

MASTER HABILITANTE DE ARQUITECTURA

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Ignacio Valverde Espinosa
Ignacio Valverde Palacios



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



I.- INTRODUCCIÓN

- **Son muchos y variados los materiales que se utilizan en la construcción de un edificio, y el que constituye el substrato portante es uno más.** Sin embargo, a diferencia de los que empleamos para llevar a cabo el proyecto arquitectónico, en los que podemos elegir dentro de la gama que ofrece el mercado para los diferentes elementos constructivos, el material portante nos viene impuesto.
- Esta situación provoca la **necesidad de adoptar los medios necesarios para conocer las propiedades de los materiales del subsuelo**, al menos en el tramo que será afectado por las cargas transmitidas por el edificio, lo que nos permitirá establecer un **diseño adecuado de la cimentación de forma que podamos asegurar suficiente y razonablemente su estabilidad.**
- Hay casos en los que la elección de la cimentación resulta sumamente fácil, mientras que en otros es necesario un estudio profundo para decidir el modelo más adecuado como medio de conexión de la estructura y el subsuelo.
- **Es común la existencia de propiedades antitéticas entre la estructura de un edificio y el material portante;** sirva de ejemplo, quizás el más característico, **la deformabilidad** de los suelos; para que una estructura rígida no sufra daños es necesario un elemento intermedio, el cimiento adecuado, que evite el que puedan producirse asentamientos diferenciales que conlleven distorsiones angulares no admisibles para la estructura.

I.-INTRODUCCIÓN (continuación)

- La rigidez de la estructura es consecuencia de necesidades ajenas al material portante, tales como: resistencia a solicitaciones horizontales (sismo y viento), menor coste, etc., por lo que no disponemos, al menos en edificación, de estructuras que sean capaz de admitir asientos diferenciales de cierta consideración.
- En consecuencia, una vez conocidas las propiedades del subsuelo, obtenidas mediante un estudio geotécnico, en el diseño y dimensionamiento de una cimentación deben integrarse numerosos factores para llegar a la solución correcta.
- Así podemos diferenciar:

<ul style="list-style-type: none"> ■ Factores ligados al terreno: <ul style="list-style-type: none"> - Modelo estratigráfico-geotécnico. - Carga admisible por hundimiento. - Asientos previsibles. - Nivel freático. Localización y posibles oscilaciones. - Factores externos (climatología, escorrenría, sismo, etc....) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Factores ligados al proyecto: <ul style="list-style-type: none"> - Tipología de edificio. - Cargas transmitidas. - Tipo de estructura, modulación entre apoyos y máxima distorsión angular admisible. - Existencia de edificios medianeros.
--	--

I.-INTRODUCCIÓN (continuación)

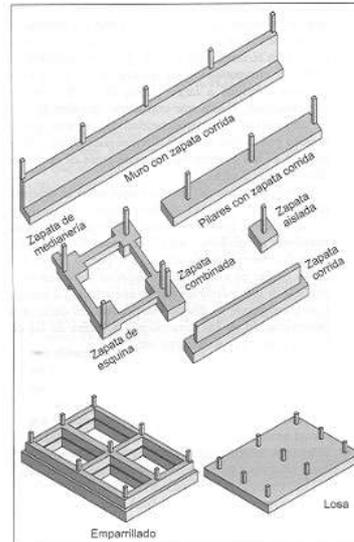
- En definitiva, el proceso para cimentar un edificio requiere las siguientes fases:
 - I.- Estudio geotécnico.
 - II.- Definición de las condiciones de cimentación.
 - III.- Proyecto de la cimentación: dimensionamiento y adecuación a la Instrucción vigente.
 - IV.- La ejecución y control del proceso.

II.-CIMENTACIONES SUPERFICIALES

- Zapatas aisladas.
- Zapatas corridas.
- Emparrillados.
- Losa.

Todas ellas son elementos de transmisión de cargas al terreno a través de superficies de apoyo considerablemente más grandes que su canto o dimensión vertical, al contrario que sucede en los pozos o pilotes.

El nivel de apoyo suele ser reducido (< 3 m), siempre referido a la cota de solera.



CIMENTACIONES SUPERFICIALES

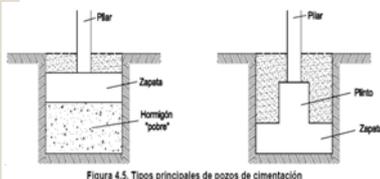
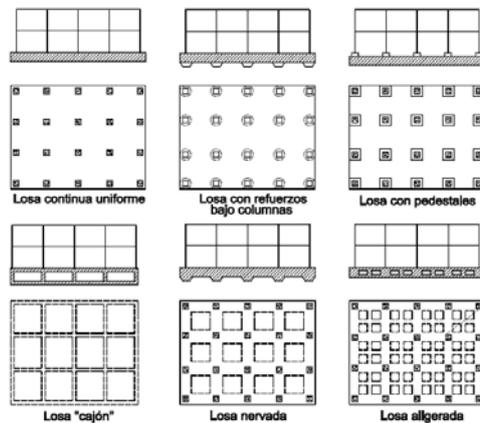


Figura 4.5. Tipos principales de pozos de cimentación



09/01/2018

- Transmitir cargas admisibles al terreno frente a rotura y frente a los asientos tolerables.
- Poseer suficiente resistencia como elemento estructural.
- Durabilidad del hormigón frente a la clase general de exposición y la específica en su caso.
- Estar protegida frente a modificaciones naturales o artificiales del entorno (heladas, cambios de volumen, variaciones del nivel freático, sismo, etc.....).

III.-BASES DE DISEÑO

Tabla nº 34. (8.2.3.a de la EHE)
Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
no agresiva		I	ninguno	- interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. - elementos de hormigón en masa	- interiores de edificios, protegidos de la intemperie
normal	humedad alta	IIa	corrosión de origen diferente de los cloruros	- interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>60%) o a condensaciones - exteriores en ausencia de cloruros, y expuestas a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600mm - elementos enterrados o sumergidos	- sótanos no ventilados - cimentaciones - tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600mm - elementos de hormigón en cubiertas de edificios
	humedad media	IIb	corrosión de origen diferente de los cloruros	- exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600mm	- construcciones exteriores protegidas de la lluvia. - tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600mm
marina	aérea	IIIa	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar - elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5km)	- edificaciones en las proximidades de la costa - puentes en las proximidades de la costa - zonas áreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral - instalaciones portuarias
	sumergida	IIIb	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	- zonas sumergidas de diques, pantanales, y otras obras de defensa litoral - cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	en zona de mareas	IIIc	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas	- zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral - zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea
con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	- instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino - superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas	- piscinas - pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve - estaciones de tratamiento de agua

Tabla n° 33, (Tabla 8.2.2, EHE)
Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
química agresiva	débil	Qa	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta.	- instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas. - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil.
	media	Qb	ataque químico	- elementos en contacto con el agua de mar. - elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media.	- dolos, bisques y otros elementos para diques. - estructuras marítimas en general. - instalaciones industriales con sustancias de agresividad media. - construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media. - instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media.
	fuerte	Qc	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida.	- instalaciones industriales, con sustancias de agresividad alta. - instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta.
con heladas	sin sales fundentes	H	ataque hielo-deshielo	- elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 90% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C.	- construcciones en zonas de alta montaña. - estaciones invernales.
	con sales fundentes	F	ataque por sales fundentes	- elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C.	- tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña.
erosión		E	abrasión cavitación	- elemento sometidos a desgaste superficial. - elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor de agua.	- pilas de puente en cauces muy torrenciales. - elementos de diques, gásterales y otras obras de defensa litoral que se encuentren sometidos a fuertes oleajes. - parámetros de homogeneidad. - tuberías de alta presión.

Clasificación de la agresividad química

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	VALOR DEL pH	6.5-5.5	5.5-4.5	<4.5
	CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /l)	15-40	40-100	>100
	IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ /l)	15-30	30-60	>60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l)	300-1.000	1.000-3.000	>3.000
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l)	200-600	600-6.000	>3.000
	RESIDUO SECO (mg/l)	75-150	50-75	<50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	>20	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /kg DE SUELO SECO)	2.000-3.000	3.000-12.000	>12.000

(*) Estas condiciones no se dan en la práctica habitual.

Tabla n° 36. (37.3.2.a EHE)

Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
máxima relación a/c	masa	0.65	--	--	--	--	--	--	0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50
	armado	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50
	pretensado	0.60	0.60	0.55	0.50	0.45	0.45	0.45	0.50	0.45	0.45	0.55	0.50	0.50
mínimo contenido de cemento (Kg/m³)	masa	200	--	--	--	--	--	--	275	300	325	275	300	275
	armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Tabla n° 37. (37.3.2.b EHE)

Resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia mínima (N/mm²)	masa	20	--	--	--	--	--	--	30	30	35	30	30	30
	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

Tabla n° 38. (37.2.4 EHE)

Recubrimientos mínimos

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN (N/mm²)	TIPO DE ELEMENTOS	RECUBRIMIENTO MÍNIMO (mm) SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN (**)										
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	
25 ≤ F _{CK} < 40	general	20	25	30	35	35	40	35	40	(*)	(*)	
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)	
F _{CK} ≥ 40	general	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)	
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	25	25	30	25	30	(*)	(*)	

(*) El proyectista fijará el recubrimiento al objeto de que se garantice adecuadamente la protección de las armaduras frente a la acción agresiva ambiental.

(**) En el caso de clases de exposición H, F o E, el espesor del recubrimientos no se verá afectado.

Tabla 43. (EHE 88.4.a)

Límite superior	Tipo de elementos estructurales		
	Estructuras que tienen elementos comprimidos (Pilares, pilas, pilotes, muros portantes, ...)	Estructuras que tienen únicamente elementos sometidos a flexión (forjados de hormigón con elementos metálicos, tableros, muros de contención, etc.)	Macizos (zapatas, estribos de puentes, bloques, etc.)
Vol. de hormigón	100 m ³	100 m ³	100 m ²
Nº de amasadas	50	50	100
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Superficie construida	500 m ²	1000 m ²	--
Nº de plantas	2	2	--

- Es preciso establecer previamente el modelo de cálculo
- Tanteos que permitan obtener la q_{adm} (q_h / F) compatible con un asiento admisible.
- Determinación de la q_{adm} para unas dimensiones aproximadas del cimiento.
- Cálculo de asientos previsibles
- Modificación de la q_{adm} si los asientos no son admisibles.

IV.-DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN ADMISIBLE

VALORES ORIENTATIVOS DE LAS PRESIONES DE TRABAJO BAJO CARGA VERTICAL ESTÁTICA (SEGUN EL CODIGO DE PRACTICA BRITANICO, BS 8004:1986)

Grupo	Clase	Tipo de roca o suelo	Presión admisible kp/cm ²	Observaciones
I. Rocas	1	Rocas ígneas o néicas sanas	100	Debe atravesarse la parte alterada
	2	Calizas y areniscas duras	40	
	3	Esquistos y pizarras	30	
	4	Argilitas y lutitas duras, areniscas blandas	20	
	5	Lutitas y argilitas blandas	6-10	
	6	Cretas y margas	6	
	7	Calizas y areniscas tableadas	—	
	8	Rocas muy fracturadas	—	
II. Suelos no cohesivos	9	Gravas o mezclas granulares compactas	>6	Cimientos de B ≥ 1 m
	10	Arenas y gravas de compacidad media	2-6	Nivel freático a una profundidad mayor que B bajo el cimiento
	11	Gravas y arenas flojas	<2	
	12	Arena compacta	>3	
	13	Arena media	1-3	
14	Arena suelta	<1		
III. Suelos cohesivos	15	Arcillas muy duras, event. con grava	3-6	Son de esperar asientos de consolidación a largo plazo
	16	Arcillas duras	1,5-3	
	17	Arcillas firmes	0,75-1,5	
	18	Arcillas y limos blandos	<0,75	
	19	Arcillas y limos muy blandos	No aplicable	

V.-PARÁMETROS DE CÁLCULO

Se establecen en base a los resultados del Estudio geotécnico.

- Suelos arcillosos y limosos cohesivos.**
 - Peso específico
 - Seco
 - Húmedo
 - Saturado
 - Sumergido
 - Humedad natural
 - Resistencia al corte sin drenaje (a corto plazo), c_u
 - Ensayo de compresión simple, $c_u = q_u / 2$
 - Correlaciones a partir de ensayos de penetración:
 - Ensayo SPT (no muy adecuado en suelos coherentes).
 - Penetrómetros dinámicos, valor de N20. Correlación con el N (SPT), según Dhalberg ($N = 25 \text{ lg } N_{20} - 15$).
 - Penetrómetros estáticos, valor de R_p (Kp/cm²) Correlación con la c_u , según Sanglerat ($c_u = R_p / 13$).
 - Vane -Test ("escisómetro"). Consiste en medir el par de torsión necesario para hacer girar cuatro placas rectangulares iguales, unidas formando diedros rectos.

Siendo:
 r , el radio del cilindro de rotura igual al ancho de una sietta.
 T , el momento resistente registrado por el aparato

- Resistencia al corte con drenaje (a largo plazo) c y ϕ (ensayos de corte o triaxiales).
 - Deformabilidad E ($\mu = 0,5$). En correlaciones empíricas o pruebas de carga (o los parámetros deducidos de los ensayos edométricos, E_{mv} , C_c

N	Consistencia	Resistencia a la compresión simple en bars.
2	muy blanda	0,25
2 - 4	blanda	0,25 - 0,50
4 - 8	media	0,50 - 1
8 - 15	rigida	1 - 2
15 - 30	muy rigida	2 - 4
más de 30	dura	4 - 8

Correlación de Terzaghi y Peck

V.-PARÁMETROS DE CÁLCULO (continuación)

Se establecen en base a los resultados del Estudio geotécnico.

- **Suelos arenosos no cohesivos.**

- Peso específico correspondiente a la humedad natural
- Grado de compactación y/o ángulo de rozamiento interno ϕ' (generalmente deducidos de correlaciones in-situ con el ensayo SPT, valores penetrométricos, etc...)
- Deformabilidad E', μ' (correlaciones empíricas análogas a las anteriores o ensayos de carga con placa) (o los parámetros deducidos de los ensayos edométricos, E_{ed}, C_c)
- Mayerhof establece la siguiente relación
 - $R_b = \mu N_s$; siendo $\mu = 4$
- Investigadores posteriores afinan el valor de $\mu = 5$ (suelos sueltos) $\mu = 3$ (terrenos densos).
- Sociedad Fanki (Brasil)
 - $\mu = 6$ (arenas arcillosas)
 - $\mu = 5$ (limos arenosos)
 - $\mu = 4$ (arcillas arenosas)
 - $\mu = 3$ (arcillas limosas)

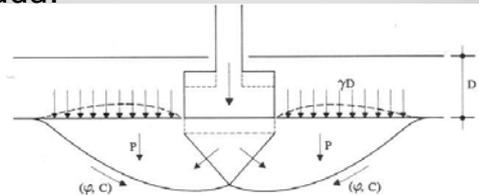
CLASIFICACIÓN DE SANGLERAT (1.967), HUNT (1984)

Suelos Cohesivos		Suelos Granulares	
Nº Golpes/30 cm	Consistencia	Nº Golpes/30 cm	Compacidad
0-2	Muy Blanda	0-4	Muy Suelta
3-5	Blanda	4-10	Suelta
6-15	Media	10-30	Media
16-25	Firme	30-50	Compacta
>25	Dura	>50	Muy compacta

Naturaleza de la arena	N (SPT)	ρ^o
muy floja	< 4	< 30
floja	4-10	30-35
compacta	10-30	35-40
densa	30-50	40-45
muy densa	> 50	> 45

V.I.-DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN ADMISIBLE POR HUNDIMIENTO

- Este tipo de rotura o fallo de una cimentación supone asentamientos importantes acompañados de giros o incluso el vuelco de la estructura sustentada.

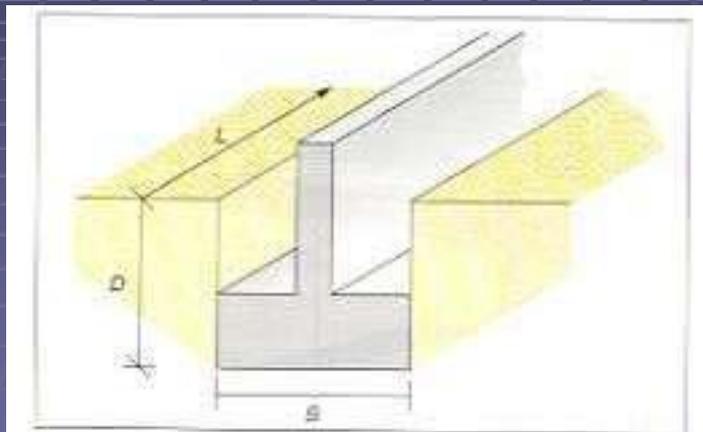


V.I.-DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN ADMISIBLE POR HUNDIMIENTO. Fórmula general

- Establece condiciones límite de equilibrio entre las fuerzas aplicadas exteriores y las desarrolladas en el terreno para contrarrestarlas.
- Posteriormente se han aplicado coeficientes correctores para tener en cuenta la:
 - Forma del cimiento
 - Excentricidad de la carga
 - Inclinación de la carga, etc...
- Para una cimentación directa en faja (indefinida en la dirección perpendicular al ancho "B" de la zapata) se suele evaluar mediante la fórmula propuesta por Terzaghi

$$Q_h(\text{bruta}) = C \times N_c + q_0 \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

GEOMETRÍA DE UNA CIMENTACIÓN DIRECTA POR ZAPATA CORRIDA



FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA					
ϕ	N_c	N_q	N_3	N_c/N_q	$\text{tg } \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.54	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19

Fig. 2.4.—Mecanismo de rotura propuesto por Terzaghi.

09/01/2018

21

CORRECCIÓN POR GEOMETRÍA DEL CIMIENTO

- Cuando la zapata no es una faja indefinida debe introducirse factores de corrección en la fórmula general para tener en cuenta los efectos tridimensionales
- Zapata cuadrada o circular:

$$Q_h(\text{bruta}) = 1,2C \times N_c + q_0 \times N_q + 0,3 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

- Zapata rectangular (BxL):

$$Q_h(\text{bruta}) = \left(1 + \frac{B}{L} \times \frac{N_q}{N_c}\right) c N_c + \left(1 + \frac{B}{L \text{tg } \phi}\right) q_0 \times N_q + 0,5 \left(1 - \frac{0,4B}{L}\right) \times B_\gamma \times N_\gamma$$

$$Q_h(\text{bruta}) = c N_c + q_0 \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

INFLUENCIA DE LA INCLINACIÓN DE LA CARGA

- Meyerhof ha propuesto para un ángulo de inclinación $\alpha = \arctg H/V$ ($H/V=0,1$)

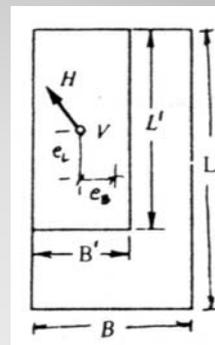
$$q_h = a \times C \times N_c + a \times \gamma \times D_f \times N_q + b \times 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$i_{c,q} = \left(1 - \frac{\arctg H/V}{90}\right)^2 = a$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\arctg H/V}{\phi}\right)^2 = b$$

INFLUENCIA DE LA EXCENTRICIDAD DE LA CARGA

- Si la carga presenta excentricidades e_B y e_L según los ejes de la zapata se deberán adoptar las siguientes dimensiones efectivas
 - $B' = B - 2e_B$
 - $L' = L - 2e_L$
- Lo que equivale a suponer que se plastifica una zona centrada con la carga, quedando descargado el resto



COEFICIENTE DE SEGURIDAD. PRESIÓN ADMISIBLE CON RESPECTO AL HUNDIMIENTO

- Para estar suficientemente del lado de la seguridad (presión alejada del hundimiento) se debe aplicar un factor de minoración a la q_h calculada.
- En el cálculo sin drenaje se emplean tensiones totales (brutas o netas) para expresar la tensión admisible.
- Práctica habitual $F=3$ sobre la q_h (bruta)

- El CTE (Ministerio de Vivienda, 2006) expresa la presión de hundimiento de una cimentación directa mediante una ecuación donde, partiendo del postulado general de Terzaghi y utilizando las teorías de Meyerhoff y Hansen, se han introducido, además de los factores de capacidad de carga, otros coeficientes correctores para considerar otros factores como, profundidad, forma en planta del cimiento, inclinación de la carga y proximidad a un talud:

$$q_h = C_k N_c d_c S_c i_c t_c + q_{0k} N_q d_q S_q i_q t_q + \frac{1}{2} B^* \gamma_k N_\gamma d_\gamma s_\gamma i_\gamma t_\gamma$$

donde:

q_h = presión vertical de hundimiento o resistencia característica del terreno R_k .

q_{0k} = presión vertical característica alrededor del cimiento al nivel de su base.

c_k = valor característico de la cohesión del terreno.

B^* = ancho equivalente del cimiento.

γ_k = peso específico característico del terreno por debajo de la base del cimiento.

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga. Son adimensionales y dependen exclusivamente del valor característico del ángulo de rozamiento interno del terreno (ϕ_k). Se denominan respectivamente factor de cohesión (N_c), de sobrecarga (N_q) y de peso específico (N_γ).

d_c, d_q, d_γ = coeficientes correctores de influencia para considerar la resistencia al corte del terreno situado por encima y alrededor de la base del cimiento. Se denominan factores de profundidad.

s_c, s_q, s_γ = coeficientes correctores de influencia para considerar la forma en planta del cimiento.

i_c, i_q, i_γ = coeficientes correctores de influencia para considerar el efecto de la inclinación de la resultante de las acciones con respecto a la vertical.

t_c, t_q, t_γ = coeficientes correctores de influencia para considerar la proximidad del cimiento a un talud.

ASIENTOS

CIMENTACIONES SUPERFICIALES. CÁLCULO DE ASIENTOS EN ARCILLAS, LIMOS Y SUELOS GRANULARES



Teorías más recientes tienden a estimar los asientos por integración de deformaciones elásticas, utilizando correlaciones con el N y el módulo de deformabilidad E, así por ejemplo tenemos el **método de Schmertmann**.

$$S = C_1 \times q \times \sum_{Z=0}^{Z_{lim}} \frac{I_{z_i}}{E_i} \times Z_i$$

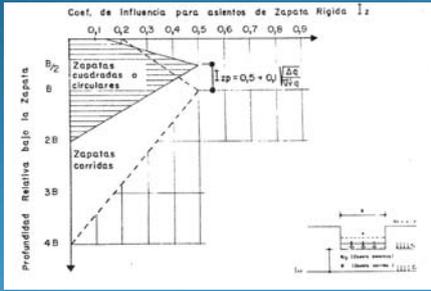
$$C_1 = 1 - 0,5 \times \frac{q'_0}{q}$$

I_z : un coeficiente de influencia dependiente de Z/B y de la forma del cimientó.
 E_i , el módulo de deformabilidad
 $E_i = 2,5 q_c$ para zapatas cuadradas y $3,5 q_c$ para zapatas corridas
 siendo q_c la resistencia a la penetración estática con cono, la cual se puede relacionar con el N (SPT) de la forma siguiente:

$Z_{lim} = 2 B$ para zapatas cuadradas.
 $Z_{lim} = 4 B$ para zapatas corridas.



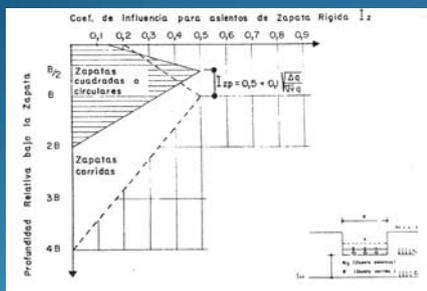
Universidad de Granada



Tipo de suelo	q_c/N (Kp/cm ²)
Arcilla blanda, turba	2
Limos	3
Arena fina limosa	3-4
Arena media	4-5
Arena gruesa	5-8
Grava	8-12

09/01/2018
29

- Por ejemplo, en el método de Schmertmann:



$$S = C_1 \times q \times \sum_{z=0}^{Z_{lim}} \frac{I_{zi}}{E_i} \Delta Z_i$$

$Z_{lim}=2B$ para zapatas cuadradas
 $Z_{lim}=4B$ para zapatas corridas
 $E = 2,5 q_c$ para zapatas cuadradas
 $E = 3,3 q_c$ para zapatas corridas
 q_c =resistencia a la penetración estática con cono, correlacionable con $N(SPT)$

Tipo de suelo	q_c/N (Kp/cm ²)
Arcilla blanda, turba	2
Limos	3
Arena fina limosa	3-4
Arena media	4-5
Arena gruesa	5-8
Grava	8-12

09/01/2018
30

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA					
ϕ	N_c	N_q	N_3	N_c/N_3	$\text{tg } \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.54	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19

09/01/2018 31

- Para el correcto funcionamiento de una edificación frente a asentamientos diferenciales, el CTE (2006) en su DB-SE-C, establece los siguientes valores límite de las distorsiones angulares admisibles en función del tipo de estructura:

Maximum angular distortion (β)		Distance between supports	
		5 m	6 m
		Maximum permitted settlements (cm)	
Limit for fissures and damage to structural elements	1/150	3.30	4.00
Limit for isostatic structures and walls	1/300	1.66	2.00
Limit for reticular structures with partition walls	1/500	1.00	1.20
Limit for prefabricated panels structures	1/700	0.71	0.85

EJEMPLO

- substrato competente: aluvial, representado por arenas, gravas, cantos y algún bolo con matriz limo-arenosa gris, existiendo intercalaciones decimétricas, predominantes en los tres primeros metros, de limos arenosos y de arenas finas y medias a modo de bolsa o lentejón.
- El citado material, según se deduce de los ensayos de campo realizados en el solar, S-1, y P-1, se ha reconocido a una profundidad en torno a 0,80 m. respecto de la rasante actual. Por tanto, teniendo en cuenta que se tiene previsto un vaciado del orden de 2,60 m., aproximadamente, éste quedará al descubierto en el plano de apoyo de la cimentación.

09/01/2018

33

- **Estudiamos la carga admisible, limitada por hundimiento y por asientos, para una solución de cimentación directa a base de zapatas aisladas.**
- A efectos exclusivamente de cálculo, establecemos un modelo que cubra con suficientes garantías las irregularidades del conjunto:

PARAMETROS	
Cohesión	$c = 0$
Ángulo de rozamiento interno	$\phi = 35^\circ$
Densidad	$\gamma = 1,8 \text{ Tn/m}^3$
S.P.T. más característico	$N = 30$

09/01/2018

34

- **Por consideración de hundimiento**

Usamos el trinomio generalizado de Terzaghi:

$$q_h = C \times N_c + \gamma \times D_f \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

Corrección por geometría del cimiento (para zapatas cuadradas)

$$q_h = 1,2 \times C \times N_c + \gamma \times D_f \times N_q + 0,3 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$q_h = 1,8 \times 1,0 \times 33,3 + 0,3 \times 1,8 \times B \times 48,03$$

$$q_h = (59,9 + 25,9B) \text{ Tn} / \text{m}^2$$

09/01/2018

35

- **Corrección por inclinación de la carga**

$$i_q = \left(1 - \frac{\arctg H / V}{90} \right)^2 = 0,88$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\arctg H / V}{\phi} \right)^2 = 0,70$$

$$q_h = (52,7 + 18,1B) \text{ Tn} / \text{m}^2$$

$$q_{adm} = \left(\frac{q_h}{3} \right) = (1,8 + 0,6 \times B) \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

09/01/2018

36

- Si introducimos “B”

CIMIENTO	PRESIÓN ADMISIBLE
1.00 x 1.00 m	2,4 Kg/cm ²
1.50 x 1.50 m	2,7 Kg/cm ²
2.00 x 2.00 m	3,0 Kg/cm ²
2.50 x 2.50 m	3,3 Kg/cm ²

09/01/2018

37

- **Estudio de asientos**

- Adoptando el método de Shmertmann:

- I_{z_i} ; un coeficiente de influencia dependiente de Z/B y de la forma del cimiento.
- E_p , el módulo de deformabilidad
- $E_i = 2,5 q_c$ para zapatas cuadradas
- $q_c/N = 4$
- $\tilde{N}=30$
- $E_i = 300 \text{ Kg/cm}^2$

$$S = C_1 \times q \times \sum_{Z=0}^{Z \text{ lim}} \frac{I_{z_i}}{E_i} \times Z_i$$

$$C_1 = 1 - 0,5 \times \frac{q'_0}{q} = 0,76$$

09/01/2018

38

- Por las irregularidades texturales que presenta el modelo geotécnico del substrato portante, al objeto de estar del lado de la seguridad limitamos el asiento total al diferencial y éste a un máximo de 1,0 cm., a fin de no superar una distorsión angular de 1/500 (considerando luces medias de 5,00 m), límite de seguridad frente a la fisuración.

09/01/2018

39

$Z_{lim} = 2 B$; $B_{max} = 2,0$; $Z_{lim} = 4 m.$

Z (m)	Z/B	I _{zi}	E _i (Kg/cm ²)	(I _{zi} /E _i) x Z _i	Z _i (cm)
0,5	0,25	0,25	300	0,08	100
1,5	0,75	0,38	300	0,13	100
2,5	1,25	0,25	300	0,08	100
3,5	1,75	0,09	300	0,03	100
				$\Sigma = 0,32$	

$$S = 0,96 \times 2,5 \times 0,32 = 0,76cm$$

Asiento admisible para una presión de 2,5 kg/cm² y un ancho máximo del cemento de 2,00 m.

09/01/2018

40