



## INSPECCIÓN Y VALIDACIÓN DE CIMENTACIONES.

**JUAN PÉREZ VALCÁRCEL**

Catedrático de Estructuras

E.T.S.A. de La Coruña

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## INSPECCIÓN Y VALIDACIÓN DE CIMENTACIONES

- 1.- Inspección y registro de movimientos.
- 2.- Inspección y registro de grietas.
- 3.- Análisis de la patología observada.
- 4.- Estudio del terreno, de la cimentación y de las causas de fallo.
- 5.- Comprobación de las hipótesis y diagnóstico diferencial.
- 6.- Selección de soluciones.
- 7.- Ejecución de la obra de recalce o refuerzo.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## 1.- INSPECCIÓN Y REGISTRO DE MOVIMIENTOS.

- Medidas de asentamiento y evolución en el tiempo.
- Medidas de giros y desplazamientos y evolución en el tiempo.

<b>Asientos</b>	1mm/mes →	Riesgo fuerte e inmediato.
	1mm/año →	Actuación a largo plazo.

Técnicas de medición.

### Métodos ópticos:

- Niveles de precisión (para asentamientos).
- Taquímetros (desplazamientos, ángulos verticales, ángulos horizontales).

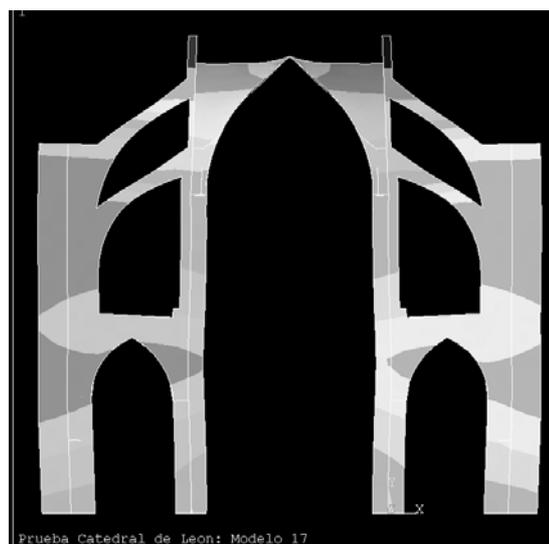
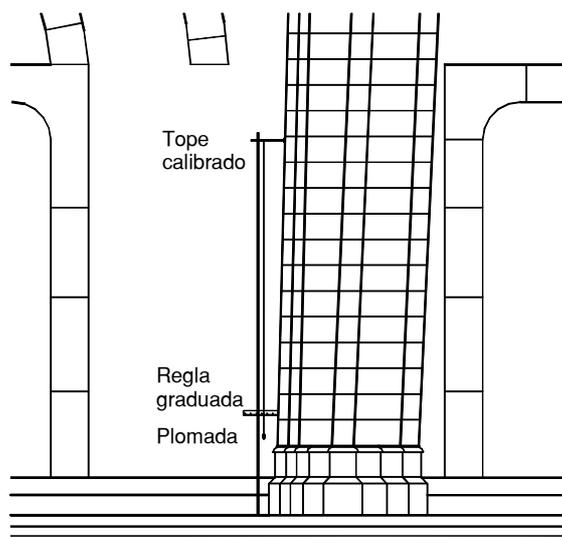
### Métodos mecánicos:

- Niveles de burbuja.
- Clinómetro.
- Plomadas.

### Métodos analógicos:

- Galgas extensométricas.
- Sensores.

## INSPECCIÓN Y REGISTRO DE DESPLOMES.



## CLINÓMETRO.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## CALIBRADOR DIGITAL.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## 2.- INSPECCIÓN Y REGISTRO DE GRIETAS.

- Indicación de grietas en el plano.
- Toma de fotos con elementos de referencia.
- Medida de asentamientos y evolución en el tiempo.
- Seguimiento de la apertura de fisuras con referencias fijas y mediciones.
- Medida de distorsiones: Fijación de pernos metálicos de referencia.
- Control de la evolución de los movimientos: Sol, variaciones de temperatura, etc.

Grietas tabiq.	2 mm/mes →	Riesgo fuerte e inmediato.
	1mm/año →	Actuación a largo plazo.

### Técnicas de medición.

#### Métodos ópticos:

- Niveles de precisión (para asentamientos).
- Taquímetros (desplazamientos, ángulos verticales, ángulos horizontales).

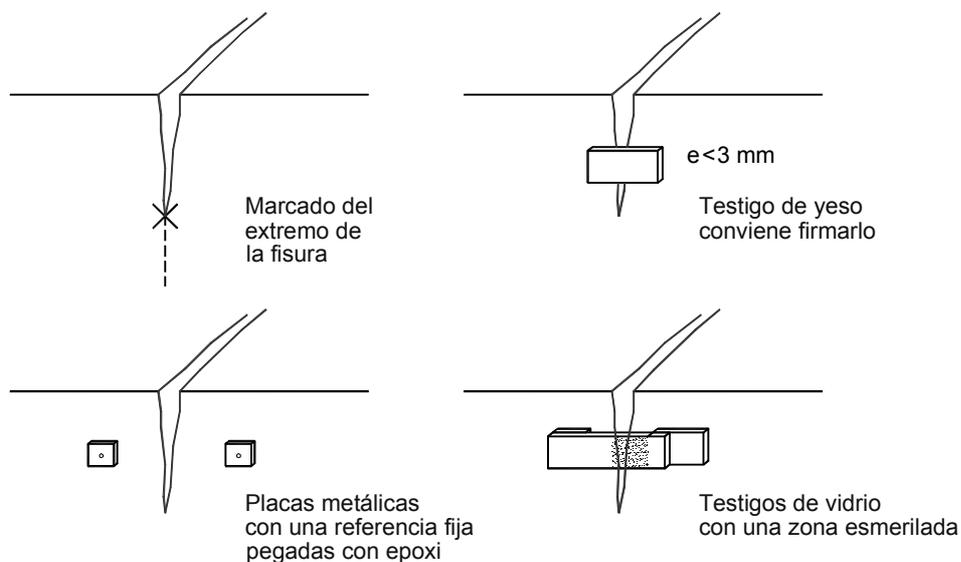
#### Métodos mecánicos:

- Calibres de fisuras.
- Micrómetros.
- Extensómetros.

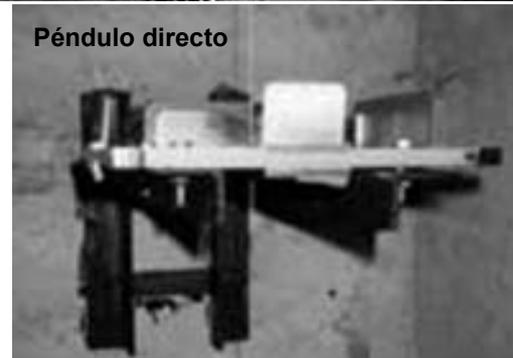
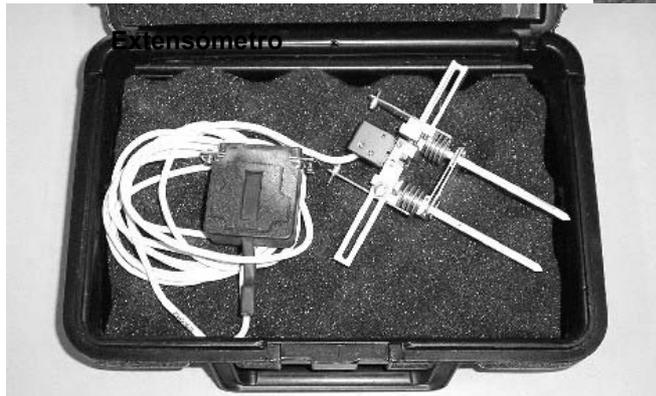
#### Métodos analógicos:

- Galgas extensométricas.
- Sensores.

## CONTROL DE FISURACIÓN



## CONTROL DE FISURACIÓN



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## CARACTERÍSTICAS DE LA FISURACIÓN

Datos que es preciso determinar en lo posible

### GEOMETRÍA

- Trazado, ancho y profundidad de la fisura.
- Relación con el elemento dañado.
- Relación con la armadura.

### TRAZADO

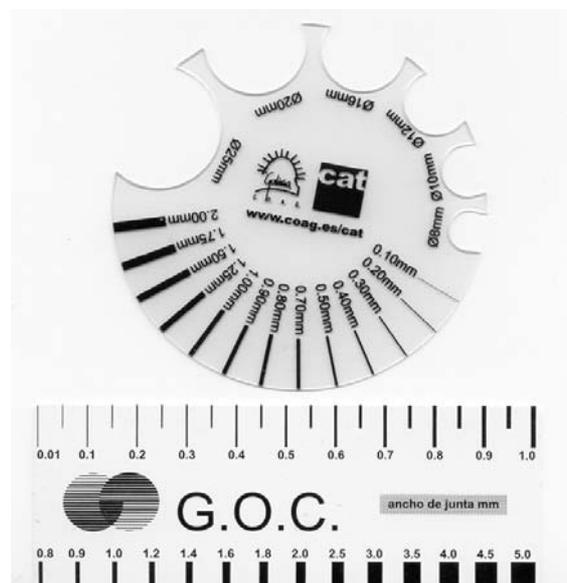
- Transgranular, intergranular o mixto.
- Fisuras limpias o sucias.

### APARICIÓN

- Fraguado.
- Endurecimiento.
- Período de ejecución de la obra.
- Puesta en servicio.
- Vida útil del edificio.

### EVOLUCIÓN

- Fisuras vivas.
- Fisuras muertas.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## CARACTERÍSTICAS DE LA FISURACIÓN

Datos que es preciso determinar en lo posible: Diagnóstico diferencial.

### SITUACIÓN

- Tipo de elemento
- Datos de situación
- Lugar
- Orientación
- Factores climáticos
- Posibles fuentes de patología

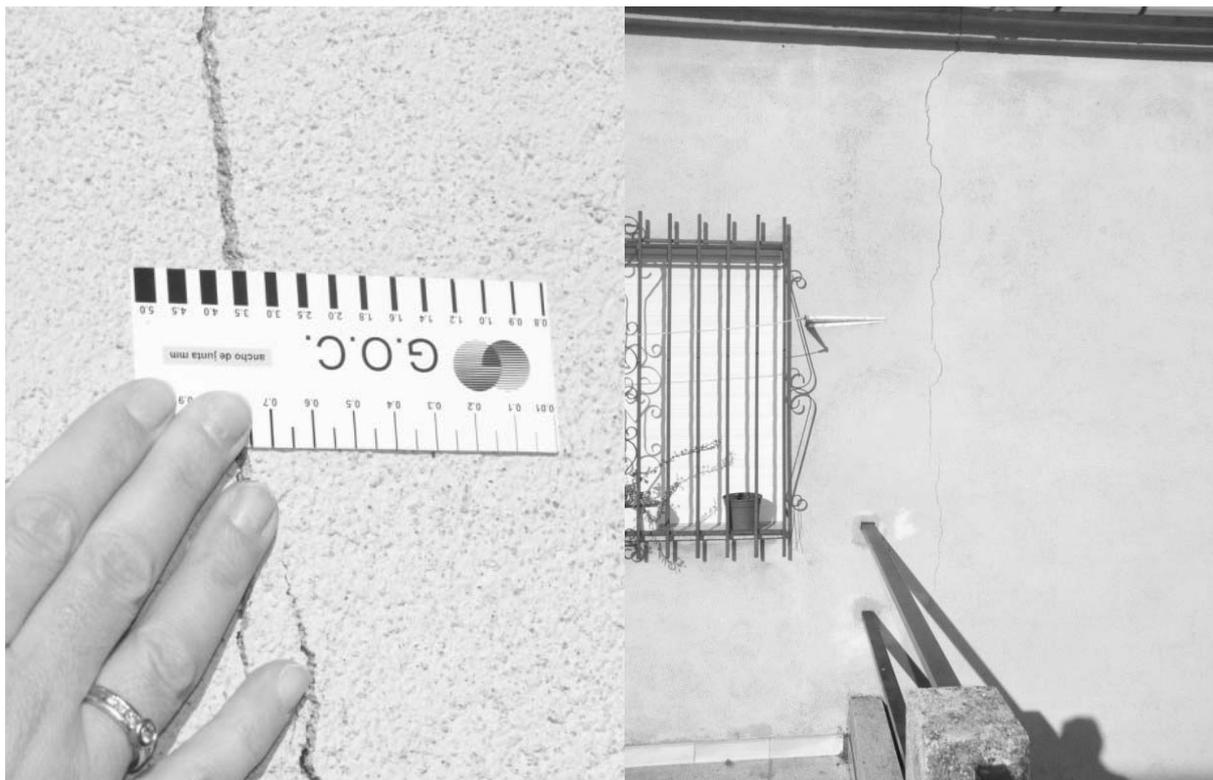
### ORIGEN

- Ambiental.
- Físico.
- Químico.
- Mecánico: Cargas estáticas.
- Mecánico: Cargas dinámicas.
- Problemas de suelo.
- Problemas de cimentación.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## 2.- INSPECCIÓN Y REGISTRO DE GRIETAS.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## 2.- INSPECCIÓN Y REGISTRO DE GRIETAS.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## ANÁLISIS DE PATOLOGÍA DE CIMENTACIONES

### 3.- ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA OBSERVADA.

- Identificación del tipo de movimiento.
  - Asiento de borde.
  - Asiento central.
  - Asiento generalizado.
  - Giros parciales.
  - Giros globales.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**4.- ESTUDIO DEL TERRENO, DE LA CIMENTACIÓN Y DE LAS CAUSAS DE FALLO.**

- Estudio de las características del terreno.
  - Catas o pozos.
  - Análisis in situ del terreno.
  - Informes geotécnicos.
- Estudio de las características de la cimentación.
  - Estudio de dimensiones (catas o pozos).
  - Estudio de las características constructivas de la cimentación.
  - Estudio del estado de conservación de la cimentación.
- Estudio de la estructura para determinar las cargas a cimentación.
  - Métodos matriciales.
  - Métodos de elementos finitos.
    - % Modelización de estructuras actuales.
    - % Modelización de estructuras de fábrica.

**4.- ESTUDIO DEL TERRENO, DE LA CIMENTACIÓN Y DE LAS CAUSAS DE FALLO.****SISTEMAS GEOFÍSICOS**

**C Sísmica de refracción:** para obtener información sobre la profundidad a la que se encuentran el nivel freático y la unidad geotécnica resistente, siempre y cuando se trate de formaciones relativamente horizontales (buzamiento inferior a 15°) y la velocidad  $v_p$  de las ondas P aumente con la profundidad. El valor  $v_p$  que se obtenga en cada una de las capas analizadas podrá utilizarse para estimar su grado de ripabilidad.

**C Resistividad eléctrica:** técnica SEV “sondeo eléctrico vertical” para obtener información sobre la profundidad del nivel freático y los espesores de las distintas capas horizontales del terreno (ASTM: G 57-78). Técnica tomografía eléctrica para identificar los diferentes niveles del subsuelo y sus cambios laterales, identificación del nivel freático (detección de cavidades o desarrollos cársticos).

**C Técnicas geofísicas tales como Geo-radar** (para obtener información sobre servicios enterrados, conducciones, depósitos, fluidos, nivel freático, unidades geológicas y cambios laterales de las litologías), magnetometría, VLF, calicateo electromagnético, gravimetría, etc.; que puedan aportar una información adicional.

**C En zonas cársticas o cuando se sospeche la existencia de cavidades relativamente superficiales se podrán utilizar, además de las antes mencionadas, técnicas microgravimétricas siempre y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas y se utilicen equipos que permitan expresar los perfiles finales de las anomalías de Bouguer en unidades de 10<sup>-7</sup> m/s<sup>2</sup>.**

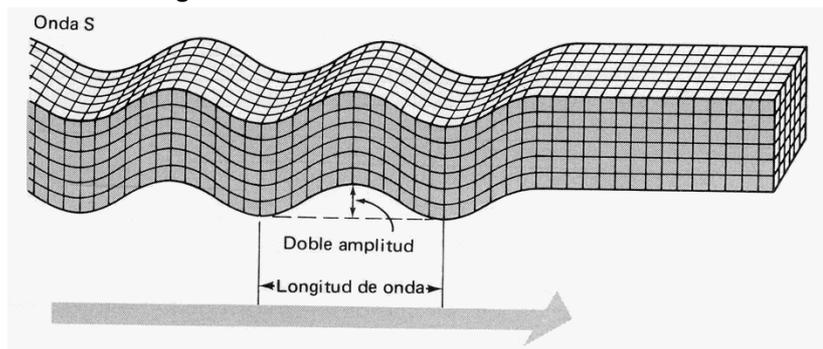
## 4.- ESTUDIO DEL TERRENO, DE LA CIMENTACIÓN Y DE LAS CAUSAS DE FALLO.

### SISTEMAS GEOFÍSICOS: Ensayos “down-hole” o “cross-hole”

En zonas sísmicas y para edificios de los tipos C-1 y C-2 se recomienda la utilización de ensayos “down-hole” o “cross-hole” (norma ASTM: D 4428) con el fin de identificar la velocidad de propagación vs de las ondas S que permite clasificar las distintas unidades geotécnicas de acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE vigente. Para edificios de los tipos C-2 y C-3 será obligatoria la realización de dicho tipo de ensayos cuando la aceleración sísmica básica sea superior a 0,08 g.

Los ensayos “cross-hole” y “down-hole” podrán también utilizarse para caracterizar la deformabilidad de arcillas preconsolidadas y suelos con un porcentaje apreciable de grava gruesa, cantos y bolos.

Ambas técnicas se han desarrollado fundamentalmente con el fin de determinar la velocidad de propagación de las ondas tangenciales o S



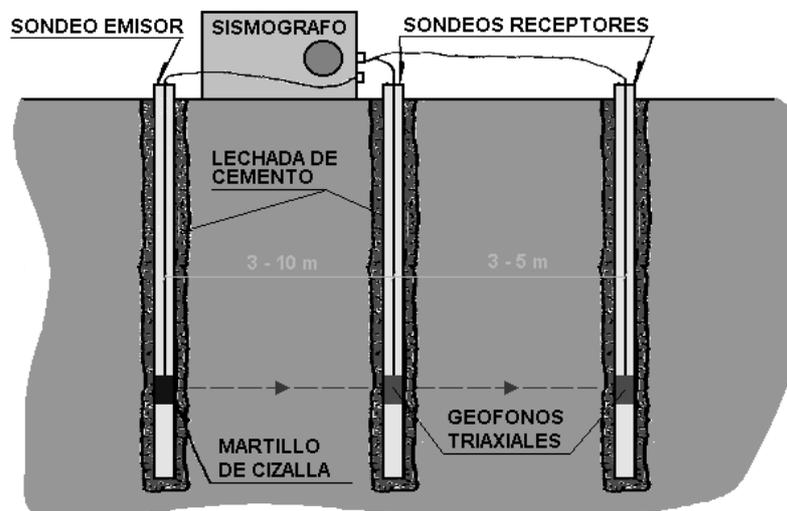
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## 4.- ESTUDIO DEL TERRENO, DE LA CIMENTACIÓN Y DE LAS CAUSAS DE FALLO.

### SISTEMAS GEOFÍSICOS: Ensayo “cross-hole”

Sirve para detectar los tiempos de transmisión de las ondas tangenciales SV (vibración de las partículas del terreno en la dirección vertical).

- Sentido horizontal.
- Se registra el tiempo de transmisión desde un martillo de cizalla en el terreno.
- Distancias entre 3 y 10 m.



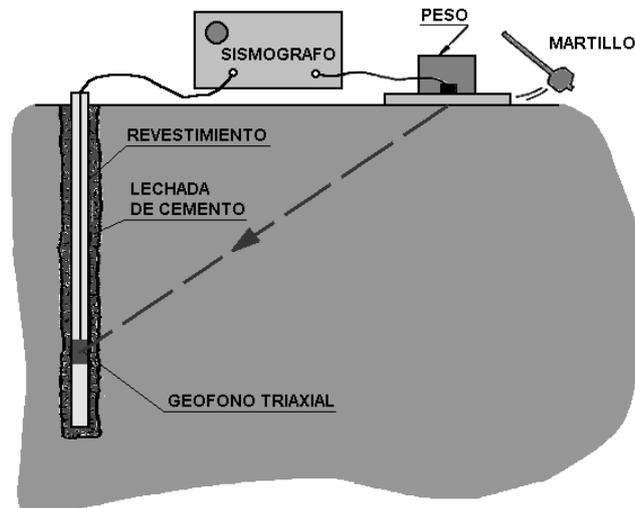
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## 4.- ESTUDIO DEL TERRENO, DE LA CIMENTACIÓN Y DE LAS CAUSAS DE FALLO.

### SISTEMAS GEOFÍSICOS: Ensayo “down-hole”

Sirve para detectar los tiempos de transmisión de las ondas tangenciales SH (vibración de las partículas del terreno en la dirección horizontal).

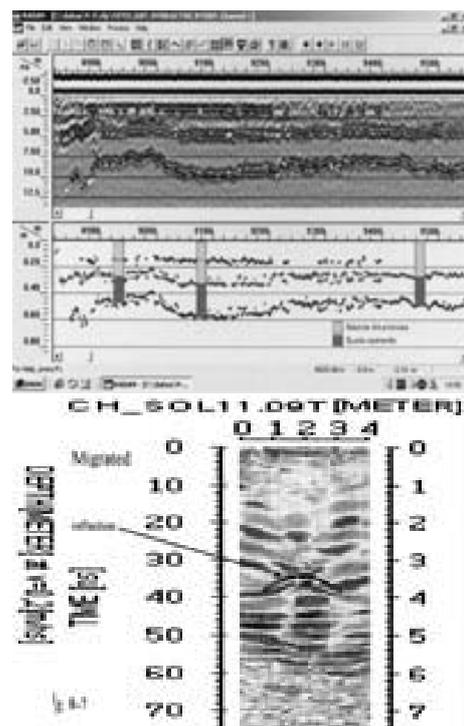
- Sentido horizontal.
- Se registra el tiempo de transmisión desde un martillo exterior.
- Distancias entre 2 y 5 m. Profundidad hasta 15÷20 m



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## 4.- ESTUDIO DEL TERRENO, DE LA CIMENTACIÓN Y DE LAS CAUSAS DE FALLO.

### Georradar.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## VALIDACIÓN DE CIMENTACIONES EXISTENTES

Definición del suelo.

Modelos elásticos.

- Tensiones
- Asientos

Modelos plásticos.

- Carga de hundimiento
- Módulo de balasto

Estimación de asientos.

Métodos de cálculo de cimentaciones.

Condiciones constructivas y de control.



## VARIABLES BÁSICAS Y PARÁMETROS DEL TERRENO

Suelos incoherentes	Sobre nivel freático	$c, \phi$
	Bajo nivel freático	$c', \phi'$
Suelos coherentes	A largo plazo (drenado)	$c, \phi$
	A corto plazo (sin drenar)	$c = c_u, \phi = 0$

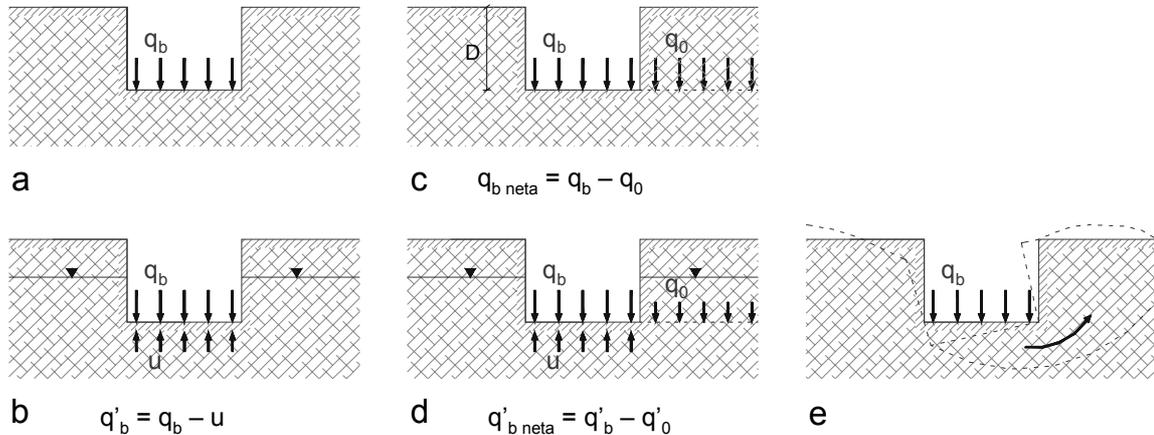


## SE- C Cimientos

## Cimentaciones directas

## Definición de presiones

## Definiciones de presiones



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## SE- C Cimientos

## Cimentaciones directas

## Definición de presiones

- a) presión total bruta ( $q_b$ ): Es la presión vertical total que actúa en la base del cimiento, definida como el cociente entre la carga total actuante, incluyendo el peso del cimiento y aquello que pueda gravitar sobre él, y el área equivalente del cimiento.
- b) presión efectiva bruta ( $q'_b$ ): Es la diferencia entre la presión total bruta y la presión intersticial de equilibrio, ( $u$ ), al nivel de la base del cimiento.
- c) presión total neta ( $q_{\text{neta}}$ ): Es la diferencia entre la presión total bruta ( $q_b$ ) y la presión vertical total existente en el terreno ( $q_0$ ) al nivel de la base del cimiento (sobrecarga que estabiliza lateralmente el cimiento). La presión total neta ( $q_{\text{neta}}$ ) es por tanto, el incremento de presión vertical total a que se ve sometido el terreno por debajo del cimiento debido a las cargas de la cimentación.
- d) presión efectiva neta ( $q'_{\text{neta}}$ ): Es la diferencia entre la presión efectiva bruta ( $q'_b$ ) y la presión efectiva vertical ( $q'_0$ ) al nivel de la base del cimiento, debida a la sobrecarga. La presión total neta es igual a la efectiva neta ( $q_{\text{neta}} = q'_{\text{neta}}$ ).
- e) presión vertical de hundimiento ( $q_h, q'_h$ ): Es la resistencia característica del terreno  $R_k$ , para el estado límite último de hundimiento. Puede expresarse en términos de presiones totales o efectivas, brutas o netas.

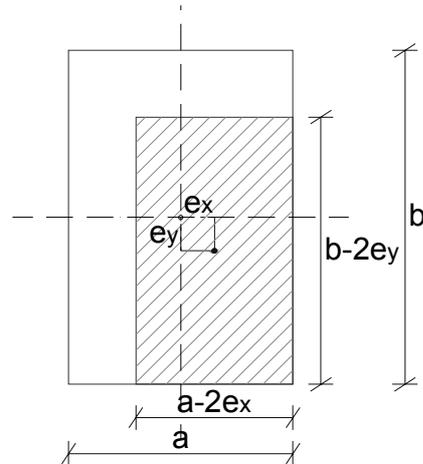
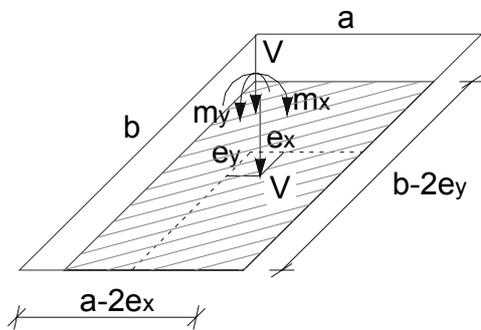
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**SE- C Cimientos**

**Cimentaciones directas**

**Dimensionado: Área equivalente.**

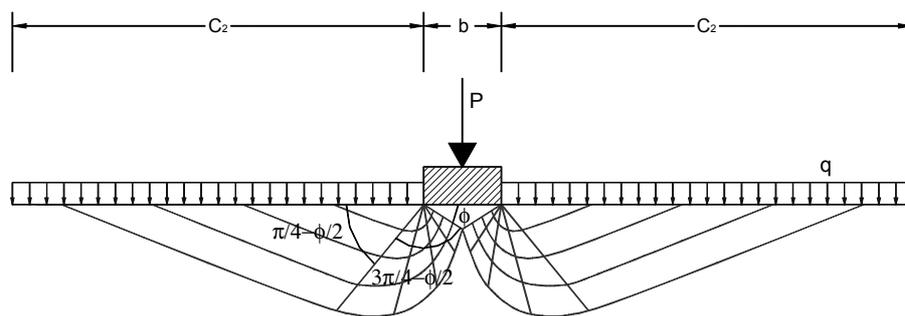


$$\left. \begin{aligned} e_x &= \frac{m_x}{V} & a^* &= a - 2 \cdot e_x \\ e_y &= \frac{m_y}{V} & b^* &= b - 2 \cdot e_y \end{aligned} \right\} q_d = \frac{V}{a^* \cdot b^*}$$



**MODELO DE TERZAGHI.- ZAPATA CORRIDA**

$$c_2 = b \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)}{\operatorname{sen}\phi} e^{\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \operatorname{tg}\phi}$$



**Carga de hundimiento**

$$P = qbN_q + cbN_c + \frac{\gamma b^2}{2} N_\gamma$$

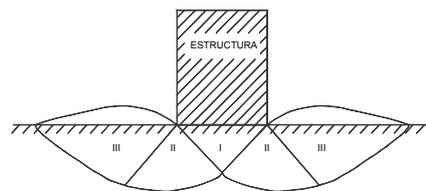
**Siendo**

$$N_q = \frac{e^{\left(\frac{3\pi}{2} - \phi\right) \operatorname{tg}\phi}}{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} \quad \text{coeficiente de sobrecarga}$$

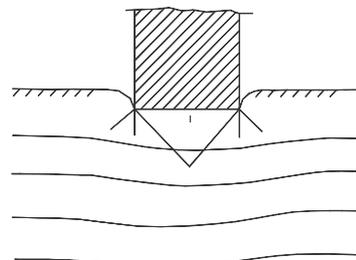
$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{tg}\phi \quad \text{coeficiente de cohesión}$$

$$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg}\phi \quad \text{coeficiente de peso específico}$$

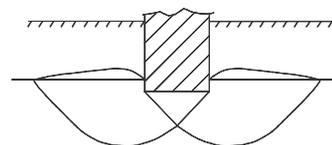
## FORMAS REALES DE HUNDIMIENTO



Superficie de deslizamiento  
Falla por corte general



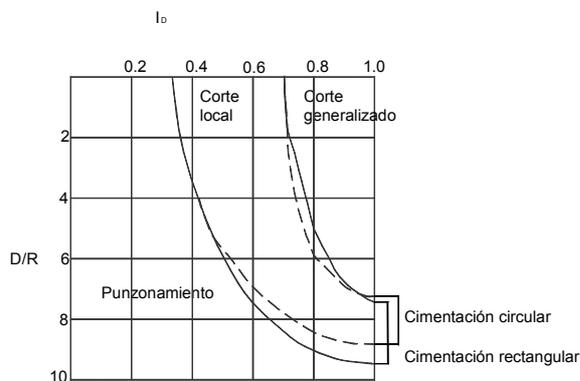
Falla por punzonamiento



Falla por corte local

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

## CONDICIONES PARA CADA TIPO DE ROTURA



**D=profundidad de  
cimentación.**

**R=2·Área cim./perímetro.**

**I<sub>D</sub>=Índice de densidad.**

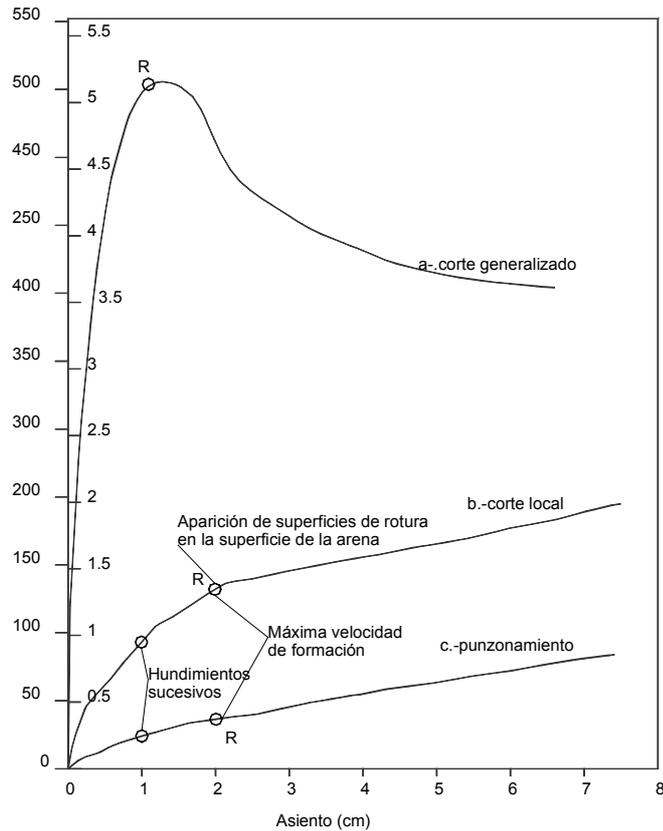
$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**CONDICIONES PARA CADA TIPO DE ROTURA**

Curvas presión-asiento en ensayos en modelo reducido en arena (Vesic, 1967).  
 Diámetro de la base 15 cm.  
 Ensayos en superficie.  
 Velocidad de carga constante.

a.- Rotura por corte generalizado.  $I_D=0.78$ .  
 b.- Rotura por corte local.  $I_D=0.61$ .  
 c.- Rotura por punzonamiento.  $I_D=0.32$



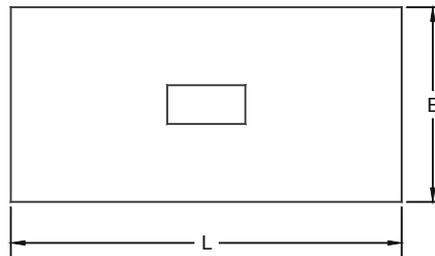
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**INFLUENCIA DE LA FORMA DE LA ZAPATA. C.T.E.**

Los modelos de Prandtl o de Terzaghi se refieren a zapatas corridas.

Zapatas rectangulares!  
 coeficientes de forma.

$$P_h = c \cdot N_c \cdot S_c + q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma$$



Zapata circular

Zapata rectangular

Coefficiente corrector del factor  $N_c$ :

$s_c = 1,20$

$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B^*}{L^*}$

Coefficiente corrector del factor  $N_q$ :

$s_q = 1,20$

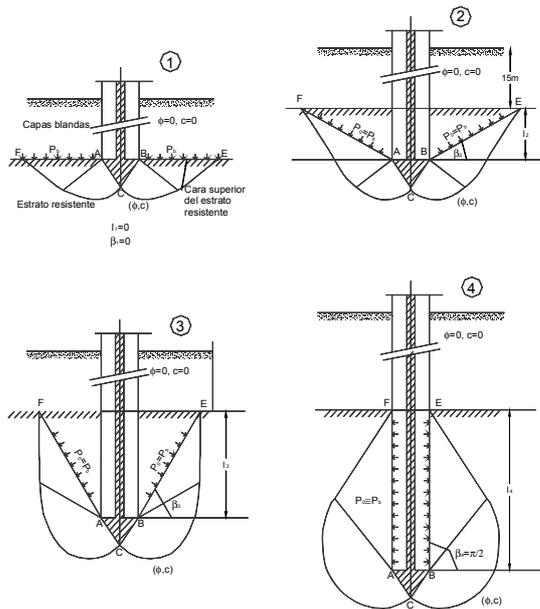
$s_q = 1 + 1,5 \cdot \tan \phi_k \cdot \frac{B^*}{L^*}$

Coefficiente corrector del factor  $N_\gamma$ :

$s_\gamma = 0,6$

$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B^*}{L^*}$

**INFLUENCIA DEL TERRENO SOBRE EL PLANO DE CIMENTACIÓN**



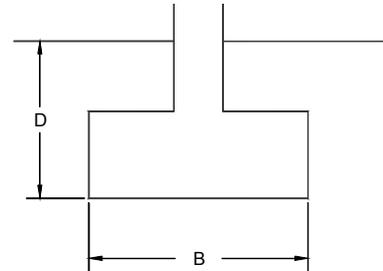
**Transición del régimen de cimentación superficial al de cimentación profunda, según De Beer, (1963).**

$$P_H = cN_c d_c + qN_q d_q + \gamma BN \gamma d \gamma / 2$$

$$d_\gamma = 1 \quad d_c = (N_q d_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$D/B \leq 1 \quad d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \operatorname{sen} \phi)^2 D/B$$

$$D/B > 1 \quad d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \operatorname{sen} \phi)^2 D/B$$



**Según C.T.E. (D ≤ 2.B\*)**

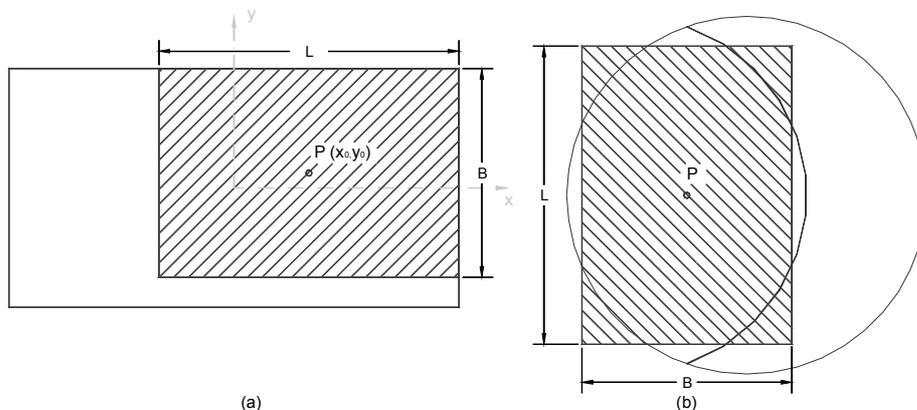
$$d_q = 1 + 2 \frac{N_q}{N_c} (1 - \operatorname{sen} \phi_k)^2 \arctan \frac{D}{B^*}; \text{ para } \phi_k = 0 : d_q = 1$$

$$d_c = 1 + 0,34 \cdot \operatorname{arctg}(D/B^*)$$

$$d_\gamma = 1$$

**CIMENTACIONES CON CARGA EXCÉNTRICA**

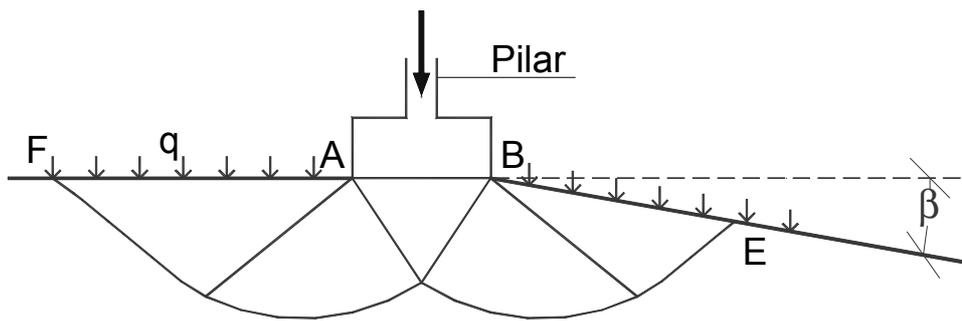
**Área efectiva (Meyerhof)**



$$x_0 = e_x = M_x / N$$

$$y_0 = e_y = M_y / N$$

**INFLUENCIA DEL TALUD JUNTO A LA CIMENTACIÓN. C.T.E.**



**Coefficiente corrector del término Nc:**  $t_c = e^{-2\beta \tan \phi_k}$

**Coefficiente corrector del término Nq:**  $t_q = 1 - \text{sen} 2\beta$

**Coefficiente corrector del término Nγ:**  $t_\gamma = 1 - \text{sen} 2\beta$

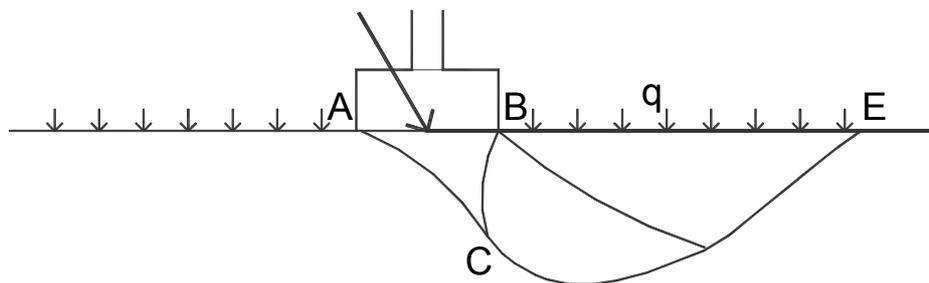
Situaciones transitorias sin drenaje  $\Rightarrow$  Se calcula como si fuera horizontal  $\Rightarrow P_h$

$P_h = (P_h)_{\text{horiz}} \cdot 2\beta \cdot C_u$

Situaciones específicas  $\beta > \phi' / 2$  Estudio de estabilidad global

$\beta < 5^\circ$   $t_c = t_q = t_\gamma = 1$

**INFLUENCIA DE LA INCLINACIÓN DE LA CARGA**



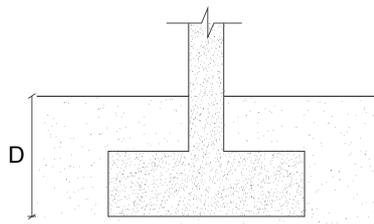
$$P_h = c \cdot N_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma$$

**FÓRMULA GENERAL DE BRINCH HANSEN**

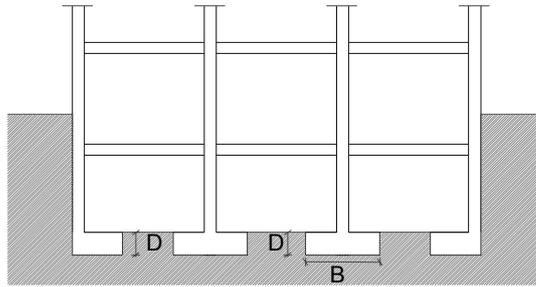
$$P_h = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot \xi_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot \xi_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

**PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LA ZAPATA**

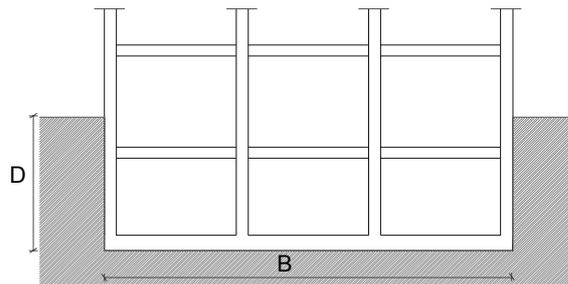
Profundidad "D" a considerar en la determinación de la presión de hundimiento



a) Zapata aislada



b) Edificio con sótanos cimentado mediante zapatas aisladas



c) Edificio con sótanos cimentado mediante losa

**SE- C Cimientos**

**Cimentaciones directas**

Dimensionado: Presión de hundimiento.

FÓRMULA GENERAL DE BRINCH HANSEN

$$P_h = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot \xi_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot \xi_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

FÓRMULA DEL C.T.E.

$$P_h = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot t_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot t_q + \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot t_\gamma$$

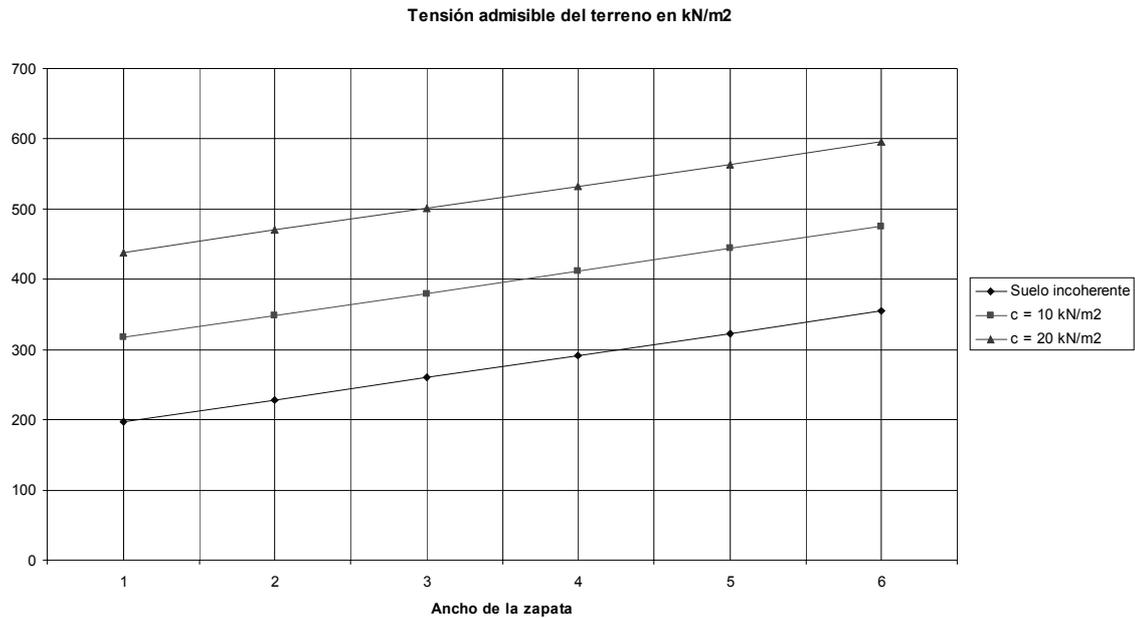
Tabla 4.3. Presiones de hundimiento para zapatas  $1 \leq B^* \leq 3$ , (kN/m<sup>2</sup>)

φ (°)	c <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	B* / L* = 1			B* / L* = 0,5			B* / L* = 0,25			B* / L* = 0		
		D (m)			D (m)			D (m)			D (m)		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0°	50	310	385	450	280	355	420	270	340	400	255	325	385
	100	615	750	860	565	690	790	540	660	755	515	630	720
	150	925	1120	1265	850	1025	1160	810	980	1110	770	935	1060
15°	10	145	255	375	140	245	360	135	240	355	130	235	350
	20	280	410	545	260	390	520	250	375	510	240	365	495
20°	10	215	385	570	210	375	560	205	370	555	200	365	550
	20	395	595	805	370	570	775	360	555	760	350	540	745
25°	10	335	605	915	330	600	905	330	595	900	330	595	895
	20	580	900	1240	560	870	1205	550	855	1185	535	840	1165
30°	0	190	580	1055	230	620	1095	250	640	1115	270	660	1135
	10	550	1010	1530	560	1015	1530	565	1015	1530	570	1020	1530
35°	0	425	1135	1990	520	1225	2085	565	1270	2130	610	1320	2175



## SE- C Cimientos

## Cimentaciones directas



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## SE- C Cimientos

## Cimentaciones directas

**Dimensionado: Presión de hundimiento. Condiciones de carga sin drenaje.**

$$\begin{aligned} \phi_k &= 0 & N_q &= 1 \\ & & \Rightarrow N_c &= 5,14 \\ c_k &= c_u & N_\gamma &= 0 \end{aligned}$$

**Si  $c_u$  aumenta con la profundidad en la forma**  $c_u = c_0 + m \cdot z$

**Se toma**  $c_u = c_0 + m \cdot B/4 \leq 2c_u$

**El coeficiente  $\gamma_R$  sólo afecta al término de cohesión**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**SE- C Cimientos**

**Cimentaciones directas**

**Dimensionado: Presión de hundimiento en términos de tensiones efectivas.**

Para situaciones de dimensionado en las que puedan suponerse disipados los excesos de presión intersticial generados por las acciones actuantes sobre la cimentación, la presión de hundimiento se expresará en términos de tensiones efectivas.

Aunque no resulta habitual, también será de aplicación la formulación en tensiones efectivas en situaciones transitorias en las que la disipación de presiones intersticiales no se haya producido (carga sin drenaje) o sea parcial. En estos casos será necesario determinar previamente el régimen de presión intersticial correspondiente.

La resistencia al corte del terreno vendrá expresada por el ángulo de rozamiento interno efectivo ( $\phi_k = \phi'$ ) y la cohesión efectiva ( $c_k = c'$ ).

Los factores de capacidad de carga se podrán obtener de las siguientes expresiones:

$$N_q = \frac{1 + \text{sen } \phi'}{1 - \text{sen } \phi'} \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi'}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{cotg } \phi'$$

$$N_\gamma = 1,5(N_q - 1) \cdot \text{tg } \phi'$$



**CONCEPTO DE TENSIÓN ADMISIBLE**

**Límite último                  Hundimiento**  
**Asiento**

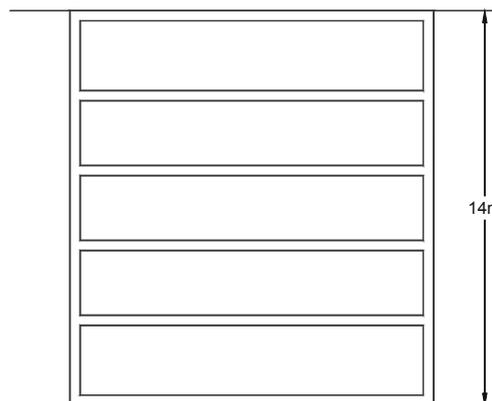
El concepto de tensión admisible implica el cálculo por el método clásico.

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{tension hundimiento}}{\text{coef. seguridad}} \rightarrow 3 \text{ (CTE)}$$

**F<sub>adm</sub> ! Depende de las dimensiones del cimiento. No es constante.**

$$\begin{aligned} \gamma_n &= 1.75 \\ p &= 14 \cdot 1.75 = 24.5 \text{ t/m}^2 = \\ &= 2.45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$F_{adm} = 1.5 \text{ kg/cm}^2$$



## SE- C Cimientos

## Cimentaciones directas

**Dimensionado: Presión admisible.**

**Formulación simplificada: Válida si**

Superficie del terreno marcadamente horizontal (pendiente inferior al 10%).

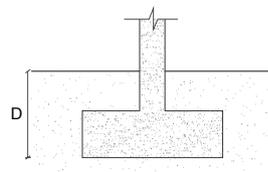
La inclinación con la vertical de la resultante de las acciones sea menor del 10% .

Se admiten asientos de hasta 25 mm.

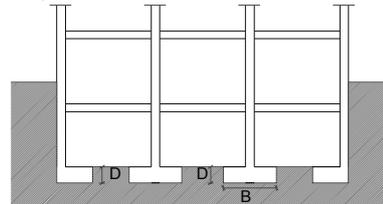
$$B < 1,2 \text{ m} \quad q_{adm} = 12N \left( 1 + \frac{D}{3B^*} \right) \left( \frac{S_t}{25} \right) \text{ kN/m}^2$$

$$B \geq 1,2 \text{ m} \quad q_d = 8N \left[ 1 + \frac{D}{3B^*} \right] \left( \frac{S_t}{25} \right) \left( \frac{B^* + 0,3}{B^*} \right)^2 \text{ kN/m}^2$$

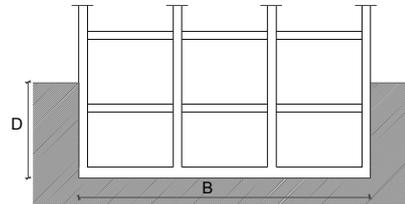
Profundidad "D" a considerar en la determinación de la presión de hundimiento



a) Zapata aislada



b) Edificio con sótanos cimentado mediante zapatas aisladas

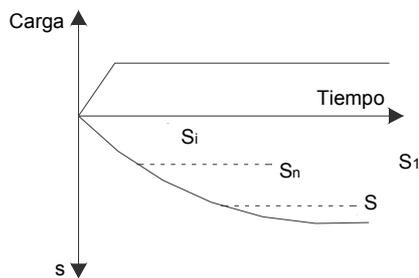


c) Edificio con sótanos cimentado mediante losa

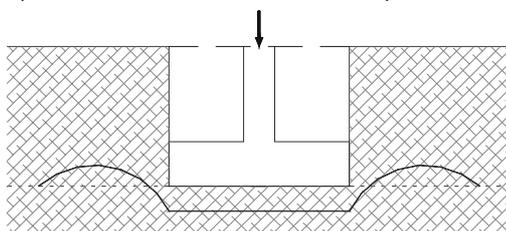
## ESTIMACIÓN DE ASIENTOS

- Asiento instantáneo
- Asiento de consolidación primaria
- Asiento de compresión secundaria

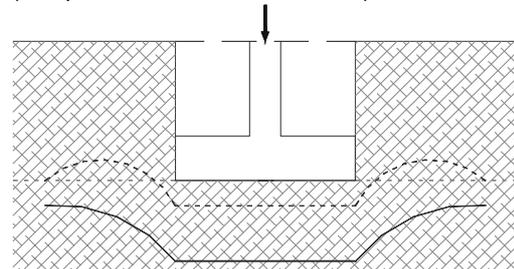
$$S_t = S_i + S_c + S_s$$



Asiento instantáneo (distorsión sin cambio de volumen)



Asiento de consolidación (compresión cambio de volumen)





## ESTIMACIÓN DE ASIENTOS

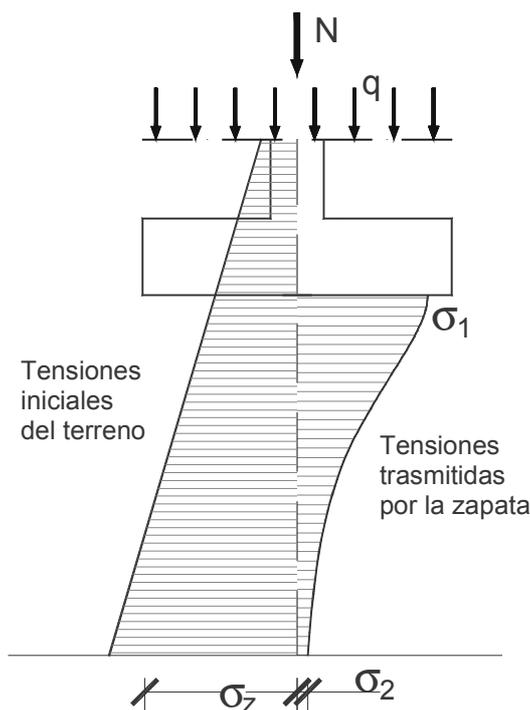
**Asiento instantáneo (Si):** se produce de manera inmediata o simultánea con la aplicación de la carga. Si el suelo es de baja permeabilidad y se encuentra saturado, en los momentos iniciales apenas se produce drenaje alguno, de manera que este asiento inicial corresponde a una distorsión del suelo, sin cambio de volumen.

**Asiento de consolidación primaria (Sc):** se desarrolla a medida que se disipan los excesos de presión intersticial generados por la carga y se eleva la presión efectiva media en el terreno, lo que permite la reducción progresiva del volumen de huecos del suelo. Este asiento es especialmente importante en suelos arcillosos saturados, ya que puede dilatarse considerablemente en el tiempo.

**Asiento de compresión secundaria (Ss):** se produce en algunos suelos que presentan una cierta fluencia (deformación a presión efectiva constante). Aunque puede comenzar desde los primeros momentos tras la aplicación de la carga, habitualmente sólo puede distinguirse con claridad una vez finalizado el proceso de consolidación primaria.



## ESTIMACIÓN DE ASIENTOS: Espesor del estrato efectivo



$$\sigma_2 \leq 0,1 \cdot \sigma_1$$

$$\sigma_2 \leq 0,05 \cdot (\gamma \cdot z + q)$$

$$\text{En general} \quad H \approx 2 \cdot B$$



## ESTIMACIÓN DE ASIENTOS

Suelos granulares con una proporción en peso de partículas de más de 20 mm inferior al 30%

Correlaciones que permiten determinar el módulo de deformación del terreno en función de los resultados obtenidos en ensayos de penetración estática o dinámica realizados "in situ".

Fórmula de Burland y Burbidge, basada directamente en los resultados obtenidos en el ensayo SPT o deducidos de ensayos de penetración a través de correlaciones debidamente contrastadas.

$$S_i = f_l \cdot f_s \cdot q'_b \cdot B^{0.7} \cdot I_c \qquad I_c = \frac{1,71}{N_{med}^{1,4}}$$

siendo

$S_i$  el asiento medio al final de la construcción, en mm.

$q'_b$  la presión efectiva bruta aplicada en la base de cimentación (en kN/m<sup>2</sup>).

$B$  el ancho de la zapata o losa (en m).

$I_c$  el índice de compresibilidad, en función del valor medio de golpeo  $N$  del ensayo SPT.

$f_s$  un coeficiente dependiente de las dimensiones de la cimentación rectangular.

$f_l$  es un factor de corrección que permite considerar la existencia de una capa rígida por debajo de la zapata a profundidad  $H_s$

$$f_s = \left( \frac{1,25 \cdot \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0,25} \right)^2 \qquad f_l = \frac{H_s}{Z_1} \left[ 2 - \frac{H_s}{Z_1} \right]$$



## ESTIMACIÓN DE ASIENTOS

Suelos granulares con una proporción en peso de partículas de más de 20 mm superior al 30%

En este tipo de suelos los resultados de los ensayos de penetración pueden estar sujetos a incertidumbres (véase párrafo b del apartado 4.2.3.1), por lo que a los efectos de este DB se recomienda que la estimación de asientos en estos casos se realice siguiendo formulaciones elásticas.

El módulo de deformación a considerar podrá estimarse mediante ensayos de carga con placas de diámetro superior a 6 veces el diámetro máximo de las partículas del suelo o alternativamente mediante la expresión

$$E = \frac{G_{max}}{2} \qquad G_{max} \text{ el módulo de rigidez tangencial máximo del terreno deducido a partir de ensayos cross-hole o down-hole.}$$



## ESTIMACIÓN DE ASIENTOS

### Suelos con un contenido de finos superior al 35%

En arcillas normalmente consolidadas o sobreconsolidadas con  $\sigma_z > \sigma_p$

- Estudio especializado (edométrico)

En el caso de arcillas sobreconsolidadas con  $\sigma_z < \sigma_p$

- Cálculo elástico

A efectos prácticos se considerará que se cumple esta última condición si la resistencia a la compresión simple de la arcilla sobreconsolidada es superior a la presión sobre el terreno transmitida por la carga de servicio del edificio.

Los módulos de deformación del terreno en este caso se podrán obtener mediante:

- Ensayos triaxiales especiales de laboratorio.
- Ensayos presiométricos.
- Ensayos cross-hole o down-hole, aplicando al módulo de rigidez tangencial máximo obtenido en el ensayo ( $G_{max}$ ) los factores correctores ( $f_p$ ) para la estimación del módulo de elasticidad sin drenaje  $E_u = f_p \cdot G_{max}$ . El asiento total en estas circunstancias podrá estimarse como  $S_t = 2 \cdot S_i$

$f_p$		
15 < IP < 30	30 < IP < 50	IP > 50
1,2	1,6	1,9

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## CÁLCULO DE ASIENTOS.

Datos precisos

Conocimiento detallado del terreno

Tensiones sobre el terreno.

### MÉTODO EDMÓTRICO.

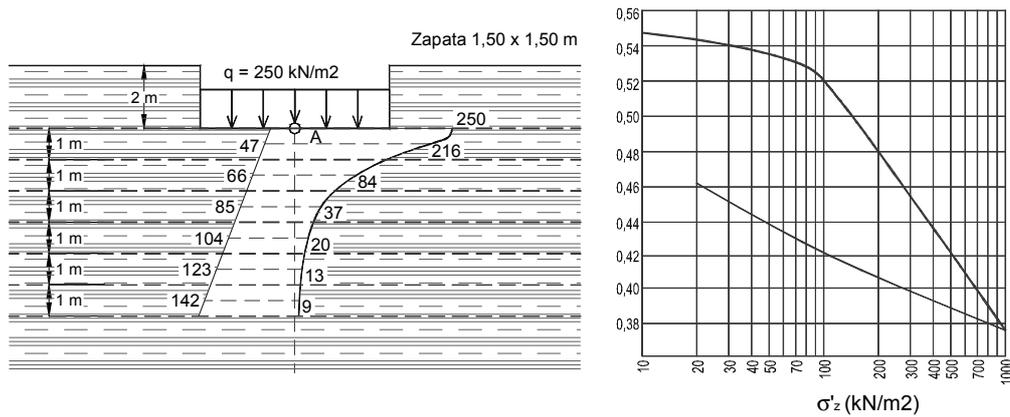
1. Se calculan las tensiones iniciales en el terreno.
2. Se divide el terreno en franjas horizontales.
3. Se calculan las tensiones medias en cada franja tras la acción del cimiento.
4. Se calcula la disminución del grueso de cada franja por la fórmula edométrica.

$$\Delta h_i = \frac{e_i - e}{1 + e_i} h_i \quad \begin{array}{l} e_i \rightarrow \text{terreno inicial} \\ e \rightarrow \text{terreno cargado} \end{array}$$

El asiento será 
$$s = \sum_{i=1}^n \Delta h_i$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MÉTODO EDMÉTRICO.**



Profundidad z	Tensión zapata	Tensión suelo	Tensión total	e <sub>0</sub>	e <sub>i</sub>	H <sub>i</sub> (m)	S <sub>i</sub> (m)	
0,50	215,67	47,50	263,17	0,538	0,462	1,00	0,049	
1,50	84,03	66,50	150,53	0,531	0,490	1,00	0,027	
2,5	37,35	85,50	122,85	0,525	0,511	1,00	0,009	
3,5	20,36	104,50	124,86	0,518	0,511	1,00	0,005	
4,5	12,68	123,50	136,18	0,511	0,501	1,00	0,007	
5,5	8,61	142,50	151,11	0,497	0,490	1,00	0,005	
							$\sum s_i =$	0,101

**MÉTODO ELÁSTICO**

**Suelo como material elástico Isótropo Anisótropo**

**Módulo de Young E**

- **Por ensayo edométrico.** 
$$E = \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right) \frac{1}{m_v} = \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right) \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)(1+e_1)}{e_1 - e_2}$$
- **Para el valor medio  $\nu=0.3$**  
$$E = 0.74 \frac{1}{m_v} = 0.74 \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)(1+e_1)}{e_1 - e_2}$$
- **Por estimación**

<b>Grava compacta</b>	<b>E=1000 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Arena compacta</b>	<b>E=500 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Arena suelta</b>	<b>E=200 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Arcilla dura</b>	<b>E=100 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Arcilla semidura</b>	<b>E=50 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Arcilla blanda</b>	<b>E=20 kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Fango o turba</b>	<b>E&lt;5 kg/cm<sup>2</sup></b>

**ALGUNAS EXPRESIONES DE ASIENTOS (MÉTODO ELÁSTICO)**

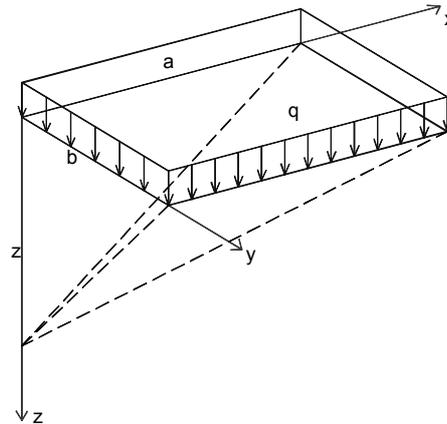
**CARGA RECTANGULAR.- Fórmula de Steinbrenner (bajo el vértice)**

$$s = \frac{bq}{E} (C_1 F_1 + C_2 F_2) = \xi \frac{bq}{E}$$

Siendo

$$C_1 = 1 - \nu^2 \quad C_2 = 1 - \nu - 2\nu^2$$

Los coeficientes  $F_1$  y  $F_2$  serán:



$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{a}{b} \ln \frac{(b + \sqrt{a^2 + b^2}) \sqrt{a^2 + z^2}}{a(b + \sqrt{a^2 + b^2 + z^2})} + \ln \frac{(a + \sqrt{a^2 + b^2}) \sqrt{b^2 + z^2}}{b(a + \sqrt{a^2 + b^2 + z^2})} \right]$$

$$F_2 = \frac{z}{2\pi b} \operatorname{arctg} \frac{ab}{z\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}}$$

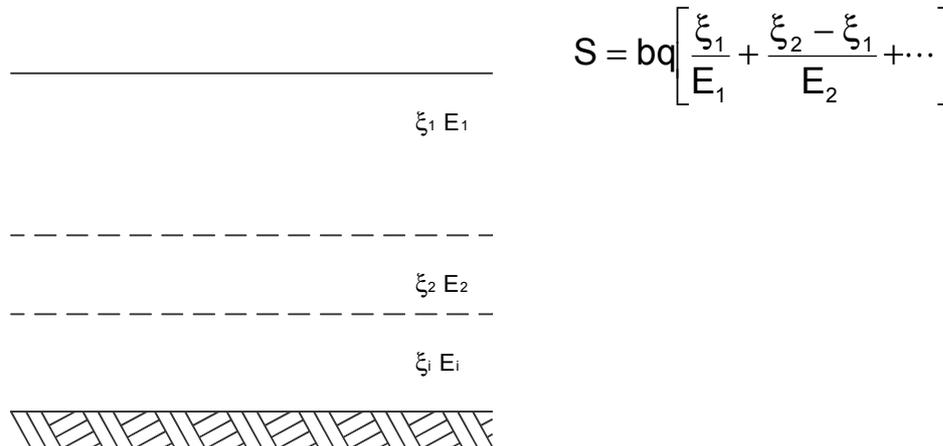
**ALGUNAS EXPRESIONES DE ASIENTOS (MÉTODO ELÁSTICO)**

Para una faja indefinida  $a=4$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \ln \frac{\sqrt{b^2 + z^2}}{b}$$

$$F_2 = \frac{z}{2\pi b} \operatorname{arctg} \frac{b}{z}$$

**Terrenos estratificados**





**SE- C Cimientos**

**Anejo D**

**Tabla D.25. Presiones admisibles a efectos orientativos**

•Terreno	•Tipos y condiciones	•Presión •admisible •[Mpa]	•Observaciones
•Rocas	•Rocas ígneas y metamórficas sanas <sup>(1)</sup> (Granito, diorita, basalto, gneis)	10	•Los valores apuntados asumen que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada
	•Rocas metamórficas foliadas sanas <sup>(1), (2)</sup> (Esquistos, pizarras)	3	
	•Rocas sedimentarias sanas <sup>(1), (2)</sup> : Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4	
	•Rocas arcillosas sanas <sup>(2), (4)</sup>	0,5 a 1	
	•Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1	
	•Calizas, areniscas y rocas pizarrosas con pequeño espaciamiento de los planos de estratificación <sup>(3)</sup>	-	
	•Rocas muy diaclasadas o meteorizadas <sup>(3)</sup>	-	
•Suelos granulares •(% finos inferior al 35% en peso)	•Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6	•Para anchos de cimentación (B) mayor o igual a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación (B) por debajo de ésta
	•Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6	
	•Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<0,2	
	•Arena muy densa	>0,3	
	•Arena medianamente densa	0,1 a 0,3	
	•Arena suelta	<0,1	

•(1) Los valores indicados serán aplicables para estratificación o foliación subhorizontal. Los macizos rocosos con discontinuidades inclinadas, especialmente en las cercanías de taludes, deben ser objeto de análisis especial.

•(2) Se admiten pequeñas discontinuidades con espaciamiento superior a 1 m.

•(3) Estos casos deben ser investigados "in situ"



**SE- C Cimientos**

**Anejo D**

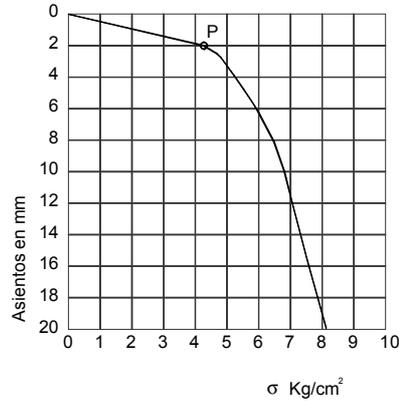
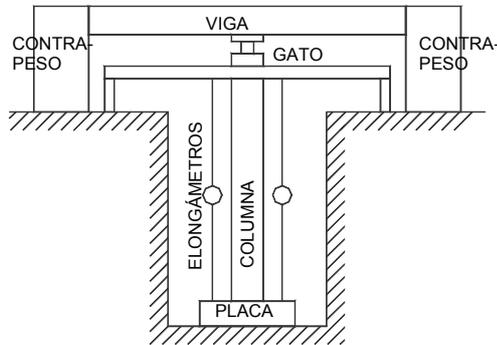
**Tabla D.25. Presiones admisibles a efectos orientativos**

•Terreno	•Tipos y condiciones	•Presión •admisible •[Mpa]	•Observaciones
•Suelos finos •(% de finos superior al 35% en peso)	•Arcillas duras	•0,3 a 0,6	•Los suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobreconsolidados en los que sean de esperar asientos de consolidación habrán de ser objeto de un estudio especial. Los suelos arcillosos potencialmente expansivos serán objeto de estudio especial
	•Arcillas muy firmes	•0,15 a 0,3	
	•Arcillas firmes	•0,075 a 0,15	
	•Arcillas y limos blandos	•<0,075	
	•Arcillas y limos muy blandos		
•Suelos orgánicos		•Estudio especial	
•Rellenos		•Estudio especial	

**EL MÓDULO DE BALASTO**

Ensayo de placa de carga.

Módulo de balasto ! pendiente tramo inicial recto.

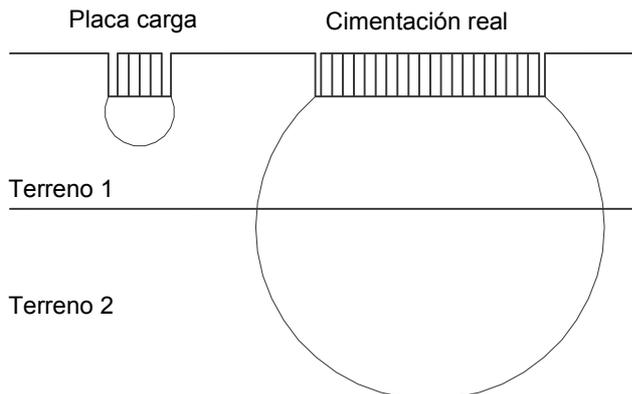


**EL MÓDULO DE BALASTO**

Módulo de balasto ! pendiente tramo inicial recto.

$K_s = F/y$     Modulo balasto    Tipo de terreno  
 Profundidad  
 Ancho cimiento

Los resultados solo pueden extrapolarse en terrenos uniformes.



Una placa cuadrada es equivalente a una circular de la misma área.

Para placas de pequeñas dimensiones

-  $K_1 \cdot d_1 = K_2 \cdot d_2 = cte$



## ESTIMACIÓN DEL MÓDULO DE BALASTO C.T.E. (Anejo E.5)

1.- El módulo de balasto  $k_s$  se define como el cociente entre la presión vertical ( $q$ ) aplicada sobre un determinado punto de un cimiento directo y el asiento ( $s$ ) experimentado por dicho punto:

$$K_s = F/y$$

2.- El módulo de balasto así definido tiene unidades de densidad, lo que indica que la hipótesis efectuada equivale a suponer que el terreno es un líquido de densidad  $k_s$ , sobre el que “flota” la cimentación.

3.- La estimación del módulo de balasto podrá realizarse:

a.- A partir de ensayos de carga con placa (véase tabla D.7). De acuerdo con los efectos descritos en el apartado siguiente y dado que las placas de ensayo son necesariamente de pequeño tamaño, se debe prestar especial atención a la conversión del módulo obtenido en el ensayo ( $k_{sp}$ ) al módulo de cálculo representativo de la anchura ( $B$ ) real del cimiento ( $k_{sB}$ ). A este respecto se recomienda emplear placas de diámetro equivalente igual o superior a 60 cm.

b.- A partir de la determinación de parámetros de deformabilidad representativos del terreno bajo la zona de influencia de la cimentación, ya sea mediante ensayos in situ o de laboratorio, y el posterior cálculo geotécnico de asientos.



## ESTIMACIÓN DEL MÓDULO DE BALASTO C.T.E.

Conversión del módulo para placa de 30 cm ( $k_{s30}$ ) al coeficiente de referencia  $k_{sB}$

Zapata cuadrada de ancho  $B$ : Terrenos cohesivos:  $k_{sB} = k_{sp30} \frac{0,3}{B}$

Terrenos granulares:  $k_{sB} = k_{sp30} \left( \frac{B+0,3}{2B} \right)^2$

Zapata rectangular de ancho  $B$  en cualquier tipo de terreno:  $k_{sBL} = k_{sB} \left( 1 + \frac{B}{2L} \right)$

Conversión del módulo para placa de 60 cm ( $k_{s60}$ ) al coeficiente de referencia  $k_{sB}$

Zapata cuadrada de ancho  $B$ : Terrenos cohesivos:  $k_{sB} = k_{sp60} \frac{0,6}{B}$

Terrenos granulares:  $k_{sB} = \frac{k_{sp60}}{\left( \frac{0,6+0,3}{0,6} \right)^2} \left( \frac{B+0,3}{2B} \right)^2$

Para la cimentación de losas y emparrillados la fiabilidad de los módulos de balasto obtenidos a partir de ensayos de carga puede resultar insuficiente, dados los efectos de escala implicados (véase el apartado E.4.2). En estas circunstancias se recomienda recurrir a la comprobación de dichos módulos “a partir de la determinación de parámetros de deformabilidad representativos del terreno bajo la zona de influencia de la cimentación, ya sea mediante ensayos in situ o de laboratorio, y el posterior cálculo geotécnico de asientos” o, alternativamente, recurrir al empleo de métodos y modelos del terreno más avanzados.

**SE- C Cimientos****Anejo D****Tabla D.29. Valores orientativos de coeficiente de balasto,  $K_{30}$** 

Tipo de suelo	$K_{30}$ (MN/m <sup>3</sup> )
Arcilla blanda	15 – 30
Arcilla media	30 – 60
Arcilla dura	60 – 200
Limo	15 – 45
Arena floja	10 – 30
Arena media	30 – 90
Arena compacta	90 – 200
Grava arenosa floja	70 – 120
Grava arenosa compacta	120 – 300
Margas arcillosas	200 – 400
Rocas algo alteradas	300 – 5.000
Rocas sanas	>5.000

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MÉTODOS DE CÁLCULO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES****Métodos clásicos.****Métodos matriciales con modelización del terreno.****Métodos de cálculo numérico****M.E.F.****M.E.C.**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MÉTODOS CLÁSICOS**

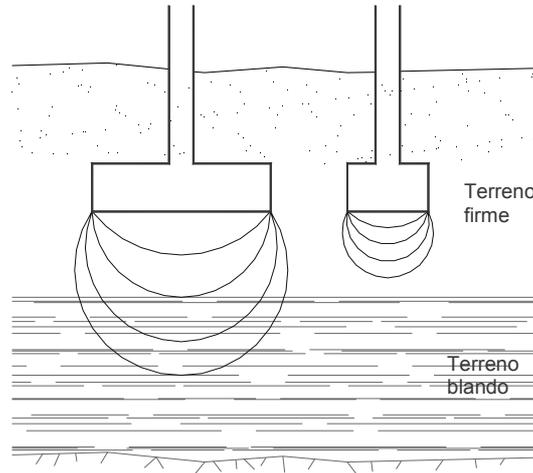
Basados en el concepto de tensión admisible.

Son sencillos y prácticos.

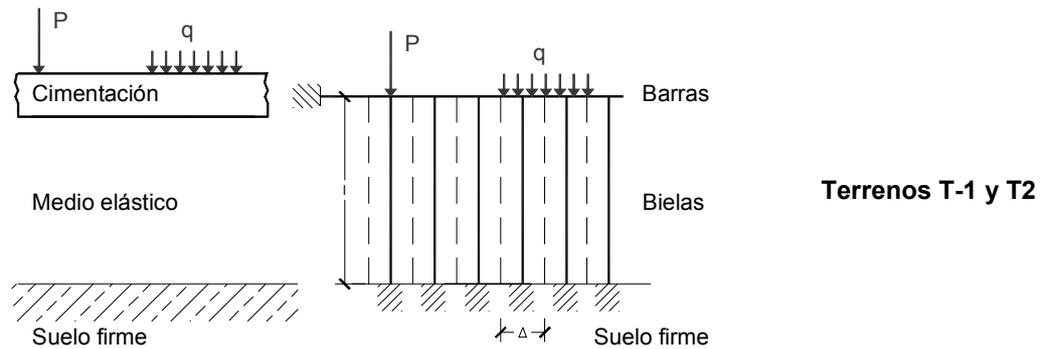
Condiciones

Cimentaciones de tamaño similar

Bulbos de presiones no excesivamente profundos



**MÉTODOS MATRICIALES CON MODELIZACIÓN DEL TERRENO.**



Modelo de módulo de balasto

$$\sigma = K \cdot \delta \Rightarrow \varepsilon \cdot E = K \cdot \delta \Rightarrow \frac{\delta}{l} \cdot E = K \cdot \delta$$

Contribución a la matriz de rigidez

$$\frac{E \cdot A}{l} \cdot \delta = K \cdot \delta \cdot b \cdot \Delta$$

$$\frac{E \cdot A}{l} = K \cdot b \cdot \Delta$$

Los modelos más complejos pueden resolverse por integración numérica.

Modelos de mediana dificultad, muy flexibles de uso

Precisan programas de cálculo matricial.

Adecuados para cimentaciones flexibles.

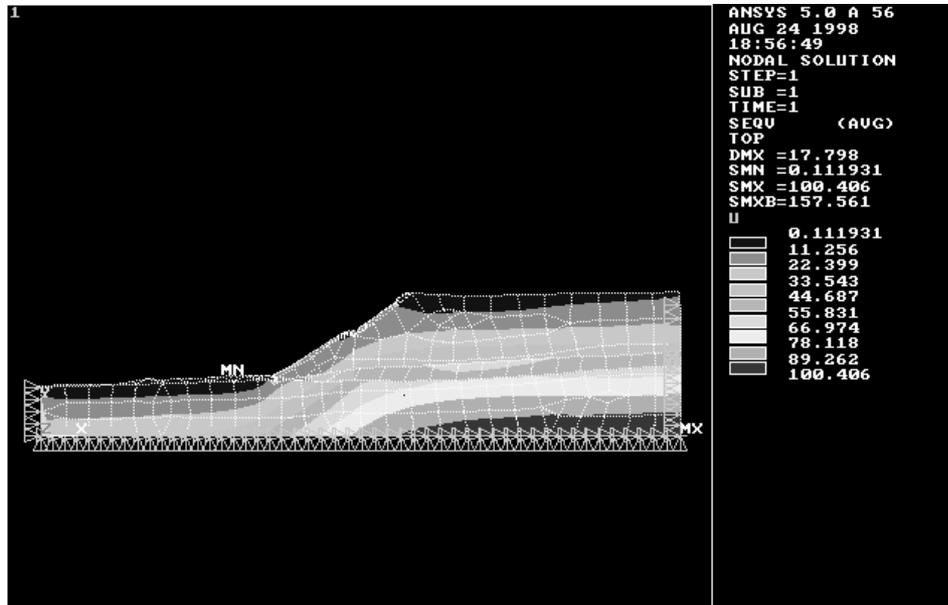


## MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS O DE CONTORNO

☐ En teoría se adaptan a cualquier problema.

☐ Precisan complejos programas de cálculo.

☐ Es esencial la correcta modelización del terreno.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## TENSIONES SOBRE EL TERRENO

☐ Todas las cargas de la estructura y el peso del cimiento y del terreno sobre él  
Valores característicos.

## ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS DEL ELEMENTO DE CIMENTACIÓN

☐ Todas las cargas de la estructura mayoradas.

☐ El peso del cimiento y del terreno mayorados

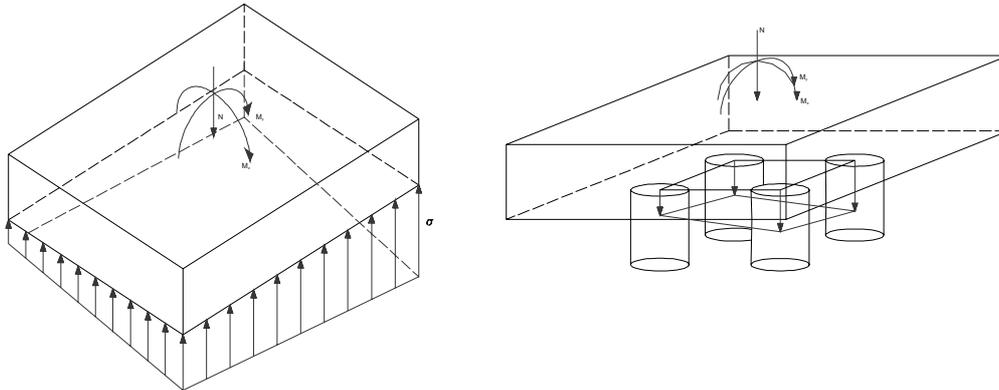
☐ Cuando sea necesario

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**REACCIONES DEL TERRENO O PILOTES**

**CIMENTACIONES RÍGIDAS.-** Como un sólido rígido.

**CIMENTACIONES FLEXIBLES.-** Considerando la deformación del terreno (modelos de respuesta del terreno).



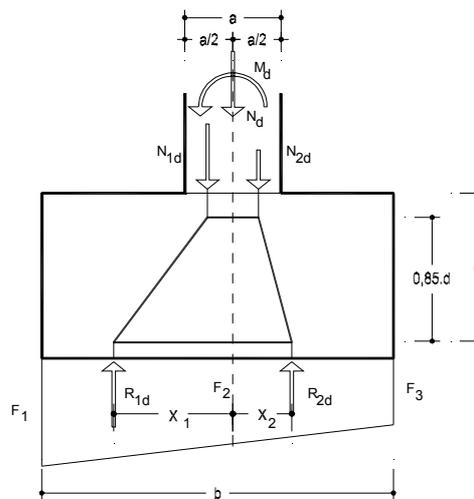
**MÉTODO GENERAL DE CALCULO DE CIMENTACIONES RÍGIDAS (Según EHE)**

**Método de bielas y tirantes**

**Formación de bielas:**

Se sustituye la carga y el momento por dos fuerzas situadas en el centro de gravedad de las dos mitades del pilar.

Se calculan las reacciones del terreno suponiéndolas concentradas en el c.d.g. de las dos mitades de la zapata.



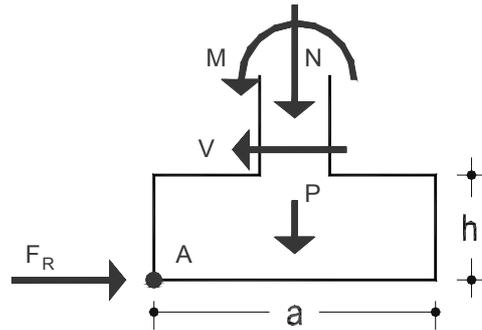
$$N_{1d} = \frac{N_d}{2} + \frac{M_d}{a/2}$$

$$N_{2d} = \frac{N_d}{2} - \frac{M_d}{a/2}$$

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 \cdot d} (x_1 - 0,25 \cdot a) = A_s \cdot f_{yd}$$

## SEGURIDAD AL VUELCO Y AL DESLIZAMIENTO

Necesaria en todo tipo de zapatas, en especial si hay fuertes cargas horizontales.



Seguridad al vuelco  $\gamma_f' \geq 0,9 \frac{M_{estabilizadores}}{M_{vuelco}} \geq 1,8$

$$\gamma_f' = \frac{0,9(N+P) \frac{a}{2}}{M_{vuelco}} \geq 1,8$$

### Seguridad al deslizamiento

Fuerza de rozamiento  $\geq 1,5 \times$  Fuerza horizontal

$$F_R' = (N+P) \mu \geq \frac{2}{3} F_H \quad \text{Arenas}$$

$$F_R' = a \frac{c}{2} \geq \frac{2}{3} F_H \quad \text{Arcillas}$$

## ESQUEMAS DE AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ZAPATAS.

Rotura agria.- Cuantía mecánica insuficiente.



Rotura por fallo de armadura a flexión.



Rotura por fallo de hormigón comprimido.

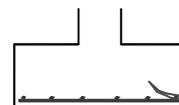


Sólo para cuantías muy altas

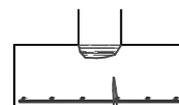
Rotura por cortante



Fallo de anclaje de armadura



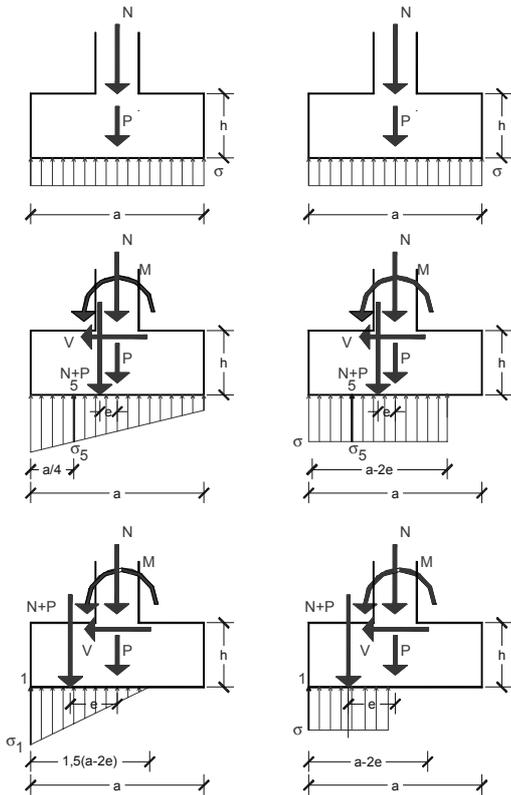
Rotura por hendimiento.



En zapatas muy rígidas

Fisuración excesiva.





**ZAPATAS CORRIDAS**  
Comprobación del ancho.

Carga centrada

$$\sigma = \frac{N + P}{a} \leq \sigma_{adm}$$

Carga excéntrica  $e < a/6$

$$e = \frac{M + V \cdot h}{N + P}$$

$$\sigma_5 = \frac{N + P}{a} \cdot \left(1 + \frac{3e}{a}\right) \leq \sigma_{adm}$$

Carga excéntrica  $e > a/6$

$$\sigma_1 = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{N + P}{a - 2e}\right) \leq \frac{4}{3} \cdot \sigma_{adm}$$

Según C.T.E. en todos los casos

$$\sigma = \frac{N + P}{a - 2 \cdot e} \leq \sigma_{adm}$$

**ZAPATAS CORRIDAS.- Determinación del canto.**

- ⊖ Por optimización de la armadura.
- ⊖ Por longitud de anclaje de las esperas.
- ⊖ Por cortante.

Canto óptimo de la zapata

Esfuerzo de la armadura (bielas)

$$T_d = \frac{N_d}{1,70 \cdot d} \left(\frac{b}{4} - 0,25 \cdot a\right)$$

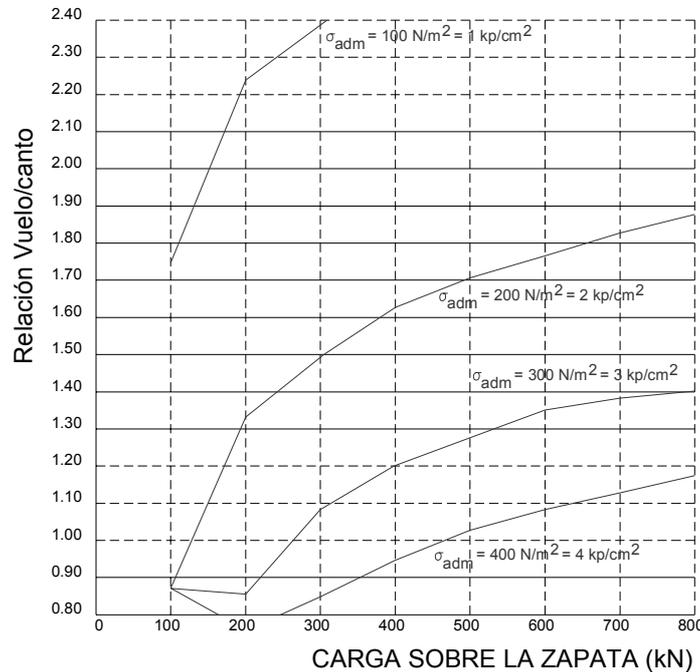
Cuantía mínima

$$T_d = 0,002 \cdot 1 \cdot d \cdot f_{yd}$$

**ZAPATAS CORRIDAS.- Determinación del canto.**

El canto óptimo se produce al igualar ambos esfuerzos

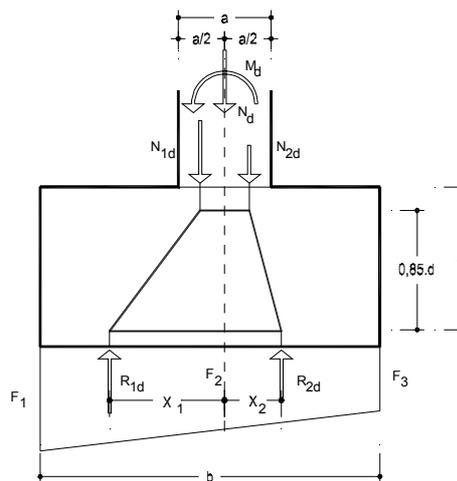
**ZAPATAS: Canto óptimo**



**ZAPATAS CORRIDAS.- CALCULO**

Zapatas rígidas.- Método de bielas y tirantes

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 \cdot d} (x_1 - 0,25 \cdot a) = A_s \cdot f_{yd}$$



Se define la excentricidad de la carga  $e = M_d / N_d$

Caso 1º.-  $e < b/6$

Diagrama trapezoidal

$$F_1 = \frac{N_d}{b} + \frac{6 \cdot M_d}{b^2}$$

$$F_2 = \frac{N_d}{b}$$

$$R_{1d} = \frac{N_d}{b} \cdot \frac{b}{2} + \frac{6 \cdot M_d}{b^2} \cdot \frac{b}{4} = \frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b}$$

$$x_1 = \frac{\frac{N_d}{2} \cdot \frac{b}{4} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b} \cdot \frac{2 \cdot b}{3}}{\frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b}} = \frac{\frac{N_d}{2} + \frac{4 \cdot M_d}{b}}{\frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b}} \cdot \frac{b}{4}$$

## ZAPATAS CORRIDAS.- CALCULO

**Zapatas corridas flexibles.- Método de flexión sobre sección de referencia.**

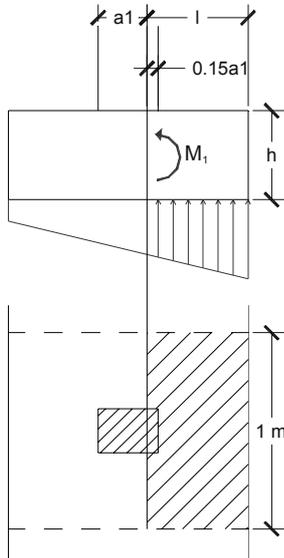
**Sección de referencia**

0,15. a (muros de hormigón)

0,25. a (muros fábrica)

**Armado**

Para el flector producido por la reacción del terreno en la sección de referencia



**Caso 1**  $\sigma = \frac{M_{1d}}{W} \leq f_{ct,k} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$

**Estrictamente no precisa armado**

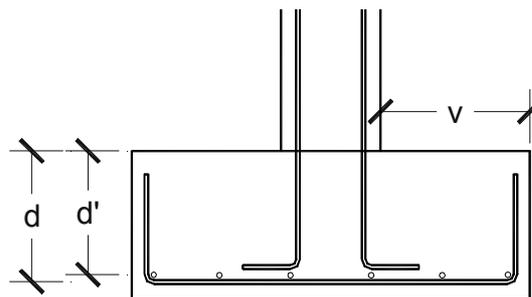
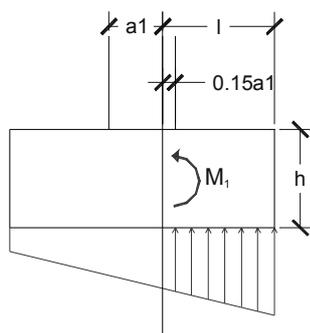
**Caso 2**  $\sigma \geq f_{ct,k}$

Se arma para  $M_{1d}$  en la sección de referencia

**Cuantía geométrica**

>0,20% (B-400S)  $\frac{A_s}{A_c} \geq 0,0020$   
 >0,18% (B-500S)

**Zapatas corridas flexibles.- Método de flexión sobre sección de referencia.**



**Para carga centrada. -Armado trasversal**

$$M_{d1} = \frac{\gamma_f \cdot N}{2 \cdot a} \left( \frac{a - a_0}{2} + 0,15 \cdot a_0 \right)^2$$

$$\mu = \frac{M_{d1}}{1 \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \omega = \mu \cdot (1 + \mu)$$

$$U = A \cdot f_{yd} = \omega \cdot 1 \cdot d \cdot f_{cd}$$

**Para carga centrada. -Armado longitudinal**

$$M_{d2} = \gamma_f \cdot 0,2 \cdot M_{d2}$$

$$\mu = \frac{M_{d2}}{1 \cdot d'^2 \cdot f_{cd}} \quad \omega = \mu \cdot (1 + \mu)$$

$$U = A \cdot f_{yd} = \omega \cdot 1 \cdot d' \cdot f_{cd}$$

**ZAPATAS CORRIDAS.- CALCULO**

Cálculo a cortante

→

Sin armado

$$V_{u2} = [0,12 \cdot \xi (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,15 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b_0 \cdot d$$

Si el axil es nulo

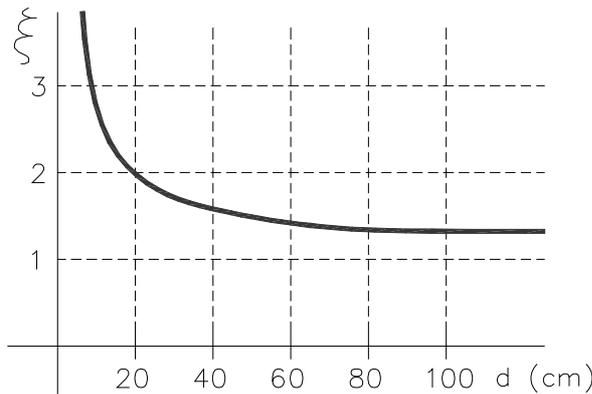
$$V_{u2} = [0,12 \cdot \xi (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_0 \cdot d$$

Siendo

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

con d en mm.

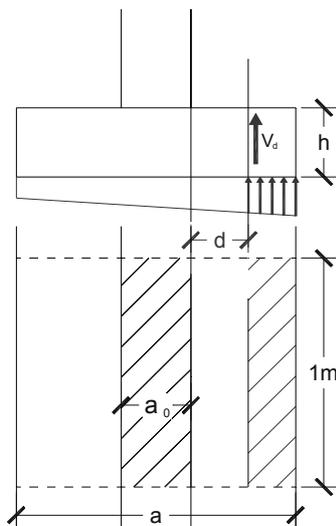
$$\rho_1 = \frac{A_s + A_p \frac{f_{yp}}{f_{yd}}}{b_0 \cdot d} \leq 0,02$$



**ZAPATAS CORRIDAS.- CALCULO**

Cálculo a cortante

Sin armado



$$V_d \leq V_{u2}$$

$$V_{u2} = [0,12 \cdot \xi (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,15 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b \cdot 1$$

$$V_{u2} = [0,12 \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}}] \cdot b$$

Para hormigón H 25 las cuantías geométricas suelen estar en mínimos

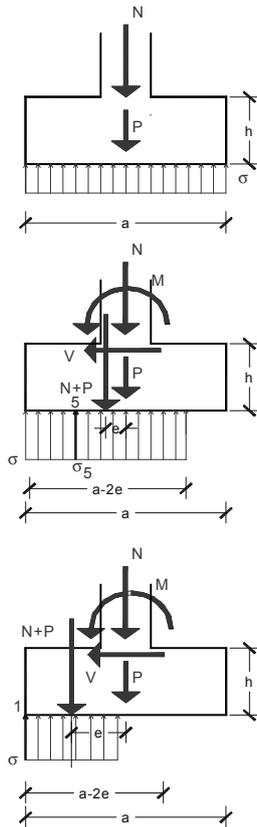
$$\rho_1 = 0,002$$

$$\sqrt[3]{100 \cdot 0,002 \cdot 25} = 1,71$$

$$V_{u2} = 0,205 \cdot \xi \cdot b \cdot d$$

**ZAPATAS AISLADAS.**

Zapatas cuadradas.- Comprobación de dimensiones.



**Carga centrada**

$$\sigma = \frac{N+P}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm}$$

**Carga excéntrica e < a/6**

$$e = \frac{M+V \cdot h}{N+P}$$

$$\sigma = \frac{N+P}{b \cdot (a-2 \cdot e)} \leq \sigma_{adm}$$

**Carga excéntrica e > a/6**

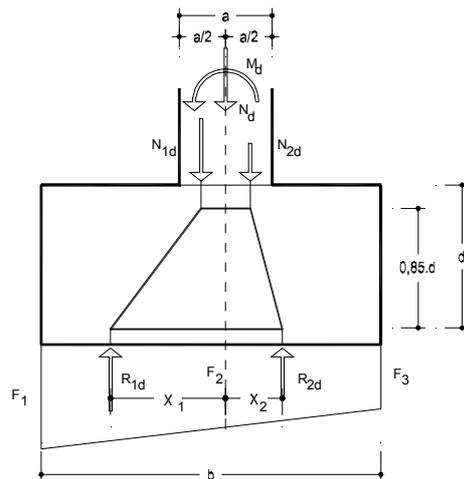
$$e = \frac{M+V \cdot h}{N+P}$$

$$\sigma = \frac{N+P}{b \cdot (a-2 \cdot e)} \leq \sigma_{adm}$$

**ZAPATAS CORRIDAS.- CALCULO**

Zapatas rígidas.- Método de bielas y tirantes

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 \cdot d} (x_1 - 0,25 \cdot a) = A_s \cdot f_{yd}$$



Se define la excentricidad de la carga  $e = M_d / N_d$

Caso 1º.-  $e < b/6$

Diagrama trapezoidal

$$F_1 = \frac{N_d}{b} + \frac{6 \cdot M_d}{b^2}$$

$$F_2 = \frac{N_d}{b}$$

$$R_{1d} = \frac{N_d}{b} \cdot \frac{b}{2} + \frac{6 \cdot M_d}{b^2} \cdot \frac{b}{4} = \frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b}$$

$$x_1 = \frac{\frac{N_d}{2} \cdot \frac{b}{4} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b} \cdot \frac{2 \cdot b}{3}}{\frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b}} = \frac{\frac{N_d}{2} + \frac{4 \cdot M_d}{b}}{\frac{N_d}{2} + \frac{3 \cdot M_d}{2 \cdot b}} \cdot \frac{b}{4}$$

**Comparación con la teoría de Lebellet (Para zapata centrada)**

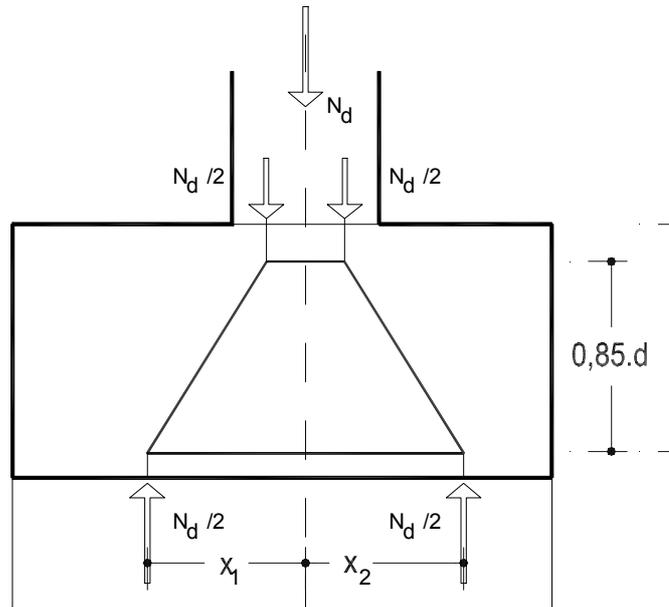
**Bielas**

$$T_d = \frac{N_d}{8 \cdot d} (b - a) = A_s \cdot f_{yd}$$

$$N_{1d} = \frac{N_d}{2} \quad x_1 = \frac{b}{4}$$

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 \cdot d} (x_1 - 0,25 \cdot a) = \frac{N_d}{6,8 \cdot d} (b - a) = A_s \cdot f_{yd}$$

La única diferencia está en que en la teoría de Lebellet las bielas parten del apoyo del pilar y según la EHE de un punto situado a 0,85.d



**CANTO ÓPTIMO EN ZAPATAS AISLADAS CON CARGA CENTRADA**

Esfuerzo de la armadura (bielas)

Cuantía mínima

$$T_d = \frac{N_d}{1,70 \cdot d} \left( \frac{b}{4} - 0,25 \cdot a \right)$$

$$T_d = 0,002 \cdot b \cdot d \cdot f_{yd}$$

El canto óptimo se produce al igualar ambos esfuerzos

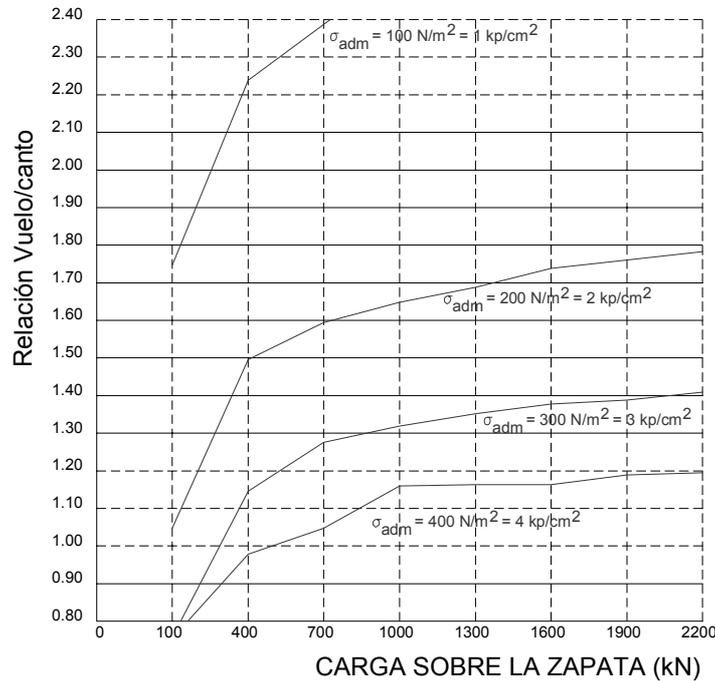
$$\frac{N_d}{1,70 \cdot d} \left( \frac{b}{4} - 0,25 \cdot a \right) = 0,002 \cdot b \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$d = \sqrt{\frac{N_d}{0,136 \cdot f_{yd}} \cdot \left( 1 - \frac{a}{b} \right)}$$

**ZAPATAS CUADRADAS.- Determinación del canto.**

El canto óptimo se produce al igualar ambos esfuerzos

**ZAPATAS: Canto óptimo**



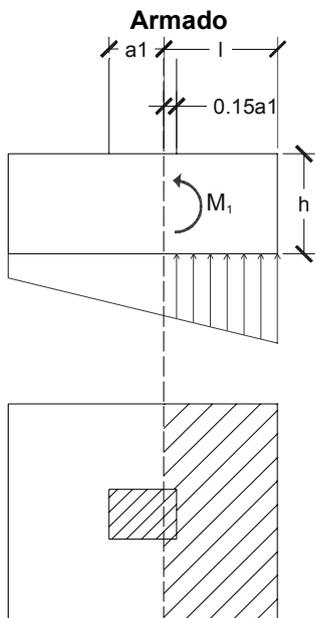
**CALCULO DE ZAPATAS AISLADAS FLEXIBLES**

**Método de flexión**

Sección de referencia

0,15. a (pilares de hormigón)

Punto medio cara pilar y borde placa (pilares metálicos)



Para el flector producido por la reacción del terreno en la sección de referencia

Caso 1

$$\sigma = \frac{M_{1d}}{W} \leq f_{ct,k} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Estrictamente no precisa armado

Caso 2

$$\sigma \Rightarrow f_{ct,k}$$

Se arma para  $M_{1d}$  en la sección de referencia

Cuantía geométrica

>0,20% (B-400S)

>0,18% (B-500S)

$$\frac{A_s}{A_c} \geq 0,0020$$

**CALCULO DE ZAPATAS AISLADAS FLEXIBLES**

**Comprobación a tensiones tangenciales**

⊖ Cortante

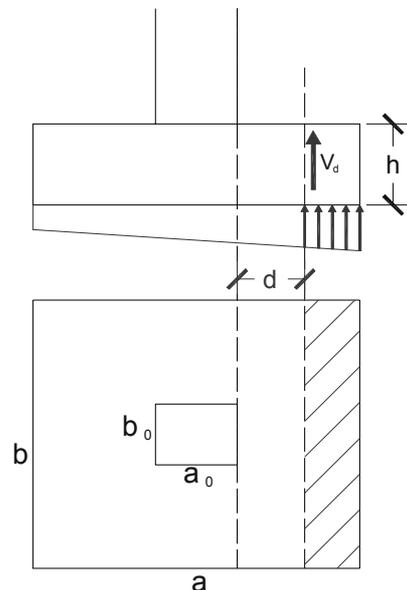
Zapatas estrechas (comentarios)

⊖ Punzonamiento

Zapatas bidimensionales

Cálculo a cortante

Sin armado



$$V_d \leq V_{u2}$$

$$V_{u2} = [0,12 \cdot \xi (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,15 \cdot \sigma_{cd}] \cdot b \cdot d$$

$$V_{u2} = [0,12 \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}}] \cdot b \cdot d$$

Para hormigón H-25 la cuantía suele ser mínima.

$$\rho_1 = 0,002 \quad \sqrt[3]{100 \cdot 0,002 \cdot 25} = 1,71$$

$$V_{u2} = 0,205 \cdot \xi \cdot b \cdot d$$

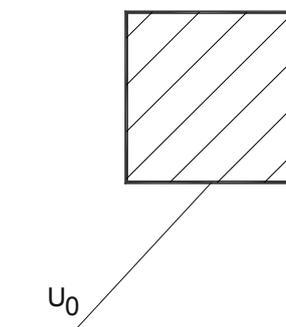
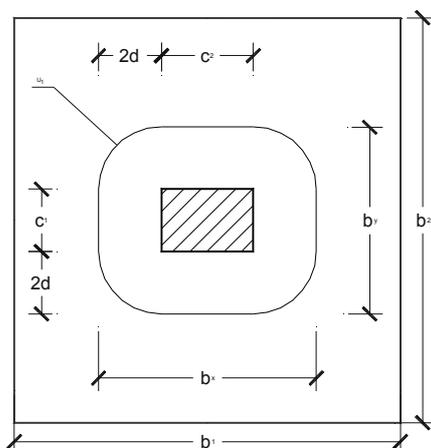
**CALCULO DE ZAPATAS AISLADAS FLEXIBLES**

Cálculo a punzonamiento

Sin armado

Perímetro crítico

Perímetro del pilar



hormigón HA-25

$$U_1 = 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 4 \cdot \pi \cdot d$$

$$F_{sd,ef} = \beta \cdot N_d \quad \beta = 1,15$$

$$\frac{\beta \cdot N_d}{u_1 \cdot d} \leq 0,12 \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}} \leq 0,442 \cdot \xi$$

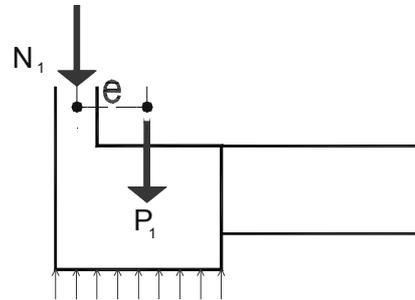
$$u_0 = 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2$$

$$\frac{\beta \cdot N_d}{u_0 \cdot d} \leq 0,30 \cdot f_{cd}$$



## ZAPATAS DE MEDIANERÍA.

Problema.- Momento por excentricidad de la carga.

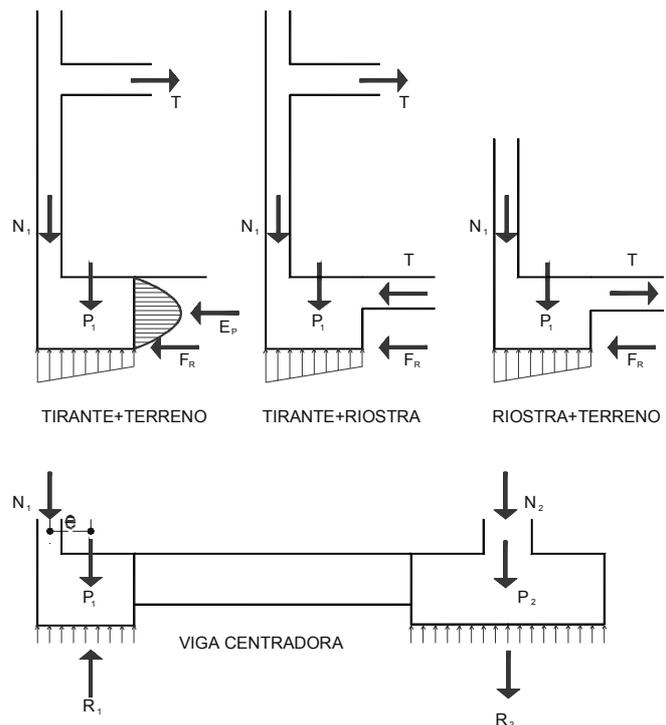


$$M = N_1 \cdot e$$



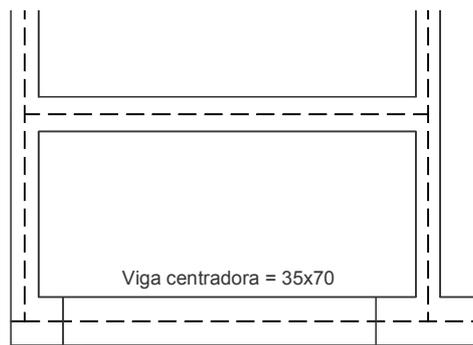
## ZAPATAS DE MEDIANERÍA.

Sistemas de equilibrado.





## ZAPATAS DE MEDIANERÍA.- MODELOS DE RESPUESTA DEL TERRENO CONSIDERANDO EL MÓDULO DE BALASTO.



Esquema simplificado del pórtico

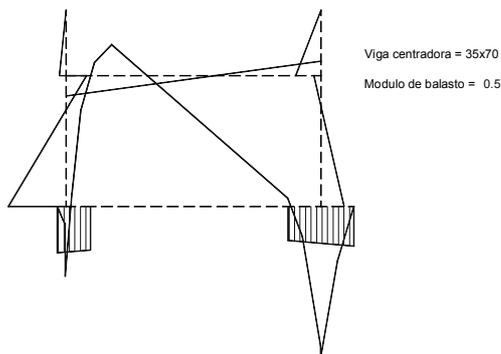
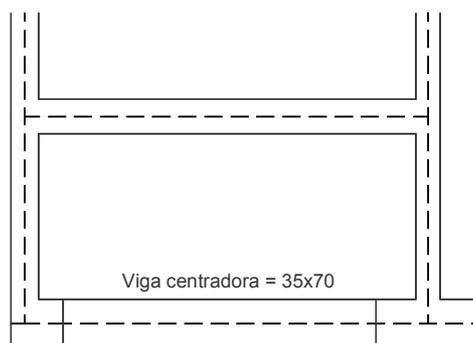


Diagrama momentos K=0,5 de



## ZAPATAS DE MEDIANERÍA.- MODELOS DE RESPUESTA DEL TERRENO CONSIDERANDO EL MÓDULO DE BALASTO.



Esquema simplificado del pórtico

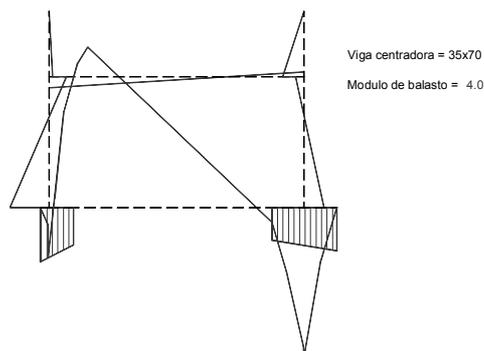
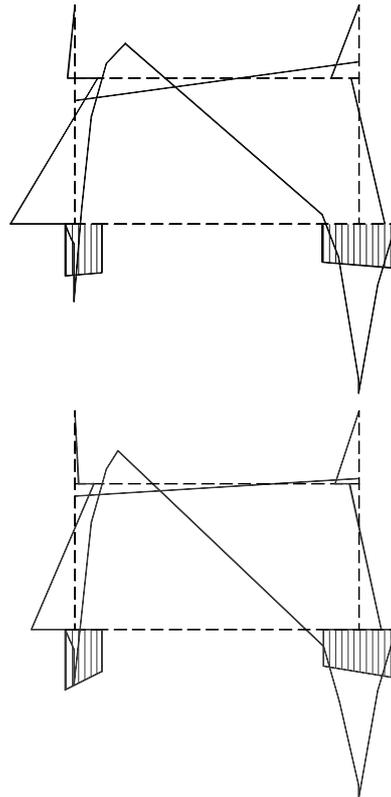


Diagrama momentos K=4,0 de

**ZAPATAS DE MEDIANERÍA.- MODELOS DE MÓDULO DE BALASTO.**



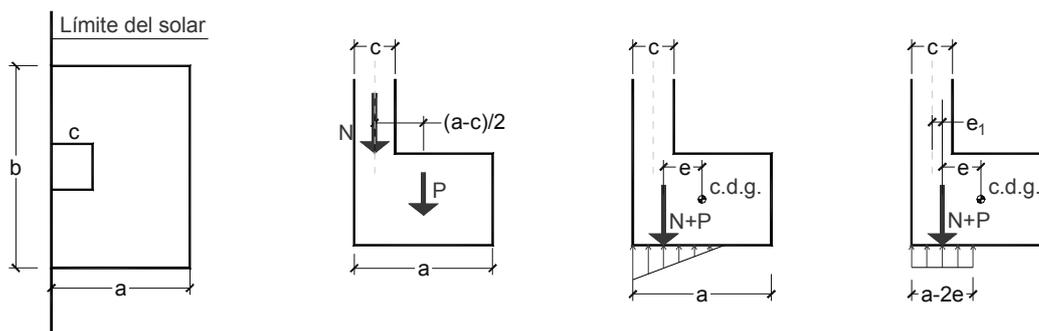
Viga centradora = 35x70  
Modulo de balasto = 0.5

**Diagrama de momentos K=0,5**

Viga centradora = 35x70  
Modulo de balasto = 4.0

**Diagrama de momentos K=4,0**

**ZAPATAS DE MEDIANERÍA. SIN ELEMENTOS DE EQUILIBRADO**



**Excentricidad de la carga**

$$e = \frac{M}{N+P} = \frac{N \cdot (a - c) / 2}{N + P} = \frac{N \cdot (a - c)}{2 \cdot (N + P)}$$

**Comprobación de la zapata**

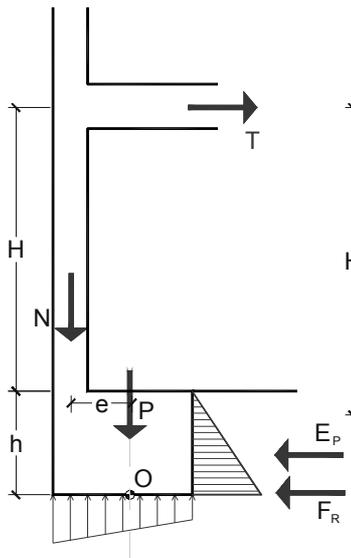
$$N + P \leq (a - 2e) \cdot b \cdot q_{adm}$$

**Comprobación del pilar**

**Axil**  $N_d$

**Flector**  $M_d = N_d \cdot e_1$  siendo  $e_1 = \frac{a - c}{2} - e$

**ZAPATAS DE MEDIANERÍA. EQUILIBRADO POR TIRANTE + TERRENO**



a.- Tirante + terreno

Ecuación de equilibrio: Momentos respecto a O

$$N \cdot e = T \cdot (H+h) \quad ; \quad T = \frac{N \cdot e}{H+h}$$

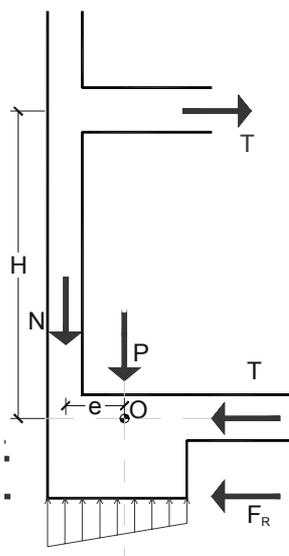
Comprobación de la zapata

$$F_R = T \leq (N+P) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3}\phi'\right) + \frac{c'}{2} \cdot a \cdot b$$

Comprobación del pilar

Axil  $N_d$   
 Flector  $M_d = T_d \cdot H$

**ZAPATAS DE MEDIANERÍA. EQUILIBRADO POR TIRANTE + RIOSTRA**



b.- Tirante + riostra

Ecuación de equilibrio: Momentos respecto a O

$$N \cdot e = T \cdot H \quad ; \quad T = \frac{N \cdot e}{H}$$

Comprobación de la zapata

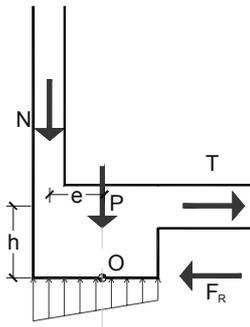
$$F_R = T \leq (N+P) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3}\phi'\right) + \frac{c'}{2} \cdot a \cdot b$$

Comprobación del pilar

Axil  $N_d$   
 Flector  $M_d = T_d \cdot H$



**ZAPATAS DE MEDIANERÍA. EQUILIBRADO POR RIOSTRA + TERRENO**



c.- Riostra + terreno

Ecuación de equilibrio: Momentos respecto a O

$$N \cdot e = T \cdot h \quad ; \quad T = \frac{N \cdot e}{h}$$

Comprobación de la zapata

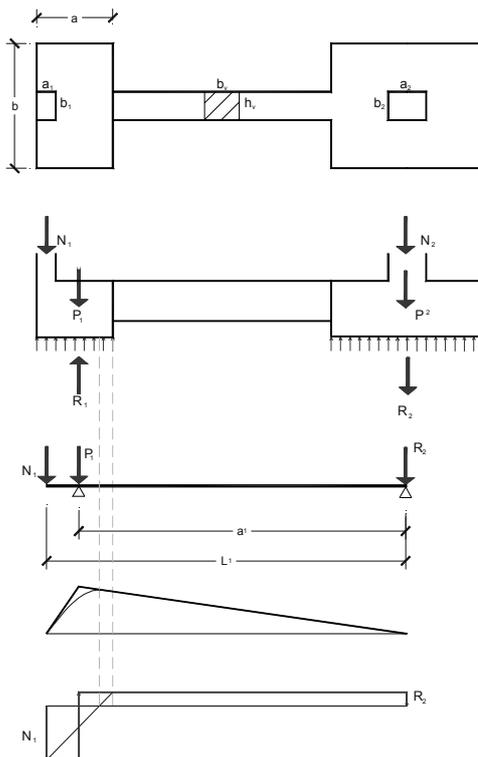
$$F_R = T \leq (N+P) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3}\phi'\right) + \frac{c'}{2} \cdot a \cdot b$$

Comprobación del pilar

Axil  $N_d$   
 Flector  $M_d = T_d \cdot H$



**ZAPATAS DE MEDIANERÍA. RESPUESTA UNIFORME DEL TERRENO**



Tomando momentos respecto a los apoyos

$$N_1 \cdot l_1 + P_1 \cdot a_1 - R_1 \cdot a_1 = 0 \quad R_1 = \frac{N_1 \cdot l_1 + P_1}{a_1}$$

$$N_1 \cdot (l_1 - a_1) - R_2 \cdot a_1 = 0 \quad R_2 = \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} - N_1$$

COMPROBACIÓN DE LAS ZAPATAS

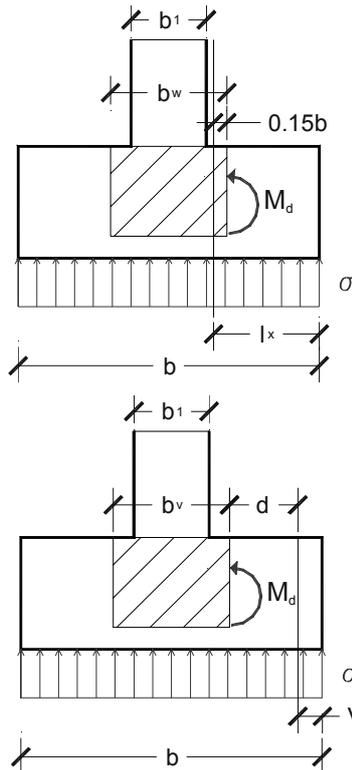
Zapata 1

$$\sigma_1 = \frac{R_1}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm} \quad b \approx 2 \cdot a \Rightarrow \frac{R_1}{2 \cdot a^2} \leq \sigma_{adm}$$

Zapata 2

$$R_2 \leq (N_2)_{\text{Carga perm.}} + P_2$$

## ZAPATAS DE MEDIANERÍA. RESPUESTA UNIFORME DEL TERRENO



Armado zapata 1.- Como una zapata corrida  $N=N_1$

$$l_x = \frac{b - b_v}{2} + 0,15 \cdot b_v = \frac{b}{2} - 0,35 \cdot b_v$$

$$M_d = \sigma_d \cdot \frac{l_x^2}{2} = \frac{N_d}{b} \cdot \frac{l_x^2}{2}$$

$$A_x \cdot f_{yd} = \frac{N_d}{0,9 \cdot b \cdot d} \cdot \frac{l_x^2}{2} \quad (\text{Armado por m})$$

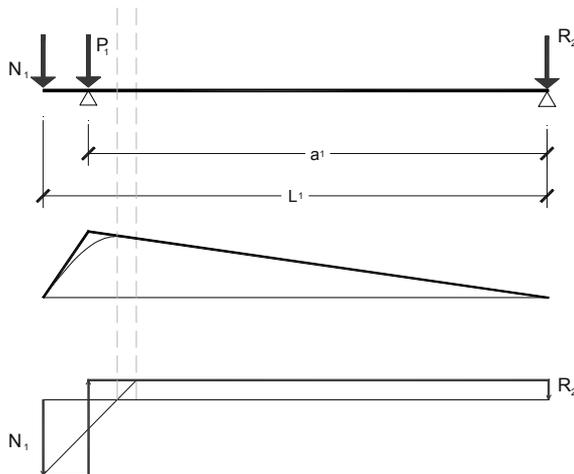
Comprobación a cortante

$$v_x = \frac{b - b_v}{2} \cdot d$$

$$V = \sigma \cdot v_x = \frac{N}{b} \cdot v_x$$

$$V_d = \frac{N_d}{b} \cdot v_x \leq 0,12 \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}}$$

## ARMADO DE LA VIGA CENTRADORA



$$N_1 \cdot l_1 + P_1 \cdot a_1 - R_1 \cdot a_1 = 0$$

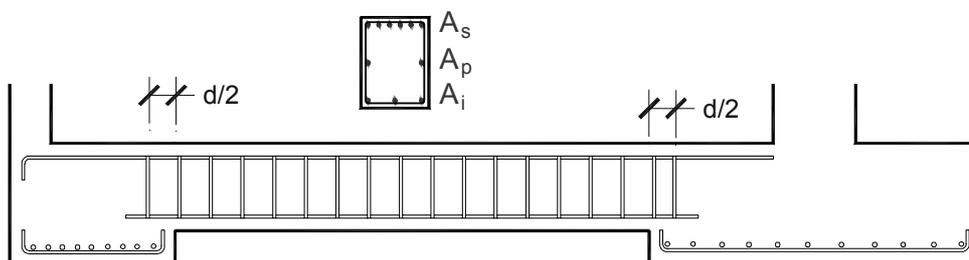
$$R_1 = \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} + P_1$$

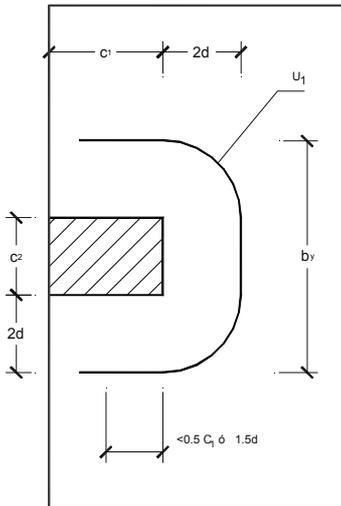
$$N_1 \cdot (l_1 - a_1) - R_2 \cdot a_1 = 0$$

$$R_2 = \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} - N_1$$

$$M_{\max} = R_2 \cdot (a_1 - a/2) = \left( \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} - N_1 \right) \cdot (a_1 - a/2)$$

$$V_{\max} = R_2 = \left( \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} - N_1 \right)$$



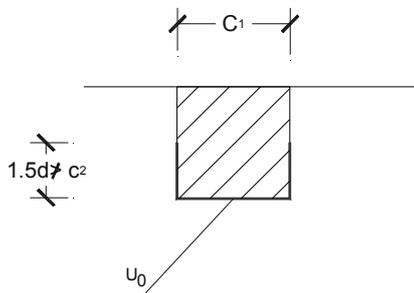


## ZAPATAS DE PUNZONAMIENTO DE MEDIANERÍA.-

$$F_{sd,ef} = \beta \cdot N_d \approx 1,40 \cdot N_d$$

$$\frac{1,40 \cdot N_d}{u_1 \cdot d} \leq 0,442 \cdot \xi$$

### Comprobación en el perímetro del pilar



$$u_0 = c_1 + 3 \cdot d \leq c_1 + 2 \cdot c_2$$

$$\frac{1,40 \cdot N_d}{u_0 \cdot d} \leq 0,30 \cdot f_{cd}$$



## ZAPATA RETRANQUEADA

$$N_1 \cdot l_1 + P_1 \cdot a_1 - R_1 \cdot a_1 = 0$$

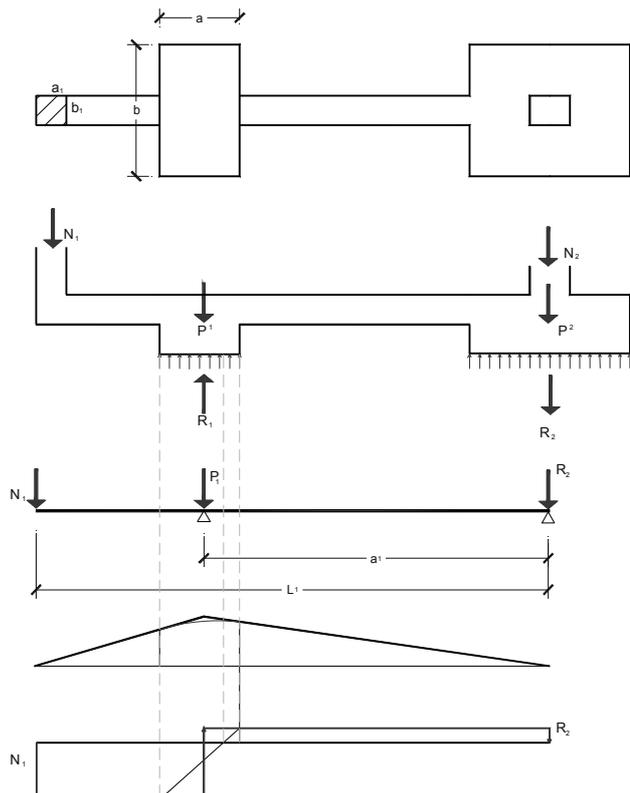
$$N_1 \cdot (l_1 - a_1) - R_2 \cdot a_1 = 0$$

$$R_1 = \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} + P_1$$

$$R_2 = \frac{N_1 \cdot l_1}{a_1} - N_1$$

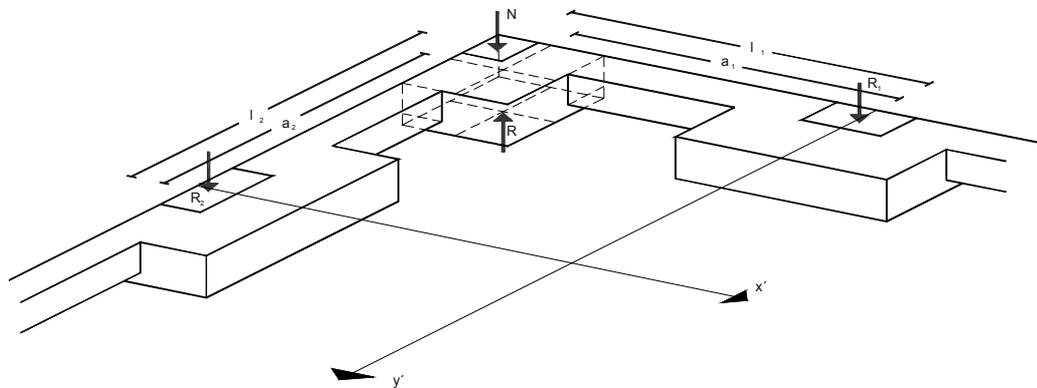
Zapata 1  $\sigma_1 = \frac{R_1}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm}$

Zapata 2  $R_2 \leq (N_2)_{Carga\ perm.} + P_2$



**ZAPATAS DE ESQUINA CON VIGAS CENTRADORAS**

(Método simplificado)



**Ecuaciones de equilibrio**

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow N + R_1 + R_2 - R = 0$$

$$\sum M_{x'} = 0 \Rightarrow -N \cdot l_1 + R \cdot a_2 + R_1 \cdot l_2 = 0 \Rightarrow R_1 = R \cdot \frac{a_2}{l_2} - N$$

$$\sum M_{y'} = 0 \Rightarrow N \cdot l_1 - R \cdot a_1 + R_2 \cdot l_1 = 0 \Rightarrow R_2 = R \cdot \frac{a_1}{l_1} - N$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**ZAPATAS DE ESQUINA CON VIGAS CENTRADORAS**

(Método simplificado)

**Ecuaciones de equilibrio**

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow N + R_1 + R_2 - R = 0$$

$$\sum M_{x'} = 0 \Rightarrow -N \cdot l_1 + R \cdot a_2 + R_1 \cdot l_2 = 0 \Rightarrow R_1 = R \cdot \frac{a_2}{l_2} - N$$

$$\sum M_{y'} = 0 \Rightarrow N \cdot l_1 - R \cdot a_1 + R_2 \cdot l_1 = 0 \Rightarrow R_2 = R \cdot \frac{a_1}{l_1} - N$$

**Sustituyendo estos valores en la primera ecuación**

$$N + R \cdot \frac{a_2}{l_2} - N + R \cdot \frac{a_1}{l_1} - N - R = 0 \Rightarrow N = R \cdot \left( \frac{a_2}{l_2} + \frac{a_1}{l_1} - 1 \right)$$

$$R = \frac{N}{\left( \frac{a_2}{l_2} + \frac{a_1}{l_1} - 1 \right)}$$

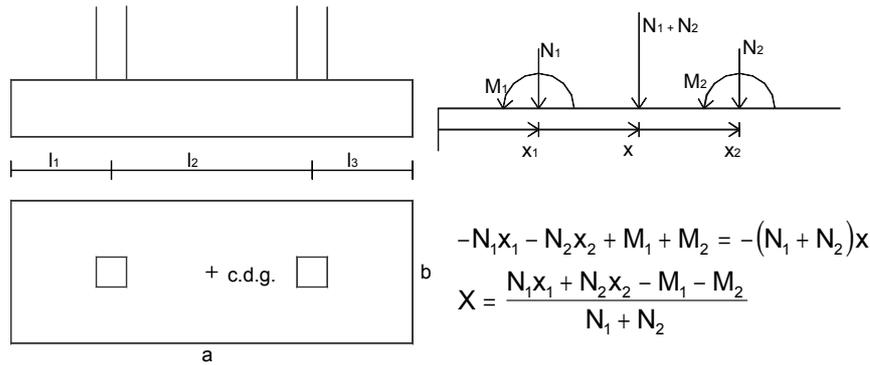
Zapata  $\sigma = \frac{R+P}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm}$

**Vigas centradoras** → **como en las zap. de medianería**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**ZAPATAS COMBINADAS**



**c.d.g. zapata Ø c.d.g. cargas**

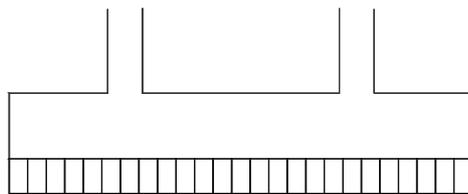
**Condiciones de rigidez de la zapata.**

$$v \leq \frac{\pi}{4} \sqrt[4]{\frac{4E_c I_c}{B k_{sB}}}$$

$$\ell \leq \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_c I_c}{B k_{sB}}}$$

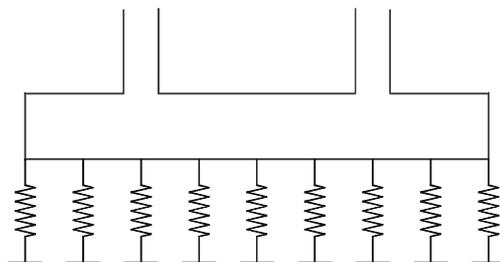


**ZAPATAS COMBINADAS**



**Zapata rígida**

**Se calcula como viga apoyada en pilares con respuesta uniforme de terreno**

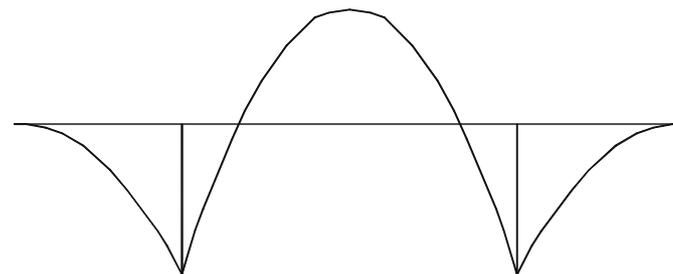


**Zapata flexible**

**Apoyo elástico en el terreno ! mod. de balasto.**



**ARMADO DE ZAPATAS COMBINADAS**

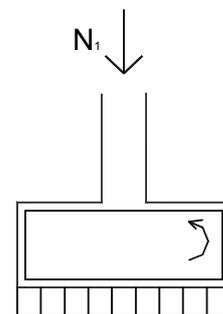
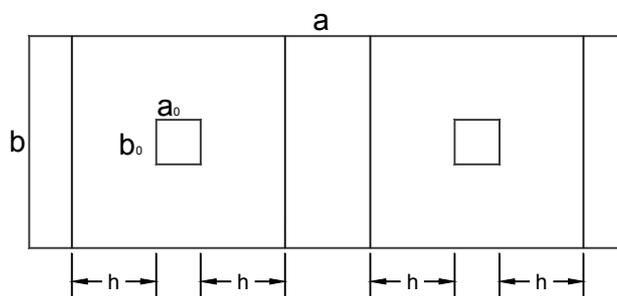


- Armado longitudinal

Armado como viga invertida.



**ARMADO DE ZAPATAS COMBINADAS**



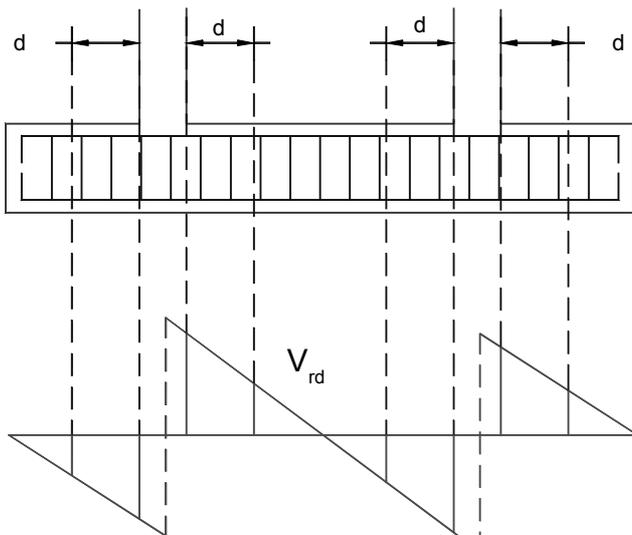
- Armado transversal

flexión transversal

El armado trasversal puede aplicarse a la rama horizontal de los estribos! Disposiciones adecuadas.

Fuera de estas zonas: Arm. trasv. =0.2 Arm. long.

**- Armado a esfuerzo cortante**



**Cercos:**

- De apoyo de armadura
- Resistentes
- Sección referencia ! a la distancia d de la cara del pilar.

$V = \max (V_1, V_2, V_3, V_4)$

$V_d = (f \cdot V$

$V_{rd} = V_{cu} + V_{su}$

$V_{cu} = [0.10 > (100 D_1 f_{ck})^{1/3}] b_0 d$

$V_{su} = A \cdot f_{yd} / s \cdot 0.9 \cdot d$

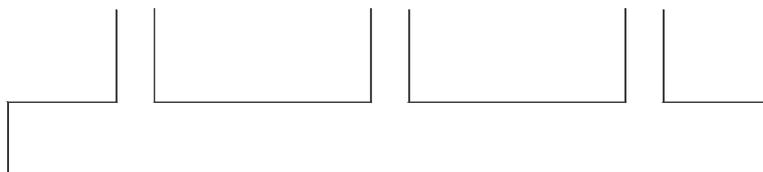
**Cercos enteros ! armadura transversal.**

**- Comprobación a punzonamiento**

**Soportes interiores ! como en zapata centrada.**

**Soportes borde ! como en zapata de medianería.**

**VIGAS FLOTANTES**



**Métodos de cálculo** **Viga rígida**

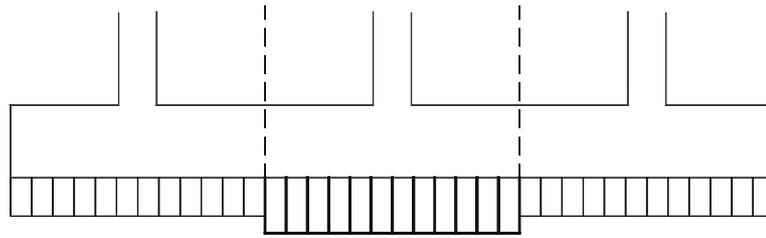
**Viga flexible sobre apoyo elástico**

**Viga flexible sobre terreno elástico.**

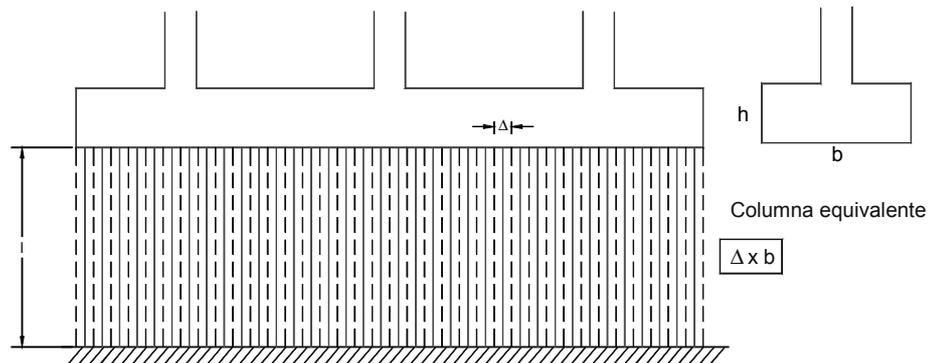


**VIGAS FLOTANTES**

**Viga rígida**



**Viga flexible sobre apoyo elástico**



$$k = \frac{\sigma}{\delta} = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot l} = \frac{\sigma}{\frac{\sigma}{E} \cdot l} = \frac{E}{l} \Rightarrow E = k \cdot l$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**LOSAS DE CIMENTACIÓN**

**Diseño de losas**

**Resultante de las cargas**

☐ Coincidente con el centro de gravedad de la losa

☐ Dentro de la zona de seguridad (1/2 del núcleo central)

☐ En caso contrario cálculo muy cuidadoso de asientos

**Resistencia del suelo**

☐ Sobrada en arena y arcilla dura

☐ En arcilla blanda

$$f = 5,14 f_v$$

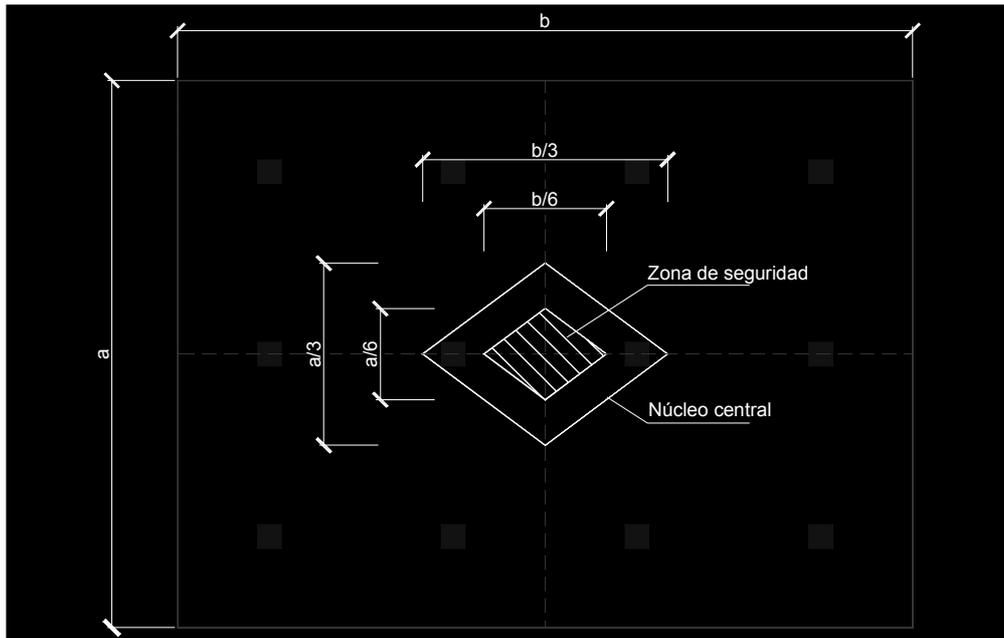
Siendo  $f_v$  = resistencia a corte sin drenaje

$$\sigma_{adm} = f/3$$

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**LOSAS DE CIMENTACIÓN**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**ASIENTOS**

$s < 5 \text{ cm}$  (Arena)

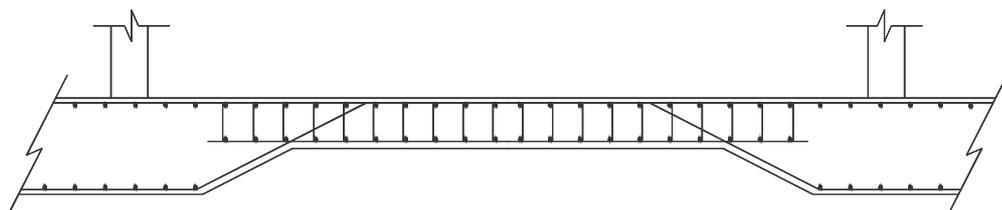
$s < 7,5 \text{ cm}$  (Arcilla)

Distorsión angular  $< 1/500$

**Zonas desiguales**

Junta entre zonas de losa - Impermeabilización cuidadosa

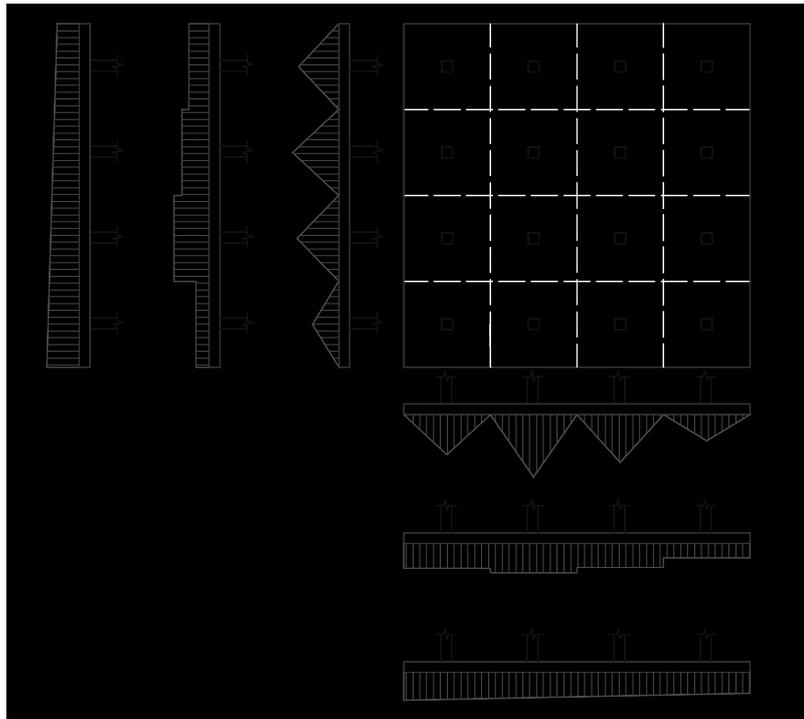
Zonas de espesor reducido - Actúan como bielas



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



## DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN LA LOSA



**Caso 1.- Losa muy flexible y terreno poco deformable.**

**Caso 2.- Losa y terreno normales.**

**Caso 3.- Losa muy rígida y terreno muy deformable.**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

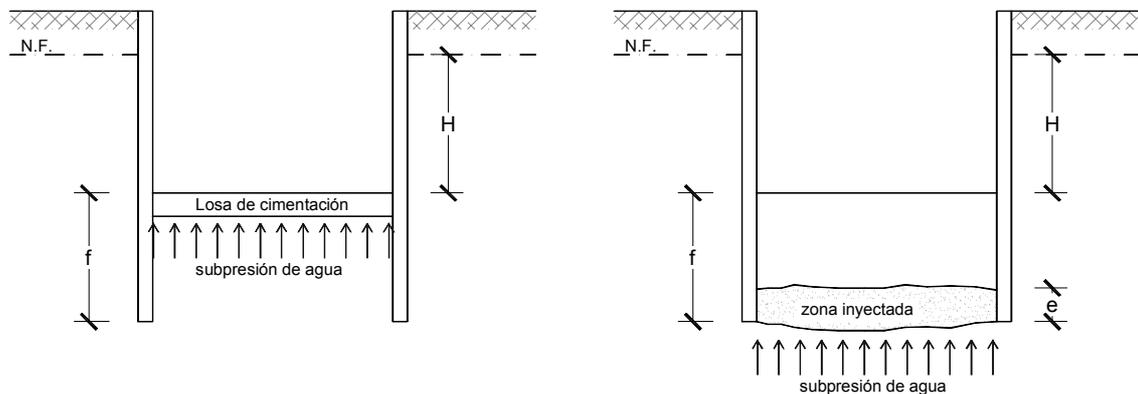


## PLANTEAMIENTO DE CÁLCULO

**Esfuerzos transmitidos por los pilares.**

**Peso propio de la losa.**

**Subpresión del agua freática ( si existe).**

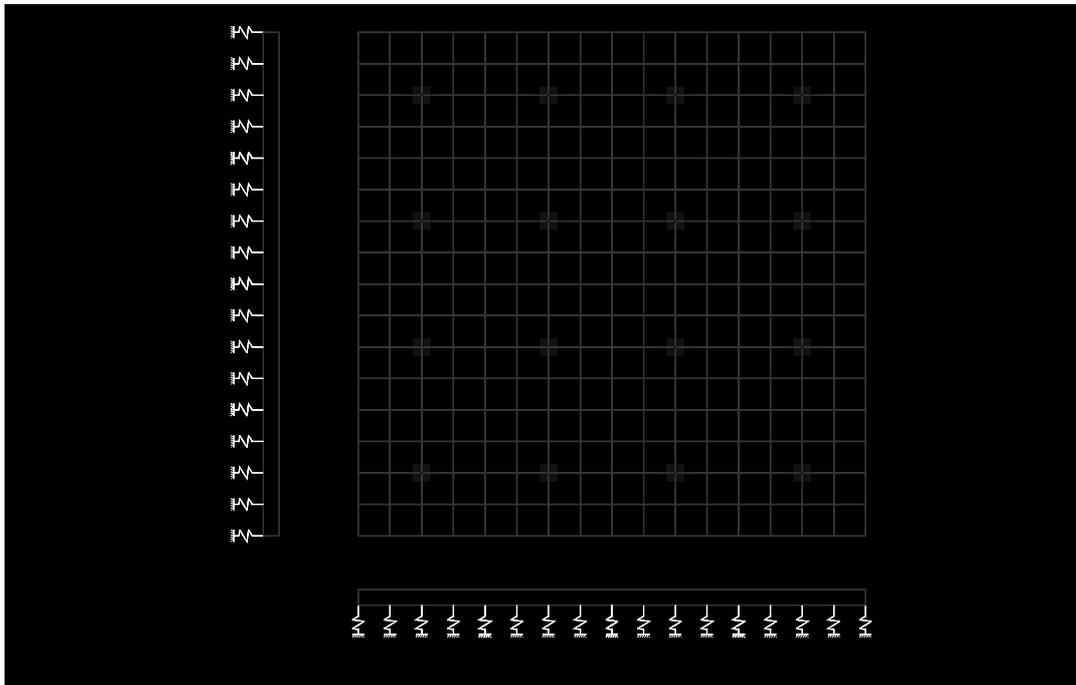




**MÉTODO DE ASIMILACIÓN A EMPARRILLADOS**

Poden calcularse por este método placas de forma cualquiera.

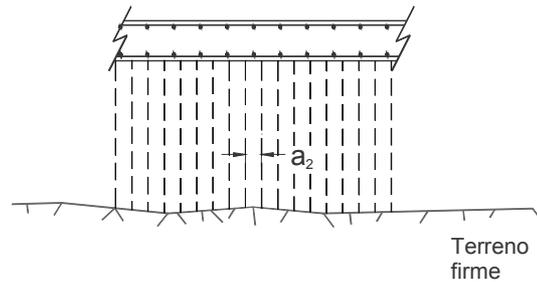
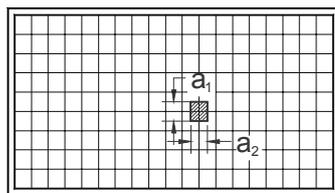
Es muy exacto, sobre todo si la malla es tupida.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**IDEALIZACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN**



Dimensiones de la columna

$$a_1 \times a_2$$

Módulo de Young del terreno

$$K \cdot h$$

Matriz de rigidez de la columna

$$P_z = \frac{E \cdot A}{h} \cdot d_z$$

$$P_z = \frac{K \cdot h \cdot a_1 \cdot a_2}{h} = K \cdot a_1 \cdot a_2$$

$$\begin{pmatrix} m_x \\ P_z \\ m_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & K \cdot a_1 \cdot a_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \theta_x \\ d_z \\ \theta_y \end{pmatrix}$$

Basta con introducir el factor  $K \cdot a_1 \cdot a_2$  en la matriz de rigidez en cada nudo del emparrillado.

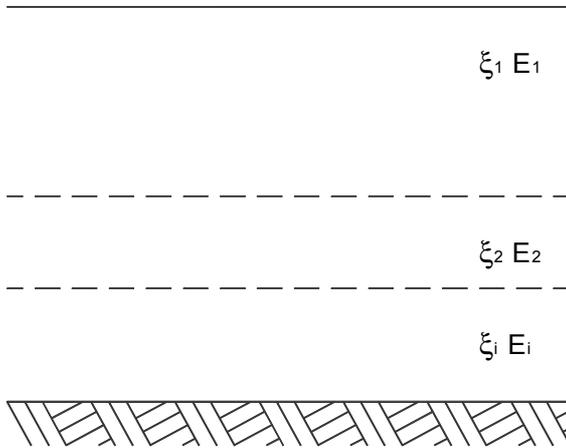
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel





**ALGUNAS EXPRESIONES DE ASIENTOS (MÉTODO ELÁSTICO)**

**Terrenos estratificados**



$$s_i = \frac{bq}{E} (C_1 F_1 + C_2 F_2) = \xi_i \frac{bq}{E}$$

$$S = bq \left[ \frac{\xi_1}{E_1} + \frac{\xi_2 - \xi_1}{E_2} + \dots \right]$$

Módulo de balasto:

Se calcula la tensión.

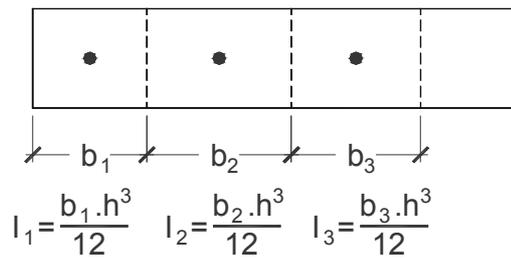
Se calcula el asiento.

$$k_{sB} = \frac{\sigma_z}{\delta_z}$$

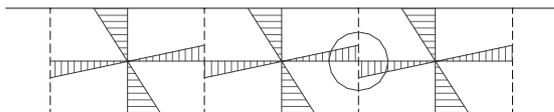


**MODELIZACIÓN DE LAS BARRAS**

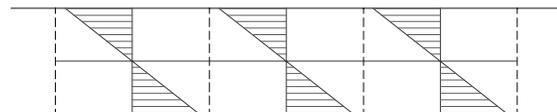
**Rigidez a flexión**



**Rigidez a torsión**



Vigas



Losa

$$\begin{aligned} I_T &= \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot b \cdot h^3 \\ \frac{b}{h} > 10 &\Rightarrow \beta = \frac{1}{3} \Rightarrow I_T = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^3 \end{aligned}$$

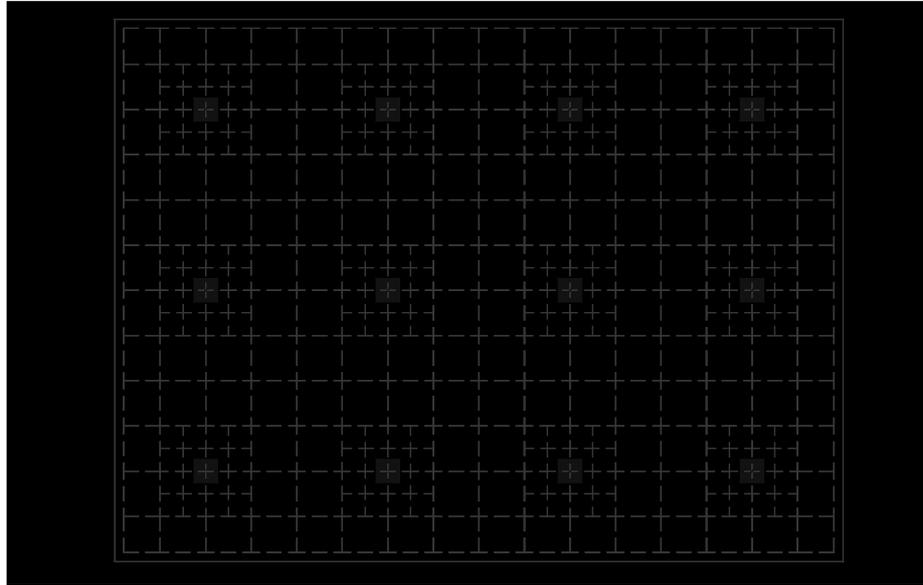
**CRITERIOS DE DISCRETIZACIÓN**

☉ Cuando es posible las vigas deben ser ortogonales y en la dirección del armado.

☉ Deben colocarse como mínimo cinco vigas en cada dirección.

☉ La separación entre vigas debe ser del orden de  $2 \div 3$  veces el espesor.

☉ La viga de borde se coloca a una distancia de  $0,3.d$  del contorno real del borde.

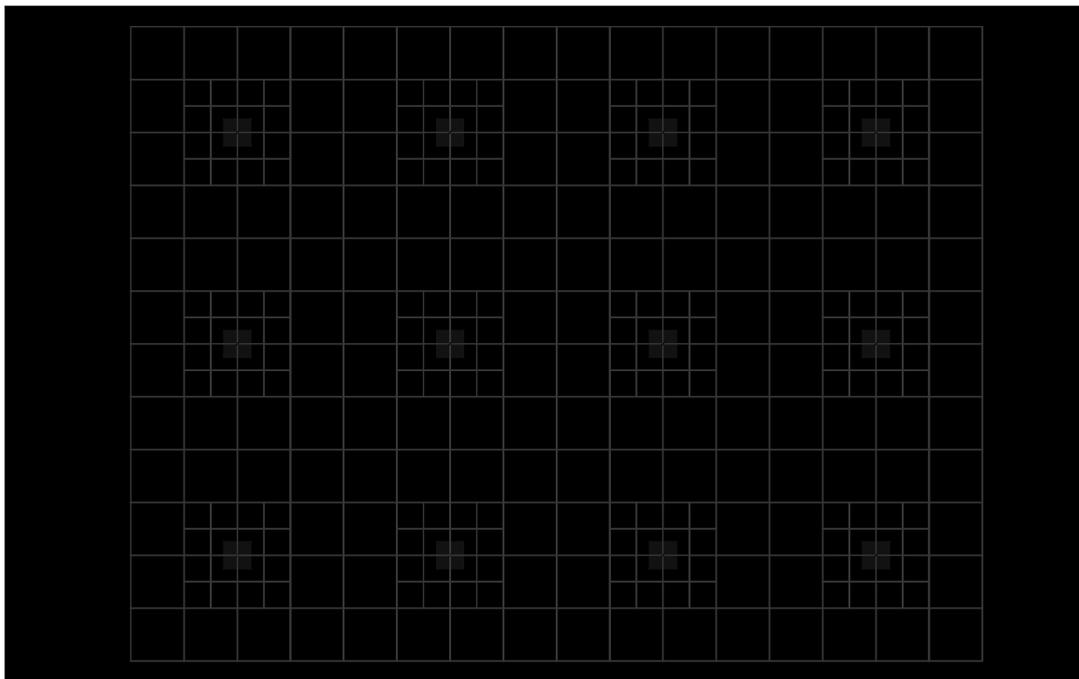


E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**CRITERIOS DE DISCRETIZACIÓN**

C En los apoyos intermedios la malla debe hacerse más tupida en un entorno de ellos.

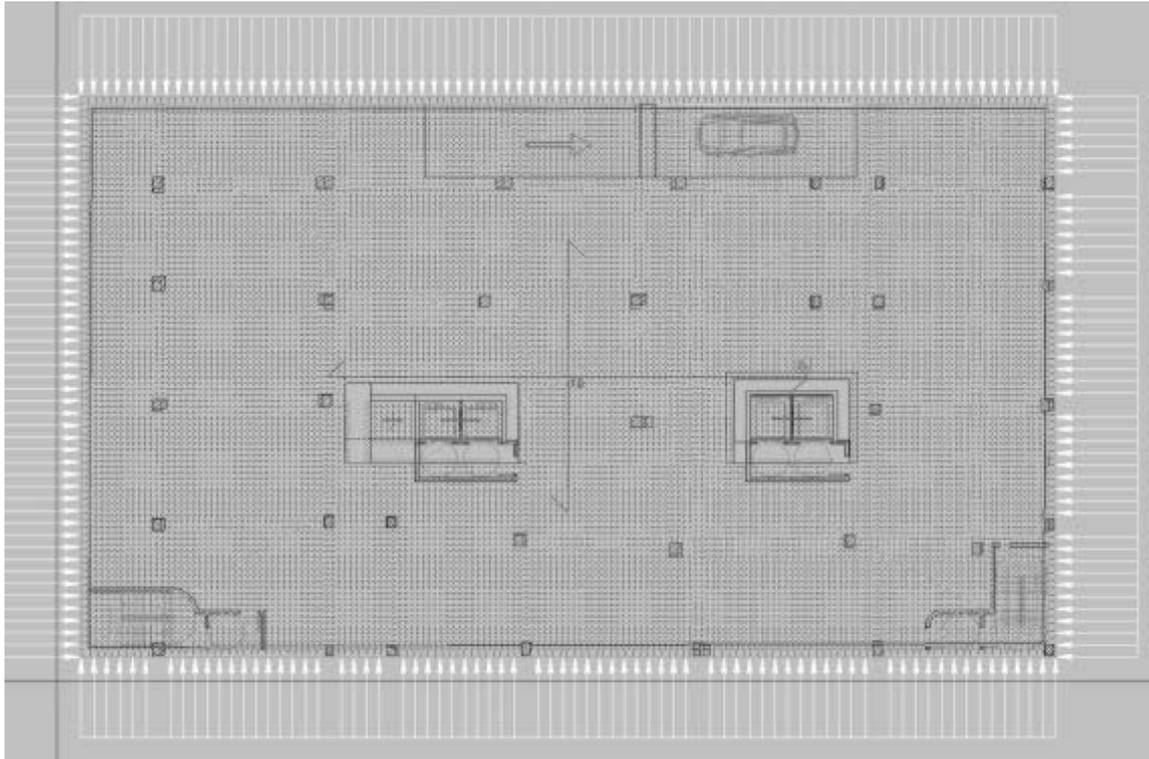
C Los apoyos deben coincidir con nudos de la malla.



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



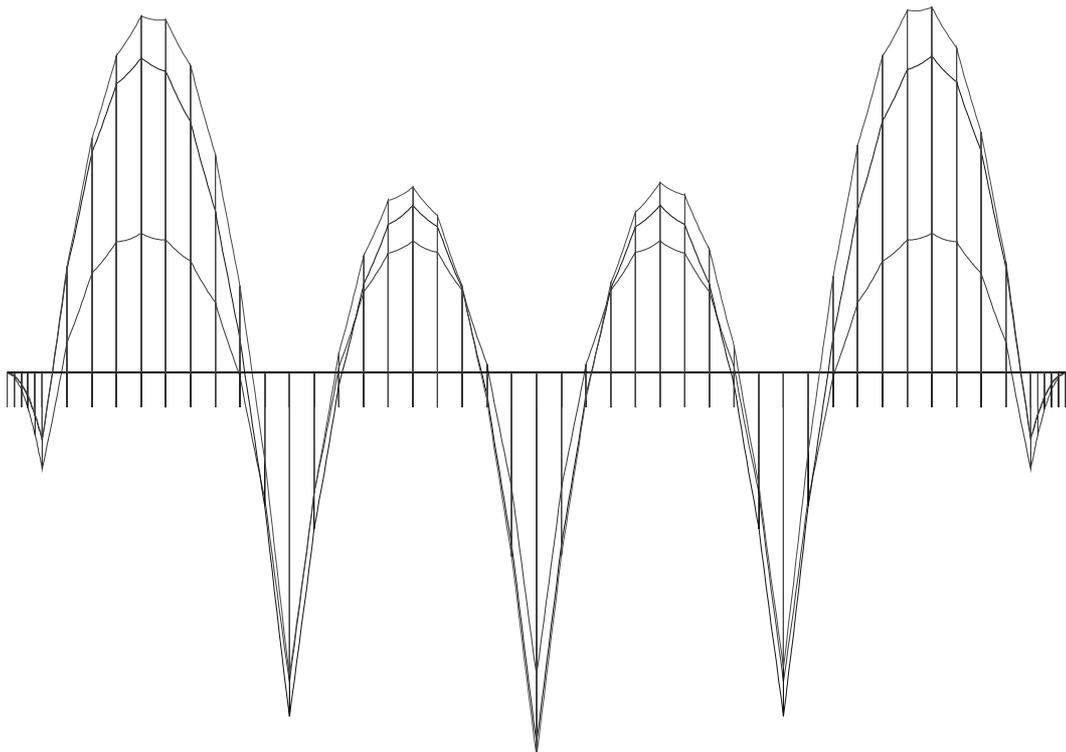
**ESQUEMA DE DISCRETIZACIÓN**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**IDEALIZACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**RECOMENDACIONES DE DISEÑO**

**Canto mínimo**      **Losas flexibles**      -      **Grandes asientos**  
                          **Losas rígidas**                      -      **Muy costosas**

**Recomendable (Rodríguez Ortiz)**

Nº plantas	Longitud de losa		
	15 m	30 m	40 m
<5	0,60	0,80	1,00
5 - 10	0,90	1,20	1,50
10-20	1,50	2,00	2,50

**Aproximación al canto óptimo**

$$N = \frac{E_{\text{suelo}}}{E_{\text{horm.}}} \cdot \left(\frac{l}{h}\right)^3 \quad 8 < N < 25$$

**Es imprescindible comprobar el punzonamiento**

**Para l > 30 ÷ 40 m**                      -                      **juntas intermedias**

**Losas de planta lo más regular posible**

**Muy desfavorables entrantes y elementos que introduzcan torsiones**

**Pilares con luces y cargas regulares < 50% variación**

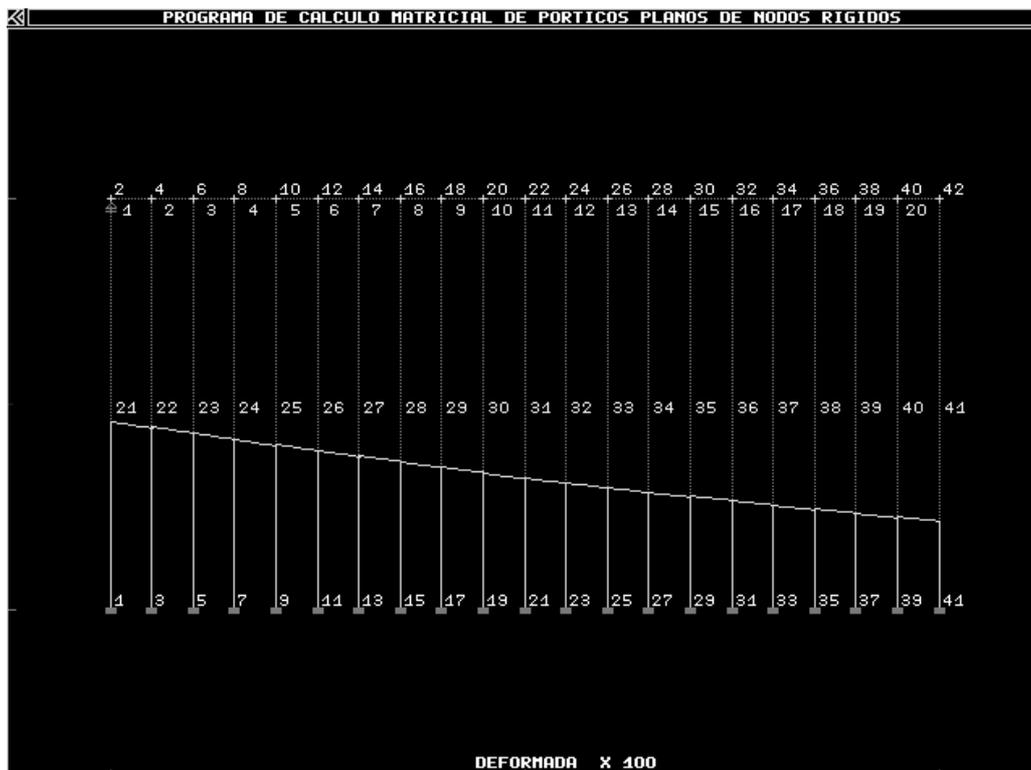
**Zonas desigualmente cargadas**                      -                      **juntas**

**Armadura mínima**    -                      **Ø 12 / 30 cm**

**Juntas de hormigonado alejadas de los pilares**

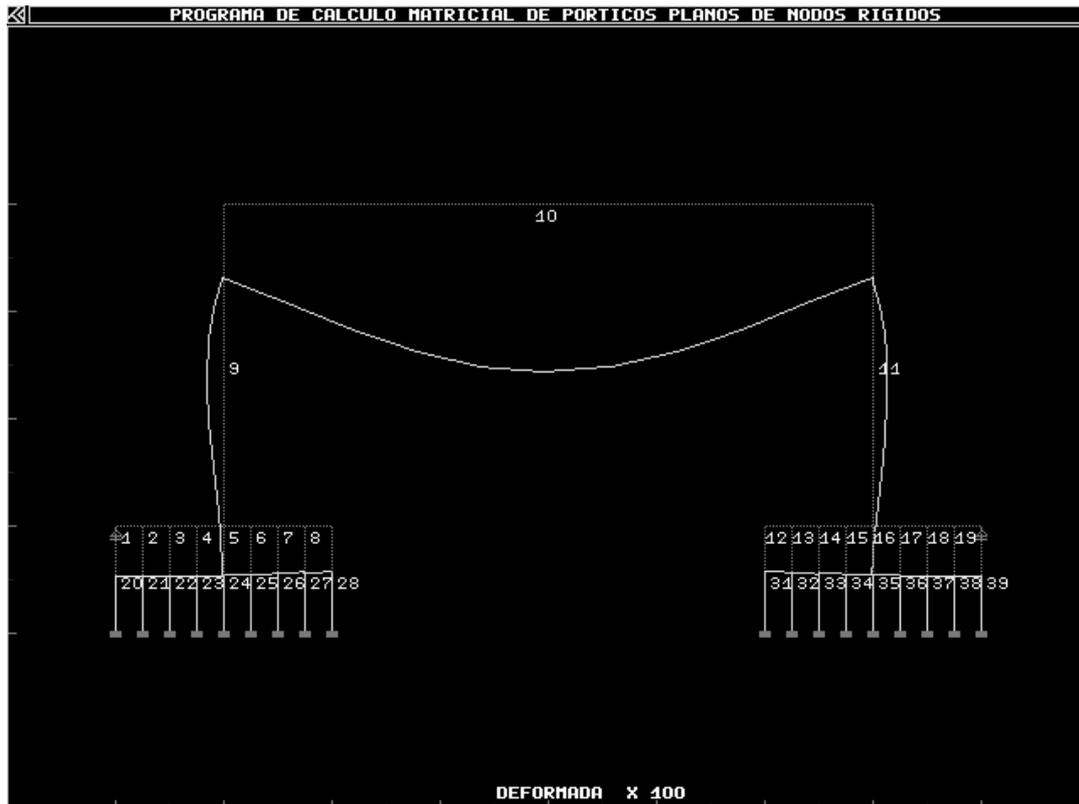


**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: ZAPATAS.**





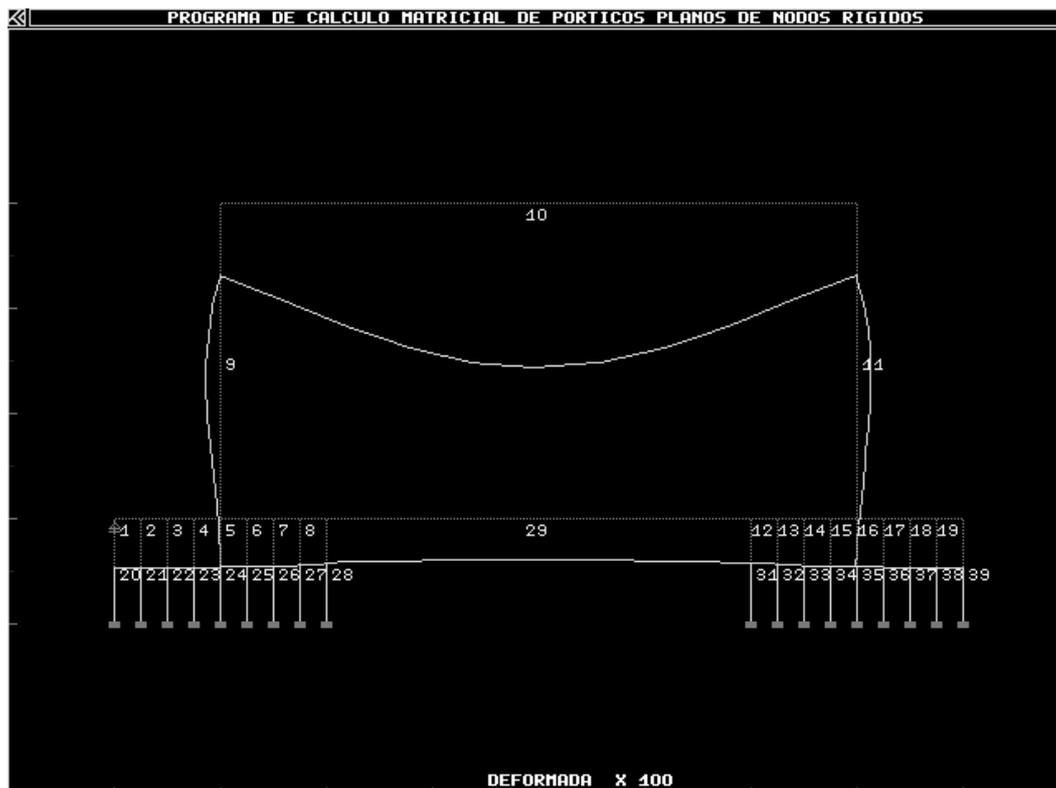
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: PÓRTICOS.**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



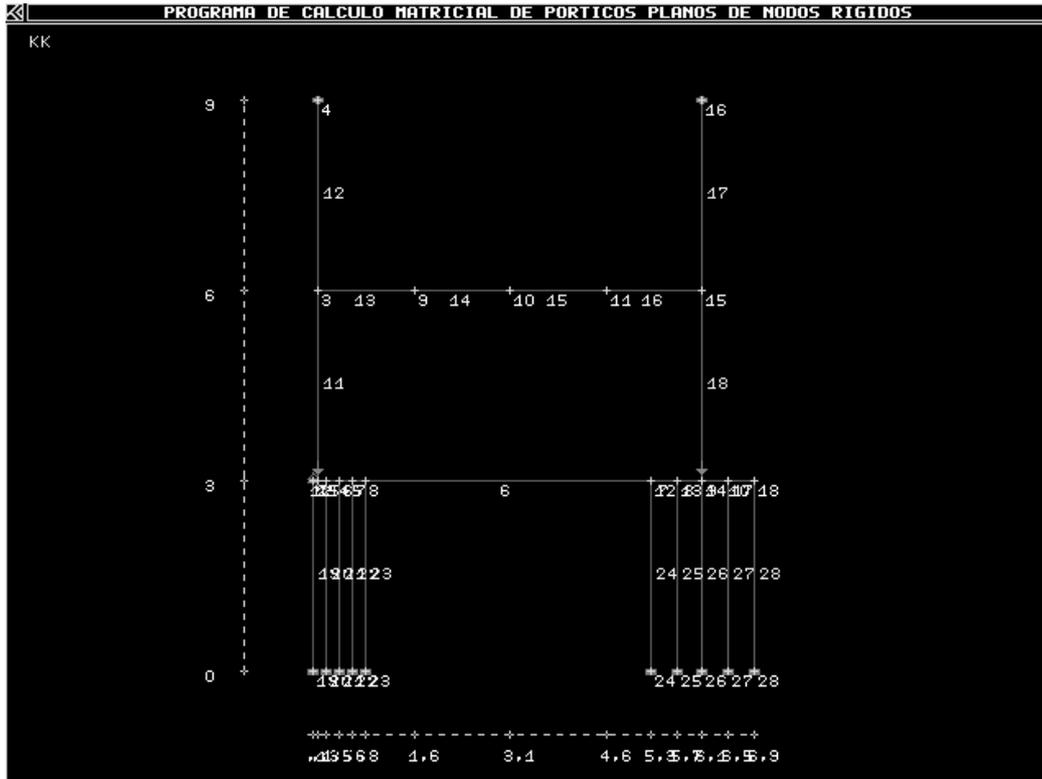
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: PÓRTICOS.**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



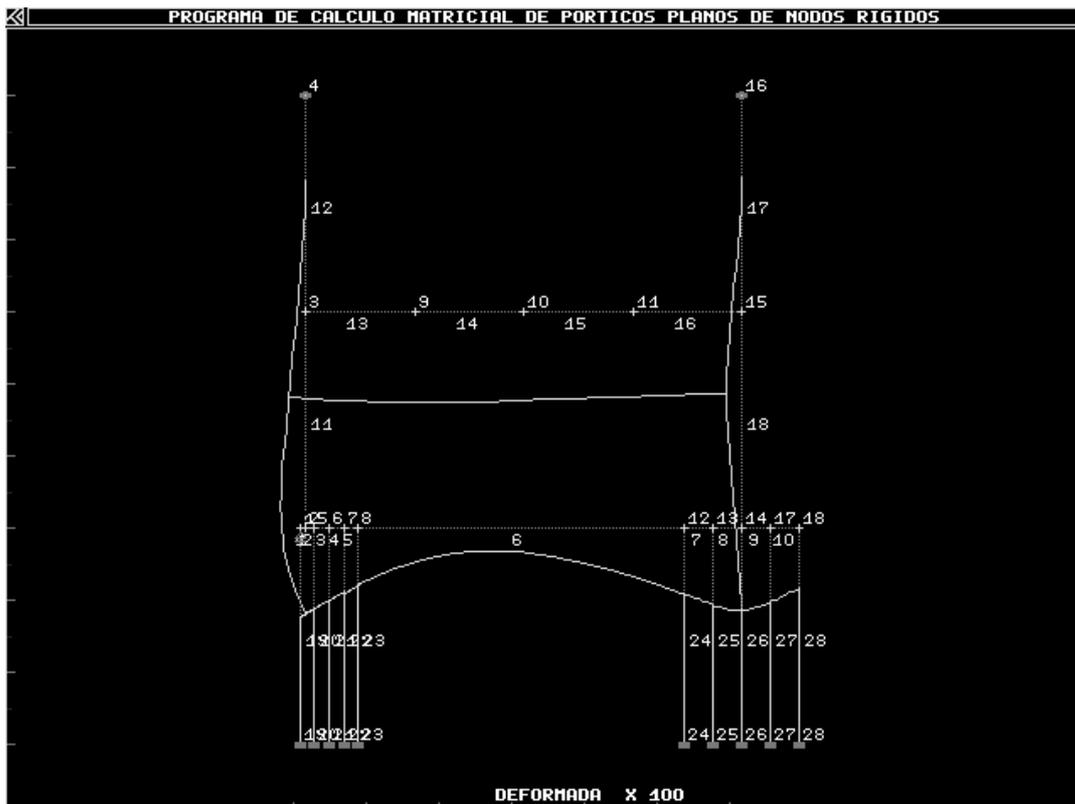
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: ZAPATAS MEDIANERÍA**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



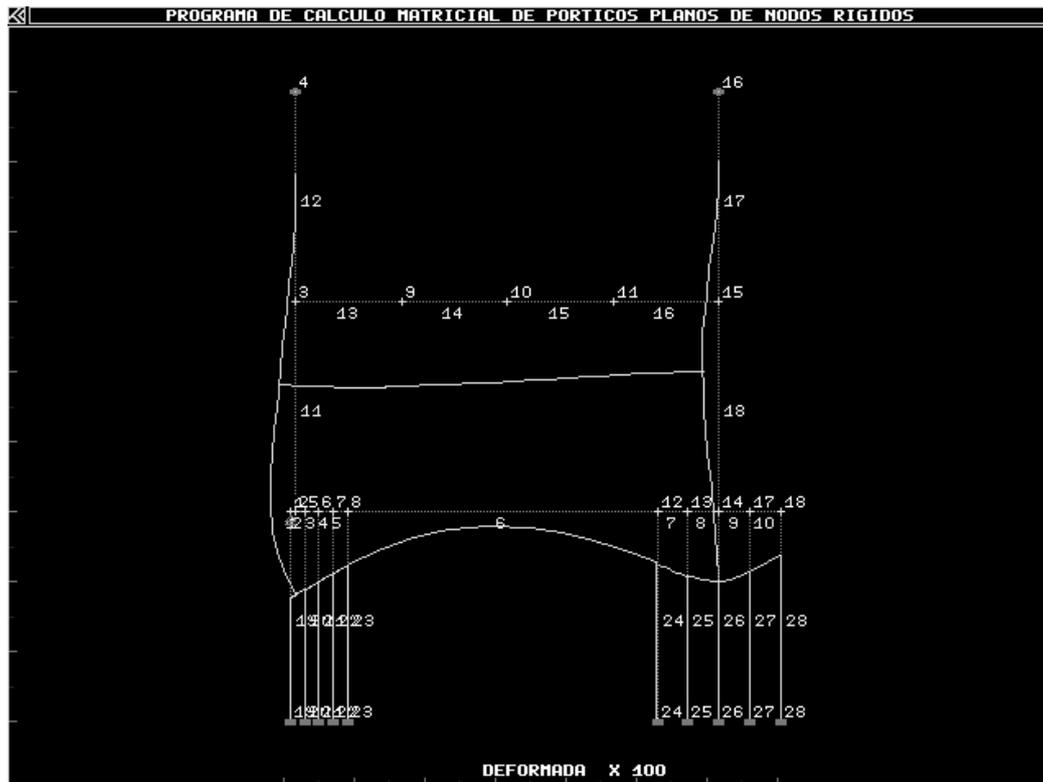
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: ZAPATAS MEDIANERÍA**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



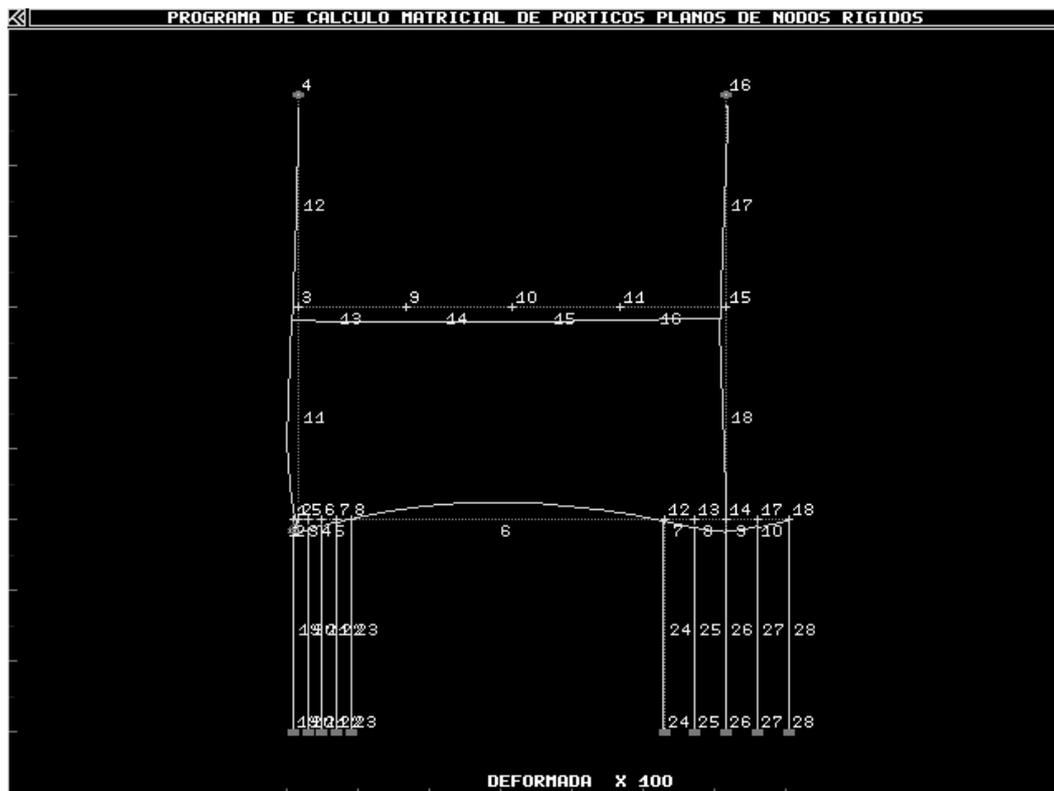
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: ZAPATAS MEDIANERÍA**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



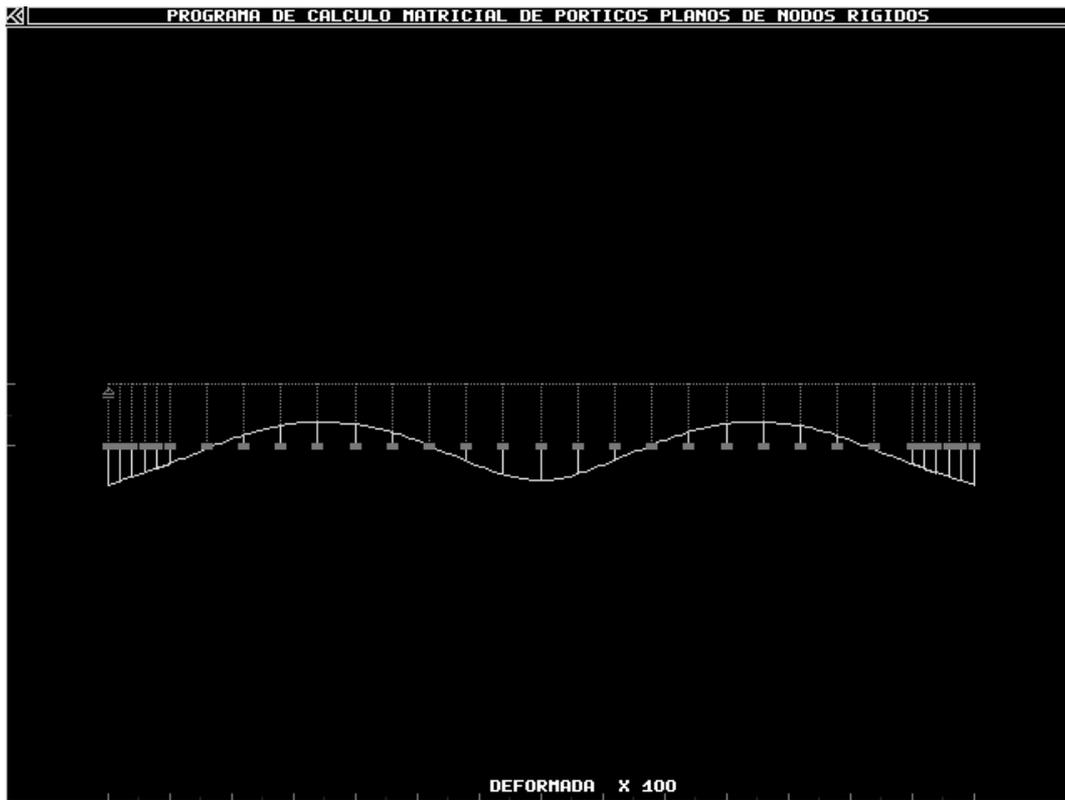
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: ZAPATAS MEDIANERÍA**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



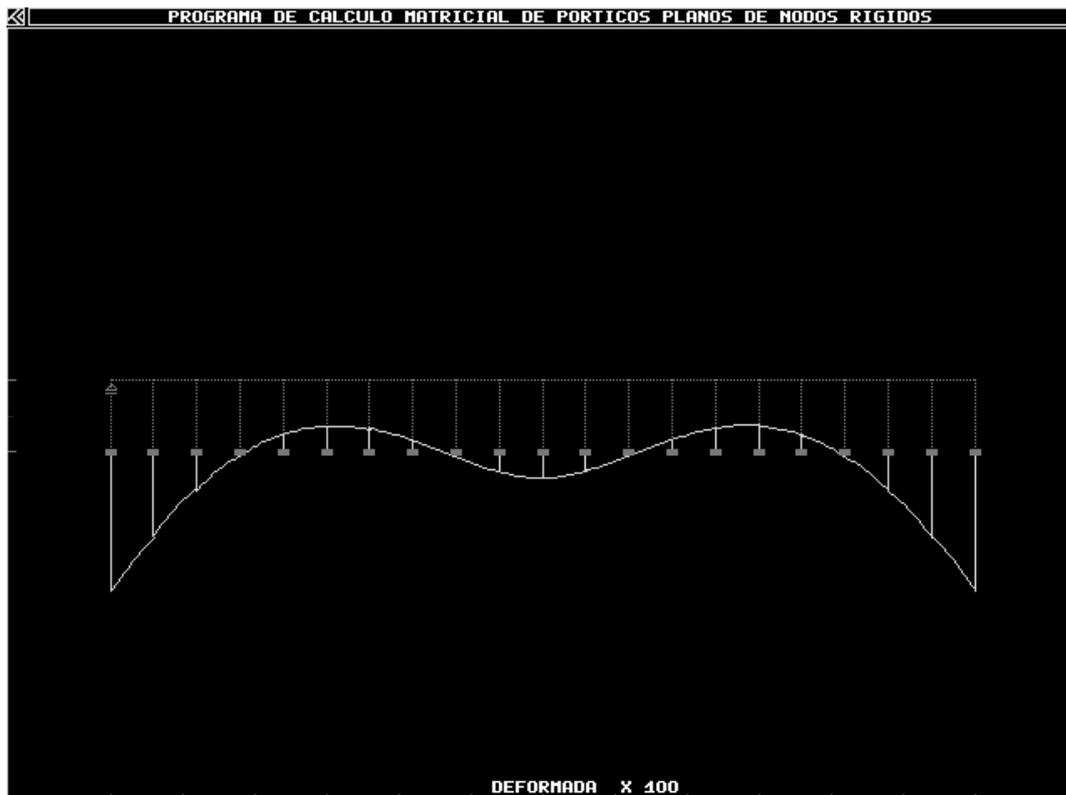
**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: VIGAS FLOTANTES**



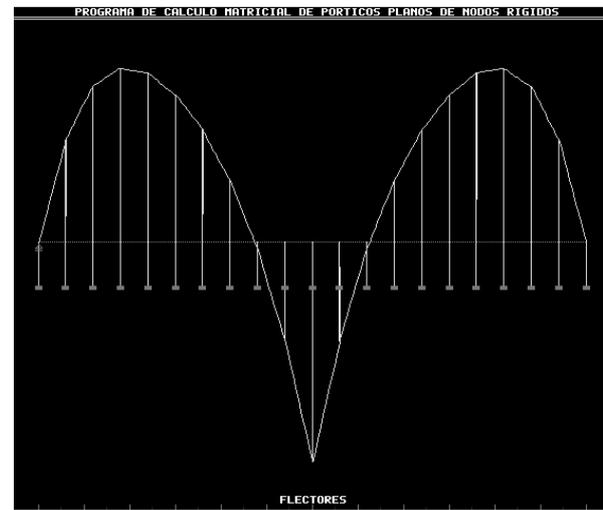
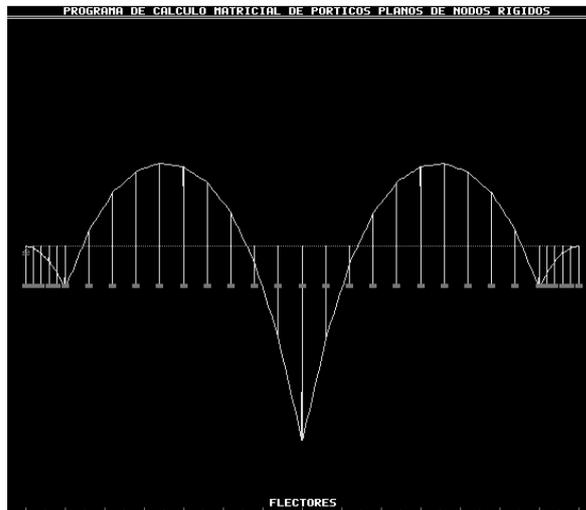
E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: VIGAS FLOTANTES**



E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**MODELOS CON RESPUESTA DEL TERRENO: VIGAS FLOTANTES**

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel

**ANÁLISIS DE PATOLOGÍA DE CIMENTACIONES****5.-COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS Y DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL.**

- Fijación de hipótesis posibles.
- Contraste con los datos para eliminar las hipótesis que no expliquen alguno de ellos
- Elaboración del diagnóstico.

**6.- SELECCIÓN DE SOLUCIONES.**

- Analizar la necesidad de la intervención.
- Analizar las ventajas e inconvenientes de la intervención.
- Estudiar en detalle los daños que la intervención producirá en la estructura.

**7.- EJECUCIÓN DE LA OBRA DE RECALCE O REFUERZO.**

- Proyecto abierto a modificaciones.
- Especial cuidado en la memoria y el pliego de condiciones.
- Seguimiento posterior incluido en el control.

E.T.S. ARQUITECTURA DE A CORUÑA – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – Juan Pérez Valcárcel



**FIN**

**INSPECCIÓN Y VALIDACIÓN DE CIMENTACIONES**