaciones serán pequeñas como así también las fuerzas de tracción que se generan dentro de ella. En la figura 8 se puede apreciar las isostáticas de compresión y como se fisura la base en la parte inferior, haciendo necesaria la presencia de acero para resistir las tracciones asociadas a la fisuración.



Base de Hormigón Simple o rígida: ángulo 45°-60°



Base de Hormigón Armado o base flexible: ángulo >60°

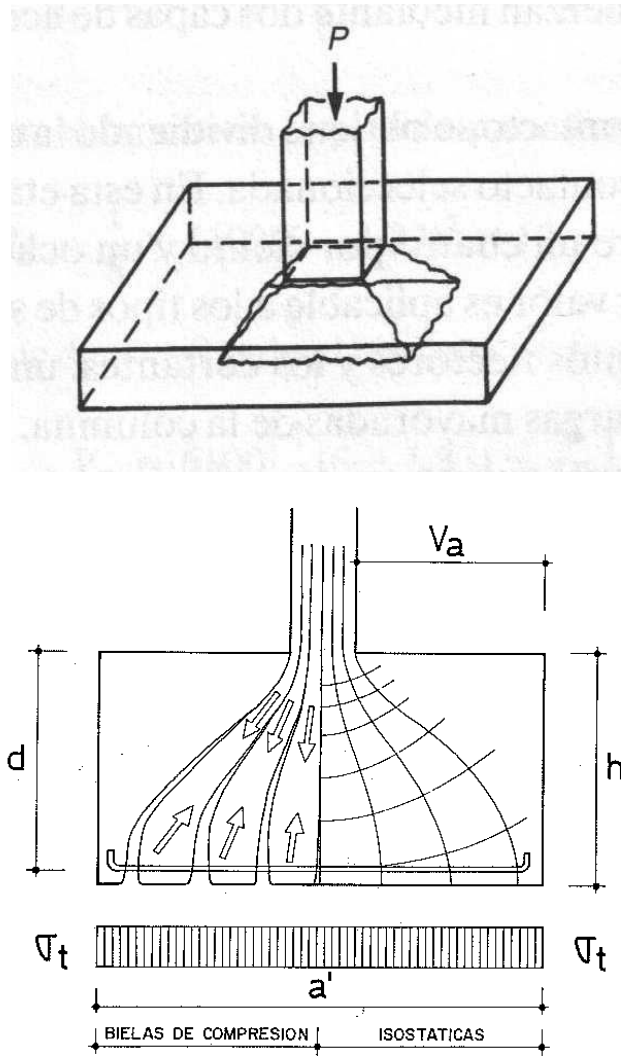


Figura 8: Rigidez de bases.

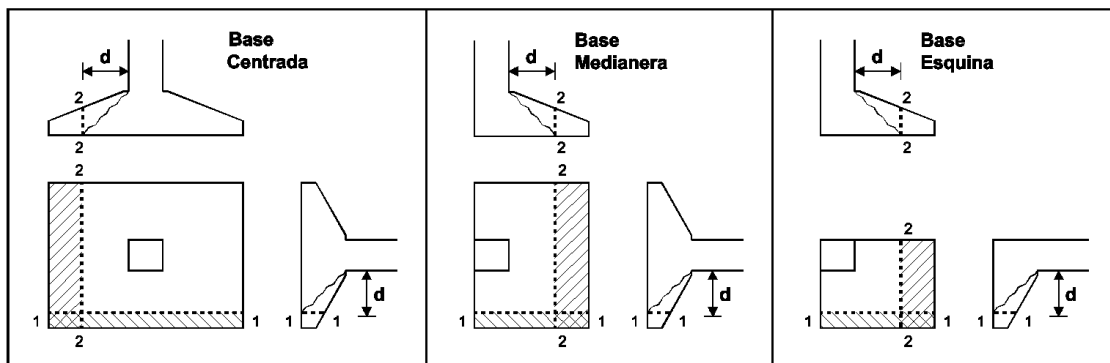


Figura 9: zonas criticas

La figura 9 muestra en sombreado las zonas que son factibles de romper por los esfuerzos de corte que se generan en la base. Observar que a una distancia "d" igual a la altura de la base (ángulo de 45°), las tensiones generadas en el suelo, que poseen dirección opuestas a las

cargas, generan corte en las bases, el que deberá ser resistido por una mayor sección de hormigón o por acero colocado para ese fin.

### 3.5 Distribución de tensiones en el suelo

Dependiendo del tipo de suelo y del tipo de base, las tensiones que se producen en la masa de suelo pueden ser muy distintas. La figura 10 muestra la distribución de tensiones para una base típica, considerando una variación supuesta teórica, la variación real cuando los suelos son granulares y la variación real cuando los suelos son cohesivos.

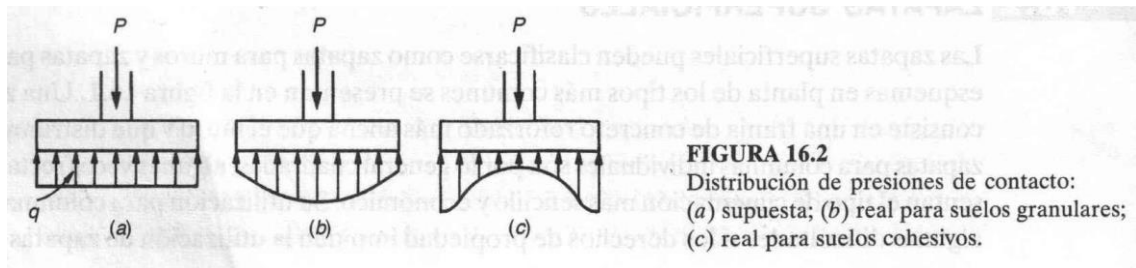


Figura 10: Tensiones en el suelo

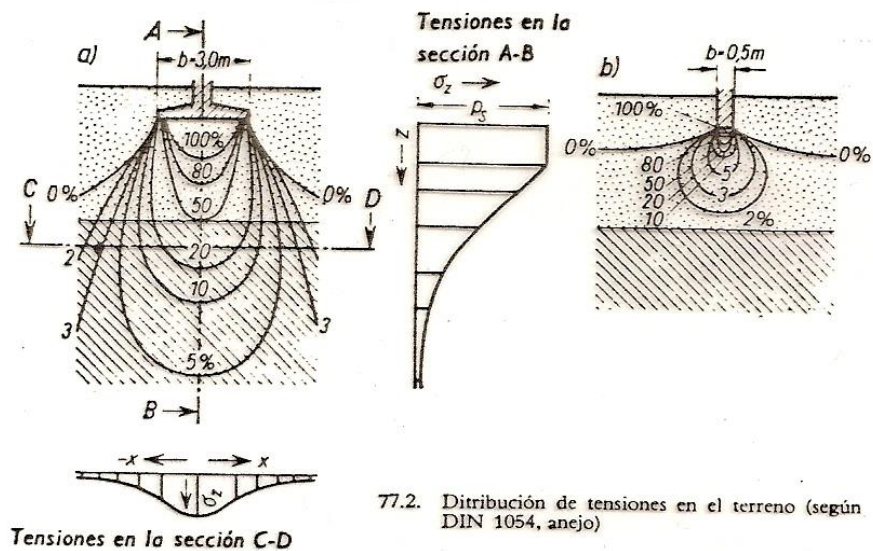
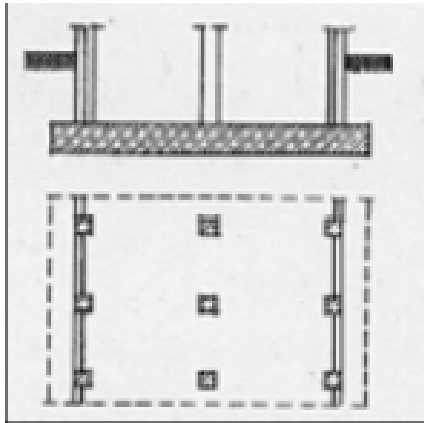


Figura 11: Tensiones en profundidad.

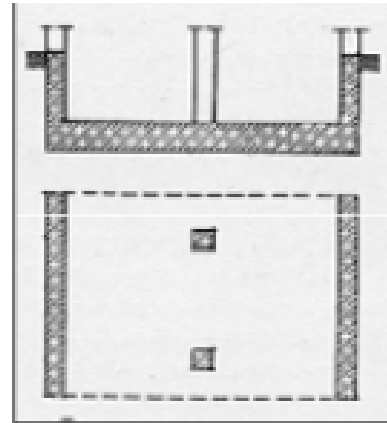
Las tensiones mostradas en la figura 10 se van disipando a medida que se aumenta la profundidad. La figura 11 muestra Isobaras (líneas de igual tensión o presión) para una base típica. Se puede apreciar que a medida que aumenta la profundidad las isobaras se van haciendo mas grandes y por lo tanto las tensiones se van haciendo menores. La primer imagen de la figura 10 muestra los porcentajes de la tensión total que se van produciendo en profundidad, la segunda imagen como varia esa tensión en profundidad.

### 3.6 Plateas de fundación.

Cuando las dimensiones de las bases aisladas o bases corridas comienzan a ser muy elevadas es conveniente cambiar el sistema de fundación. Una posibilidad es fundar en un estrato de suelo de mayor capacidad y por lo tanto disminuir las dimensiones de las bases y otra opción es unificar todas las bases y generar lo que se llama una platea de fundación. Estos elementos son grandes losas de hormigón armado que reparte las cargas puntuales y distribuidas al terreno. Suelen ser flexibles cuando el espesor es pequeño y en algunos casos se proyectan rígidas para que las deformaciones sean muy pequeñas.



Losa que abarca toda la planta. Indicada para terrenos malos o pequeñas distancias entre columnas



Losa y paredes de hormigón armado, para cimentaciones en presencia de agua subterránea

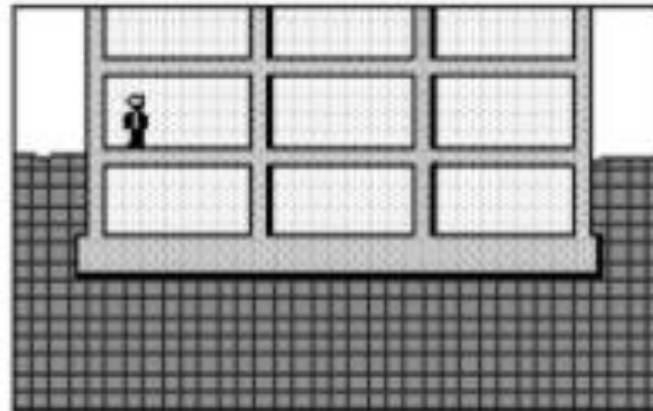




Figura 12: Platea de fundación.

Dado que en general las solicitaciones sobre la platea son pequeñas y hay una concentración de las mismas debajo de los elementos que transmiten cargas, es común realizar un ensanche en la zona de apoyo de los elementos estructurales. Este ensanche en espesor se puede realizar hacia arriba o hacia abajo dependiendo de las necesidades del proyecto.

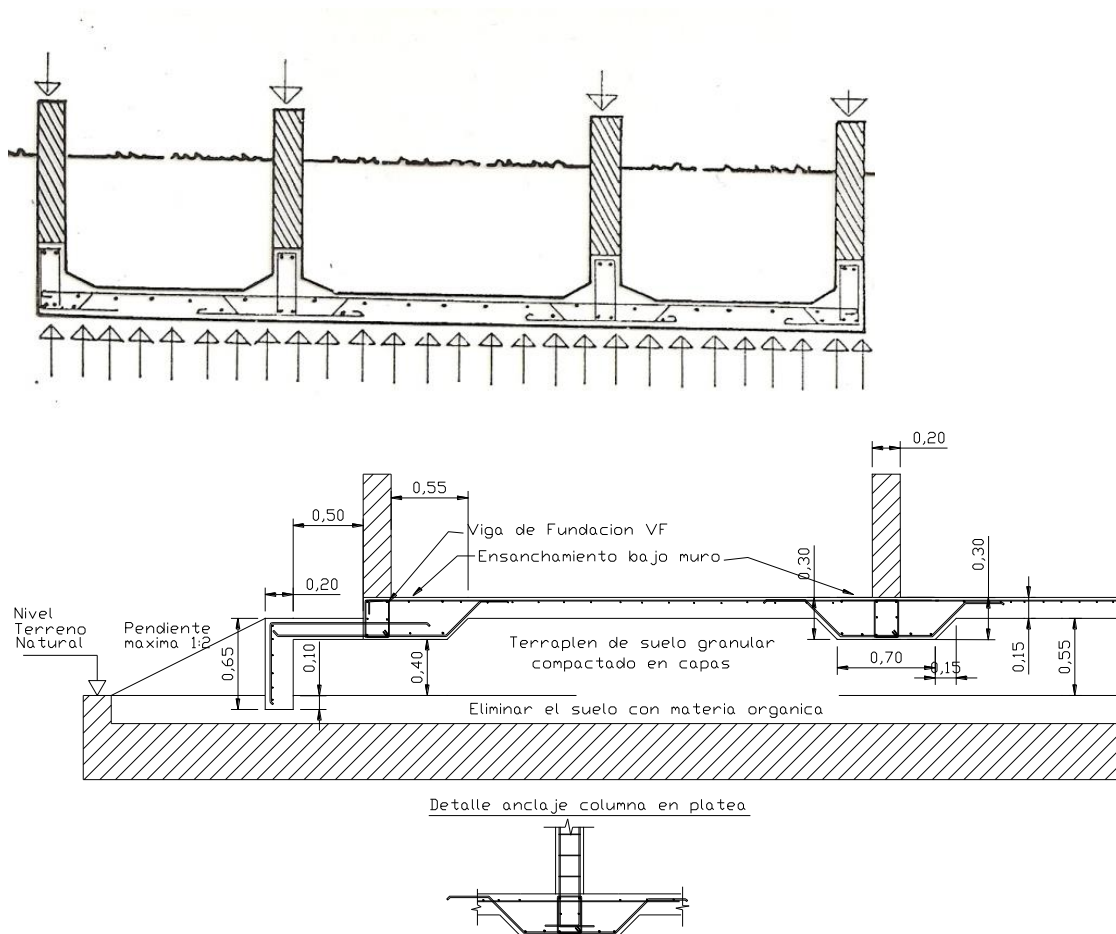


Figura 13: Ensanches en Plateas de fundación.



4. COMPORTAMIENTO DEL SUELO

Las cargas que se transmiten al suelo producen en el mismo una serie de fenómenos. La resistencia del suelo a las cargas externas fue explicado en un principio por la teoría de Prandtl (1920). Esta teoría de equilibrio plástica mostraba una falla generalizada en la masa de suelo para áreas cargadas en forma continua.

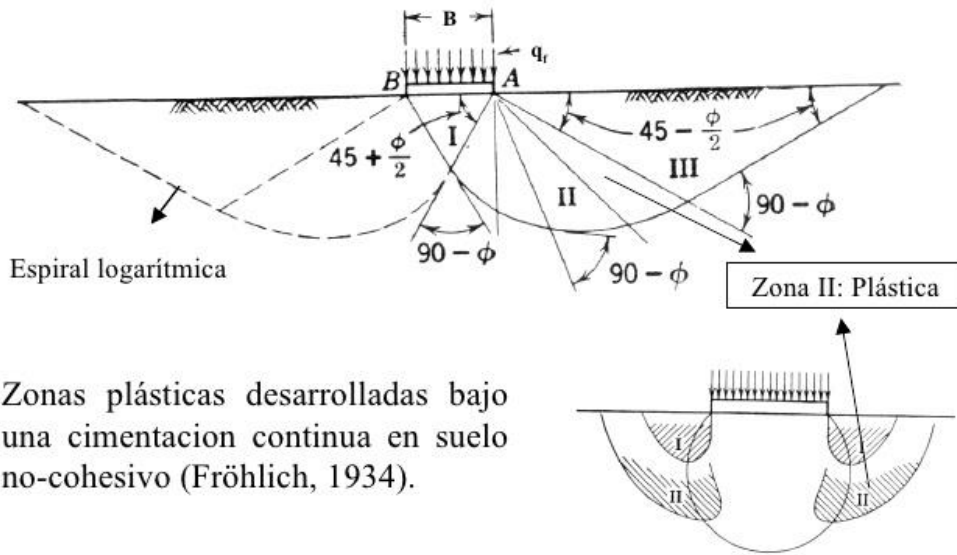


Figura 14: Teoría de Prandtl

Esta teoría fue posteriormente ampliada por Terzaghi y Peck y por Rankine.

La teoría de Rankine, que se muestra a continuación es la siguiente.

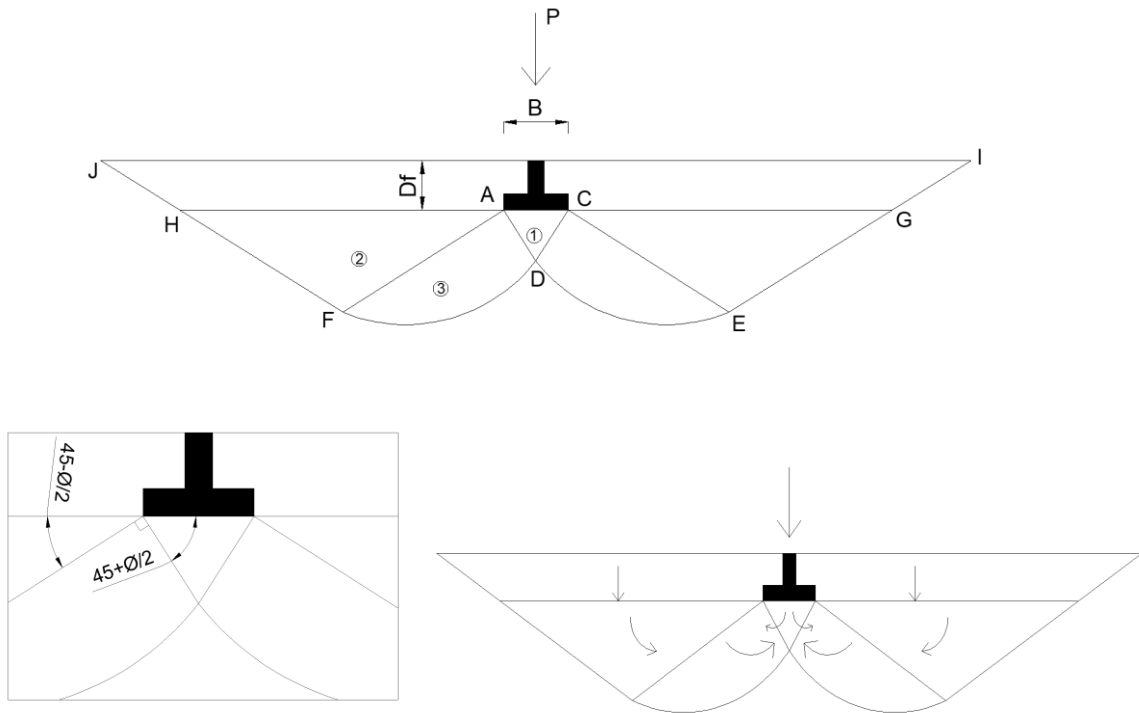


Figura 15: teoría de Rankine.

Esta teoría indica que la resistencia del suelo está dada por 3 zonas:

- 1) Zona activa de Rankine: la carga genera empujes activos a los bordes CD y AD
- 2) Zona pasiva de Rankine: representa la resistencia del terreno a desplazarse. Los bordes AF, HF y CE, GE
- 3) Zona de corte radial

Capacidad de carga:  $q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.5B \cdot N_\gamma$

$c \cdot N_c$ : término relacionado con la cohesión en los planos AD y CD

$\gamma \cdot D_f$ : término relacionado con la tapada. La carga  $\gamma \cdot D_f$  ayuda a las cuñas AFH y CEG a la oposición del empuje generado por la base.

$0.5B \cdot N_\gamma$ : término relacionado con el empuje pasivo que se opone al activo generado por la carga.

Siendo en este caso:

$c$ : cohesión del terreno (adherencia)

$\gamma$ : peso específico del terreno

$N_c, N_\gamma, N_q$ : Factores de carga que dependen de  $\phi$ .

$\phi$ : Angulo de fricción interna del suelo

$D_f$ : Tapada de suelo o profundidad de fundación.

$B$ : ancho de la fundación.

La definición simple de los empujes activos y pasivos de suelo es la siguiente:

Empuje activo: empuje que ejerce el suelo sobre la estructura

Empuje pasivo: empuje que ejerce la estructura sobre el suelo.

Esta teoría explica la falla generalizada del suelo, sin embargo pueden aparecer otros tipos de falla, localizados que hacen que la capacidad de carga varíe. Uno de esos casos es cuando el suelo se deforma demasiado que produce grandes deformaciones en la estructura, de esta forma se toma un límite de deformación admisible del suelo y se toma la tensión que produce esa deformación en el suelo como límite.

Mecanismos de falla generalizada asumidos (Terzaghi & Peck, 1948)

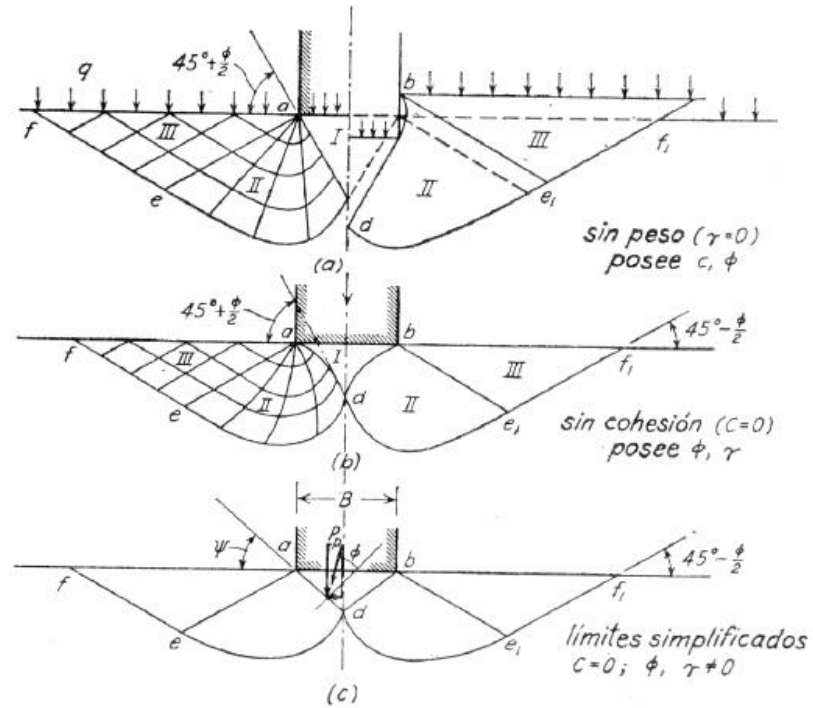
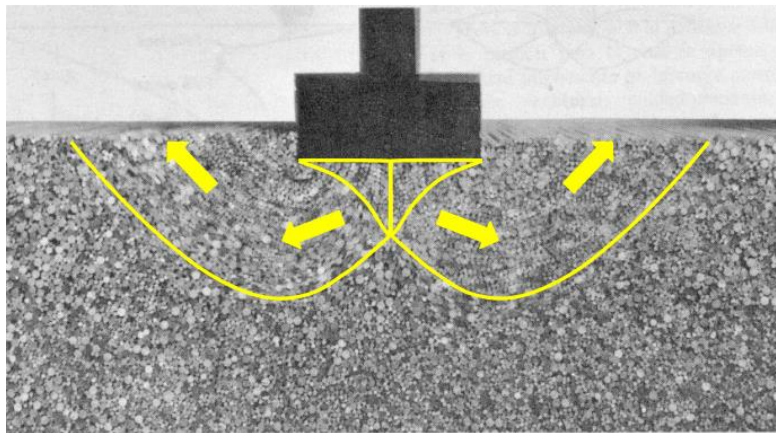


Figura 16: mecanismos de falla generalizados.



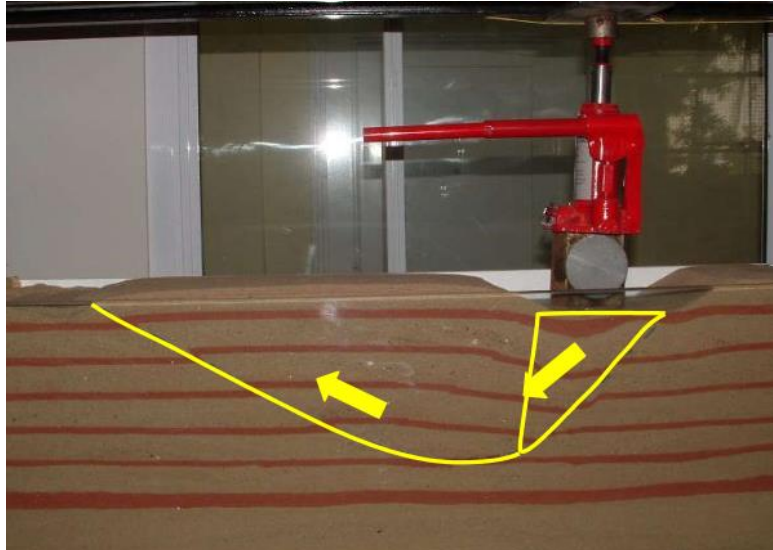


Figura 17: ensayo de laboratorio donde se aprecia el mecanismo de falla generalizado.

#### 4.1 Cargas sobre la fundación.

Si bien siempre se menciona que las cargas sobre la fundación son verticales, en general existen en la misma diversos tipos de carga. Además de estar sometidas a esfuerzos verticales de compresión, pueden existir esfuerzos verticales de tracción, horizontales de corte y momentos flectores que modifican el comportamiento y la forma de resistir de las mismas.

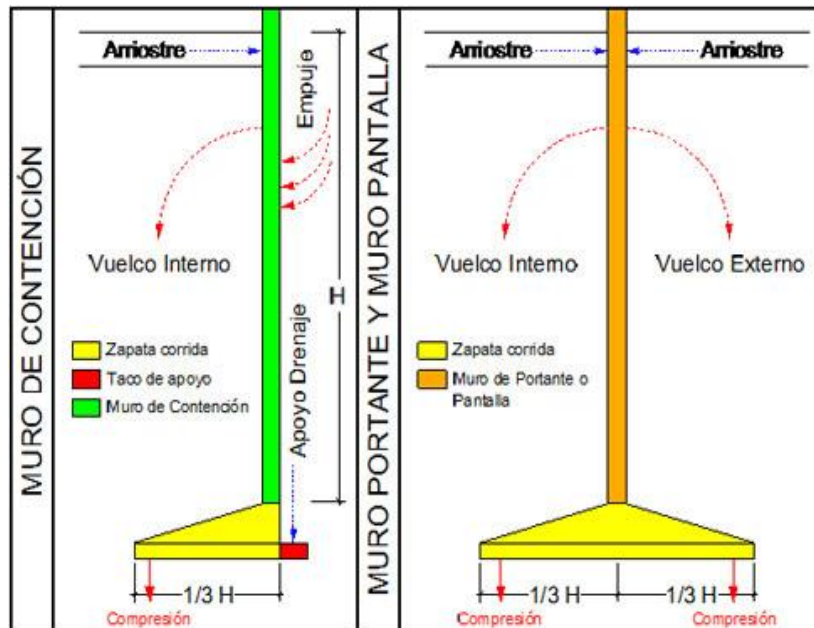


Figura 18: fundación con cargas verticales y momentos.

Estas cargas producen en el suelo de fundación distintas distribuciones de tensiones. La figura 19 muestra el caso de una base sometida a compresión y momento flector.

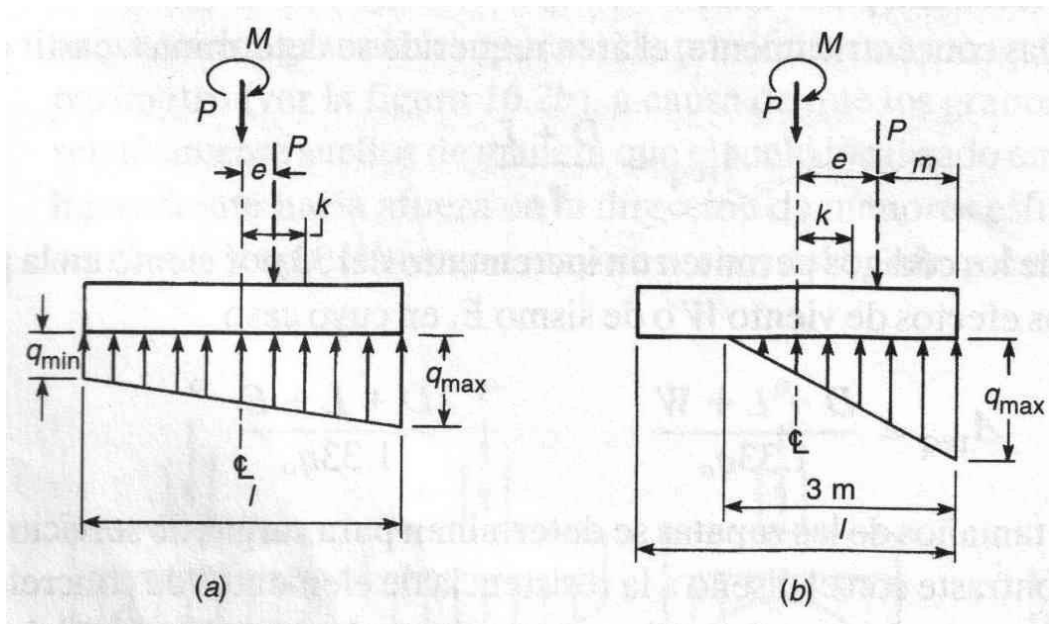


Figura 19: Esfuerzos en una base.

En la figura anterior se puede apreciar una base sometida a cargas verticales y momentos flectores. En el primer caso (a), la excentricidad que producen las cargas “e” es pequeña, por lo que toda la base experimenta tensiones de compresión. Sin embargo, en el caso (b), la excentricidad es elevada lo que produciría tensiones de compresión y tracción en el suelo. Dado que el suelo es un material que es incapaz de soportar esfuerzos de tracción, las tensiones de compresión deben modificarse e incrementarse para equilibrar las fuerzas externas. Esta teoría que se muestra es asociada a materiales no resistentes a tracción, pero en general no se utiliza ya que el diagrama de tensiones muestra que en el borde de la fundación existe un pico de tensión e inmediatamente hacia un lado disminuye drásticamente y hacia el otro extremo desaparece. Es por esto que la teoría de Brinch –Hansen del área efectiva o de Meyerhof o Vesic son las mayormente utilizadas.

La teoría del área efectiva reduce el área real en función de las excentricidades en la fundación generando un volumen de tensiones sometido a compresión pura y cuya resultante es coincidente con el punto de aplicación de las cargas externas.

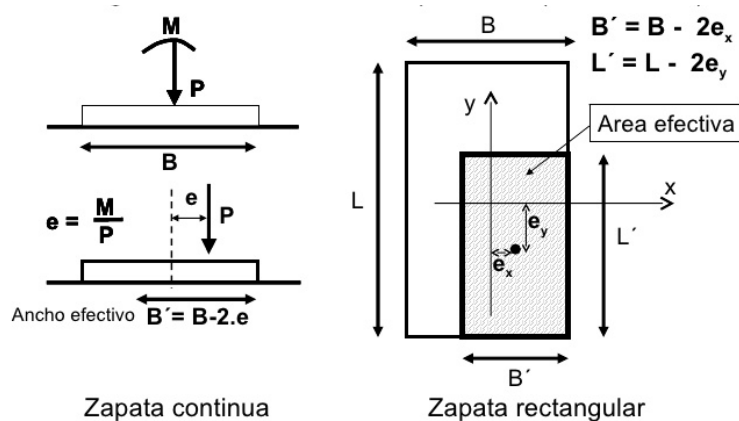


Figura 20: Área efectiva.

En algunos casos, cuando las fuerzas horizontales son elevadas se producen grandes excentricidades en la fundación y hasta algunas bases quedan sometidas a tracción.

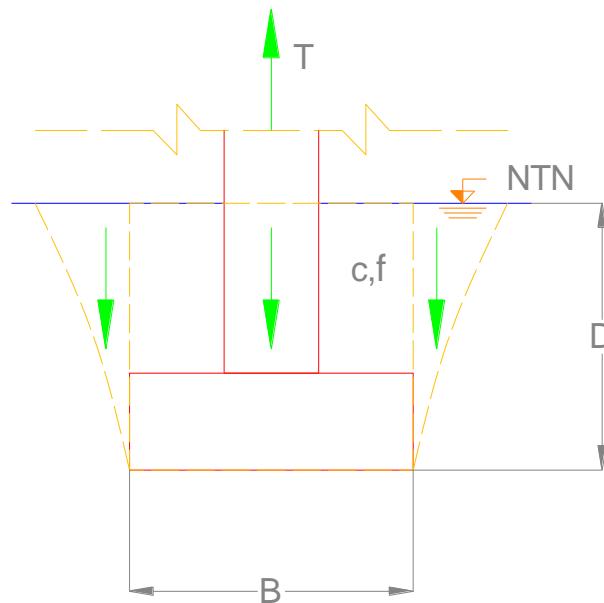


Figura 21: base en tracción.

En este caso, la resistencia a levantarse de la base está dada por el peso de la misma más el peso de suelo que pueda levantar adicionalmente al que arrastra por medio de la fricción. En general estas bases comienzan a tomar profundidad para poder aprovechar el peso de suelo para equilibrar las cargas externas de tracción.

Dado que ahora la base posee una carga de suelo por encima, se generan flexiones en la parte superior de la misma, por lo que se debe colocar una armadura superior para tomar las tracciones generadas por la flexión.

#### 4.2 Diseño de fundaciones.

Una vez que se ha verificado la fundación para transmitir las cargas al estrato de suelo sin superar las tensiones límites de éste, se debe dimensionar la armadura de las bases para que puedan funcionar de la forma que se ha pensado sin sufrir roturas. Dependiendo del tipo de fundación es la necesidad o no de armadura para soportar los esfuerzos inducidos por el suelo. De esta forma, un cimiento de hormigón ciclópeo donde su altura es mayor a su ancho, está sometido a esfuerzos de flexión muy pequeños, sumado a su gran altura, las tensiones de tracción que se puedan generar son en principio soportadas por el hormigón. Sin embargo, las zapatas corridas y bases de hormigón armado suelen tener dimensiones mayores a los cimientos en cuanto a su ancho y espesores menores, siendo entonces las solicitaciones mayores y los espesores para soportar la tracción menores.

El diseño de una base de hormigón armado no difiere del diseño de una losa del mismo material. En una base, la columna funciona como un apoyo para una losa en doble voladizo sometida a la presión del suelo (figura 22a).

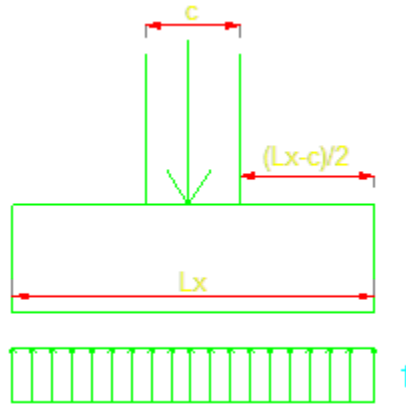


Figura 22. Cargas en la base.

Esta presión genera en la sección crítica al lado de la columna, un momento flector que tracciona la zona inferior de la base, lo que hace necesario colocar armadura (figura 23). Esta armadura se calcula igual que en un voladizo en una dirección. La gran diferencia es que se debe diseñar la armadura en dos direcciones independientes ya que la base está en voladizo en todas direcciones.

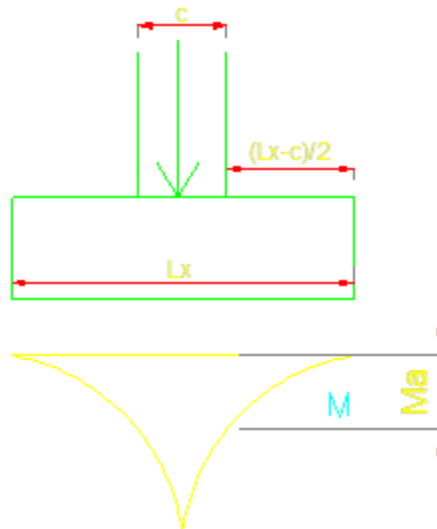


Figura 23: Momento flector en la base.

Si tomamos que la base posee un ancho  $L_x$  y la columna un ancho "c", la parte en voladizo tiene una longitud de  $L_x/2 - c/2 = (L_x - c)/2$ , por tanto el momento flector que produce una tensión en el suelo "f" es igual a:

$$M_a = f \frac{\left(\frac{L_x - c}{2}\right)^2}{2} = f \frac{(L_x - c)^2}{8}$$

Dado que la tensión "f" tiene unidades de fuerza por unidad de área ( $\text{kN/m}^2$ ), el momento flector  $M_a$  posee unidades de momento por unidad de ancho ( $\text{kNm/m}$ ) al igual que una losa, lo que indica que la armadura calculada será colocada por metro de ancho de base.

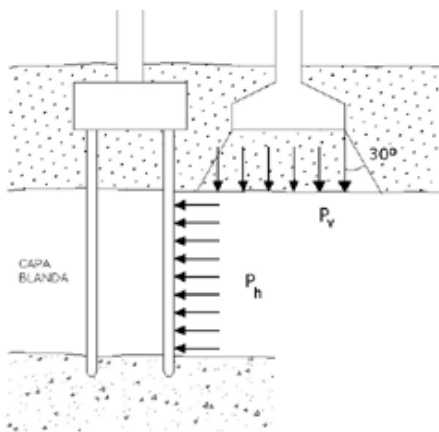
En el caso de zapatas corridas ocurre lo mismo, sin embargo solo se diseña la armadura en la dirección perpendicular a la dirección longitudinal de la zapata, considerando que es una losa en voladizo doble.

El diseño de las plateas es un poco más complejo ya que se debe analizar como una losa que posee como apoyos los muros, tabiques, columnas y vigas de fundación y está sometida a la presión del suelo, esto genera que en las zonas centrales de la platea se deba colocar armadura en la cara superior (colindante con el espacio habitable) y en la zona de los muros y columnas la armadura se debe colocar en la parte inferior que está en contacto con el suelo.

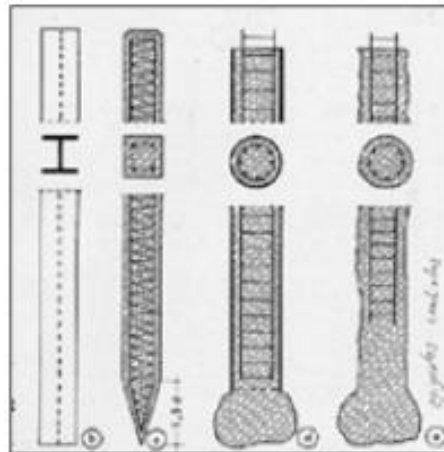
## 5. FUNDACIONES PROFUNDAS

Las fundaciones profundas son aquellas que se apoyan en las capas profundas de suelo donde existe mayor capacidad portante.

Los tipos más comunes son los pilotes y suelen ser de hormigón armado. Estos elementos transfieren las cargas al suelo de diversas formas. Puede ser apoyándose en el estrato resistente (transmisión por punta), o mediante la fricción que se genera a lo largo de todo el pilote (fuste) o bien una combinación de ambos mecanismos.







**Pilotes con carga de punta:** los pilotes penetran en la capa de terreno firme. Son favorables los pilotes de base ensanchada hormigonados in situ. La capacidad de carga del pilote está determinada sólo por la resistencia de la punta.

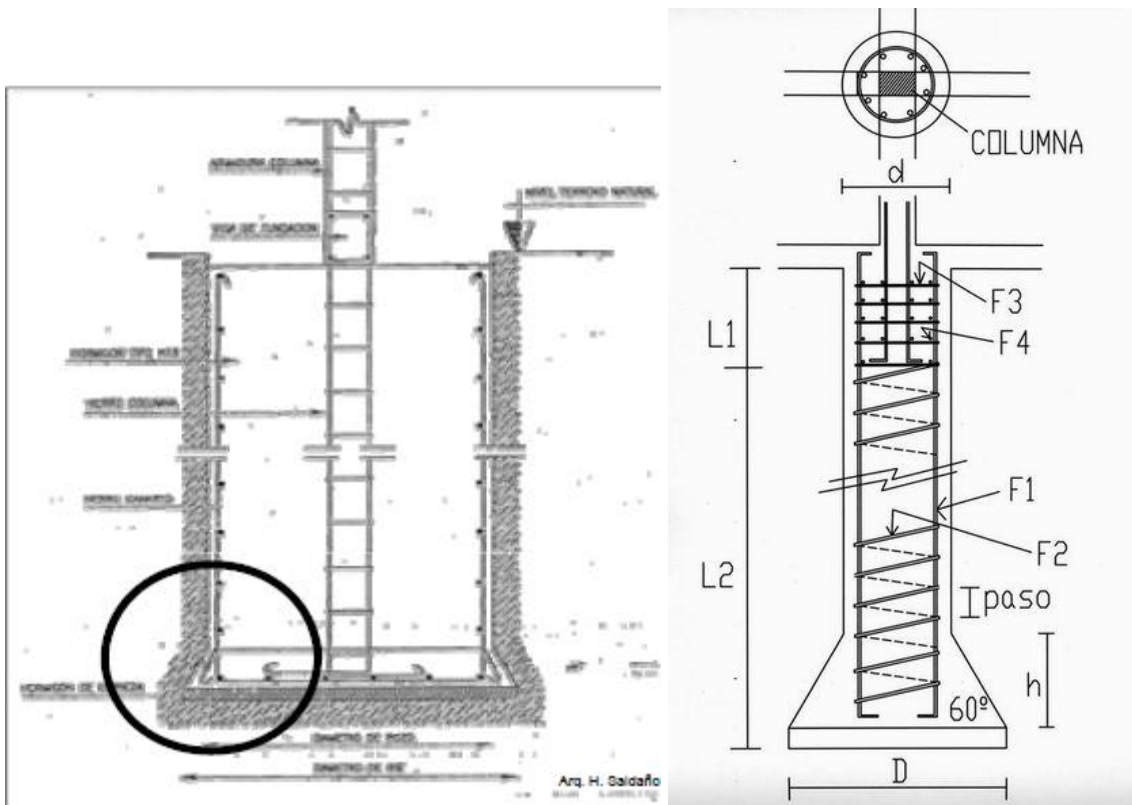


Figura 24: pilas de hormigón armado

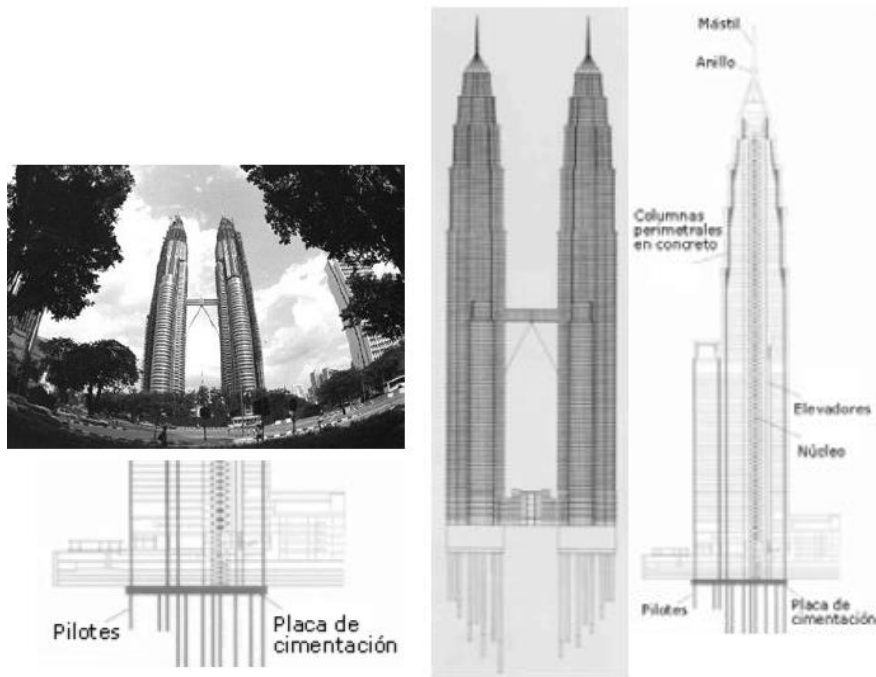


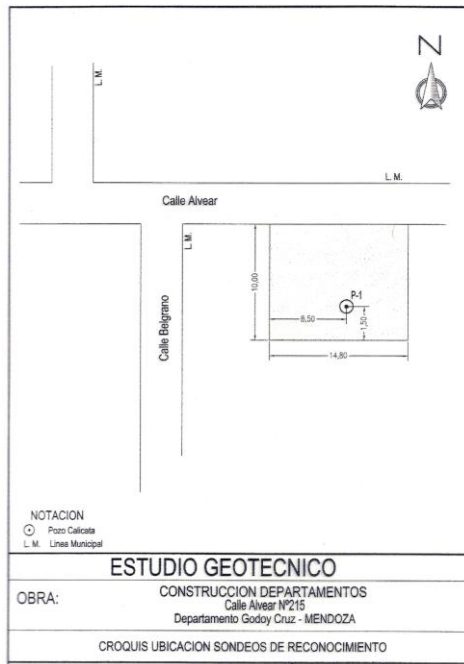
Figura 25: algunos casos conocidos con fundaciones profundas

## 6. EL SUELO

El suelo es el material de fundación. En las estructuras se lo considera como un material más que hay que ensayar y tener en cuenta a la hora del diseño.

Existen diversos tipos de suelos y se clasifican según distintos parámetros como son la granulometría, ángulo de fricción interna, cohesión, etc.

Para conocer el suelo lo que se debe realizar es un estudio de suelos en el que se plasmaran los resultados de haber ensayado el material en sitio y en laboratorio, brindando los parámetros necesarios para el posterior diseño del sistema de fundación.



Ing. Civil JORGE RAUL PRIETO		ESTUDIO GEOTECNICO - OBRA: CONSTRUCCION DEPARTAMENTOS - Calle Alvear N°215		Departamento Godoy Cruz - MENDOZA		FECHA: SEPTIEMBRE 2006	SONDEO N° P-1		
PROFUNDIDAD	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL SUELO	ENSAYO DE PENETRACION STANDARD S.P.T.		HUMEDAD NATURAL		PASAJE TAMIZ N°	Y <sub>n</sub> -Y <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	OBSERVACIONES
			Profundidad [cm]	Número de golpes	LMITE LIQUIDO	LMITE PLASTICO			
0.00		Repleno suelo fino con restos de escombros							En el ensayo SPT N= n° de golpes para los para los últimos 30cm
1.00									
2.00	2.15	Limo arenoso inorgánico sin plasticidad						1.485 1.275	
3.00									
4.00	4.11	Mezcla de grava y arena mal graduada con rodados de hasta 15cm						2.075 1.991	
5.00		Cota final de excavación							

Figura 26: estudio de suelos: caratula y estudio en profundidad

Se aportan los datos correspondientes a las constantes geotécnicas de los suelos investigados:

**ML:**  $\gamma = 1,30 \text{ Tn/m}^3$   $\phi = 12^\circ$   $c = 2,00 \text{ Tn/m}^2$   $E_o = 300 \text{ Tn/m}^2$

**GP:**  $\gamma = 2,00 \text{ Tn/m}^3$   $\phi = 40^\circ$   $E_o = 2200 \text{ Tn/m}^2$

### VIII – CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

- VIII.1. En el lote ubicado en calle Alvear N° 215 del Dpto. Godoy Cruz donde se construirá un edificio de departamentos, después de atravesar un relleno de suelos finos con restos de escombros, se ha constatado un estrato de *limo arenoso inorgánico* tipo **ML** sin plasticidad, con alto contenido de humedad natural. Subyacente a **4,10 m** se define en forma franca el granular más grueso *mezcla de grava y arena mal graduada* tipo **GP**.
- VIII.2. Los valores del ensayo **S.P.T.** son bajos en el **ML** y aumentan en el **GP**, poniendo en evidencia que es relativamente denso y el más apropiado para recibir las cargas de la estructura.
- VIII.3. Recomiendo el tipo de *fundación indirecta* con *vigas portamuros* bajo la mampostería que descarguen en *pozos romanos* empotrados en el estrato **GP**, ubicando su plano de cimentación a una profundidad mínima de **4,50-4,70 m**.
- VIII.4. Se propone un valor de capacidad portante máxima admisible con cargas de servicio normal  $\sigma_{adm} = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$ .
- VIII.5. Recomiendo construir veredines perimetrales internos con ancho no inferior a **1,00-1,20 m** y buena pendiente para facilitar una rápida evacuación del agua de lluvia y lavado.

Figura 24: Algunos resultados del estudio de suelos



Figura 27: Suelo granular, fino y grueso



Figura 28: suelo cohesivo



Figura 29: distintos tipos de suelo

6. REPRESENTACION GRAFICA

