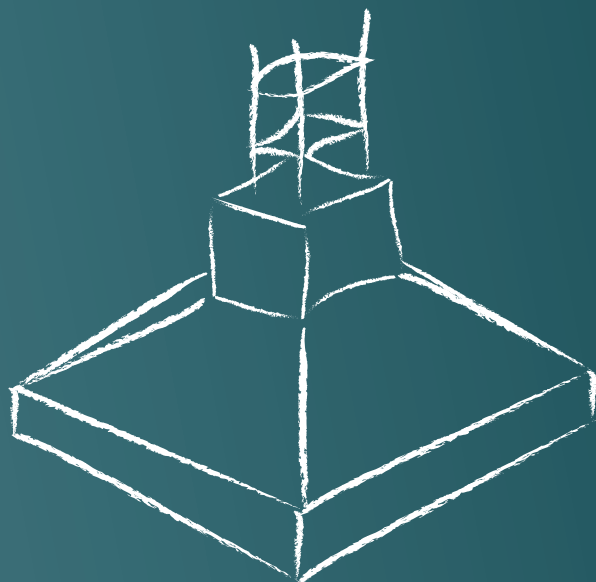


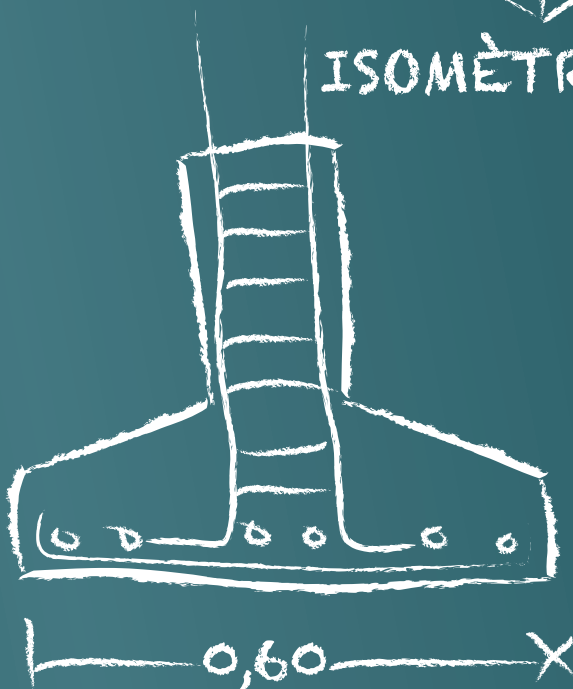
# FONAMENTACIONS EN L'ÀMBIT DE L'ENGINYERIA GEOLÒGICA

APLICACIONS EN ARQUITECTURA I ENGINYERIA CIVIL

Francisco Javier Torrijo Echarri  
Rafael Cortés Gimeno



ISOMÈTRIC



EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Francisco Javier Torrijo Echarri  
Rafael Cortés Gimeno

**FONAMENTACIONS EN L'ÀMBIT DE  
L'ENGINYERIA GEOLÒGICA**

**APLICACIONS EN ARQUITECTURA I ENGINYERIA CIVIL**

**EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Primera edició, 2011



*Esta editorial és membre de la UNE, garanteix la difusió i comercialització de les seues publicacions a nivell nacional i internacional.*

© d'aquesta edició:  
Editorial Universitat Politècnica de València  
Tel. 96 387 70 12  
[www.editorial.upv.es](http://www.editorial.upv.es)

© Francisco Javier Torrijo Echarri  
Rafael Cortés Gimeno

© de les fotografies: l'autor

Imprimeix: Diazotec, S.A.

ISBN: 978-84-8363-709-8  
Dipòsit Legal: V-2708-2011  
Ref. editorial: 813

Queda prohibida la reproducció, la distribució, la comercialització, la transformació i, en general, qualsevol altra forma d'explotació, per qualsevol procediment, de la totalitat o de part dels continguts d'aquesta obra sense l'autorització expressa i per escrit dels autors.

Imprès a Espanya

# ÍNDIX

<b>1. Introducció</b>	3
1.1. Funció i naturalesa de les fonamentacions	3
1.2. Problemes generals de les fonamentacions	6
1.3 Tipologies de fonamentació	7
1.4. Definicions. Bases de disseny	14
<b>2. Fonamentacions directes: superficials i semiprofundes</b>	15
2.1. Tipus bàsics de fonamentacions directes	15
2.2. Determinació de les tensions admissibles enfront de l'enfonsament dels sòls	20
2.3. Determinació de les tensions admissibles enfront de l'enfonsament de les roques	43
2.4. L'assentament de les fonamentacions directes. Estats límit de servei	52
<b>3. Fonamentacions profundes</b>	65
3.1. Característiques generals	65
3.2. Càrrega d'enfonsament: Generalitats	67
3.3. Càlcul de la resistència del terreny davant d'accions verticals en sòls	68
3.4. Càlcul de la resistència del terreny davant d'accions verticals en roques	91
3.5. Seguretat enfront d'enfonsament. Tensions admissibles	99
3.6. Topall estructural	102
3.7. L'assentament de les fonamentacions profundes	105
3.8. Accions especials en fonamentacions profundes	108
<b>4. Referències bibliogràfiques</b>	111



# Tema 1. Introducció

## 1.1. Funció i naturalesa de les fonamentacions

Les càrregues sobre les estructures i el seu propi pes es poden concebre en el disseny com un conjunt de forces que sempre cal transmetre o traslladar al sòl o a la roca, que es veurà afectat pels canvis d'esforç, i la resposta dels quals és el principal determinant de l'estabilitat i el funcionament de les obres.

Això s'aconsegueix per mitjà d'un *sistema de suport*, integrat per un element estructural de transició i el terreny de recolzament, que són interactuants.

Aleshores cal acceptar que per a fer la selecció i el disseny d'aquest sistema de suport s'han d'aplicar criteris de seguretat i confiança semblants als apropiats al disseny de la superestructura, com a garantia que les obres seran estables, segures i funcionals durant la seua vida útil.

El terme *fonamentació* s'usa amb una certa freqüència per identificar solament l'element estructural del sistema de suport que s'ha esmentat més amunt; però, en considerar la incidència decisiva del terreny de recolzament en el comportament de l'estructura, es pot apreciar que aquests termes no consideren degudament la transcendència de la resposta d'aquest terreny de recolzament.

No obstant això, per als propòsits de l'enginyeria de fonamentacions sembla convenient assignar al terme *fonamentació* un significat més ampli, en el sentit que tinga tota aquella part de l'obra que suporta l'estructura i l'acció de les càrregues. És a dir, que no només han de fer referència als elements estructurals de transmissió de càrregues al terreny de recolzament, sinó també a la zona del terreny que té un comportament que es veu afectat per les càrregues.

Per a relacionar de manera coherent la nomenclatura que cal utilitzar, amb el que s'ha comentat anteriorment, cal distingir *fonament* de *fonamentació*.

*Fonament* és, aleshores, la part estructural d'una fonamentació, dissenyada per servir com a element de transició entre la superestructura i el terreny de recolzament, i per adequar l'acció de les càrregues a formes tolerables per al terreny de recolzament (Delgado, 1999).

És possible d'imaginar que les càrregues es traslladen de l'estructura al terreny de recolzament en travessar el contacte entre dos medis les propietats mecàniques dels quals són gairebé sempre radicalment diferents. Per a aconseguir condicions compatibles en els esforços i deformacions, cal dissenyar el fonament o element de transició segons les propietats d'ambdós medis.

El recolzament directe d'una estructura rígida damunt del terreny de recolzament produiria deformacions excessives, probablement inadmissibles per a

l'estructura. Per a mantenir aquesta estructura en servei, caldria disposar d'un element intermedi capaç d'amortir les deformacions possibles.

Els fonaments fan aquesta funció vital, sempre que es busque el tipus més convenient, apropiat per a cada combinació particular estructura-terreny de recolzament, i es dissenyen amb l'aplicació de criteris d'ubicació i estabilitat correctes, i de conveniències constructives i econòmiques.

Per a determinar la capacitat de càrrega d'un sistema fonament-terreny de recolzament, en forma similar a la de qualsevol estructura, s'han de tenir com a normes d'ús la relativa seguretat enfront de la ruptura i la previsió de deformacions tolerables.

Respecte a això últim, cal remarcar que l'eliminació completa dels assentaments no és un objectiu necessari ni pràctic en el disseny de les fonamentacions.

Més aviat és millor afirmar que una funció essencial de la fonamentació és la d'evitar que els assentaments superen límits tolerables, fixats en considerar les condicions de funcionalitat de l'estructura i els factors estructurals, estètics i psicològics.

De vegades se selecciona un tipus de fonamentació per la seua conveniència des d'un punt de vista econòmic i constructiu, tot i que funcionalment hauria estat encertat escollir un altre tipus de fonamentació. En aquests casos, és necessari destacar solucions tècnicament atractives que poden ser poc pràctiques de construir.

La manera d'aplicar els principis teòrics a la solució dels problemes d'enginyeria de fonamentacions és especial i característica d'aquesta àrea, perquè les deduccions matemàtiques en les teories i els resultats experimentals no poden aplicar-se al disseny sense un examen rigorós de la seua validesa.

Les solucions que donen les teories per a condicions idealitzades han d'adaptar-se per a fer-les compatibles amb les condicions reals del terreny, notablement complexes. Com a conseqüència d'això, els resultats dels càlculs poden no tenir la precisió esperada i, fins i tot, arribar a constituir simples estimacions o ordres de magnitud que gairebé no conserven el valor d'indicatius de les condicions límits probables.

Cal esmentar, a més, que és perillós cedir a la sensació d'exactitud aparent que donen les solucions obtingudes mitjançant l'ajuda de la informàtica.

Quan hi haja motius, d'estabilitat o econòmics, per a millorar l'exactitud de les anàlisis, no s'ha de perdre de vista que això por requerir, entre altres accions:

- Programar investigacions detallades del subsòl per verificar o mesurar amb més precisió i certesa els paràmetres de disseny.
- Canviar l'enfocament de les anàlisis.
- Fer verificacions per mètodes alternatius.
- Calibrar els paràmetres i els models de les anàlisis per mitjà de mesuraments en l'obra.
- Efectuar comparacions amb obres similars construïdes amb èxit.

Tots els conceptes anteriors s'han de tenir molt presents en el moment de prendre decisions de disseny i de formular les accions que conduïsquen a la seua verificació i control en l'obra.

Un progrés efectiu en els coneixements demana, a més a més del domini de les disciplines bàsiques, un cert desenvolupament de l'habilitat, el criteri i l'experiència, que s'aconsegueix mitjançant la pràctica en la solució de problemes reals.



## **1.2. Problemes generals de les fonamentacions**

Ja hem comentat anteriorment que el comportament del terreny controla amb freqüència el de la fonamentació. Tots els sòls, excepte els que són excepcionalment durs o compactes, o els materials rocosos d'excel·lent qualitat, són compressibles, és a dir, susceptibles de sofrir, sota l'acció de les càrregues que se'ls apliquen, deformacions apreciables.

Aquestes deformacions han de ser de tal manera que, durant la construcció d'una obra, o en produir-se l'aplicació de les sobrecàrregues de servei, els assentaments o distorsions del suport que es produïsquen no siguin de magnitud nociva per a l'estabilitat de l'obra ni puguin deteriorar la seua utilitat.

Els terrenys de fonamentació de vegades estan formats per capes heterogènies que poden donar lloc a assentaments diferencials, igualment nocius. De vegades aquestes capes estan inclinades, circumstància que pot originar lliscaments del terreny sota l'acció de les càrregues imposades per l'obra.

A més, l'aigua que hi ha al terreny incideix de moltes maneres en el comportament de les fonamentacions. Per exemple, pot generar subpressions que requerisquen una consideració en el càlcul de l'estabilitat de l'obra, i l'acció erosiva de corrents d'aigua pot desestabilitzar els sòls que han de ser de suport en les fonamentacions.

Perquè una fonamentació funcione satisfactòriament sota l'acció desfavorable de combinacions de les condicions descrites, cal seleccionar el nivell adequat per a la base de la fonamentació, després d'haver determinat un tipus adequat de fonamentació.

No obstant això, no s'ha d'oblidar que l'aprofundiment de la fonamentació fa més delicats els processos constructius i el seu projecte, i poden resultar particularment difícils si es troben en capes aquíferes subterrànies o sòls inestables sota el nivell freàtic. Conseqüentment, aquest fet augmentarà els costos i terminis d'execució. Les obres de fonamentació encara són més difícils quan cal fer-les sota un nivell de cossos d'aigua (rius, llacs o mars).

L'estudi dels procediments de construcció en cada cas demana buscar una solució satisfactòria des del punt de vista tècnic però de cost admissible, cosa que pot arribar a ser complex i delicat.

## 1.3. Tipologies de fonamentació

### 1.3.1. Introducció

El terreny portant es pot concebre com la capa o conjunt de capes del terreny de recolzament subjacent que rep en forma primordial l'acció de les càrregues de l'estructura per mitjà dels fonaments.

La selecció correcta és un requisit primari per a aconseguir un comportament satisfactori de la fonamentació, i la seua ubicació en profunditat controla el seu funcionament i disseny.

Els conceptes que ací es tracten són útils en la fase de recerca de solucions de fonamentació i en el seu procediment. La selecció final i el disseny requereixen l'ús dels mètodes analítics tractats en els capítols d'aquest text dedicats a la capacitat portant i els assentaments en les fonamentacions.

És el costum, segons la posició del terreny portant, classificar les fonamentacions en *superficials*, *semiprofundes* i *profundes*. Aquesta classificació aplicada a la pràctica pot resultar convencional, ja que els criteris de diferenciació no poden fer-se prou precisos i generals perquè no es presenten casos ambigus. És natural que no siga factible definir una frontera estricta de delimitació.

En l'actualitat, les fonamentacions es construeixen normalment de formigó armat, tot i que també s'han utilitzat els materials més diversos.

### 1.3.2. Fonamentacions superficials

Entenem per fonamentació superficial la que té un pla o nivell inferior que no dista gaire de la superfície del terreny si ho comparem amb l'amplada o la dimensió mínima d'aquesta.

En aquestes fonamentacions la transmissió de càrregues al terreny es fa a través de superfícies de recolzament considerablement més grans que el seu caire o dimensió vertical.

Hi ha diversos tipus de fonamentacions superficials:

- *Sabates aïllades*: són característiques d'edificis o estructures sostingudes per pilars (figura 1).

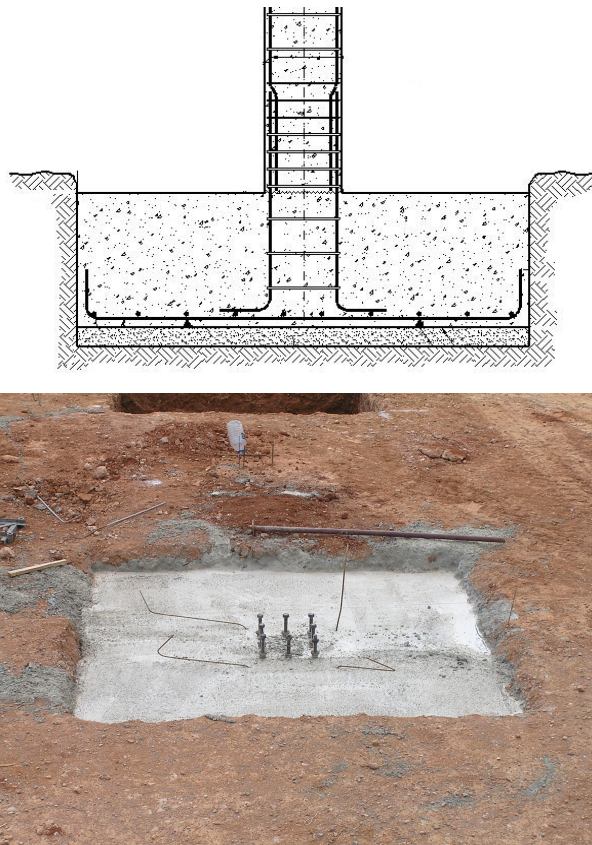


Figura 1. Esquema (imatge de dalt) i fotografia (imatge de baix) d'una sabata aïllada.

Si tenen més d'un pilar, s'anomenen sabates combinades. Si estan unides per mitjà de bigues, constitueixen sabates de riosta (figura 2).

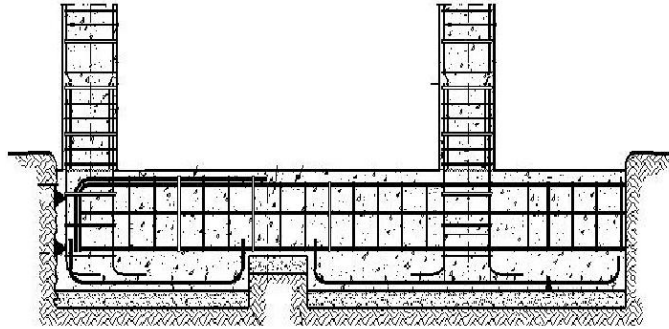


Figura 2. Esquema de sabates de riosta.

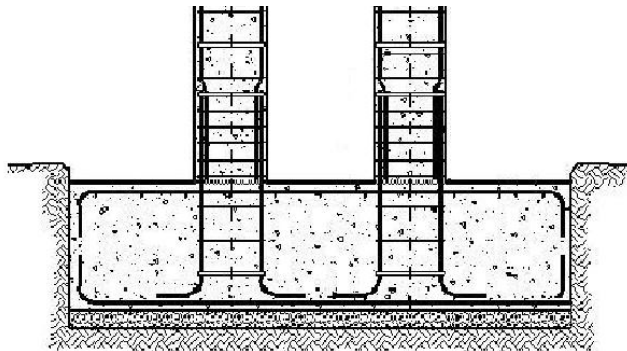
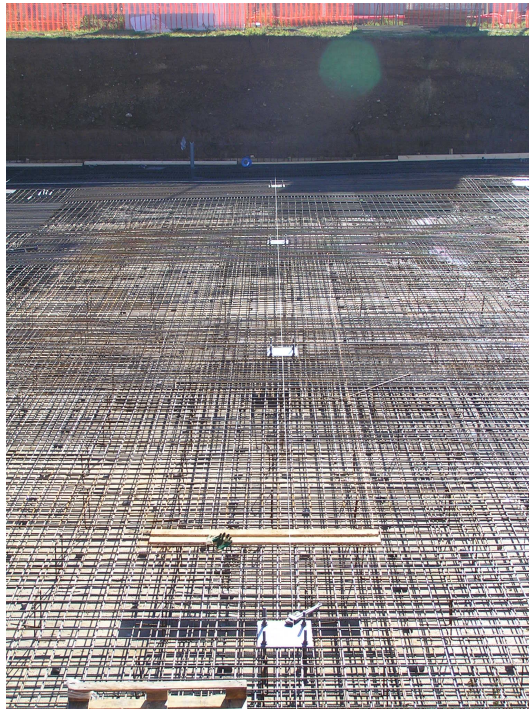


Figura 3. Esquema (imatge de dalt) i fotografia (imatge de baix) d'una biga de fonamentació.

- *Sabates contínues sota pilars* (bigues de fonamentació): s'utilitzen en terrenys de capacitat portant que no permeten sabates aïllades, o bé si es volen homogeneïtzar assentaments, i en altres ocasions per raons de tipus constructiu (figura 3).
- *Lloses*: ocupen una part important o tota la planta de l'edifici o estructura, i són habituals en terrenys de baixa capacitat portant per a fonamentacions aïllades o bigues corregudes.



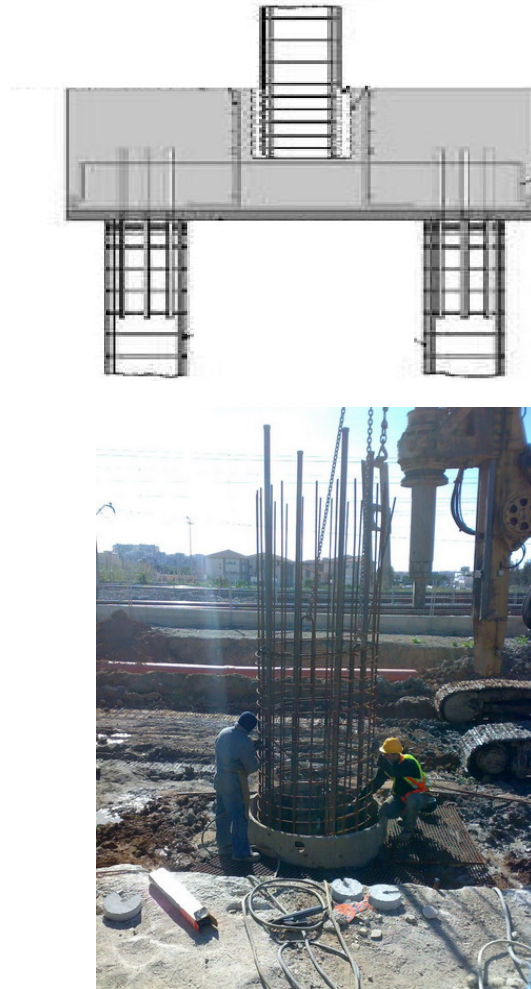
**Figura 4. Fotografia d'una losa de repartiment de càrregues.**

Encara que també es pot adoptar una solució de losa de fonaments per altres motius, com ara que l'àrea ocupada per sabates ocupe una superfície molt important (>50% de la planta de l'edifici), que es requereix un soterrani o un recinte estanc sota el nivell freàtic, si es vol reduir la influència d'heterogeneïtats al terreny, etc. (figura 4).



### 1.3.4. Fonamentacions profundes

Les fonamentacions profundes són aquelles en què les càrregues es transmeten al terreny a una certa profunditat. El procediment més habitual de fonamentacions profundes és per mitjà de pilons, que són elements de fonamentació de forma allargada i de longitud superior a 8 vegades la seua dimensió menor (figura 6).



**Figura 6. Esquema (imatge de dalt) i fotografia (imatge de baix) d'una fonamentació profunda.**

La raó més freqüent per a adoptar una solució d'aquest tipus és la presència de materials poc resistents a prop de la superfície del terreny, tot i que n'hi poden haver d'altres, que s'esmentaran posteriorment.

Els pilons poden ser clavats prefabricats o formigonats in situ.



## 1.4. Definicions. Bases de dissenys

La càrrega (o tensió) d'enfonsament ( $q_n$ ) d'una fonamentació és la tensió vertical per a la qual el terreny esgota la seua resistència al tall.

La càrrega (o tensió) admissible ( $q_{ad}$ ) és aquella per a la qual hi ha un coeficient de seguretat adequat contra l'enfonsament.

En la pràctica habitual se sol adoptar un coeficient de seguretat  $F=3$  per a estructures permanents. Per a condicions provisionals o per a la fonamentació d'obres de terra (terraplens, etc.), es poden usar coeficients menors.

Per al valor de càrrega admissible del terreny amb el qual es dimensionen les fonamentacions, els assentaments que es produïsquen han de ser tolerables.

Qualsevol fonamentació, perquè estiga dissenyada correctament, ha de complir les condicions següents:

- Transmetre al terreny les càrregues de l'estructura i garantir una seguretat suficient enfront de la ruptura i l'enfonsament, i unes deformacions o assentaments tolerables.
- Tenir prou resistència com a element estructural.
- No estar afectada per agents externs: naturals (agressivitat de les aigües o del terreny, modificacions del nivell freàtic, canvis de volum del terreny, etc.) o artificials (excavacions pròximes, etc.).
- Les fonamentacions s'han de dimensionar i construir de manera que no es produïsquen danys en estructures o edificacions pròximes.

**Para seguir leyendo haga click aquí**