

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

LES TESIS DOCTORALS
NO ES PODEN FOTOCOPIAR,
PER DISPOSICIÓ LEGAL.

	ARRIBEN FINS A LA SUPERFICIE	QUEDEN ENTERRATS	LINEALS	SUPERFICIALS	DE VOI

ANCORATGES PASSIUS D' ESTRUCTURES TRACCIONADES

tesi que presenta per l'obtenció del títol de Doctor en

JOSEP IGNASI DE LLORENS I DURAN

ESCOLA TECNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE BARCELONA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

1986

LES TESIS DOCTORALS
NO ES PODEN FOTOCOPIAR,
PER DISPOSICIÓ LEGAL.

INDEX

INDEX

1.- RESUM	1
2.- INTRODUCCIO	9
3.- DEFINICIONS I LIMITS	13
4.- ANTECEDENTS. APLICACIONS. EXEMPLES	17
4.1.- Antecedents:	18
4.1.1.- Ancores marines	20
4.1.2.- Enginyeria	22
4.1.3.- Edificació	25
4.2.- Aplicacions i exemples	32
4.2.1.- Edificació	32
a.- cobertes tibades	32
b.- cobertes inflades	42
c.- cases mòbils	45
d.- ancoratge de fonaments	46
e.- ancoratge de lloses	46
f.- arriostament provisional i definitiu	47
4.2.2.- Enginyeria civil	50
4.2.3.- Transport d'energia i telecomunicacions	59
4.2.4.- Enginyeria militar	71
4.2.5.- Salvament	78
4.2.6.- Esports	78
4.2.7.- Agricultura i ramaderia	79
4.2.8.- Pesca	83
4.2.9.- Transports	85
5.- TIPOLOGIA	86

R-7- LLORENS



Reg. 23.015

ÍNDEX

6.- ANALISI DEL COMPORTAMENT	89
6.1.- Aspectes generals	91
6.1.1.- Mecanismes resistents	92
6.1.2.- Relació entre càrrega i desplaçament	97
6.1.3.- Superfícies de trencament	100
6.1.4.- Distribució de tensions	106
6.2.- Característiques de l'ancoratge	113
6.2.1.- Tipus i forma	113
1) Efecte del contorn	113
2) Efecte de la curvatura	125
3) Placues i Pilots	126
4) Eixamplaments	131
5) Afusament	141
6.2.2.- Grandària	143
1) Càrrega d'arrencament	143
2) Profunditat crítica	145
3) Pressió límit	146
4) Factor de forma	152
5) Desplaçaments	153
6.2.3.- Profunditat	153
6.2.4.- Inclinació (càrrega axial)	161
6.2.5.- Rugositat	168
6.2.6.- Rigidesa	172
6.2.7.- Efecte de grup	174
6.3.- Característiques del sòl	185
6.3.1.- Tipus	185
6.3.2.- Densitat	189
6.3.3.- Angle de fricció	192
6.3.4.- Cohesió	194
6.3.5.- Adherència	195
6.3.6.- Rigidesa, compressibilitat	195
6.3.7.- Estat inicial de tensions i pre-consolidació	197
6.3.8.- Humitat, nivell freàtic	201
6.3.9.- Succió	207

ÍNDEX

6.4.- Característiques de la càrrega	209
6.4.1.- Magnitud	209
6.4.2.- Duració	210
6.4.3.- Repetició	219
6.4.4.- Inclinació (respecte a l'ancoratge)	224
6.4.5.- Excentricitat	232
6.5.- Característiques del procés constructiu	233
6.5.1.- Col·locació de l'ancoratge	233
1) Mètodes de desplaçament	234
2) Mètodes d'extracció	238
3) Excavació amb llots	240
4) Abocat del formigó	242
5) Injecció a pressió	242
6.5.2.- Estirada prèvia	245
7.- METODES D'AVUACIO	247
7.1.- Antecedents	247
7.1.1.- L'ancoratge per gravetat	248
7.1.2.- La superfície cònica	248
1) Teoria clàssica	257
2) Superfície tòrica	261
3) Superfícies curvilínies	264
7.1.3.- La superfície cilíndrica	264
1) Teoria clàssica	270
2) Formulació de Meyerhof & Adams	277
7.1.4.- Expansió de cavitats a l'interior del sòl	282
7.2.- Efecte placa	283
7.2.1.- Sòls granulars	285
7.2.2.- Sòls coherents	292
7.2.3.- Mètode empíric de Das	296
7.2.4.- Avaluació de l'alçament	297
7.3.- Efecte fust	306
7.4.- Efecte directa de l'empenta	

ÍNDEX

7.5.- Superposició d'efectes	319
7.5.1.- Càrrega inclinada sobre pilots verticals	319
7.5.2.- Pilots inclinats	331
7.5.3.- Pilots inclinats sotmesos a càrrega no coplanaria	332
7.5.4.- Pous i pilots eixamplats	333
7.6.- Correccions i comprovacions	336
7.6.1.- Factor de forma	336
7.6.2.- Inclinació de l'ancoratge (càrrega axial)	337
7.6.3.- Rugositat	338
7.6.4.- Efecte de grup	338
7.6.5.- Dilatància	340
7.6.6.- Humitat, immersió i succió	341
7.6.7.- Duració de la càrrega	342
7.6.8.- Repetició	346
7.6.9.- Inclinació de la càrrega (respecte a l'ancoratge)	349
8.- DISSENY	357
8.1.- Informació prèvia	359
8.1.1.- Estructura a ancorar	359
a) càrregues. Tipus i magnitud	359
b) moviments admissibles	360
8.1.2.- Sòl	361
8.1.3.- Requeriments de l'ancoratge	375
8.1.4.- Mitjans disponibles	377
8.2.- Estudi comparatiu	377
8.2.1.- Elecció del tipus	380
8.2.2.- Elecció de la profunditat	385
8.2.3.- Avaluació de l'eficàcia	385
8.2.4.- Comparació d'ancoratges lleugers	386
8.3.- Predimensionat	389
8.4.- Càlcul. Resum general de formulació	389
8.4.1.- Efecte placa	389
8.4.2.- Efecte fust	393
8.4.3.- Efecte de l'empenta lateral	397

ÍNDEX

8.4.4.- Superposició de l'efecte placa amb l'efecte fust	399
8.4.5.- Superposició de l'efecte fust amb el de l'empenta lateral	402
8.4.6.- Programes de càlcul	402
8.4.7.- Correccions	403
8.4.8.- Coeficients de seguretat	404
8.4.9.- Mètodes empírics	405
9.- CONSTRUCCIO	406
9.1.- Mètodes de col.locació	407
9.2.- El clavat i la vibració	408
9.3.- L'excavació i el reblert	411
9.4.- L'estirada prèvia	412
9.5.- Control	415
10.- CONCLUSIONS	427
11.- AGRAIMENTS	
<u>ANNEXES</u>	
ANNEX 1: FITXES	
ANNEX 2: RECALL D'ASSAIGS	
ANNEX 3: NOTACIO, UNITATS, EQUIVALENCIES	
ANNEX 4: PROGRAMES DE CALCUL	
ANNEX 5: BIBLIOGRAFIA	

100	100
101	101
102	102
103	103
104	104
105	105
106	106
107	107
108	108
109	109
110	110
111	111
112	112
113	113
114	114
115	115
116	116
117	117
118	118
119	119
120	120
121	121
122	122
123	123
124	124
125	125
126	126
127	127
128	128
129	129
130	130
131	131
132	132
133	133
134	134
135	135
136	136
137	137
138	138
139	139
140	140
141	141
142	142
143	143
144	144
145	145
146	146
147	147
148	148
149	149
150	150
151	151
152	152
153	153
154	154
155	155
156	156
157	157
158	158
159	159
160	160
161	161
162	162
163	163
164	164
165	165
166	166
167	167
168	168
169	169
170	170
171	171
172	172
173	173
174	174
175	175
176	176
177	177
178	178
179	179
180	180
181	181
182	182
183	183
184	184
185	185
186	186
187	187
188	188
189	189
190	190
191	191
192	192
193	193
194	194
195	195
196	196
197	197
198	198
199	199
200	200



100	100
101	101
102	102
103	103
104	104
105	105
106	106
107	107
108	108
109	109
110	110
111	111
112	112
113	113
114	114
115	115
116	116
117	117
118	118
119	119
120	120
121	121
122	122
123	123
124	124
125	125
126	126
127	127
128	128
129	129
130	130
131	131
132	132
133	133
134	134
135	135
136	136
137	137
138	138
139	139
140	140
141	141
142	142
143	143
144	144
145	145
146	146
147	147
148	148
149	149
150	150
151	151
152	152
153	153
154	154
155	155
156	156
157	157
158	158
159	159
160	160
161	161
162	162
163	163
164	164
165	165
166	166
167	167
168	168
169	169
170	170
171	171
172	172
173	173
174	174
175	175
176	176
177	177
178	178
179	179
180	180
181	181
182	182
183	183
184	184
185	185
186	186
187	187
188	188
189	189
190	190
191	191
192	192
193	193
194	194
195	195
196	196
197	197
198	198
199	199
200	200

1.- RESUM

En edificació, els cassos en que es fa necessari ancorar un esforç de tracció al sòl són molt nombrosos. Una solució és la que proporciona els ancoratges passius, sense pretensat permanent que es desplacen més que els actius però presenten menys problemes de relaxament i durabilitat i requereixen una tecnologia més senzilla. Per altra banda, els moviments poden ser compatibles amb l'estructura traccionada, es poden recuperar amb els dispositius de connexió o utilitzar procediments constructius que els redueixen.

La informació i els coneixements disponibles relatius als ancoratges passius són parcials i dispersos i l'experimentació disponible és difícil de localitzar. Per això l'objectiu principal d'aquesta tesi és la d'ajudar al projectista contribuint a l'aportació d'un mètode de disseny. Es tracta principalment del comportament dels ancoratges passius sotmesos a càrrega ràpida, permanent o repetida en sòls granulars, coherents o de transició.

Antecedents

Hi han molts antecedents històrics de la utilització d'ancoratges passius. Al món vegetal hi trobem les arrels i en el de la construcció, l'ancoratge de les tendes dels pobles nòmades com el Tabernacle, la jaima i les dels exèrcits romans. L'enginyeria civil també hi ha recorregut per ancorar vaixells i per manipular objectes voluminosos i la militar en les màquines de guerra per assaltar els castells i atacar l'enemic. Posteriorment van apareixer el circ i l'envelat, grans membranes tensades ancorades amb estacues i morts.

Aplicacions

Les aplicacions actuals són nombroses. En edificació, s'ancoren les cobertes tibades i inflades, les cases mòbils, els fonaments i les lloses sotmesos a alçament per flotació o tracció i els arriaments provisionals o definitius de construccions lleugeres o prefabricades, grúes i mitjans pesats d'elevació. L'enginyeria civil utilitza ancoratges en ponts, cables submarins, plataformes marines, proves de càrrega, murs de conteniment, torres d'alta tensió, pals de telèfon, antenes i conductes submergits. L'enginyeria militar ho fa per les tendes de campanya, les membranes d'aterratge, les armes i l'ancoratge d'avions i de vaixells. També s'utilitzen en operacions de rescat, esports, agricultura, ramaderia, pesca i per la infraestructura d'alguns mitjans de transport.

Tipologia

Els ancoratges passius es poden classificar en dos grans grups segons arribin a la superfície o es quedin enterrats.

Els ancoratges que arriben fins a la superfície són els pilots, les estaques, els ganxos, les barres injectades, les palplanxes, les pantalles, els pous i els blocs superficials. Es caracteritzen per la mobilització de l'efecte fust i de l'empenta lateral, encara que amb eixamplaments poden mobilitzar també l'efecte placa.

Els ancoratges que queden enterrats són els troncs, els tubs, les plaques, les hèlices i els blocs fondos. Es caracteritzen per la mobilització de l'efecte placa, encara que amb cantell poden mobilitzar també l'efecte fust.

No tots els tipus esmentats estan disponibles perquè la indústria no els proporciona. Fora interessant que subministrés elements d'ancoratge prefabricats tals com hèlices, plaques i ganxos i també mitjans senzills d'excavació d'eixamplaments pels pous, les barres injectades i els pilots.

Comportament

El comportament dels ancoratges passius està condicionat per les característiques de l'ancoratge, el sòl, la càrrega i el procés constructiu. Es basa en els efectes resistents de placa, fust, pes propi i de l'empenta lateral, que acostumen a combinar-se segons el tipus d'ancoratge i la situació. La corba càrrega-moviment presenta una primera fase més rígida quasi lineal. Després es corba progressivament fins que es produeix la càrrega màxima i una disminució de la resistència fins a la fallida que indica el relaxament progressiu de les tensions sobre la superfície de trencadura. En el moment de la separació només actuen el pes propi de l'ancoratge i del sòl alçat.

La trencadura es produeix sobre una superfície que depèn del tipus d'ancoratge, la profunditat i el pes unitari del sòl. Els ancoratges que queden enterrats mobilitzen un volum de sòl que s'escampa fins a l'exterior si la profunditat de col·locació no supera un valor crític a partir del qual la superfície lliure ja no participa en el trencament. En canvi, els ancoratges que arriben fins a la superfície prolonguen sempre la trencadura fins a l'exterior.

Les característiques de l'ancoratge que influeixen en el comportament són el tipus, la forma, la grandària, la profunditat, la inclinació, la rugositat, la rigidesa i l'efecte de grup.

Les característiques del sòl que influeixen en el comportament són el tipus, la densitat, l'angle de fricció, la cohesió, l'adherència, la compressibilitat, l'estat inicial de tensions, la pre-consolidació, la humitat i el nivell freàtic.

Les característiques de la càrrega que influeixen en el comportament són la magnitud, la duració, la repetició, la inclinació i la excentricitat.

Les característiques del procés constructiu que influeixen en el comportament són els mètodes de col·locació d'extracció o desplaçament, l'excavació amb llots, l'abocat del formigó, la injecció a pressió i l'estirada prèvia.

Mètode de disseny

Els ancoratges passius es poden dissenyar a partir de la informació prèvia relativa a les càrregues, els moviments admissibles, les característiques del sòl, els ancoratges i els mitjans disponibles per la col·locació.

A la vista d'aquesta informació es selecciona un tipus que es predimensiona i calcula efectuant les comprovacions i correccions necessàries per tal d'assolir el comportament esperat.

Caldrà completar el projecte amb els detalls, les especificacions, l'amidament i la valoració.

De l'estructura a ancorar interessen les càrregues i els moviments admissibles comptant amb que és possible recórrer a dispositius constructius que recuperin els desplaçaments. Les càrregues poden ser ràpides (sense drenatge), cícliques o permanents. És habitual que les càrregues permanents representin un percentatge inferior a la meitat de les altres.

Del sòl situat a les proximitats de l'ancoratge interessen el tipus, pes unitari, cohesió, adherència, angle de fricció interna i amb el fonament i els coeficients d'empenta passiva i a l'arrencament. També poden ser necessaris en alguns casos el coeficient de reacció horitzontal, la humitat, el grau de saturació, la permeabilitat, l'estat de la superfície, la geladicitat i l'expansivitat.

Dels ancoratges disponibles interessen el material, mètodes de col·locació, sòls indicats, característiques geomètriques, pes, profunditats recomanables, resistència i eficàcia. També pot resultar interessant conèixer l'existència d'ancoratges prefabricats de tipus industrial, la possibilitat de fer-los expressament i de recuperar objectes que els puguin substituir. Es completarà aquesta informació amb la relativa als mitjans de transport, les distàncies, l'accessibilitat del tall i la maquinària utilitzable per col·locar els ancoratges, excavar i formigonar.

Per l'elecció del tipus es pot recórrer a un estudi comparatiu com el que es presenta en aquest treball, que es pot completar amb la valoració econòmica de cada solució.

Pel predimensionat es poden utilitzar les dades que subministren els industrials, les corbes presentades en aquest treball, la utilització simplificada de les fórmules dels mètodes d'avaluació i els resultats dels assaigs disponibles.

Els mètodes existents d'avaluació de la resistència són nombrosos però es refereixen a cassos particulars. Els més utilitzats són el del frust de con invertit i el de la superfície cilíndrica. Proporcionen valors semblants als observats quan la superfície de trencadura real s'aproxima a la de càlcul i s'utilitzen estimacions adequades de les propietats dels sòls.

Per tal de generalitzar-los, es proposa avaluar els quatre efectes resistents per separat, tenint en compte les interferències entre els efectes placa, fust i de l'empenta lateral.

L'efecte placa a profunditats superiors a la crítica es pot considerar equivalent al d'un fonament superficial amb la càrrega dirigida cap a baix.

Al disminuir la profunditat cal corregir els factors de capacitat de càrrega que pels sòls granulars varia amb l'angle de fricció i pels sòls coherents amb la cohesió. Aquestes correccions s'han deduït de l'observació dels resultats de l'experimentació disponible.

L'efecte fust es pot avaluar amb la teoria cilíndrica considerant l'efecte de la profunditat (que incrementa la pressió vertical fins a un valor màxim), el material i la col·locació, que modifiquen a l'empenta, l'adherència i la fricció. Es proposen els valors deduïts de l'observació dels resultats de l'experimentació disponible.

La resistència bàsica de l'ancoratge sotmès a càrrega ràpida, calculada a partir de la contribució dels quatre efectes resistents s'ha de corregir per tenir en compte l'efecte de la forma, la inclinació, de grup, el nivell freàtic, la permanència de la càrrega i la repetició. Aquestes correccions s'han deduït de l'experimentació disponible.

L'avaluació dels desplaçaments es pot realitzar amb la teoria de l'elasticitat si l'ancoratge està sotmès a càrregues moderades. També s'utilitza el mètode dels elements finits, que permet considerar la plastificació progressiva i la desvinculació de les cares traccionades. També es poden utilitzar mètodes empírics basats en observacions de laboratori i de camp, en veritable magnitud.

Construcció

Els ancoratges es poden col·locar amb mètodes de desplaçament o extracció. Ambdós modifiquen l'angle de fricció de la superfície de contacte, el valor de l'empenta, l'adherència i la densitat. Els mètodes de desplaçament poden millorar-los perquè produeixen compactació, però els d'extracció els empitjoren perquè descomprimeixen el sòl.

Els engrael·lats, les plaques i els blocs enterrats requereixen reblert de les terres que han de resistir l'arrencament. Perquè no es debilitin cal compactar curosament el reblert, excavar desde sota el contorn perimetral o retrassar l'aplicació de la càrrega tot i esperant l'efecte de la consolidació.

Per consumir la deformació inicial es pot recórrer a l'estirada prèvia o pretensat no permanent. Les plaques clavades o vibrades ho requereixen per tal de completar la col·locació.

Aportacions

La contribució d'aquest treball al coneixement dels ancoratges passius consisteix bàsicament en:

- la formulació d'una tipologia basada en els ancoratges existents.
- l'anàlisi pormenoritzat del comportament.
- l'exposició del mètode de disseny adaptat als requeriments particulars dels ancoratges passius.
- l'estudi comparatiu de les característiques bàsiques de cada tipus.
- les corbes de disseny.
- el mètode d'avaluació basat en els quatre efectes resistents, tenint en compte les interferències recíproques i els valors de l'experimentació disponible.
- la proposta d'utilitzar en edificació ancoratges procedents de l'enginyeria civil i militar dels que s'informa ampliament.
- Es subministren a més en els Annexes, les fitxes informatives pormenoritzades de cada tipus, una bona part de l'experimentació disponible, el llistat dels programes de càlcul i una bibliografia.

2.- INTRODUCCIÓ

La connexió d'un edifici amb el subsòl es resol habitualment a través de la fonamentació.

En el cas en que les càrregues es dirigeixen cap a baix, l'entrega es pot resoldre per superposició, ja que els esforços de compressió tendeixen a acostar els materials que s'han posat en contacte. En canvi, la utilització de materials lleugers i d'estructures traccionades modifica substancialment aquest plantejament. Les càrregues estiren del sòl en lloc de dirigir-s'hi. El fonament pot equilibrar-les per sí mateix, amb el seu pes, o bé pot aguantar-les involucrant al terreny perque actui de reacció. Per aconseguir-ho es pot recórrer a dos tipus bàsics d'ancoratge, que són:

- els ancoratges actius, de cables injectats i pretensats que pre-comprimeixen el sòl. Les forces exteriors s'equilibren descomprimint-lo, sense que la tensió ni la deformació del cable tot just varin, mentre no es sobrepassi la força del pretensat.
- els ancoratges passius que només entren en càrrega si s'aplica la força exterior. La càrrega es transmet al sòl circumdant a costa de deformar-lo originant desplaçaments apreciables del conjunt.

L'estudi dels ancoratges actius ha estat molt desenvolupat al servei de les obres hidràuliques primer i les excavacions després.

En canvi els passius no han sigut objecte de tanta atenció ja que mobilitzen la resistència del sòl al tall, molt inferior a la de compressió, i per tant no resisteixen fàcilment càrregues tan elevades sense produir desplaçaments importants. Per això el seu coneixement ha quedat relegat quasi sempre a l'experiència acumulada per sistemes empírics heredats. Malgrat tot són nombrosos els casos en que proporcionen una bona solució, ja que els problemes de relaxament i durabilitat dels ancoratges actius i la tecnologia que requereixen, els fan desproporcionats per a moltes aplicacions. Per altra banda, cal considerar que moltes de les estructures a ancorar són compatibles amb els moviments produïts pels fonaments i que es poden utilitzar dispositius que els recuperen o tipus d'ancoratge i procediments constructius que els redueixen.

Per la utilització dels ancoratges passius a les estructures traccionades es disposa doncs de coneixements dispersos i incomplets, moltes vegades insuficients i relatius a casos particulars no sempre extrapolables.

Aquesta situació propicia la utilització insegura dels pocs mitjans coneguts fora del seu àmbit i per tant penalitzats amb coeficients de seguretat elevats o fomenta la posició conservadora d'ancorar a base de pes propi sense comptar amb la participació de les terres circumdants.

Les últimes recomanacions de disseny d'estructures inflades, per exemple (IASS, 1985), només accepten l'avaluació de la resistència en base a proves realitzades en obra, amenys que es compti solament amb el pes propi.

El fonament estirat té a més l'inconvenient psicològic i pràctic de treballar cap a l'exterior, en contrast amb el fonament tradicional a compressió, que com més treballa, més s'esfonsa i en molts casos, més augmenta la resistència.

Aquesta tesi pretén ajudar al projectista contribuint a l'aportació d'un mètode de disseny d'ancoratges passius atent als requeriments derivats de l'estructura, el sòl i la construcció i no tant condicionat per la manca de procediments coneguts.

Voldria també estimular als industrials perquè subministrin ancoratges de tipus prefabricat, fomentant la recerca de l'anàlisi por menoritzat del comportament de cada tipus en les situacions de sòl i càrrega que interessin a la pràctica i promoure l'ampliació dels assaigs de camp als casos menys documentats i d'altres tipus de sòl.

Es presenten els antecedents i les aplicacions, il·lustrades amb alguns exemples i es formula una tipologia-repertori de solucions. No s'hi presenten solament les solucions habituals, sino que també s'hi incorporen altres ancoratges procedents de l'enginyeria civil i militar.

S'analitza el comportament en base als assaigs disponibles i les teories existents i es repassen a continuació els mètodes de càlcul que es modifiquen i amplien per tal d'adaptar-los als resultats de les observacions.

L'última part es dedica a l'exposició del mètode de disseny. Es completa amb l'estudi comparatiu de les solucions alternatives i un resum general de formulació.

Es recullen en annexes les fitxes informatives de cada tipus, que inclouen corbes i dades de disseny, detalls i especificacions, els assaigs disponibles i el llistat dels programes de càlcul. Una bibliografia completa aquestes informacions.

3.- DEFINICIONS I LÍMITS

S'entén per ancoratge un objecte enterrat que transmet càrregues de tracció. Ho fa a través de la part enterrada que s'uneix a l'estructura a ancorar amb una barra, cable, frust o element de connexió que també participa de l'acció de transmetre la càrrega al sòl.

El caracteritzen la forma, les dimensions, el material i la posició. Està situat a una profunditat D mesurada en vertical desde la superfície del sòl fins a la base i està sotmès a càrrega de component vertical dirigida cap amunt que pot ser estàtica permanent (de pes propi, neu o pretensat de l'estructura) o repetida (de vent).

Es contemplen els sòls de tipus granular, coherent o de transició. El sòl granular està format per partícules de grandària superior a 0,60mm, és permeable i no té plasticitat ni cohesió. El sòl coherent està format per partícules de grandària inferior a 0,002mm, és impermeable, té cohesió i plasticitat però no té fricció. Es consideren de transició els sòls restants.

Els dispositius d'ancoratge al sòl es distingeixen per la forma de treballar, en actius i passius segons estiguin o no sotmesos a pretensat permanent.

L'ancoratge actiu (fig.3.1) està sotmès permanentment com a mínim a l'acció del pretensat que provoca una gran part de la deformació del sòl al comprimir-lo entre la placa i el bulb. La càrrega exterior, si no supera la de pretensat, passa principalment a descomprimir el sòl comprimit anteriorment al pretensar. La tracció del tirant augmenta molt poc i per tant es produeix un moviment molt petit (fig. 3.2).

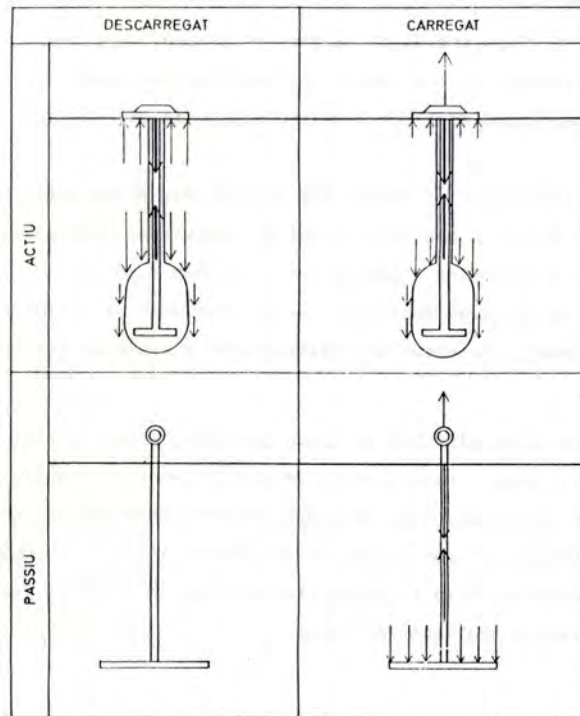


Fig. 3.1.- Característiques principals dels ancoratges actius i passius.

ACTIU DESCARREGAT: El sòl precomprimit reacciona contra la placa i reté el bulb. La tracció del tirant és la força del pretensat que ha provocat la major part del moviment.

ACTIU CARREGAT: La major part de la càrrega alivia la pre compressió. El reste incrementa la tracció del tirant. El bulb ha de retindre aquest petit increment que produeix un desplaçament poc apreciable.

PASSIU DESCARREGAT: No fa falta placa per precomprimir el sòl. El tirant no treballa i el sòl està en repòs.

PASSIU CARREGAT: No hi ha relaxament d'esforços anteriors. El tirant agafa tota la càrrega exterior. El sòl passa a retindre-la tota. Es produeix el desplaçament promogut per la totalitat de la càrrega.

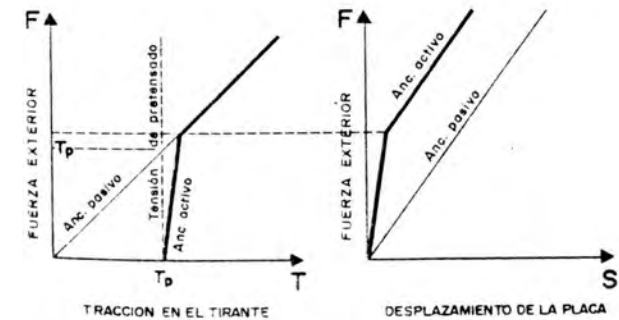


Fig. 3.2.- Comportament esquemàtic d'un ancoratge (Muzás, 1980).

L'ancoratge passiu en canvi no està sotmès a pretensat permanent (fig. 3.1). En absència de càrrega no sol·licita al terreny. Al carregar-lo, la tracció passa íntegra al tirant perquè el sòl estava en repòs i no pot aliviar-la relaxant-se. El moviment que es produeix correspon a la totalitat de la càrrega (fig. 3.2).

Un pre-estirat (o pretensat no permanent) pot consumir part de la deformació perquè millora el sòl al consolidar-lo, però el deixa en repòs, és a dir, inactiu.

El comportament d'un ancoratge també es caracteritza per la forma del diagrama càrrega-moviment que és el registre complet del moviment del cap de l'ancoratge durant l'aplicació de l'esforç (fig. 6.4). La càrrega límit es defineix com la màxima resistida durant l'arrencament o la que produeix un desplaçament determinat. La primera definició és la habitual encara que no informa sobre el moviment produït.

No s'han considerat en aquest estudi:

- els ancoratges actius
- els ancoratges a base de pes disposats sobre la superfície (sense enterrar)
- les aplicacions en que no es controla directament la col·locació (com per exemple les submarines)
- la resistència estructural dels dispositius i mecanismes
- l'ancoratge en roca, formigó, gel, sòl glaçat ni terra armada
- la inclinació de la superfície lliure
- els desplaçaments del sòl (lateral o assentaments) aliens a l'ancoratge
- les càrregues alternades
- els preus

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

4.1.- Antecedents

- 4.1.1.- Ancores marines
- 4.1.2.- Enginyeria
- 4.1.3.- Edificació

4.2.- Aplicacions i exemples

4.2.1.- Edificació

- a.- Cobertes tibades
- b.- Cobertes inflades
- c.- Càses mòbils
- d.- Ancoratge de fonaments
- e.- Ancoratge de lloses
- f.- Arriostament provisional i definitiu

4.2.2.- Enginyeria civil

4.2.3.- Transport d'energia i telecomunicacions

4.2.4.- Enginyeria militar

4.2.5.- Salvament

4.2.6.- Esports

4.2.7.- Agricultura i ramaderia

4.2.8.- Pesca

4.2.9.- Transports

4.1.- Antecedents

L'antecedent dels ancoratges més pròxim que podem trobar a la natura són les arrels (fig. 4.1.). Interessen un volum de sòl en forma de bloc d'ancoratge de base eixaplada per subministrar una resistència a l'extracció superior a la resistència estructural de la tija o el tronc. Han estat utilitzades i s'utilitzen encara per ancorar (fig. 4.2.).

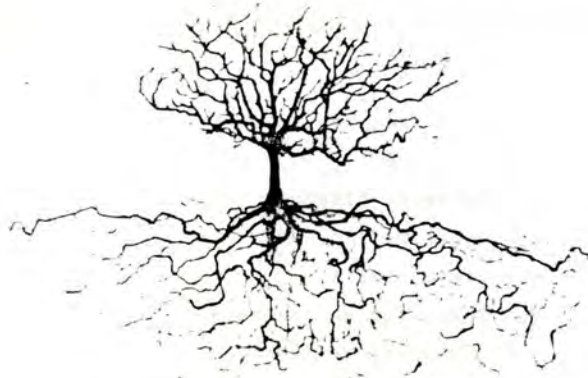


Fig. 4.1.- Les arrels. L'ancoratge natural.



Fig. 4.2.- Les arrels s'utilitzen per ancorar a través del tronc, que fa de barra de transmissió.

4.1.1.- Ancores marines

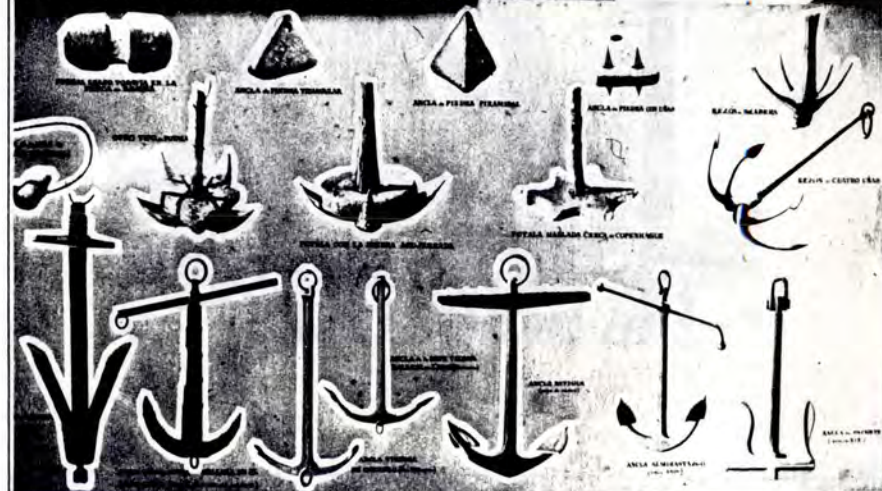
Per a resistir traccions subjectant un objecte al sòl s'han utilitzat les àncores dels vaixells que impedeixen que siguin emportats pel vent i les corrents. Van lligades a l'extrem d'un cable, corda o cadena i es fan baixar fins al fons de l'aigua on es claven per a resistir l'arrencament. El disseny de les àncores s'ha anat adaptant a la resistència, la profunditat i la durada permanent o provisional de cada instal·lació (fig. 4.3.). Està molt condicionat pel fet de que la col·locació s'ha de realitzar sempre a distància i en sòls diversos sense controlar directament l'operació. Al ancorar en terra en canvi, tot i que el sòl pugui estar submergit a poca profunditat, la col·locació es fa i es controla directament, el sòl es pot examinar i es pot escollir l'ancoratge més indicat en cada cas. Per això son poques les àncores marines aprofitables en aplicacions terrestres.

PRINCIPALES TIPOS D



Fig. 4.3.- Ancores marines. Les més antigues, dels pobles que desconeixen els metalls, son una combinació de pedres toves i rusta. Les mes modernes son d'acer i estan dissenyades perque penetrin en profunditat i obtinguin un rendiment alt.

ES TIPOS DE ANCLAS



4.1.2.- Enginyeria

Els primers ancoratges que es van utilitzar van ser l'estaca i el mort (figs. 4.4. i 4.5.). L'estaca s'adapta molt bé a càrregues lleugeres i instal·lacions desmuntables i provisionals. El mort o objecte enterrat pot resistir càrregues més grans. Es mes adequat en instal·lacions permanents ja que no l'afecten tant les alteracions superficials. Ambdós tipus s'utilitzen encara en quantitat.

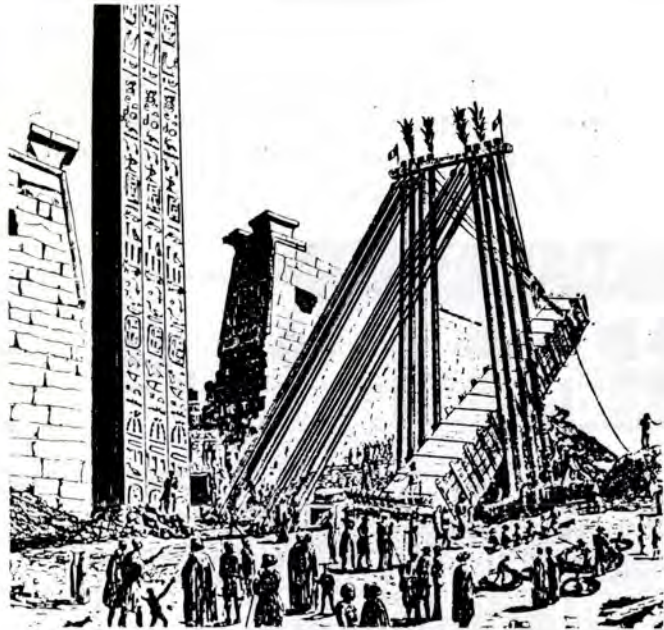


Fig. 4.4.- Amb cabrestants i cabirons ancorats al sòl, va ser possible la manipulació dels obeliscs del Vaticà (Carlo Fontana, 1694) i de la Plaça "de la Concorde" (1836).



Fig. 4.5.- Làmina de "L'encyclopédie" de Diderot i d'Alembert (1762) il·lustrant un enginy militar ancorat amb estakes.

4.1.3.- Edificació

Es molt antiga la utilització d'ancoratges passius en l'edificació de construccions textils. La Bíblia presenta una descripció minuciosa del Tabernacle, una tenda luxosa de grans dimensions, que mesurava 15,75 x 5,25 m. i s'ancorava amb estakes clavades al terreny. (fig. 4.6.)

Els romans, a més de utilitzar les tendes per als seus exèrcits, cobrien amb veles de grans dimensions els amfiteatres.

Els tuaregs, els mongols, els gitans i els indis americans son exemples actuals o recents de pobles nòmades que han utilitzat o utilitzen encara les tendes de forma habitual (fig. 4.7.).

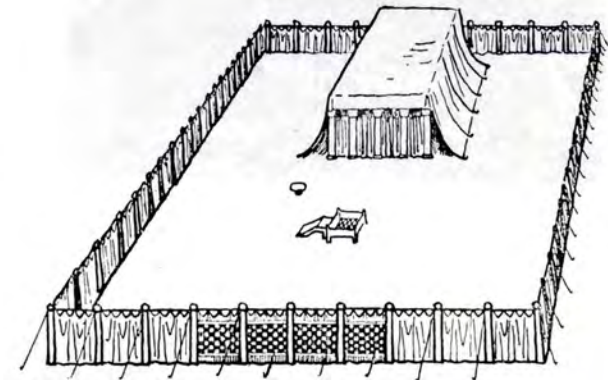


Fig. 4.6.- El Tabernacle (segons Nacar, basat en la descripció de l'Exode 25-27).

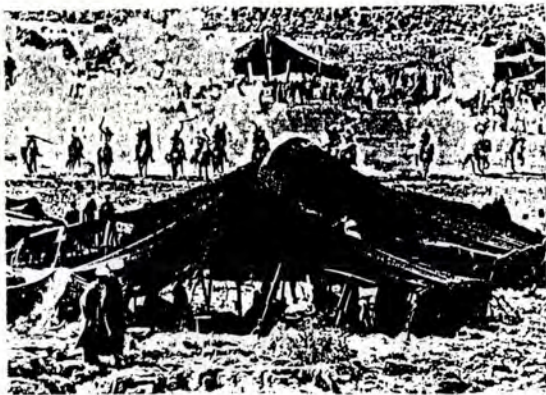


Fig. 4.7.- La jaima dels tuaregs del nord d'Àfrica (Foto inferior: Col·lectiu, 1973 "Shelter", Shelter Publications, Califòrnia)

A principis del segle passat va apareixer la tenda del circ. (fig. 4.8.) La gran extensió de la coberta feia necessàries estacques gegants que s'agrupaven per subministrar més resistència a l'extracció. La col·locació era mecànica o manual i es recuperaven després de cada sojorn. (fig. 4.9.).

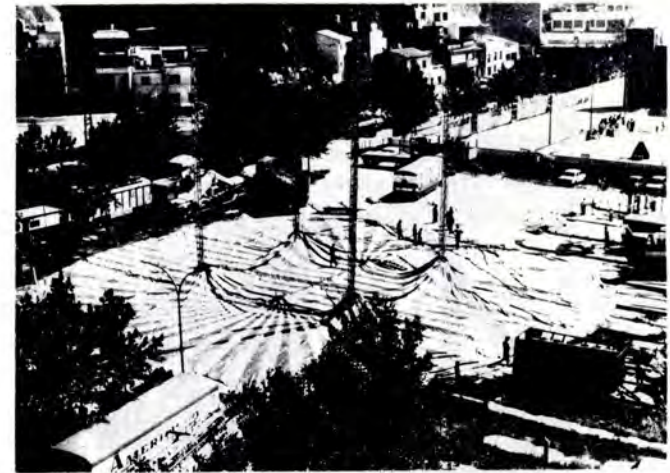


Fig. 4.8.- La tenda del circ, ancorada amb estacques i paliars.

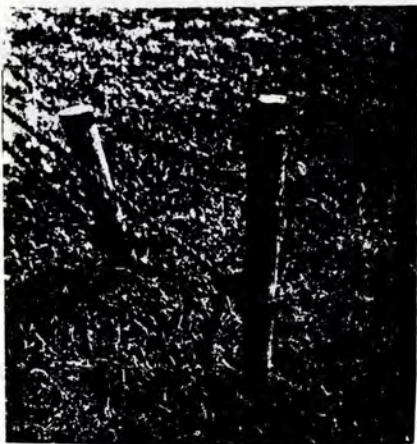
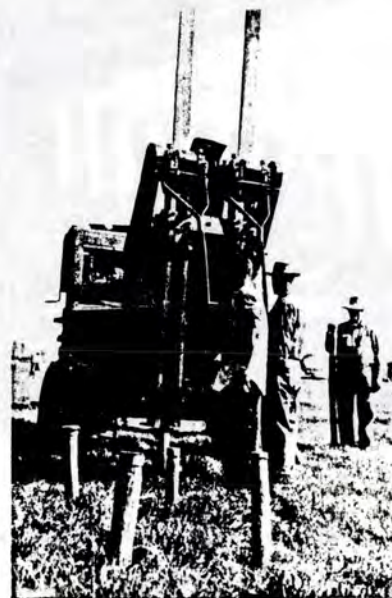


Fig. 4.9.- Les estagues del circ. Es pot observar el reforç metàl·lic de la part superior, la forma d'agrupar-les, la col·locació manual i mecànica i l'extracció (Ch. Ph. Fox, 1959; "A ticket to the circus", Bramhall House, New York).



A Catalunya, desde 1640 fins fa pocs anys, s'instal.lava l'envelat tradicional amb vela, cordes i antenes per a celebrar la Festa Major. Per ancorar-lo també s'utilitzaven estaques i parpalines, encara que molt sovint s'enterraven troncs, anomenats morts que subministraven més resistència sobre tot en sòls solts (fig. 4.10.).

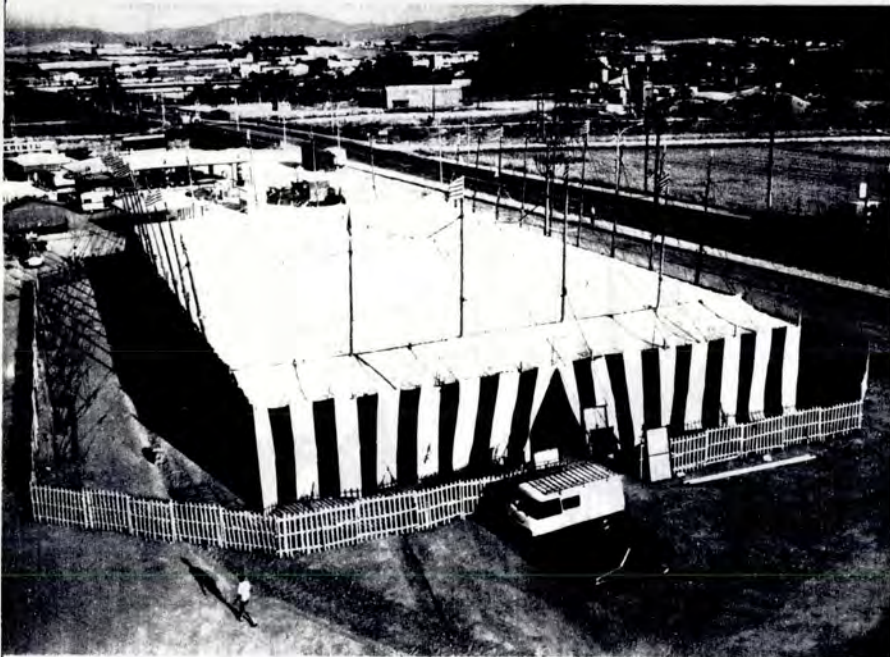
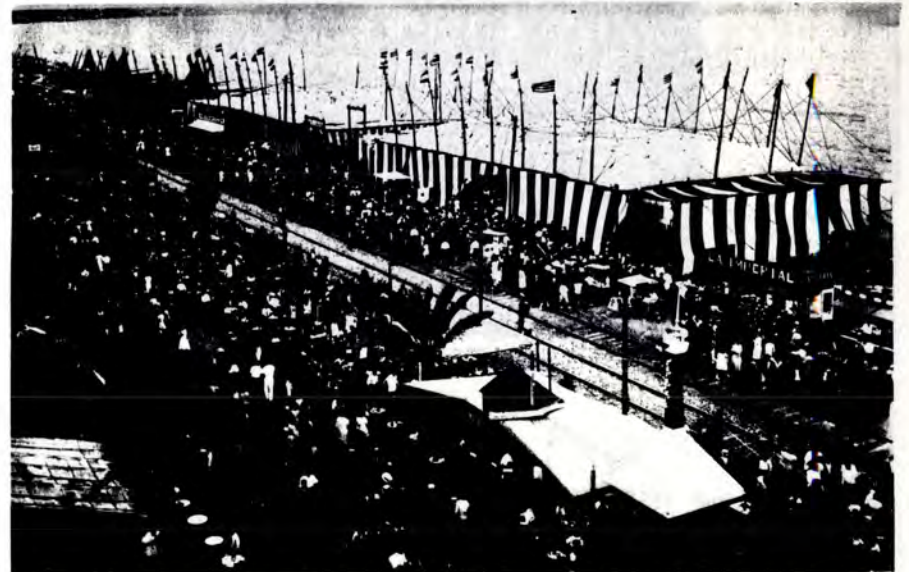


Fig. 4.10.- L'envelat tradicional català era una construcció tèxtil que s'ancorava amb estaques i morts.



4.2.- Aplicacions i exemples

4.2.1.- Edificació

a) Cobertes tibades

El Musiquer de Kassel, Frei Otto, H. Mattern & S. Lohs, 1955

El tendal de lona de cotó del Musiquer de Kassel s'estira contra quatre punts ancorats amb morts de formigó per resistir 22 tones (fig. 4.11.).

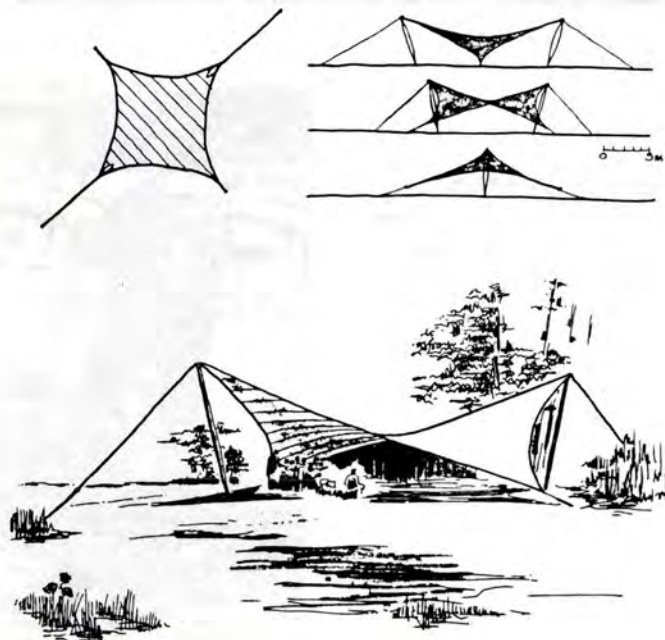


Fig. 4.11.- El Musiquer de Kassel, 1971 (Frei Otto, M. Mattern & S. Lohs)

El Conjunt Olímpic de Munich. (P. Von Soos, 1972)

Per les cobertes del Conjunt Olímpic de Munich es van utilitzar diferents tipus d'ancoratges actius i passius (fig. 4.12.).

El cable perifèric, amb una càrrega pròxima als 50.000 kN inclinada 83° respecte a la vertical, està fonamentat amb un bloc a cada extrem. Aquests blocs, que pesen 28.000 kN, mobilitzant l'empenta passiva frontal i la fricció sota la base coneixen resistir el 75 % més del que pesen.

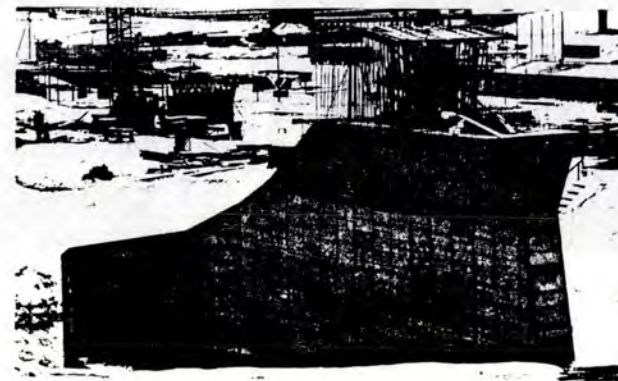
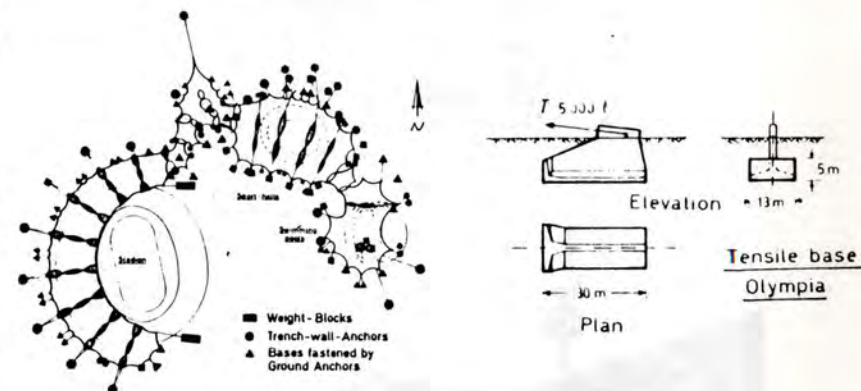


Fig. 4.12.- Els ancoratges del Conjunt Olímpic de Munich (A. Martin, 1971 i P. Von Soos, 1972)

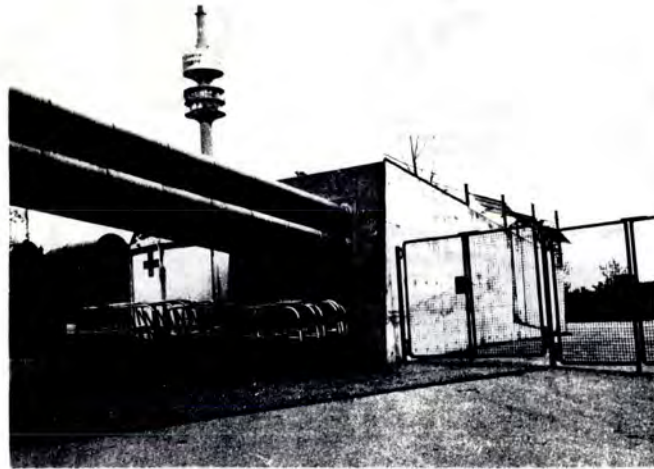
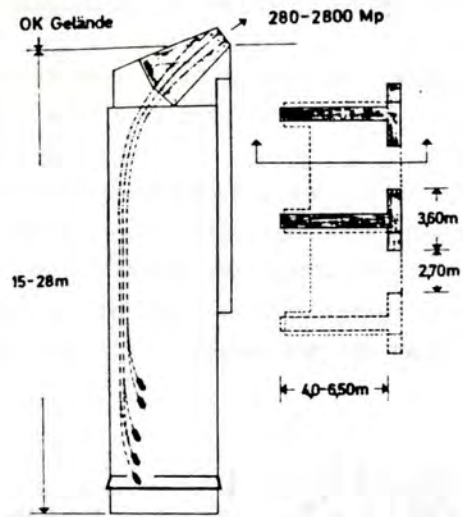


Fig. 4.12 (cont)

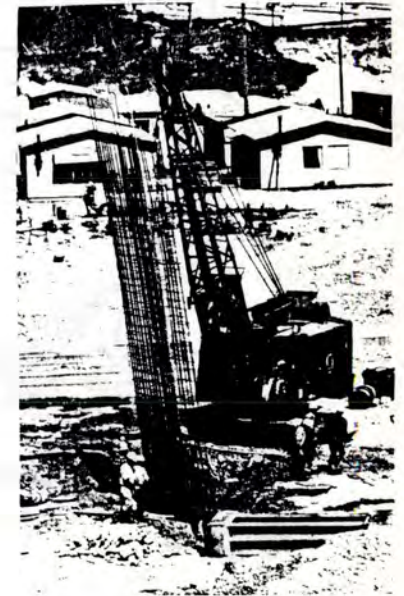
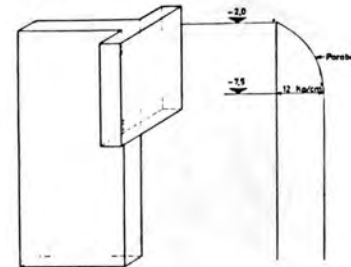
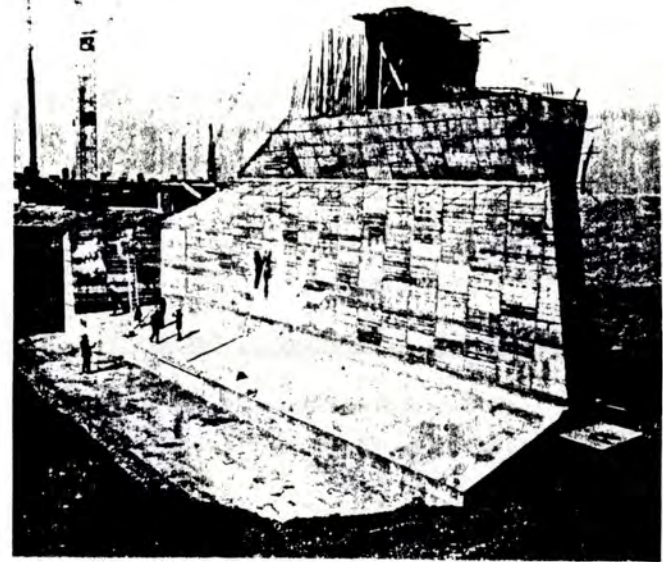


Fig. 4.12. (cont)

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

També es van utilitzar blocs per ancorar els tirants poc inclinats, ja que són els més rígids quan estan sotmesos a càrrega vertical sempre i quan no es compti amb la resistència al tall. Això va fer que disminuís el rendiment i que costessin un 20% més que els altres tipus.

Per les càrregues inclinades de 45° a 60° superiors als 9000 kN es van utilitzar grups d'elements de pantalla en T de 0,60 m. de gruix que es comporten com estaques gegants.

En canvi les càrregues de 2000 a 7000 kN s'anclen amb grups de tirants pretensats. Requereixen que la inclinació no sigui massa gran, per tal de aconseguir com a mínim un gruix de 5 m. de terres per sobre dels bulbs actius i evitar la lliscada del grup.

Pavelló d'Esbarjo. Màlaga. (Artiques, Lopez Rey & Soldevila, 1971)

Per ancorar els cables de la coberta tensada del Pavelló d'Esbarjo a Màlaga es van utilitzar morts d'envelat de 1,50 m. de llargada a 1 m. de profunditat en sorra de platja. La tracció calculada del cable per la càrrega de vent era de 40 kN i la resistència dels ancoratges es va comprovar realitzant assaigs d'arrencament (fig. 4.13.).



Fig. 4.13.- Pavelló d'esbarjo. Màlaga 1971. (Artiques, López Rey & Soldevila, Arqtes.) Els ancoratges es van comprovar realitzant assaigs d'arrencament.

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

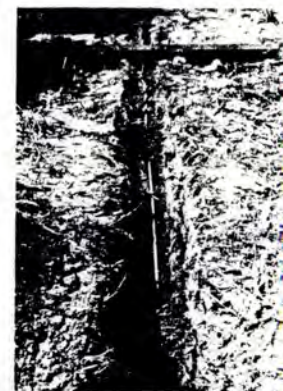


Fig. 4.13. (cont)

Piscina del complexe "Estramed", Promezia (P. Cercato, 1975)

La coberta de la piscina per proves amb aigua de mar del conjunt "Estramed" de Promezia està suportada per 17 portics de cables de 54 m. de llum, separats 5 m. i ancorats en massissos de formigó (fig. 4.14.).

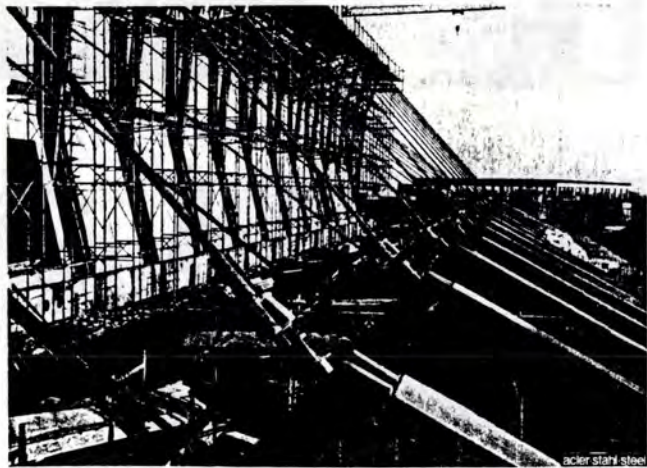
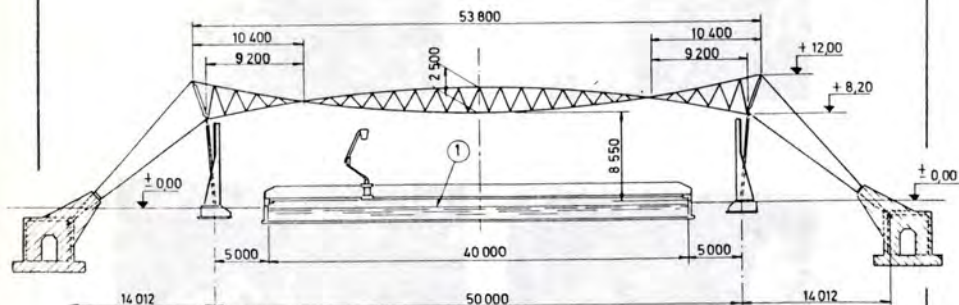


Fig. 4.14.- La coberta de la piscina de proves amb aigua de mar del conjunt "Estramed" a Promezia (P. Cercato, 1975).

Pavelló Comemoratiu per la "Caja de Ahorros de Aragón y Rioja". La Cogullada-Saragossa (Donada, Llorens & Soldevila, Arqtes. 1976)

Aquesta coberta formada per 16 elements tensats entre 4 pals centrals i 43 triangles de vora es va ancorar amb troncs enter-rats (mots d'envelat) a 1,80 m. de profunditat per resistir fins a 14 tones (fig. 4.15.).

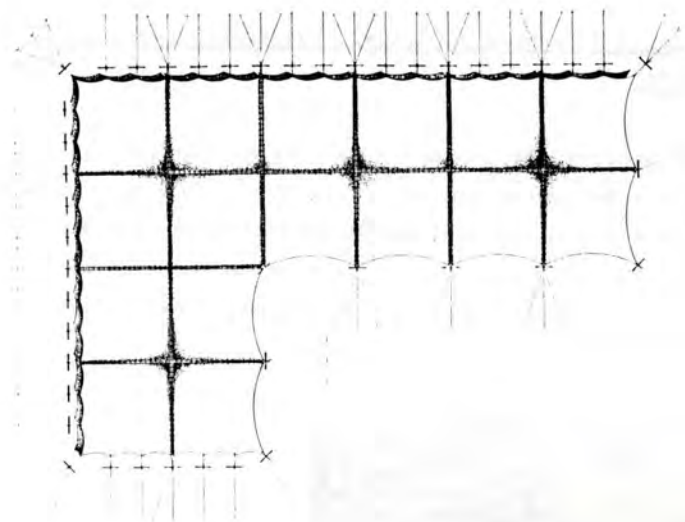


Fig. 4.15.- Pavelló Comemoratiu per la "Caja de Ahorros de Aragón y Rioja". La Cogullada. Saragossa (Donada, Llorens & Soldevila, Arqtes., 1976).

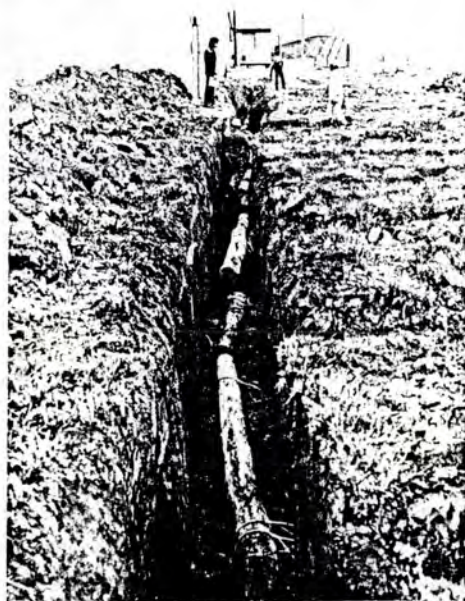


Fig. 4.15. (cont)

Pavelló d'esports de Kano, Nigèria (V. Mosco, 1977)

La coberta del pavelló d'esports de Kano està suportada per 12 portics de cables de 70 m. de llum, separats 5 m. i ancorats en massissos de formigó (fig. 4.16.) per 101 T a 65° (respecte la vertical) al costat baix i 106 T a 50° al costat alt.

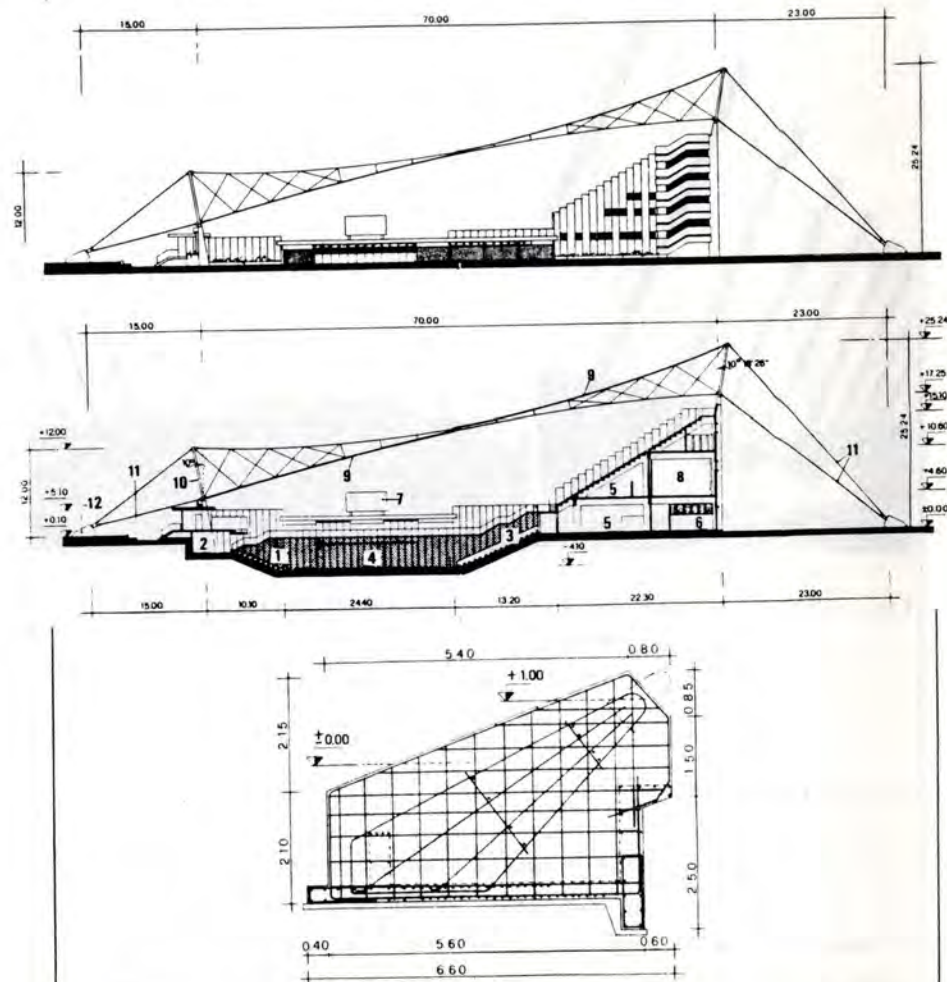


Fig. 4.16.- Pavelló d'esports de Kano, Nigèria. (V. Mosco, 1977)

Escorxadador de Barcelona a Mercabarna, 1977

Per l'escorxadador de Barcelona situat a Mercabarna es va construir una coberta de 100 m. de llum penjada amb cables segons el procediment Jauerth (fig. 4.17.). Els ancoratges es van realitzar amb pilots de fricció que subjectaren la tracció dels vents inclinats.



Fig. 4.17.- L'escorxadador de Barcelona a Mercabarna (Sistema Jauerth, 1977).

b) Cobertes inflades

Les cobertes inflades basen l'estabilitat en la diferència de pressió que un ventilador produeix entre l'interior i l'exterior. Així comporta la tendència de la membrana a separar-se del contorn, que es contrarresta amb ancoratges perimetrals (figs. 4.18. i 4.19.).

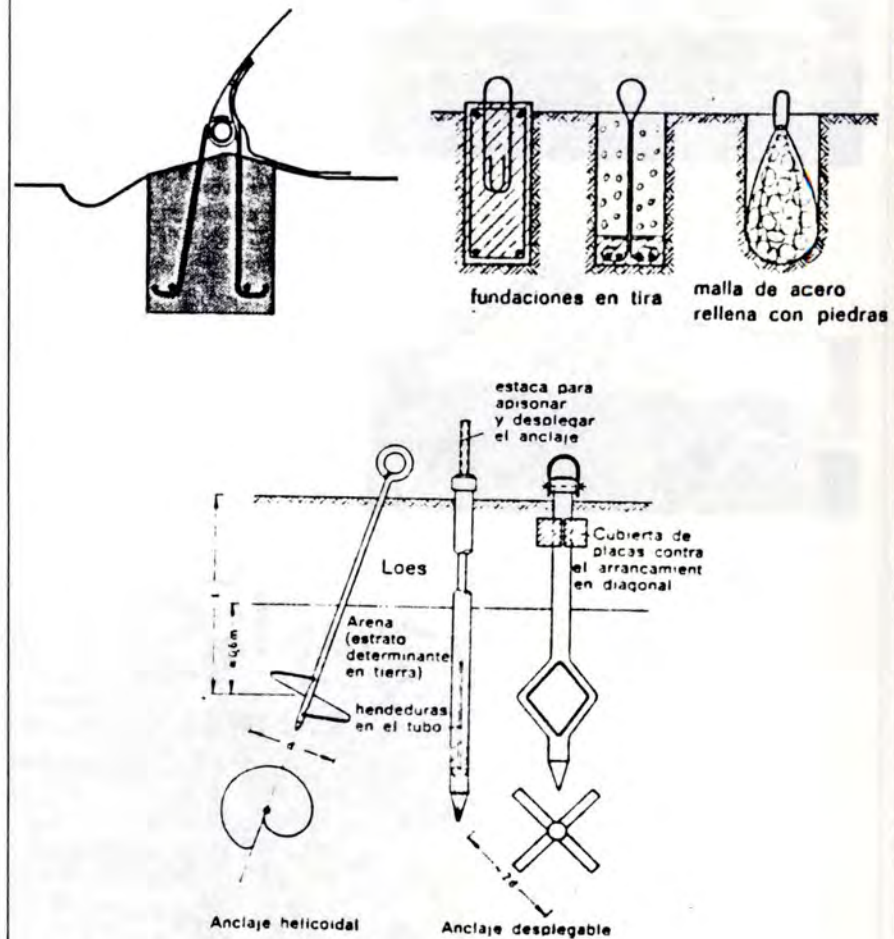


Fig. 4.18.- Ancoratges perimetrals per cobertes inflades (T. Herzog, 1974).



Fig. 4.19.- Ancoratge perimetral per la coberta inflada de la piscina municipal de Montcada.

c) Cases mòbils

Les cases mòbils son molt lleugeres i poden resultar alçades per l'acció del vent. Per això es tenen d'ancorar. Es lliuen amb fleixos que s'uneixen al sòl amb hèlices o blocs enterats (fig. 4.20.).

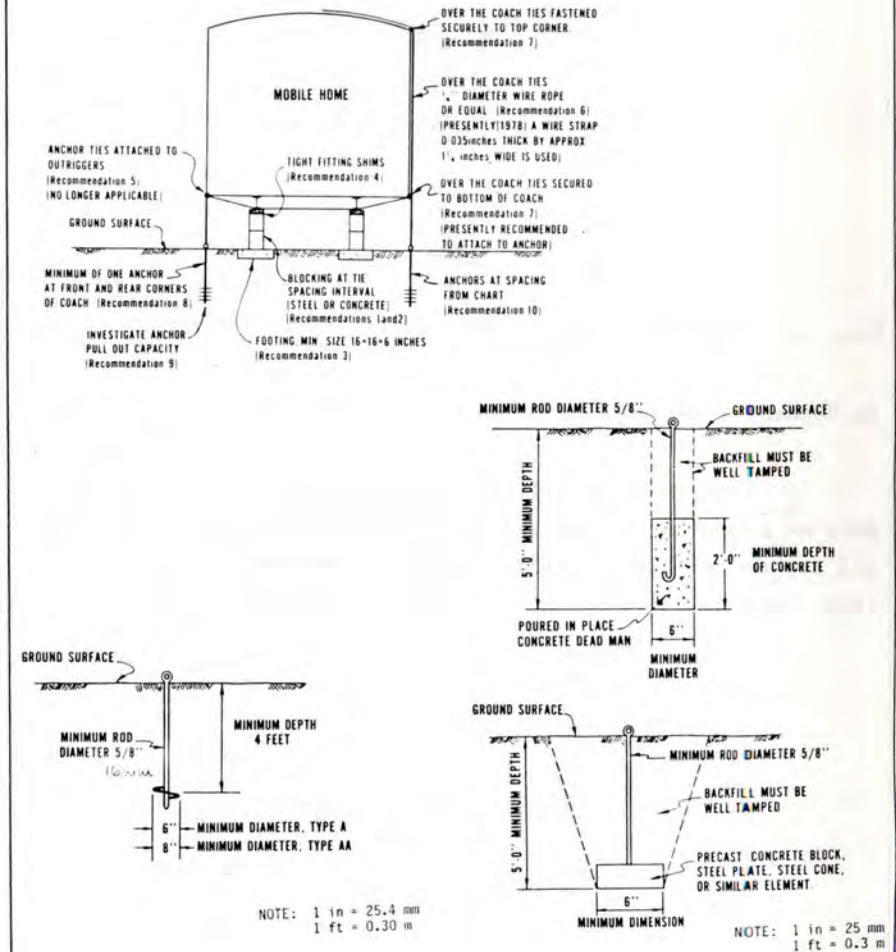


Fig. 4.20.- Ancoratge de cases mòbils (Kovacs & Yokel, 1979).

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

d) Ancoratge de fonaments

Hi han construccions que pesen menys que l'acció del vent. Cal doncs que els fonaments resisteixin càrregues de compressió en temps de calma o vent moderat, però també cal que resisteixin l'alçament quan el vent supera el pes propi (fig. 4.21.).

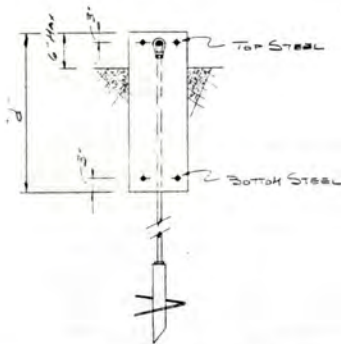


Fig. 4.21.- Fonament ancorat amb hèlice (A.B. Chance Co.)

e) Ancoratge de lloses

En lloses construïdes per sota del nivell freàtic (o del mar) es produeix una pressió hidrostàtica d'alçament o subpressió que es pot contrarrestar amb ancoratges actius o pilots (fig. 4.22.).

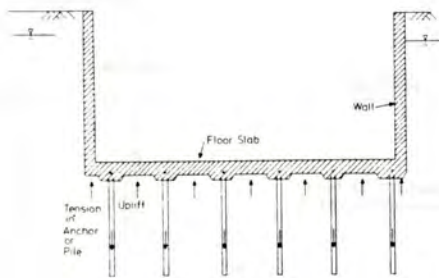


Fig. 4.22.- Pilots d'ancoratge per contrarrestar la pressió hidrostàtica d'una llosa submergida (Hanna, 1982).

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

f) Arriostament provisional i definitiu

Les construccions prefabricades s'han d'arriostar amb un dispositiu complementari, definitiu o provisional, que es pot resoldre amb cables ancorats directament al sòl o a un fonament (fig. 4.23.).



Fig. 4.23.- Arriostament d'estructures lleugeres i prefabricades: Fotografia superior: Coberta tensada, "Liceo Sorolla", Pozuelo de Alarcón (M. Majowiecki) Fotografia inferior: Estructura prefabricada de l'hipermercat "Makro" en construcció (Badalona).

Les grues també s'arriostren amb vents provisionals que es modifiquen a mesura que la obra es va desenvolupant (fig. 4.24.).

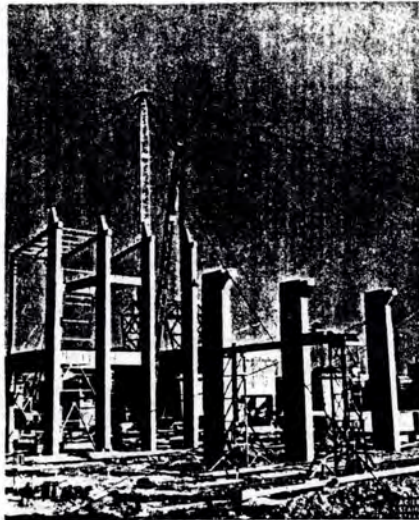
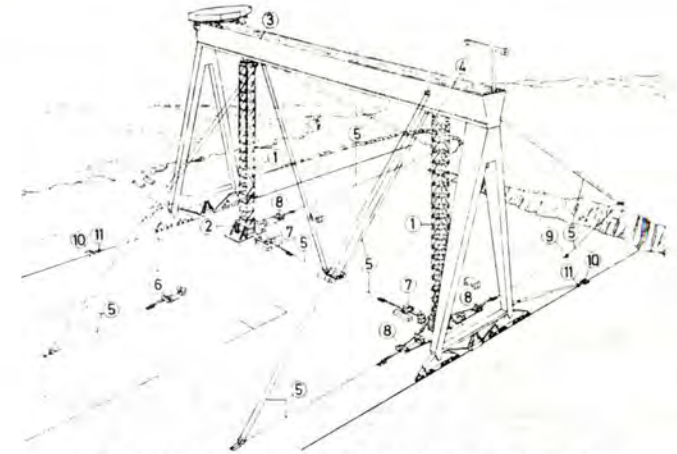


Fig. 4.24.- Arriostrament de la grua amb vents ancorats al sòl.
Factoria siderúrgica de Skopje, 1964.

L'alçament d'elements pesats es realitza sovint amb l'ajut de tirants (fig. 4.25.).



Dibujo esquematizando el montaje de la grúa. (1) Palizadas de montaje. (2) Sistema de elevación de la palizada (por gatos hidráulicos). (3) y (4) Cabezas de palizada (dos sistemas articulados diferentes). (5) Vientos. (6), (7) y (8) Cabrestantes eléctricos de puesta en tensión de los vientos. (9) Anclaje con polea de contramarcha. (10) Cabrestante hidráulico. (11) Mulita.

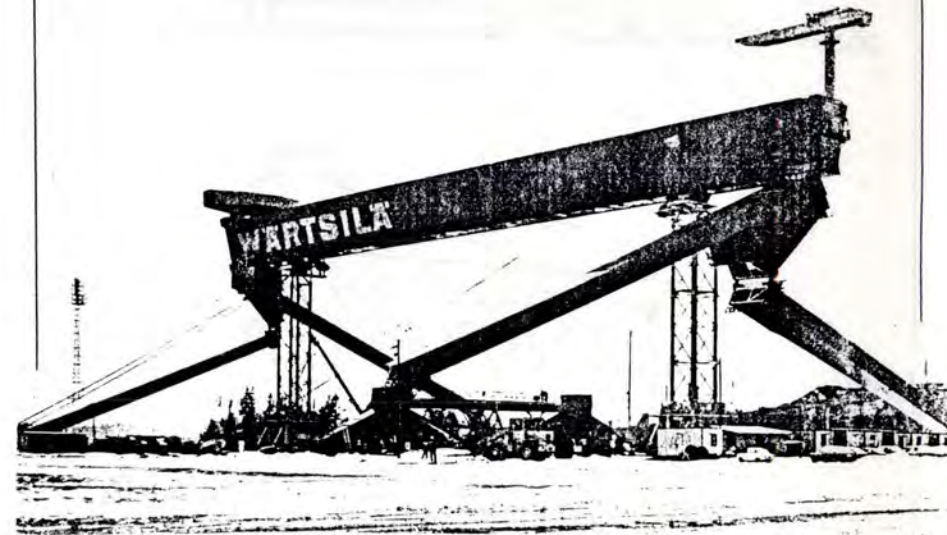


Fig. 4.25.- Alçament del pont-grua de les dressanes de Wartsila Dy,
Perno, Finlandia.

4.2.2.- Enginyeria civil

Algunes de les aplicacions dels ancoratges passius als treballs d'enginyeria civil (exclosa l'edificació) són les següents:

- ancoratge de palanques i ponts (figs. 4.26. a 4.29.)
- ancoratge de cables i cadenes al fons del mar (fig. 4.30.)
- fonamentació de plataformes marítimes (fig. 4.31.)
- contenció de terres (fig. 4.32.)
- proves de càrrega (fig. 4.33.).

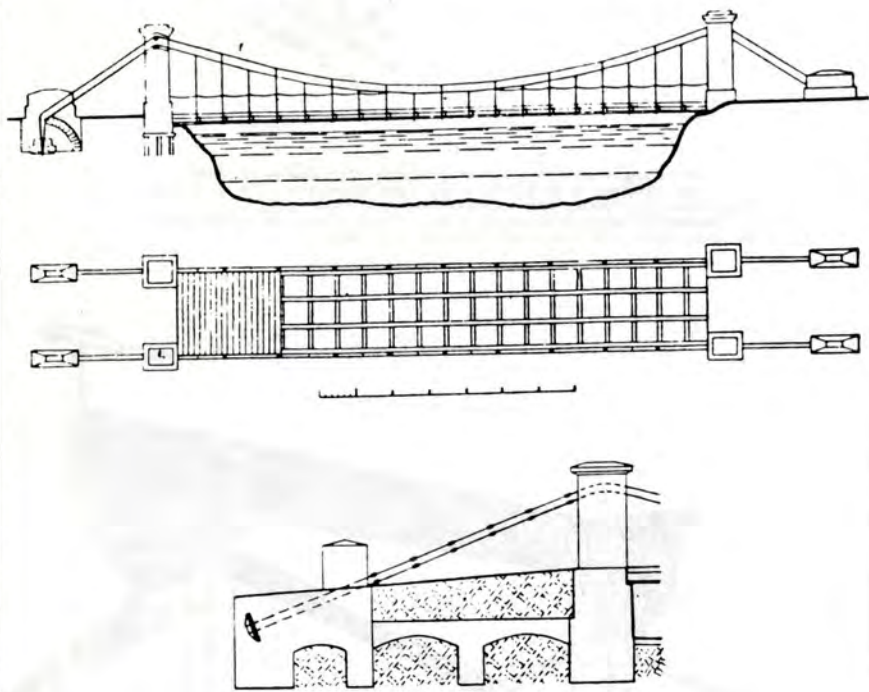


Fig. 4.26.- Secció del pont penjat de Straznice, Moravia (1823-1824) realitzat per B. Schnirch (1791-1868) i de l'ancoratge de la palanca de Sofia.
(Iro B. Hruban, 1982 "First Suspension roof design published A.D. 1824 in Brno, Czechoslovakia", IASS Bulletin, Vol. XXIII-1, No. 78, pp. 9-23).

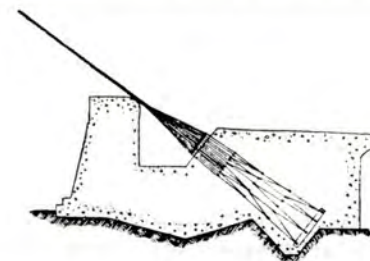


Fig. 4.27.- Ancoratge dels cables d'un pont penjat (Salvadori & Heller, 1966 "Estructuras para Arquitectos", la Isla S.R.L., Buenos Aires).

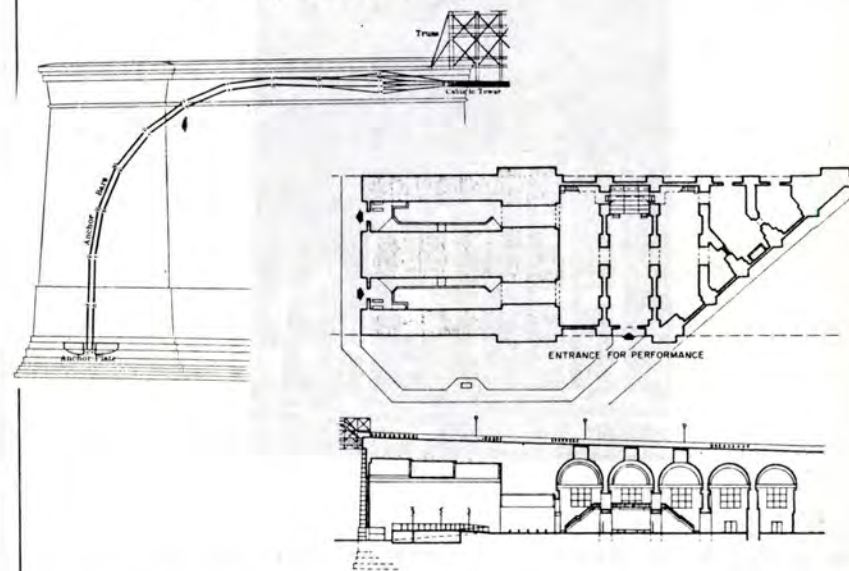


Fig. 4.28.- Pont de Brooklyn, New York (J.A. Roebling & W. Roebling, 1869-1883). Longitud total: 1052 m. Llum entre suports: 486 m. Els blocs d'ancoratge de 27 m. x 36 m. x 40 m. són de maçoneria de granit i pedra calcària sobre plaques de fundició (M. Shapiro, 1983, "A Picture History of the Brooklyn Bridge", Dover Publications Inc., New York)

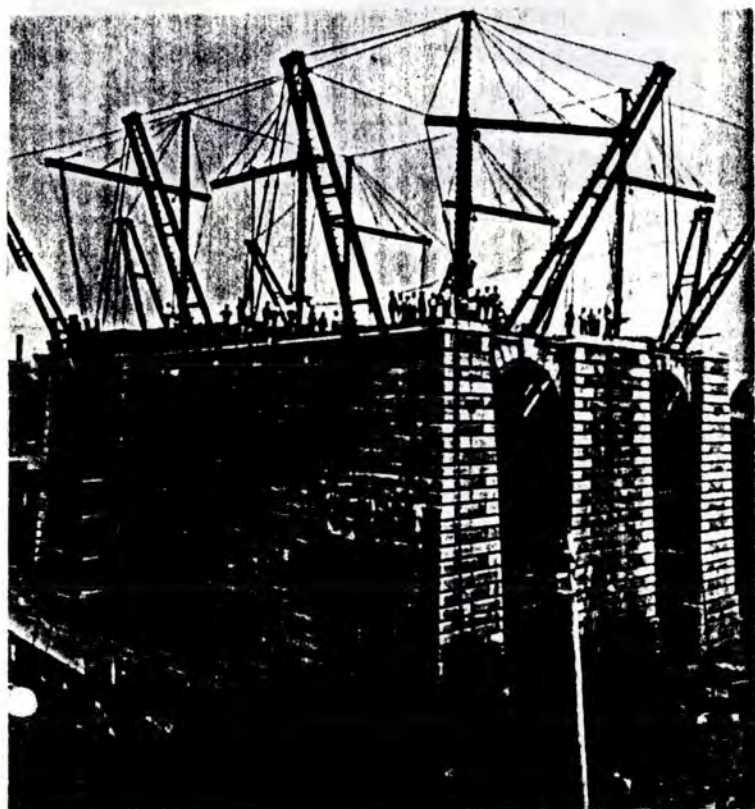
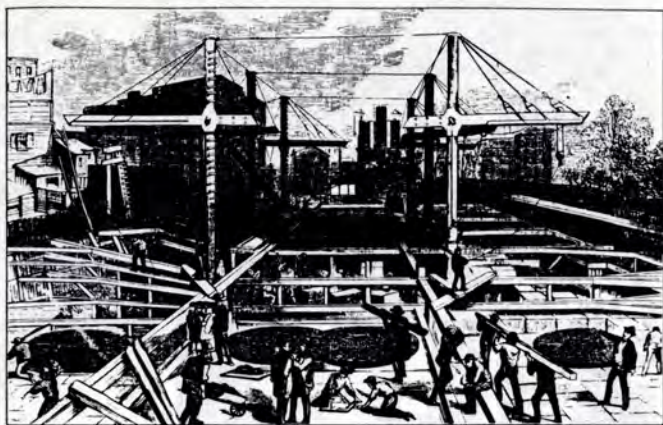


Fig. 4.28.- (cont)

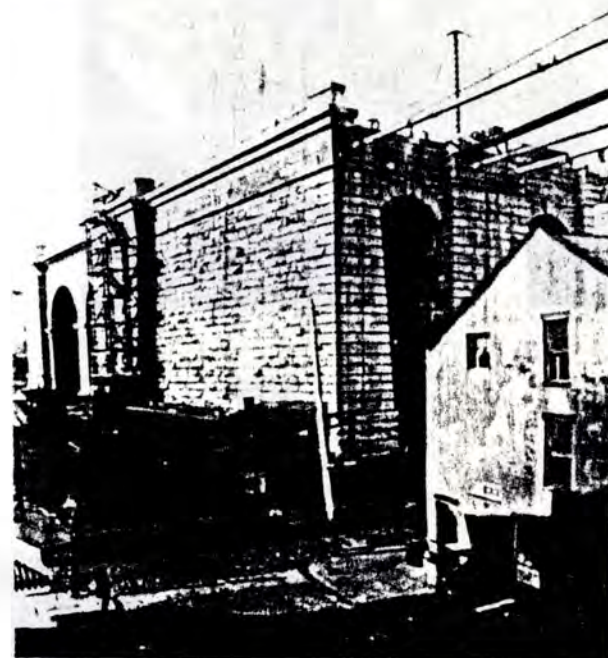


Fig. 4.28. (cont)

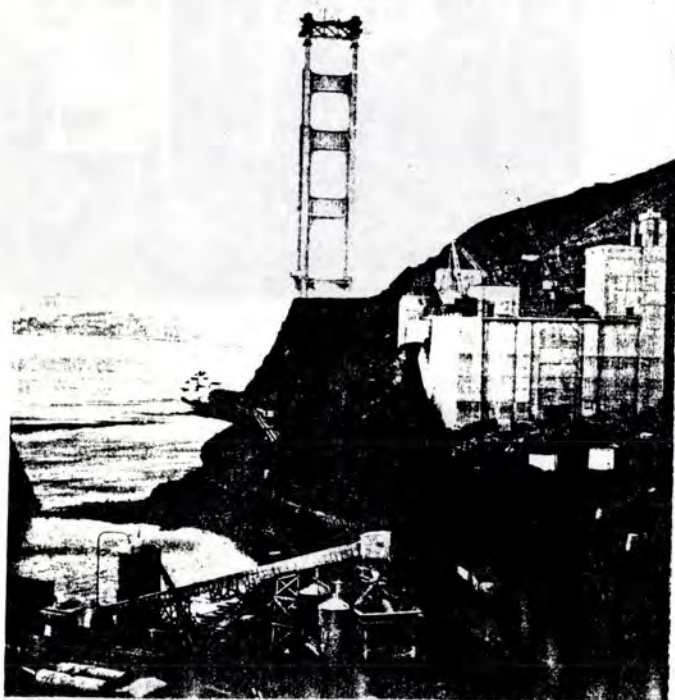
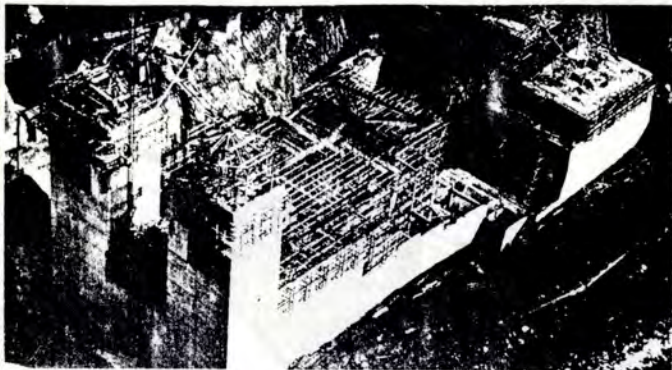


Fig. 4.29.- Blocs d'ancoratge del "Golden Gate Bridge" a San Francisco (J. Strauss, 1933 a 1937). Longitud total: 1965 m. Llum entre suports: 1280 m. Tracció dels cables a ancorar a cada extrem: 30000 tones (S. Cassady, 1979).

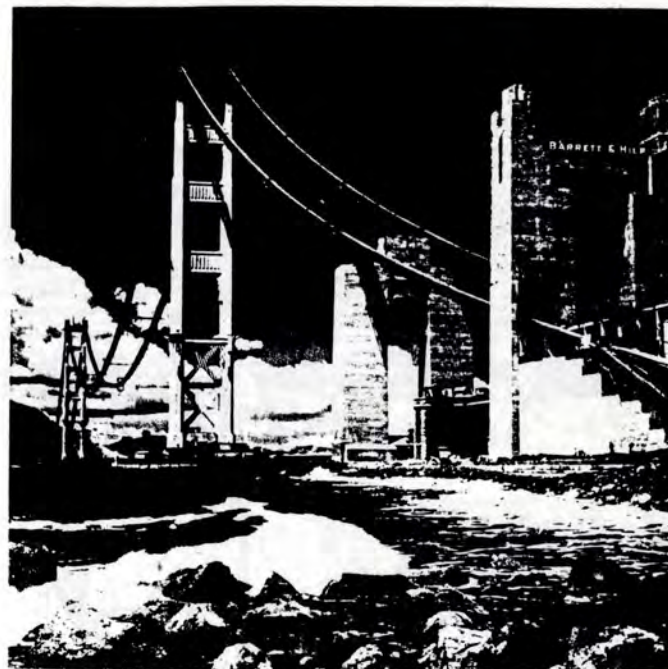


Fig. 4.29. (cont)

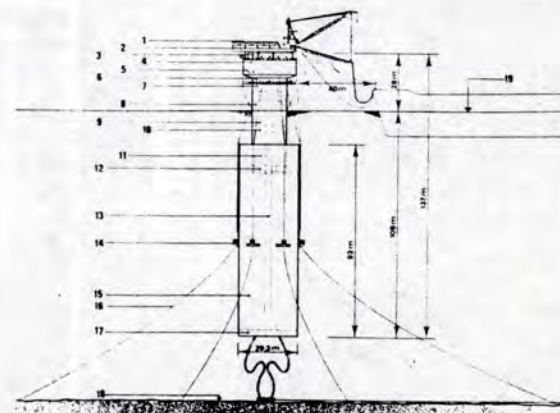


Fig. 4.30.- Ancoratge del dipòsit flotant "Spar" a la Mar del Nord.

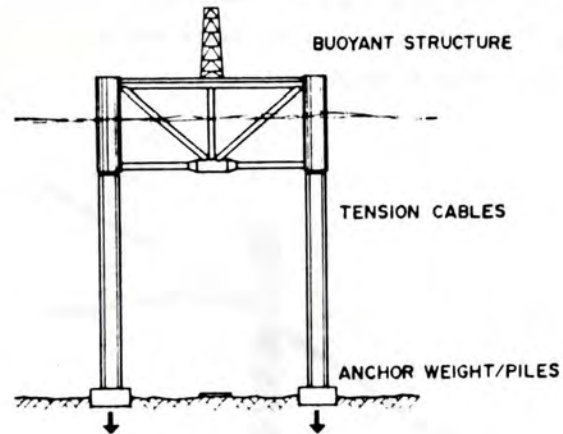
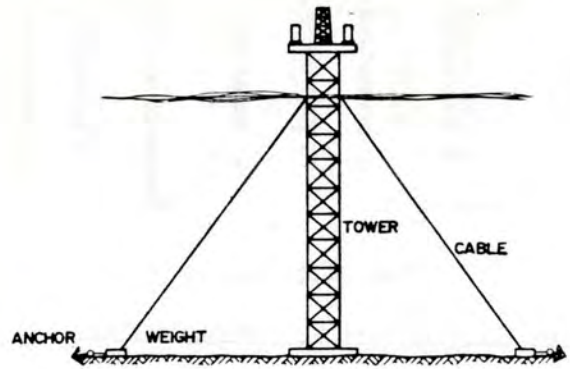


Fig. 4.31.- Fonamentació de plataformes marines (Gibson & Dowse, 1981 "Canadian Geotechnical Journal", Vol. 18, pp. 171-178).

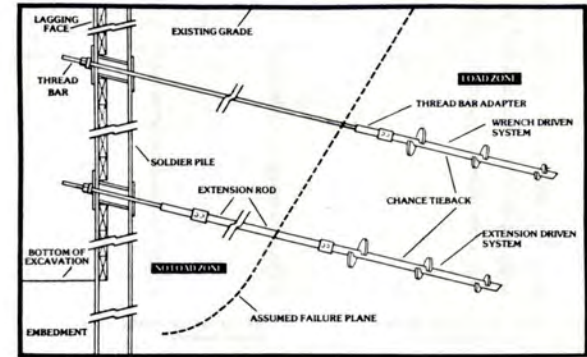


Fig. 4.32.- Contenció de terres amb hèlices d'ancoratge (A.B. Chance Co.).

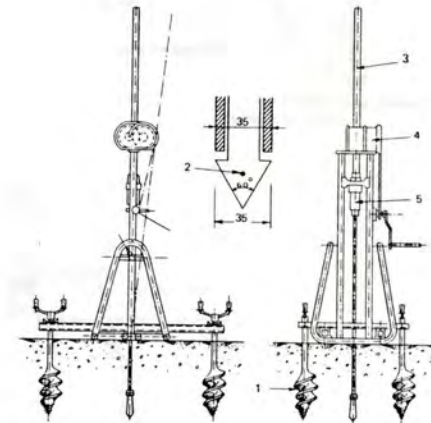
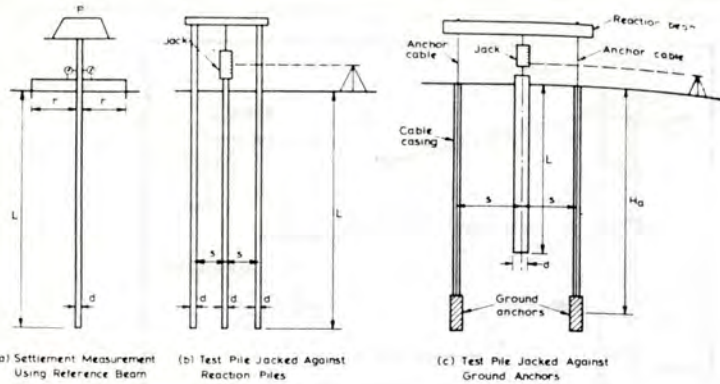


Fig. 4.33.- Proves de càrrega i assaigs recolzats en ancoratges (Jimenez Salas et al., 1976; Poulos & Davis, 1980; Hobst & Zajic, 1983)



(a) Settlement Measurement Using Reference Beam (b) Test Pile Jacked Against Reaction Piles

(c) Test Pile Jacked Against Ground Anchors

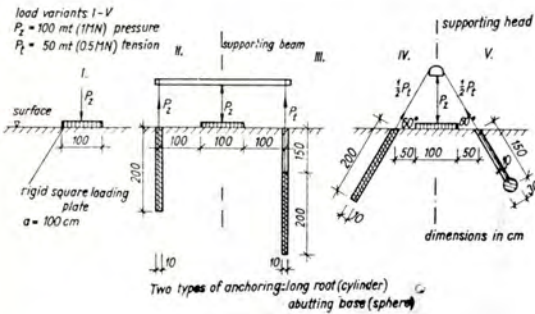
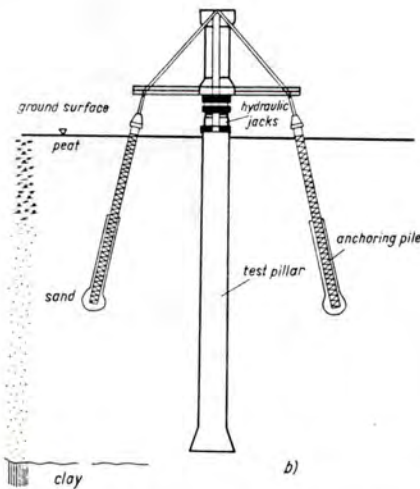


Fig. 4.33. (cont)



b)

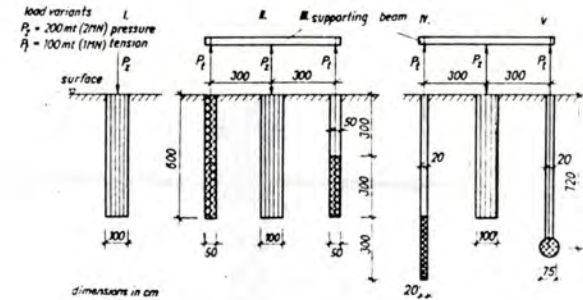


Fig. 4.33. (cont)

4.2.3.- Transport d'energia i telecomunicacions

Es molt freqüent la utilització de vents per arriostrar els pals i les torres de suport de cables, conductors i antenes pel transport d'energia elèctrica i telecomunicacions (fig. 4.34.). L'ancoratge d'aquests vents es realitza amb morts, estaques, hèlices i pilots (fig. 4.35.).



Fig. 4.34.- Pal de telèfons i antenes ancorats amb vents.

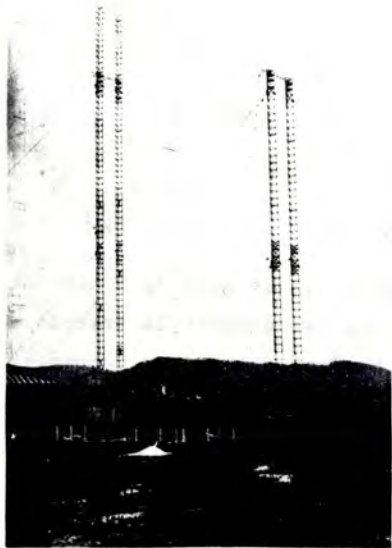
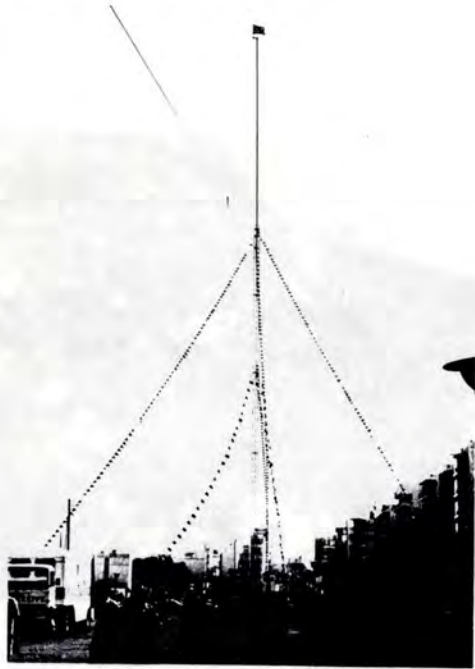


Fig. 4.34. (cont.)

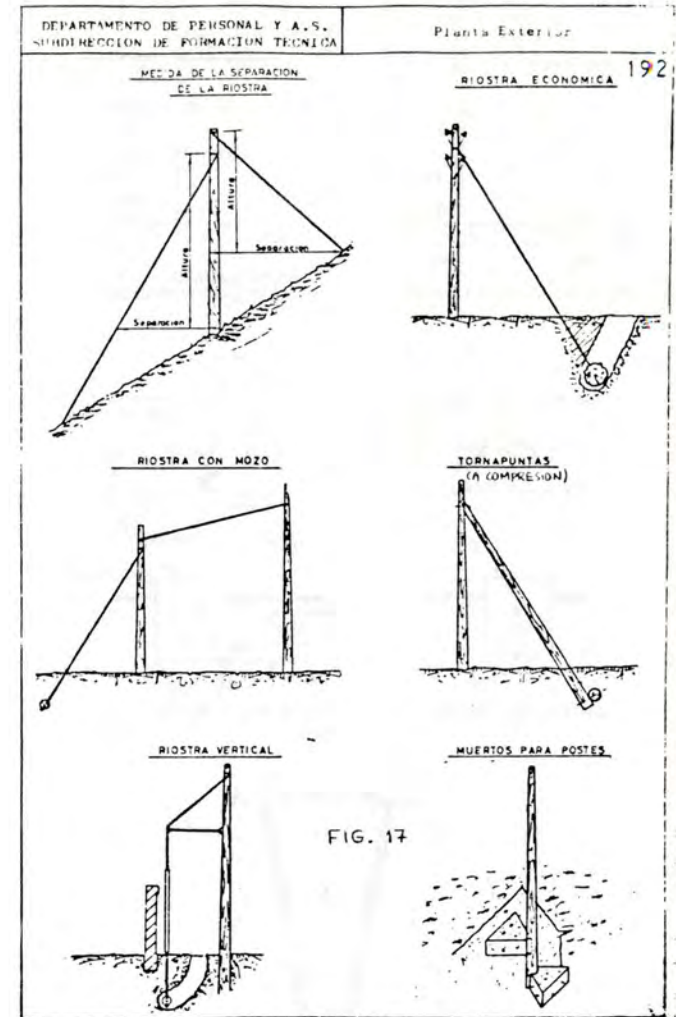


Fig. 4.35.- Ancloraje de vientos d'arriostament de pals de línies de transmissió (CTNE; C.W. Dunham, 1962; Robinson & Taylor, 1969, RENFE).

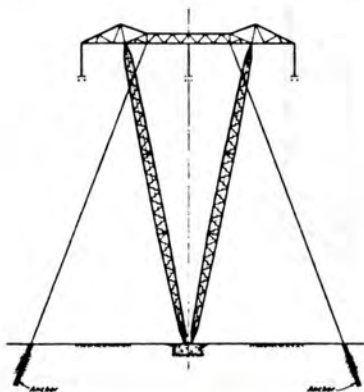
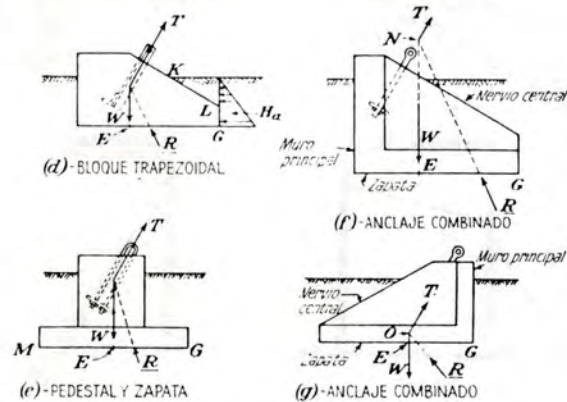
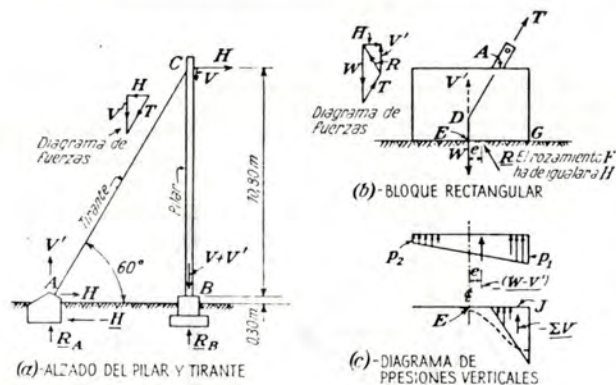


Fig. 4.35. (cont)



Fig. 4.35. (cont)

Quan les torres d'alta tensió o les antenes no s'arriostren amb vents, necessiten fonaments que resisteixin la tracció o sigui ancoratges (fig. 4.36.). C.W. Dunham analitza i compara varies solucions amb fonament de formigó (fig. 4.37.).

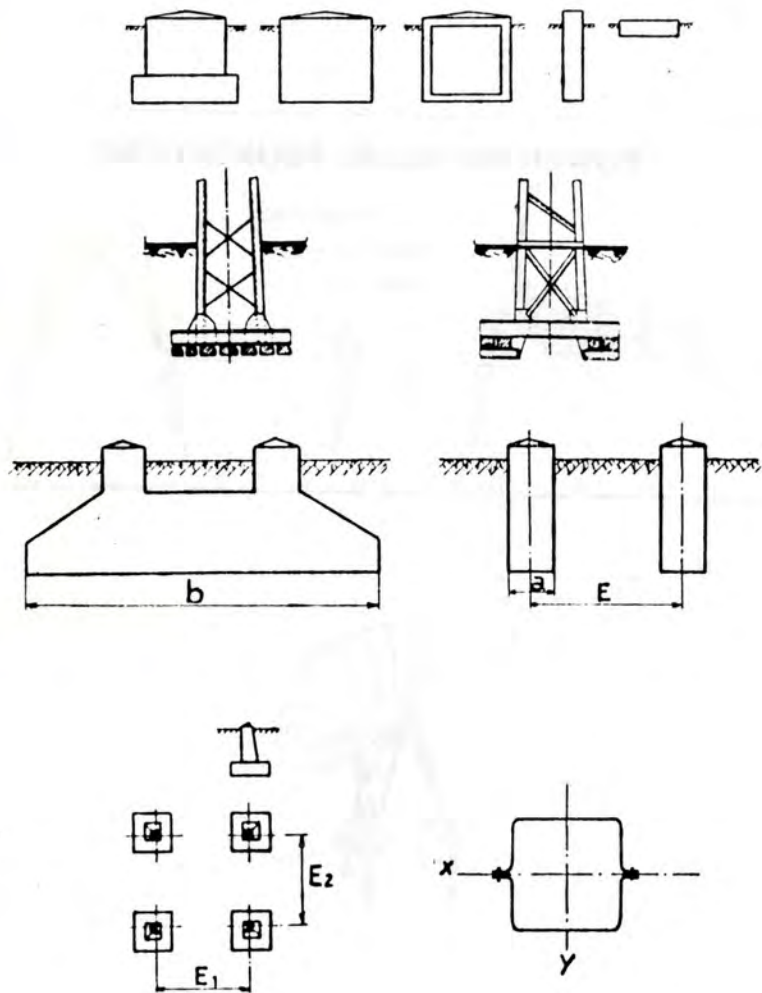


Fig. 4.36.- Fonaments de torres de suport de línies elèctriques i antenes (M.P. Fayoux, 1953; Parr & Vanner, 1962; Fink & Carroll, 1968; J.M. Horner, 1971; M. Llorens, 1980; A.B. Chance Co.)

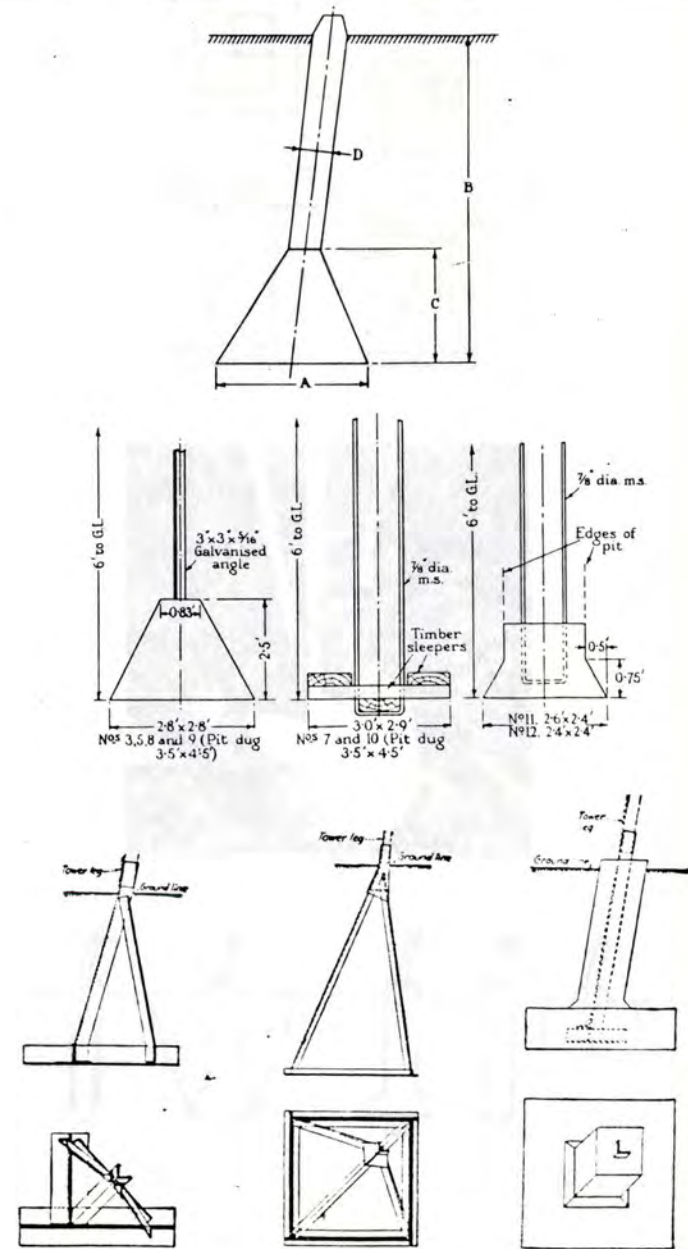


Fig. 4.36 (cont)

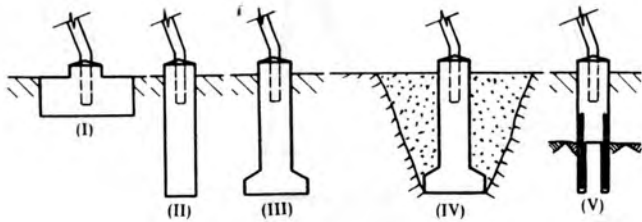
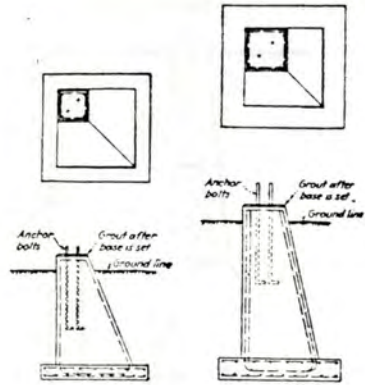


Fig. 4.36 (cont)

POWER INSTALLED FOUNDATIONS

1. Drive Foundation
2. Set stub angles
3. Set tower

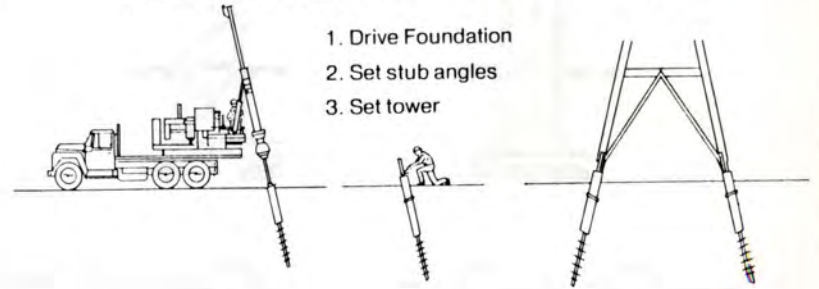


Fig. 4.36 (cont)

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONES, EJEMPLOS

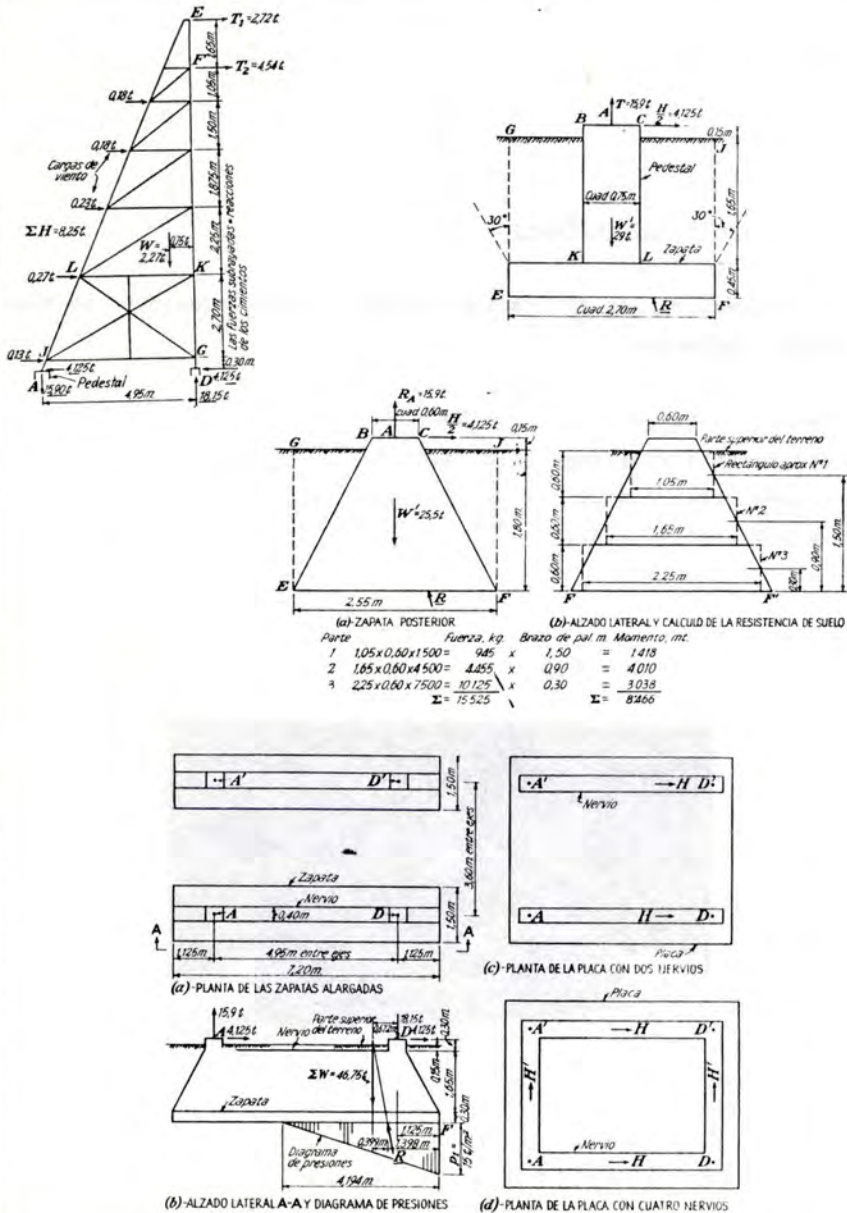


Fig. 4.37.- Soluciones amb formigó pel fonament de torres altes i lleugeres (C.W. Dunham, 1962)

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONES, EJEMPLOS

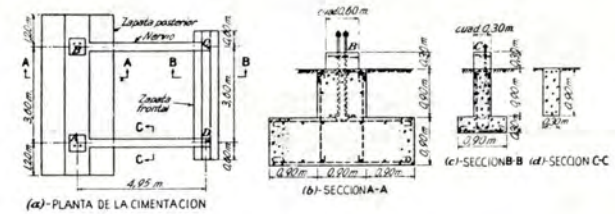


Fig. 4.37. (cont)

Les conduccions i els dipòsits submergits poden estar sotmesos a flotació i alçament. Per això pot també ser necessari ancorar-los, per exemple amb hèlices o blocs (fig. 4.38.)

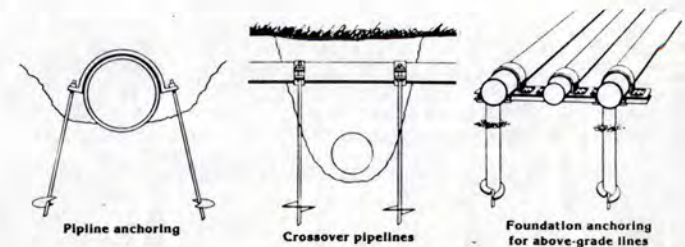


Fig. 4.38.- Ancoratge de conduccions i dipòsits submergits (A.B. Chance Co.).

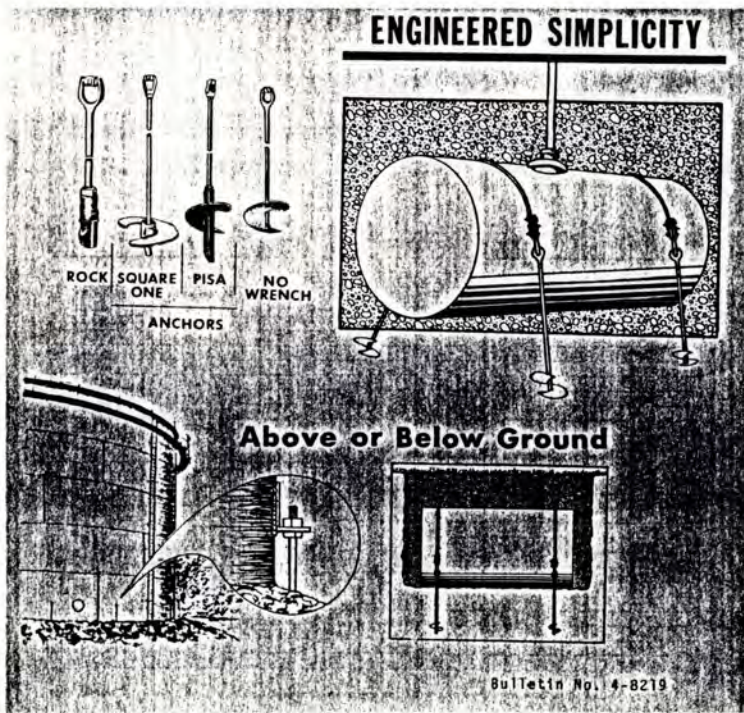
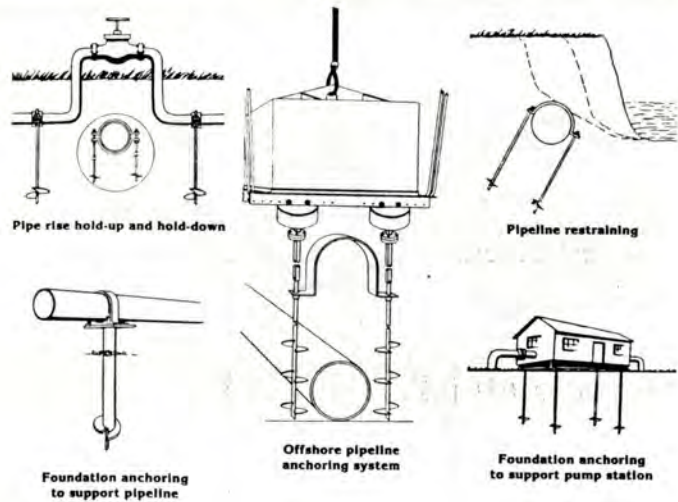


Fig. 4.38. (cont.)

4.2.4.- Enginyeria militar

Algunes de les aplicacions militars dels ancoratges passius son les següents:

- tendes de campanya (fig. 4.39.)
- membranes d'aterratge (fig. 4.40.)
- avions (fig. 4.41.)
- vaixells (fig. 4.42.)

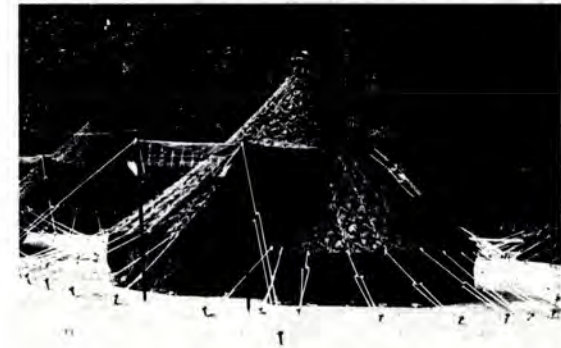


Fig. 4.39.- Tendes de campanya.

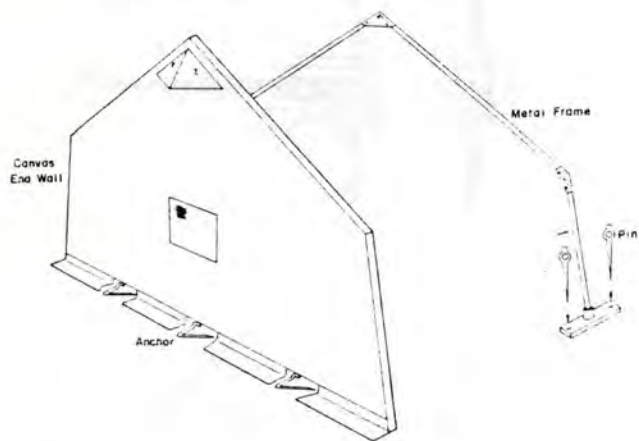


Fig. 4.39. (cont.)

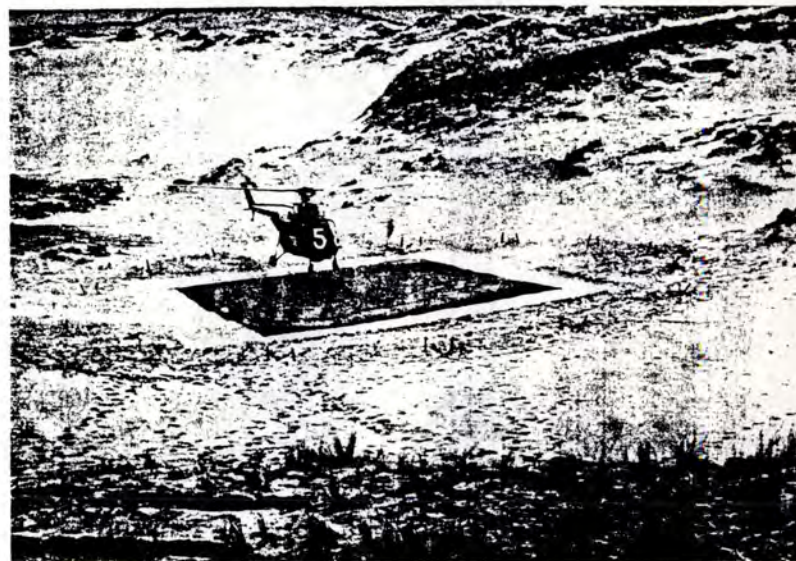


Fig. 4.40.- Els camps d'aterratge per helicòpters en campanya es preparen amb una membrana ancorada al sòl (McNeil, 1967)

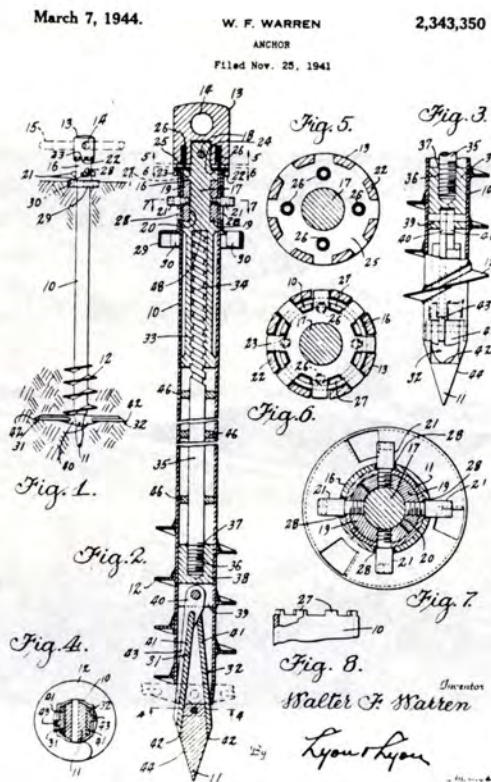


Fig. 4.41.- Ancoratge Warren per avions estacionats (U.S. Patent No 2.343.350 - 1941).

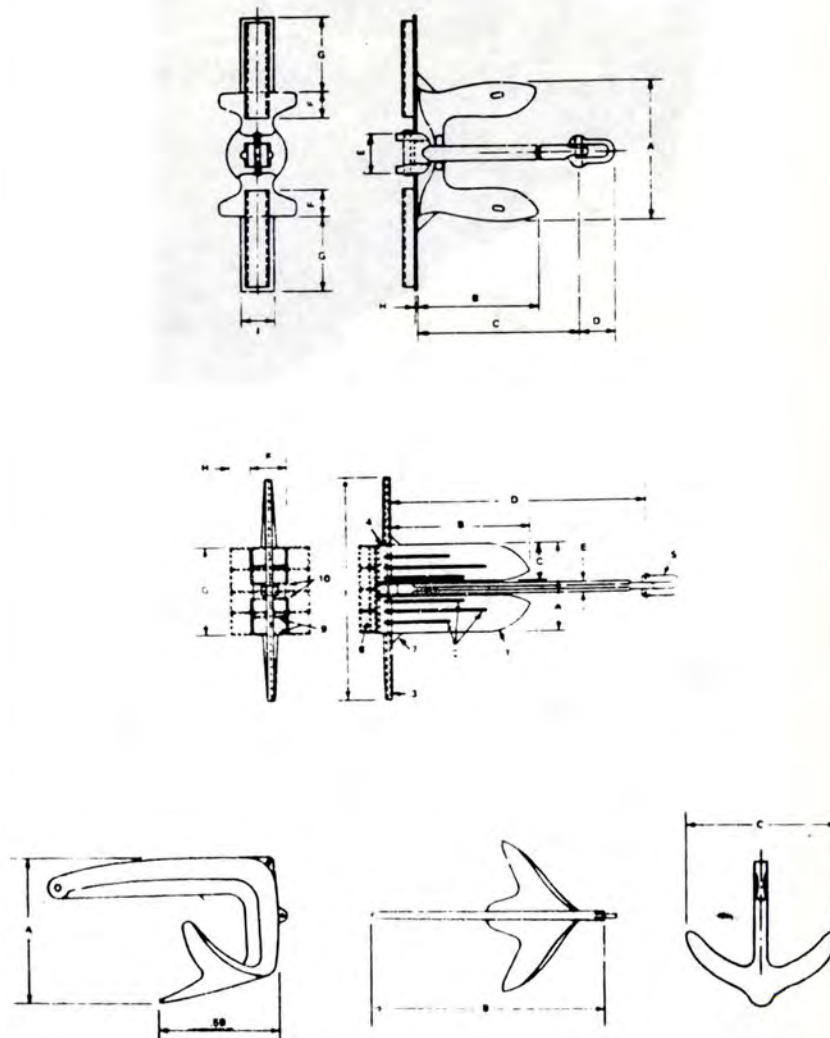


Fig. 4.42.- Ancores de vaixells militars EEUU (R.J. Taylor, 1980)

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

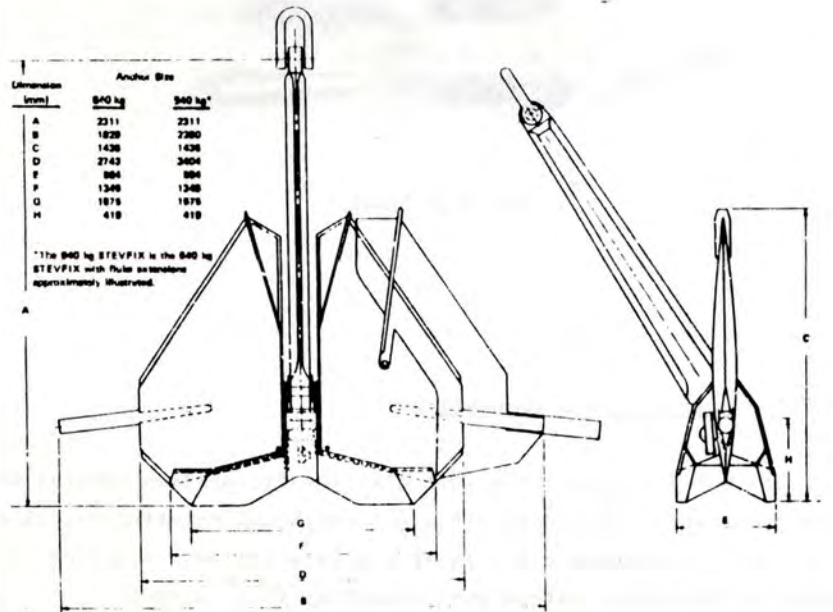
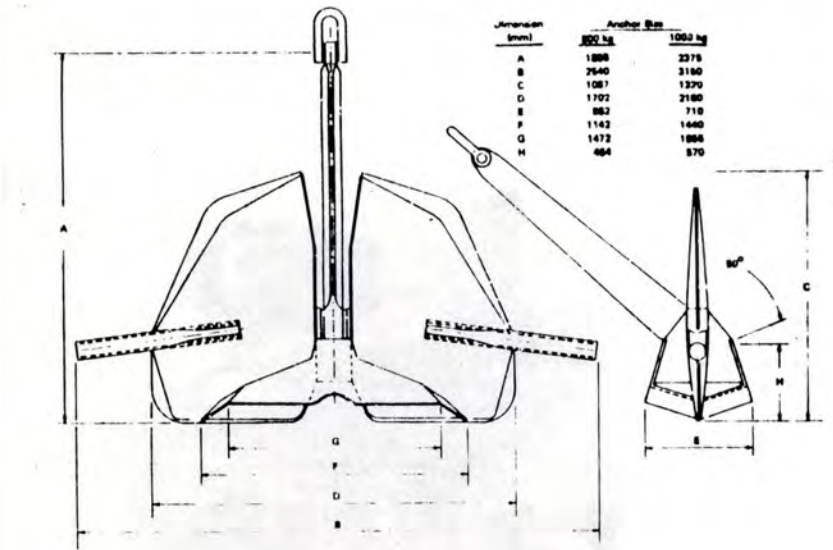


Fig. 4.42.(cont)

4.- ANTECEDENTS, APLICACIONS, EXEMPLES

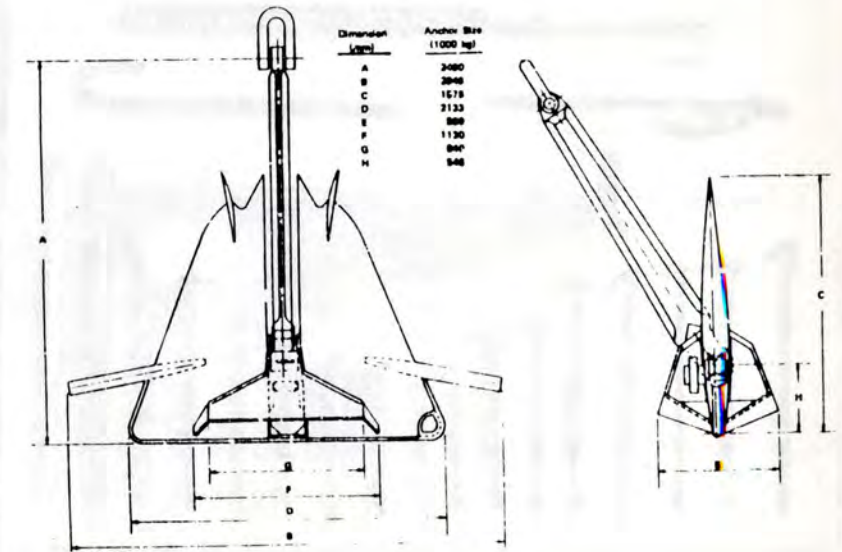
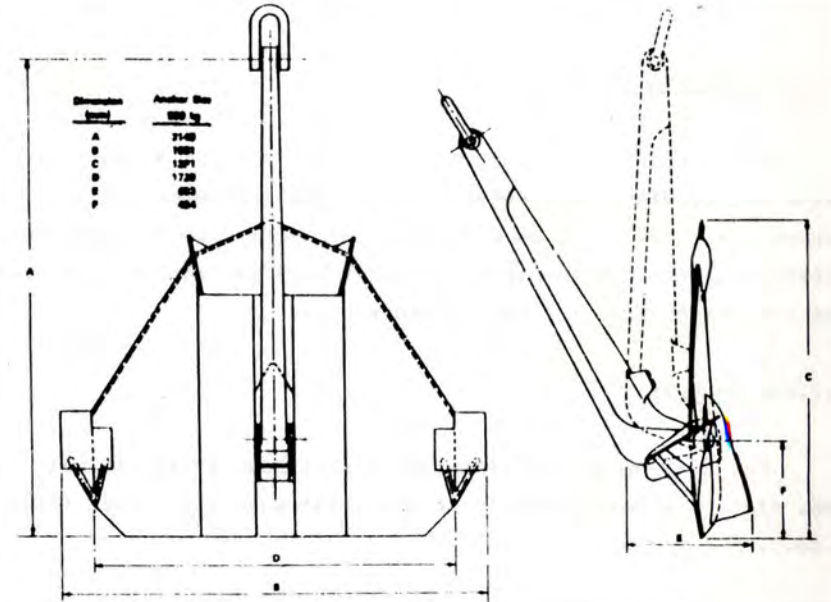


Fig. 4.42.(cont)

4.2.5.- Salvament

La recuperació d'objectes submergits, com per exemple vaixelles naufragats o naus espaials enfonsades requereix aplicar forces d'extracció que es poden avaluar amb la teoria dels ancoratges, tenint en compte els efectes de l'adherència i la succió que poden arribar a ser considerables.

4.2.6.- Esports

Per l'acampada i l'alpinisme s'utilitzen estaques, hèlices, claus i altres dispositius d'ancoratge en sòl i roca (fig. 4.43.).

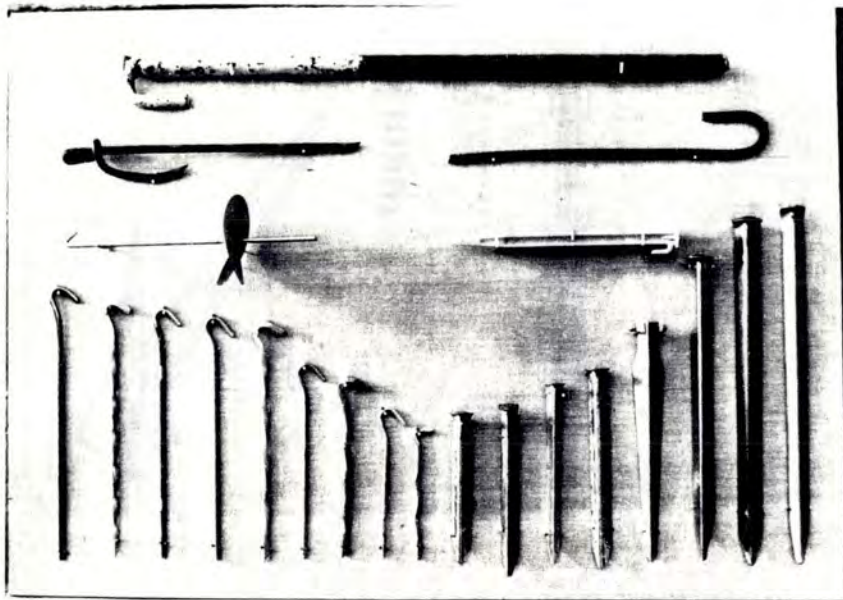


Fig. 4.43.- Estaques per acampar i ancoratges per fer alpinisme.

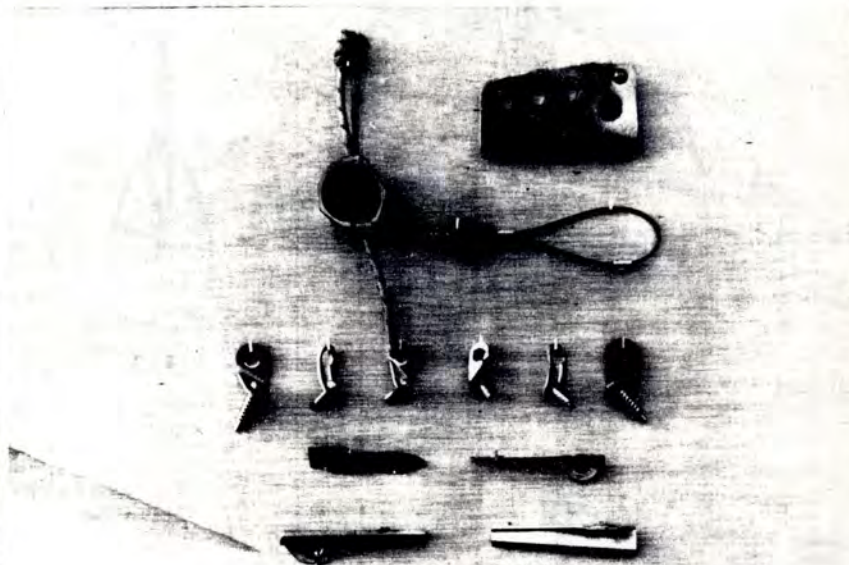


Fig. 4.43 (Cont.)

4.2.7.- Agricultura i ramaderia

Hi han instal.lacions agrícoles que requereixen ancoratges, com per exemple els emparrats i els umbràculs de materials lleugers que s'acostumen a col.locar estirats i plans ja que no necessiten desaiquar perquè són permeables (fig. 4.44.).

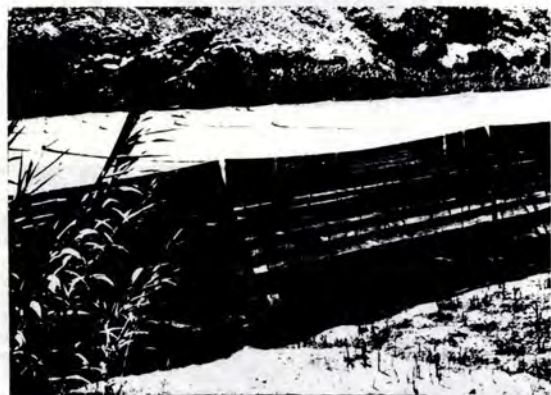


Fig. 4.44.- Emparrats i umbràculs.



Fig. 4.44. (cont.)

En alguns indrets, per controlar el bestiar que pastura i l'herba afectada s'utilitzen estacues metàl·liques que es poden utilitzar indefinidament (fig. 4.45.).



Fig. 4.45.- Estaca pel bestiar.

4.2.8.- Pesca

A la pesca s'utilitzen els ancoratges per estendre les xarxes i recolcar els vaixells (fig. 4.46.).

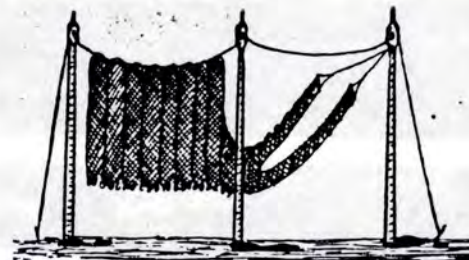


Fig. 4.46.- Xarxes esteses. (B. Rodríguez Santamaría, 1923; "Diccionario de Artes de Pesca de España y sus Posesiones", Sucesores de Rivadeneira, S.A., Madrid).

Ancoratges per remolcar els vaixells de pesca.

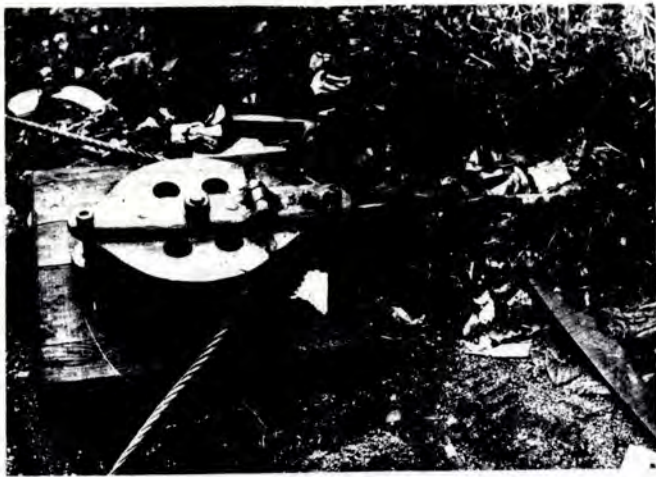


Fig.4.46 (cont.)

4.2.9.- Transports

Els transports per cable utilitzen ancoratges pels elements principals i els vents d'arriostament (fig. 4.47.).

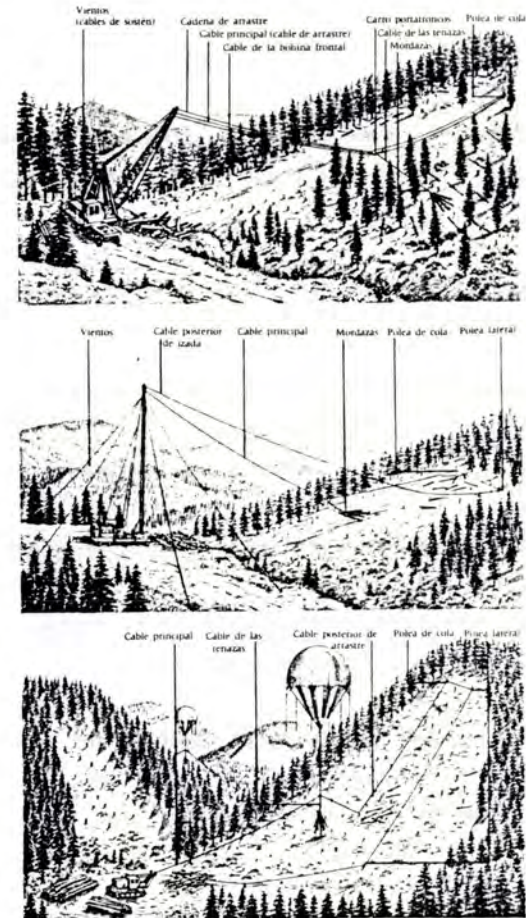


Fig. 4.47.- Transport de troncs per cable ("La madera", 1978, Blume).

5.- TIPOLOGIA

Els procediments d'ancoratge es distingeixen per les característiques de l'element, la col.locació, la càrrega i el sòl, (Quadre, 5.1.).

Els elements es poden classificar en dos grans grups per la forma de treballar:

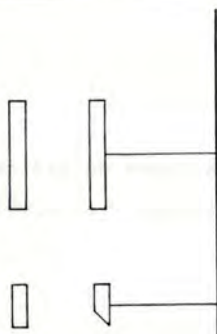
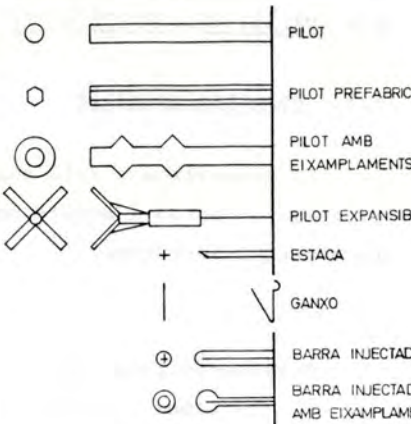
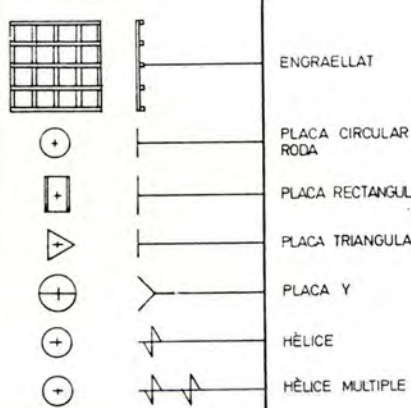
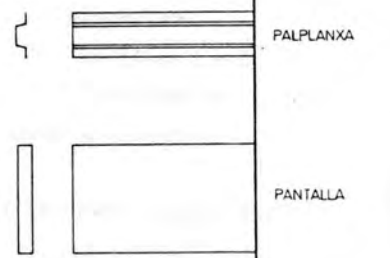
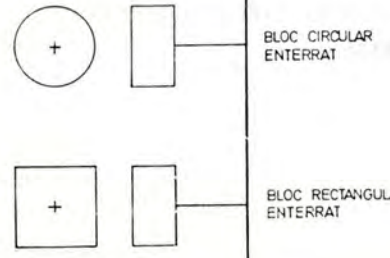
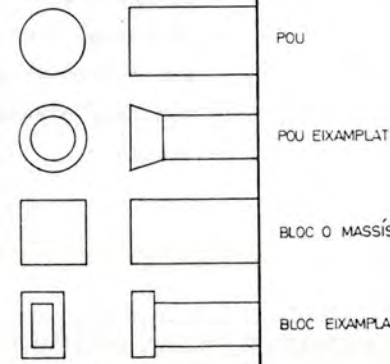
- 1) Anclorats que arriben fins a la superfície. Mobilitzen principalment l'efecte fust: pilots, pantalles, pous, blocs, estaques i barres injectades.
- 2) Anclorats que queden enterrats. Mobilitzen principalment l'efecte placa: blocs enterrats, plaques, hèlices, rodes, engrallats, tubs, troncs i altres objectes.

Els ancoratges del primer grup també poden comptar amb l'efecte placa si es construeixen amb aixamplaments, i els del segon grup es beneficien de la contribució del fust si disposen de cantell.

El quadre 5.2. resumeix els tipus existents i a l'Annex 1er es recullen les característiques de cada tipus. L'apartat 8.2. subministra a més un quadre comparatiu.

COL.LOCACIO	ANCORATGE	CARREGA
FABRICACIO	FORMA	TIPUS
Prefabricat en taller Confeccionat en obra	Lineal Superficial De volum	Ràpida Lenta Cíclica
METODE CONSTRUCTIU	MATERIAL	MAGNITUD
DE DESPLAÇAMENT	Fusta Formigó Acer	Lleugera Moderada Pesada
Clavat a percussió Per rotació De penetració estàtica Vibrat Amb explosius	RUGOSITAT	ORIENTACIO
DE EXTRACCIO	Llis Rugós	Axial Inclinada Normal
Excavació manual (apuntalada o no) Excavació mecànica: cullera, corona, hèlice (encamisada o no, amb o sense llots) Amb compactació o sense compactar	MECANISME	SOL
COLGAT	Fix Giratori Expansible	Granular Coherent Transició Roca
Col.locat avans que el sòl (en assaigs de laboratori)	FIXACIO	
PROFUNDITAT	Rígida Articulada	
Queda enterrat (superficial o fondo) Arriba fins a la superfície (cilíndric o eixamplat, superficial o fondo)	EFFECTE RESISTENT	
ORIENTACIO	Pes propi Placa Fust Empenta directa	
Vertical Inclinat Horitzontal		

Quadre 5.1.- Característiques de l'ancoratge, la col.locació, la càrrega i el sòl.

QUEDEN ENTERRATS	ARRIBEN FINS A LA SUPERFICIE	
 <p>TRONC</p> <p>TUB</p>	 <p>PILOT</p> <p>PILOT PREFABRICAT</p> <p>PILOT AMB EIXAMPLAMENTS</p> <p>PILOT EXPANSIBLE</p> <p>ESTACA</p> <p>GANXO</p> <p>BARRA INJECTADA</p> <p>BARRA INJECTADA AMB EIXAMPLAMENT</p>	LINEALS
 <p>ENGRAELLAT</p> <p>PLACA CIRCULAR, RODA</p> <p>PLACA RECTANGULAR</p> <p>PLACA TRIANGULAR</p> <p>PLACA Y</p> <p>HÈLICE</p> <p>HÈLICE MULTIPLE</p>	 <p>PALPLANXA</p> <p>PANTALLA</p>	SUPERFICIALS
 <p>BLOC CIRCULAR ENTERRAT</p> <p>BLOC RECTANGULAR ENTERRAT</p>	 <p>POU</p> <p>POU EIXAMPLAT</p> <p>BLOC O MASSÍS</p> <p>BLOC EIXAMPLAT</p>	DE VOLUM

6.- COMPORTAMENT

6.- ANALISI DEL COMPORTAMENT

6.1.- Aspectes Generals

6.1.1.- Mecanismes resistents

6.1.2.- Relació entre càrrega i desplaçament

6.1.3.- Superfícies de trencament

6.1.4.- Distribució de tensions

6.2.- Tipus i forma

6.2.1.- Tipus i forma

- 1) Efecte del contorn
- 2) Efecte de la curvatura
- 3) Plaques i pilots
- 4) Eixamplaments
- 5) Afusament

6.2.2.- Grandària

- 1) Càrrega d'arrencament
- 2) Profunditat crítica
- 3) Pressió limit
- 4) Factor de forma
- 5) Desplaçaments

6.2.3.- Profunditat

6.2.4.- Inclinació (càrrega axial)

6.2.5.- Rugositat

6.2.6.- Rigidesa

6.2.7.- Efecte de grup

6.3.- Característiques del sòl

- 6.3.1.- Tipus
- 6.3.2.- Densitat
- 6.3.3.- Angle de fricció
- 6.3.4.- Cohesió
- 6.3.5.- Adherència
- 6.3.6.- Rigidesa, compressibilitat
- 6.3.7.- Estat inicial de tensions i pre-consolidació
- 6.3.8.- Humitat, nivell freàtic
- 6.3.9.- Succió

6.4.- Característiques de la càrrega

- 6.4.1.- Magnitud
- 6.4.2.- Duració
- 6.4.3.- Repetició
- 6.4.4.- Inclinió (respecte a l'ancoratge)
- 6.4.5.- Excentricitat

6.5.- Característiques del procés constructiu

- 6.5.1.- Col·locació de l'ancoratge
 - 1) Mètodes de desplaçament
 - 2) Mètodes de extracció
 - 3) Excavació amb llots
 - 4) Abocat del formigó
 - 5) Injecció a pressió
- 6.5.2.- Estirada prèvia

6.- ANÀLISI DEL COMPORTAMENT6.1.- Aspectes generals

El comportament dels ancoratges passius depèn de les característiques de l'ancoratge, el sòl, la càrrega i el procés constructiu següents:

Característiques de l'ancoratge:

- tipus i forma
- pes
- grandària
- profunditat
- inclinació
- rugositat
- rigidesa
- efecte de grup

Característiques del sòl:

- tipus
- densitat
- angle de fricció
- cohesió
- adherència
- rigidesa, compressibilitat
- estat inicial de tensions, preconsolidació
- humitat, nivell freàtic
- succió

Característiques de la càrrega:

- magnitud
- duració
- repetició
- inclinació
- excentricitat

Característiques del procés constructiu:

- excavació i reblert
- estirada prèvia

La influència de cada una de les característiques esmentades és analitzada a continuació en base a diverses observacions teòriques i experimentals.

6.1.1.- Mecanismes resistents

La resistència dels ancoratges passius a l'extracció està determinada principalment per les característiques de tall del sòl, que es mobilitzen i s'equilibren a través de diversos mecanismes resistents. Aquests mecanismes resistents són:

- 1) L'efecte placa- L'ancoratge actúa contra el sòl com si fos una sabata invertida i s'apreta contra el material que l'hi impideix el pas al avançar (fig. 6.1.). Aquest és el mecanisme resistent principal dels ancoratges de molta superfície i poc cantell, com per exemple les plaques, les hèlices i els engrael·lats.

- 2) L'efecte fust- L'ancoratge actúa contra el sòl per fricció. Per avançar, haurà de vencer la resistència al tall de sòl adherit a la superfície lateral (fig. 6.1.). Aquest és el mecanisme resistent principal dels ancoratges cilíndrics amb molt cantell, com per exemple els pous i els pilots.
- 3) El pes- El moviment ha de vencer el pes propi de l'ancoratge i el del sòl desplaçat cap amunt. Es produirà a costa de la recuperació del sòl alleugerit d'aquestes pressions per la càrrega d'arrencament. És el més rígid de tots els mecanismes resistents.

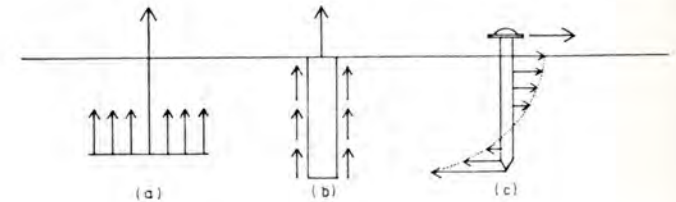


Fig. 6.1.- (a) Efecte placa. (b) Efecte fust. (c) Efecte de l'empenta.

- 4) L'efecte de l'empenta lateral, sotmesos ^{En ancoratges} a càrregues d'arrencament inclinades, la component horitzontal mobilitza empenyes actives i passives a les cares frontal i dorsal segons la profunditat (fig. 6.1.).

Aquests mecanismes resistents acostumen a combinar-se segons el tipus d'ancoratge i la situació (fig. 6.2.). Quan es combinen l'efecte placa i l'efecte fust, encara que en teoria es poden considerar per separat per simplificar l'anàlisi, a la realitat s'interfereixen mutuament.

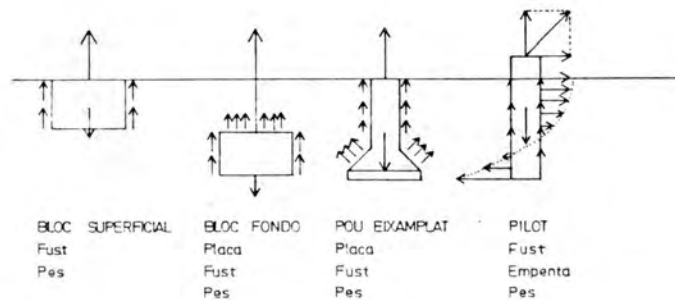


Fig. 6.2.- Combinació de mecanismes resistents

Al arrencar pous eixamplats, per exemple, s'observa (fig. 6.3.) que al iniciarse la càrrega, el fust n'absorbeix la major part fins que s'esgota, moment en el que la càrrega que arriba a l'eixamplament és encara molt inferior a la màxima. L'arrencament es produirà doncs quan s'esgoti la resistència de la campana en plé relaxament del fust.

La resistència del fust dels pilots també varia segons estiguin sotmesos a compressió o arrencament.

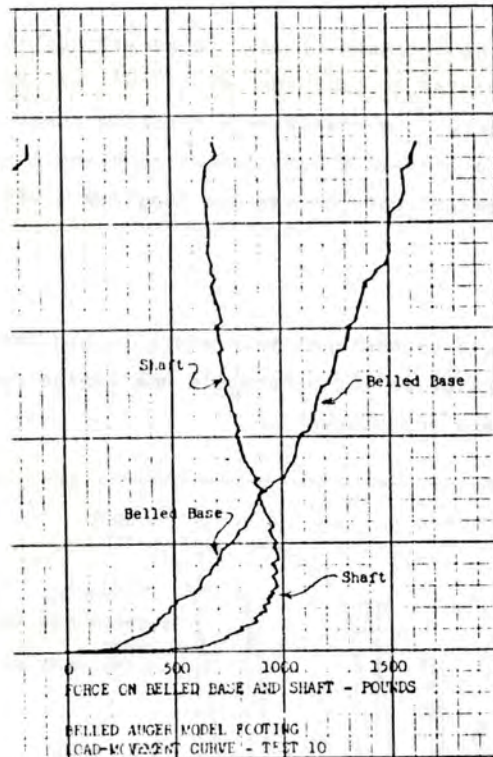


Fig. 6.3.- Relació entre desplaçament i càrrega de la campana i el fust (Horner, 1972).

MOVIMENT VERTICAL en polsades (1 in = 25,4 mm.)

CÀRREGA TRANSMESA PER LA CAMPANA I EL FUST en lliures (1 lb = 4,45 N)

6.1.2.- Relació entre càrrega i desplaçament

El comportament dels ancoratges es reflexa en la corba càrrega vs. desplaçament, obtinguda al carregar, progressivament l'ancoratge fins a la resurrecció. (fig. 6.4.).

La corba presenta una primera fase més rígida, quasi lineal, després es corba progressivament fins que es produeix l'arrencament a càrrega quasi constant. Aquesta part final de la corba varia segons la superficialitat de l'ancoratge i el tipus de sòl. La resistència última en el moment de la fallida acostuma a ser inferior a la màxima mobilitzada durant el procés d'arrencament. La distància que les separa indica el relaxament progressiu de les tensions sobre la superfície de trencadura, fins que, al produir-se la separació, només actuen el pes propi de l'ancoratge i el de les terres afectades pel alçament.

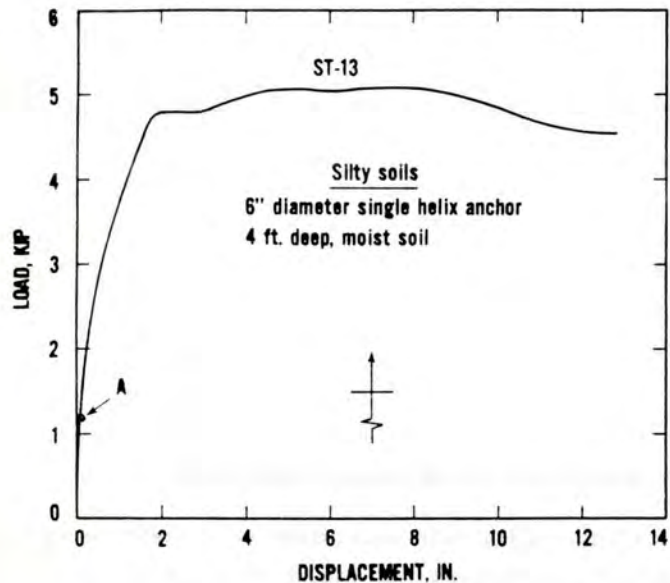


Fig. 6.4.- Corba verge càrrega vs. desplaçament (Yokel et al. 1982)

CÀRREGA EN KIPS (1 Kip = 4,45 KN)

DESPLAÇAMENT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

Si en lloc d'augmentar progressivament la càrrega, s'augmenta per cicles de càrrega-descàrrega successius, es constata que el sol endureix. (fig. 6.5.).

L'ancoratge compacta el sòl, de manera que al tornar-lo a carregar, després de retirada la càrrega, es produeixen moviments inferiors. La pre-càrrega modifica doncs la deformabilitat disminuint-la i per aixó es recomana l'estirada prèvia dels ancoratges deformables que facilita a més el posicionament.

Per aixó, a vegades pot sorprendre la rigidesa inesperada de un ancoratge en sòl deformable que indica que ja estat sotmés a càrrega anteriorment.

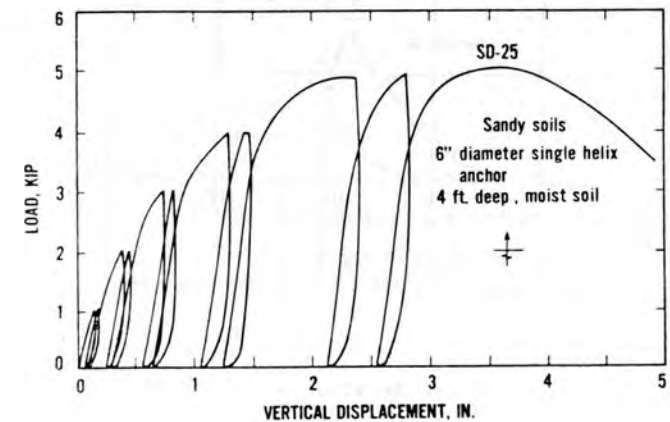


Fig. 6.5.- Assaig d'arrencament amb cicles de càrrega i descàrrega (Yokel et al., 1982)

CÀRREGA en kips (1 kip = 4,45 KN)

DESPLAÇAMENT VERTICAL en polzades (1 in = 25,4 mm.)

6.1.3.- Superfícies de trencament

La superfície de trencament que es produeix al arrencar un ancoratge depèn del tipus, el pes unitari o rigidesa del sòl i la profunditat.

En els ancoratges col·locats a poca profunditat, o superficials, el volum de sòl desplaçat al mobilitzar la resistència màxima a l'arrencament arriba fins a la superfície lliure (fig. 6.44.).

Al augmentar la profunditat disminueix aquesta interferència, fins que el sòl desplaçat queda contingut a l'interior del semi-espai, la superfície de trencadura no arriba fins a la superfície lliure i amb prou feines es manifesta exteriorment (fig. 6.6.). La profunditat crítica D_c s'acostuma a expressar en relació a l'amplada B de l'ancoratge, o sigui:

D_c/B = profunditat relativa crítica

Si $D/B < D_c/B$ l'ancoratge es superficial

Si $D/B > D_c/B$ l'ancoratge es fondo

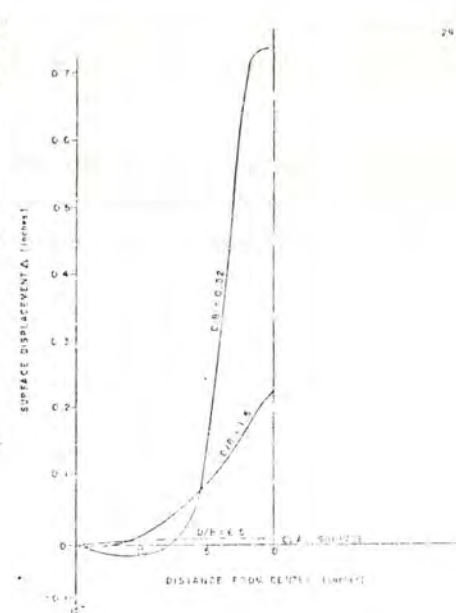


FIG. 6.6.- AVERAGE SURFACE DISPLACEMENTS FOR ANCHOR PLATE

Fig. 6.6.- Desplaçaments de la superfície lliure al produir-se la càrrega màxima d'arrencament. Plaques horitzontals ($B = 3''$) en argila tova. (Ali, 1 68)

DESPLAÇAMENT DE LA SUPERFÍCIE en polzades (1 in = 25,4 mm.)

DISTANCIA AL CENTRE en polzades (1 in = 25,4 mm.)

La formació de la superfície de trencadura varia també amb el tipus d'ancoratge que la genera. (fig. 6.7.)



6.- COMPORTAMENT

Les plaques afecten a un bulb al apretar cap amunt mentre que els pilots mobilitzen un gruix perimetral en tota l'alçada.

En canvi la rigidesa o el pes unitari del sòl determina la capacitat de penetració, perquè augmenten el volum afectat i per tant l'abast de la superfície de trencament.

6.- COMPORTAMENT

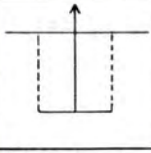
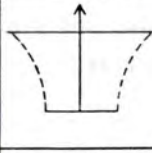
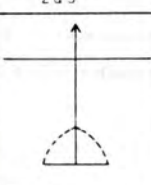
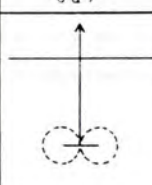
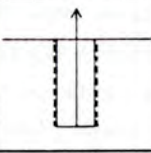
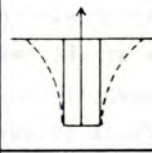
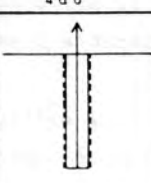
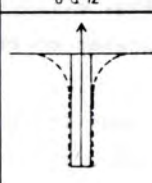
TIPOS		SUPERFÍCIES DE TRENCAMENT	
		SÒL	
		SOLT O TOU	DENS O DUR
PLAQUES, HÈLICES, ENGRAELLATS	SUPERFICIALS		
	Dc/B	2 a 3	6 a 7
PLAQUES, HÈLICES, ENGRAELLATS	FONDOS		
	Dc/B	2 a 3	6 a 7
PILOTS, ESTADIES, BARRES INJECTADES	SUPERFICIALS		
	Dc/B	4 a 6	8 a 12
PILOTS, ESTADIES, BARRES INJECTADES	FONDOS		
	Dc/B	4 a 6	8 a 12

Fig. 6.7.- Superfícies de trencament

Dc = Profunditat crítica

B = Amplada

Les plaques verticals es comporten de forma singular que interessa com a cas extrem d'ancoratge inclinat. En sorres, a poca profunditat, (fig. 6.8.) mobilitzen superfícies de trencadura per empenta activa al darrera GA i BEF i superfícies de trencadura per empenta passiva al davant CB i DA. La falca DGA a penes es belluga i la superfície s'alça al davant CD i s'enfonsa al darrera GF.

Al augmentar la profunditat ($D/B > 5$) la trencadura deixa d'afectar a la superfície lliure del sòl (fig. 6.9.).

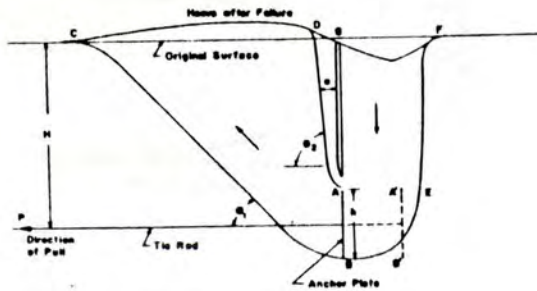


FIG 4 GENERAL FAILURE PATTERN (Shallow Anchor)

Fig. 6.8.- Trencadura de plaques verticals superficials en sorra (Ranjan & Kaushal, 1975).

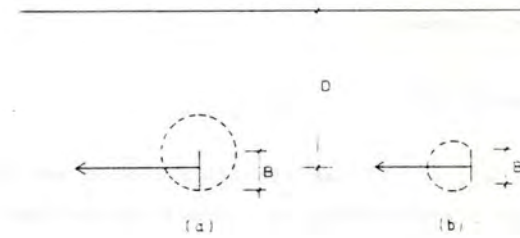


Fig. 6.9.- Trencadura de plaques verticals fondeades en sorra:
a) sorra solta o model
b) sorra densa o prototipus

6.1.4.- Distribució de tensions

La distribució de tensions mobilitzada per l'arrencament de l'ancoratge ha sigut observada mesurant-la en assaigs instrumentats o analitzant-la a través de mètodes de càlcul basats en hipòtesis diverses.

a) Observacions empíriques

Andreadis et al. (1981) mesuren les tensions horitzontals generades per l'arrencament de plaques horitzontals en sorra (fig. 6.10.) s'observa que augmenten amb la grandària i la profunditat.

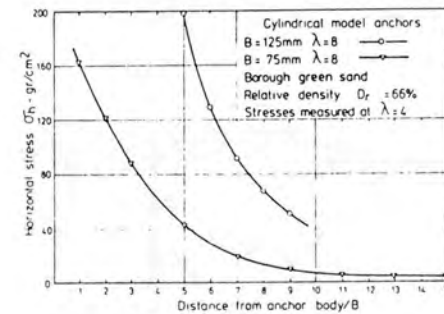
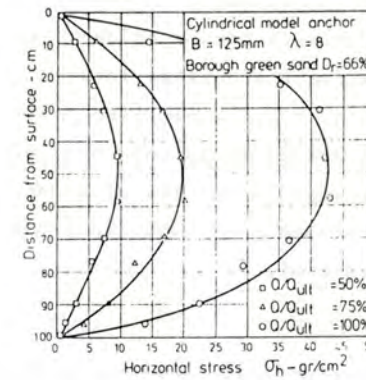


Fig. 6.10.- Tensions horitzontals mobilitzades per l'arrencament de plaques en sorra (Andreadis et al., 1981)

PROFUNDITAT D (cm)
 TENSIO HORIZONTAL (gr/cm²)
 $\lambda = D/B$
 TENSIO HORIZONTAL (gr/cm²)
 DISTANCIA / B
 $\lambda = D/B$

Puech et al. (1979) mesuren les tensions de tall sobre el fust de un pilot arrencat en sorra (fig. 6.11.) que augmenten amb la profunditat i el nivell de la càrrega.

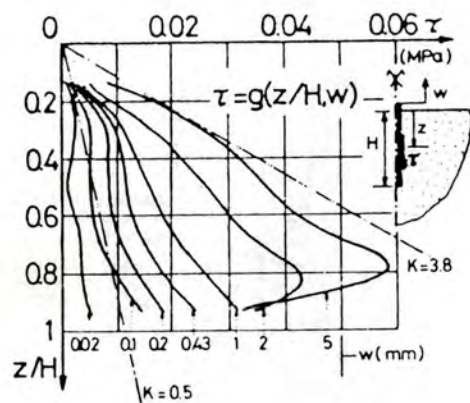


Fig. 6.11.- Distribució de la tensió de tall sobre el fust d'un pilot arrencat en sorra (Puech et al., 1979)

b) Observacions analítiques

Selvadurai analitza el comportament d'un ancoratge esfèric en sòl saturat incompressible. El considera elàstic i totalment adherit al contorn, situació que es produeix en profunditats superiors a la crítica i càrregues moderades (fig. 6.12.). Observa que l'empenta el repòs evita la mobilització de traccions sobre la superfície de contacte fins que la càrrega d'arrencament supera el quàdruple del pes de les terres situades sobre la projecció vertical de l'ancoratge. L'absència d'empenta al repòs produeix traccions fins i tot sense càrrega.

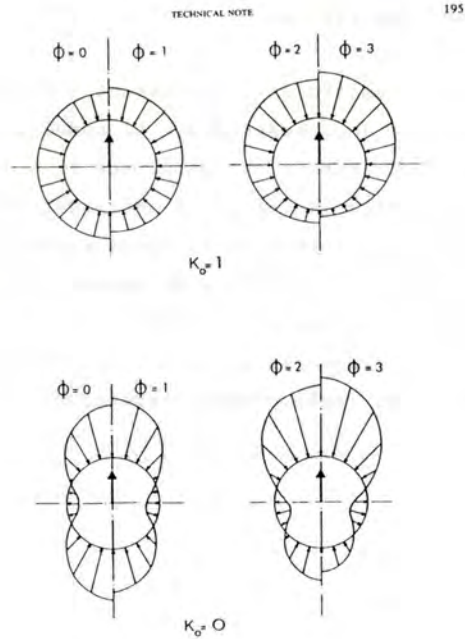


Fig. 6.12.- Distribució de tensions normals a la superfície d'un ancoratge esfèric situat a profunditat superior a la crítica en sòl saturat incompressible (Selvadurai, 1978)

$$\phi = \frac{q_0}{\pi B^2 \gamma D} = \text{càrrega relativa al pes de les terres situades sobre la projecció vertical}$$

K_o = coeficient d'empenta al repòs

Tanaka (1980) observa que en argiles es mobilitzen pressions intersticials positives damunt de la placa o eixamplament i negatives al dessota (fig. 6.13.). Amb el procés de consolidació millorarà la part superior i es debilitarà la inferior. Caldrà tenir-ho en compte al determinar la separació entre hèlices o eixamplaments en ancoratges múltiples.

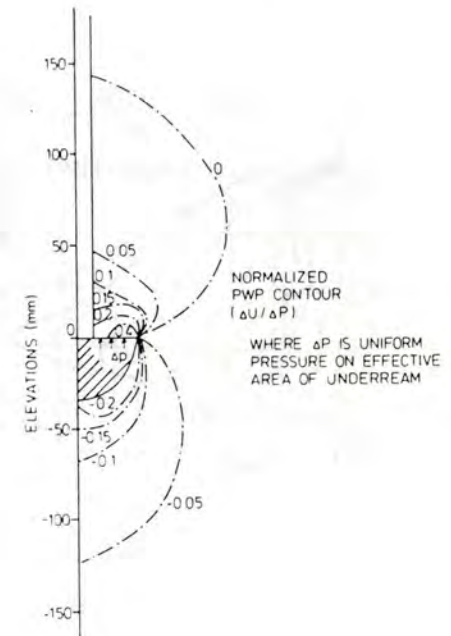


Fig. 6.13.- Distribució de pressions intersticials a les proximitats d'una placa d'ancoratge en argila (Tanaka, 1980)

CONTES D'ALÇADA (mm)

Rowe & Davis (1982) analitzen la plastificació del sòl pròxim a plaques corregudes en sòls granulars en el moment de la trencadura (fig. 6.14.). S'observa que la plastificació augmenta amb la profunditat i al col·locar la placa en posició vertical.

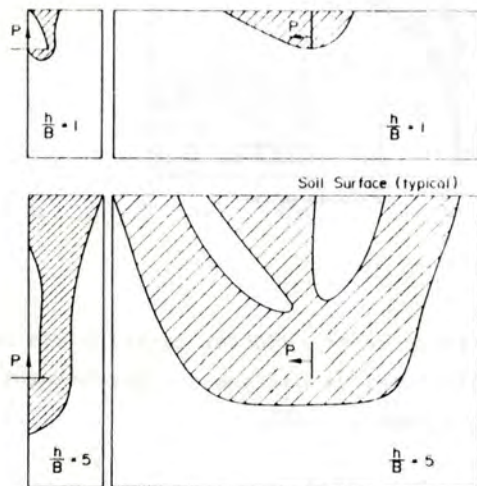


Fig. 6.14.- Zones plastificades en el moment de la trencadura
Plaques corregudes (Rowe & Davis, 1982).

6.2.- Característiques de l'ancoratge

6.2.1.- Tipus i forma

La forma de l'ancoratge influeix en el comportament perquè determina la forma del volum de sòl que es mobilitza contra la càrrega d'arrencament.

1) L'efecte del contorn

Per estudiar la repercussió de la forma, es comparen les pressions límit o els coeficients d'arrencament d'ancoratges diferents enterrats en el mateix sòl. (fig. 6.15.)

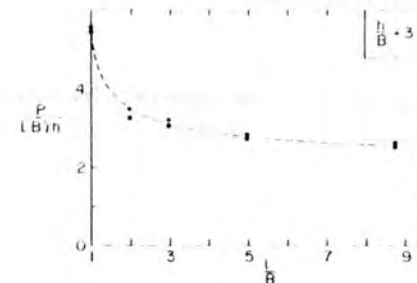


Fig. 6.15.- Efecte de la proporció L/B en el factor de capacitat de càrrega N_{qu} (Rowe & Davis, 1982)

Al analitzar l'arrencament de plaques horitzontals en sorra seca a $D/B = 3$, s'observa com el factor de capacitat de càrrega a l'arrencament N_{qu} augmenta fins al 120% al passar la relació L/B de 8,75 a 1. Aquest efecte s'acusa molt per $L/B < 2$ i poc per $L/B > 5$, o sigui que beneficia més als rectangles poc desproporcionats.

Aquestes observacions poden generalitzar-se per qualsevol profunditat (fig. 6.16.).

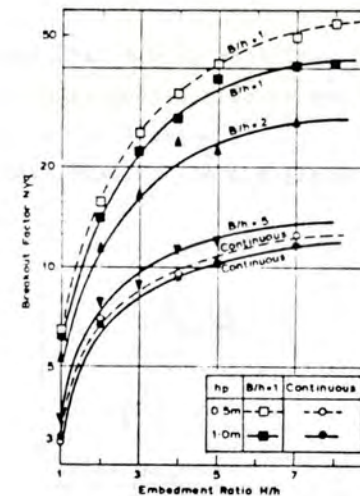


Fig. 6.16.- Efecte de la profunditat relativa D/B en el factor de capacitat de càrrega a l'arrencament N_{qu} (Dickin & Leung, 1983).

Es habitual identificar aquestes diferències a través del factor de forma S , quocient entre la pressió límit o el coeficient d'arrencament d'un ancoratge circular, quadrat o rectangular i el d'un ancoratge corregut col·locat en el mateix sòl a la mateixa profunditat.

$$S = \frac{\text{pressió límit tridimensional}}{\text{pressió límit cas pla}}$$

El factor de forma es pot estimar calculant l'empenta sobre un pla indefinit per l'ancoratge corregut i sobre una superfície cilíndrica per l'ancoratge circular (fig. 6.17.). S'observa que l'angle de fricció participa amplificant l'efecte de la forma i la profunditat també, encara que només incideix fins al valor crític que delimita el comportament superficial.

Els ancoratges circulars resultan doncs més sensibles a les variacions de l'angle de fricció.

S'han realitzat varies observacions que confirmen l'efecte de la profunditat en el factor de forma (fig. 6.18.). Altres indiquen l'efecte de la proporció en la profunditat relativa crítica, palesant que les plaques allargades tenen més capacitat de penetració (fig. 6.19.).

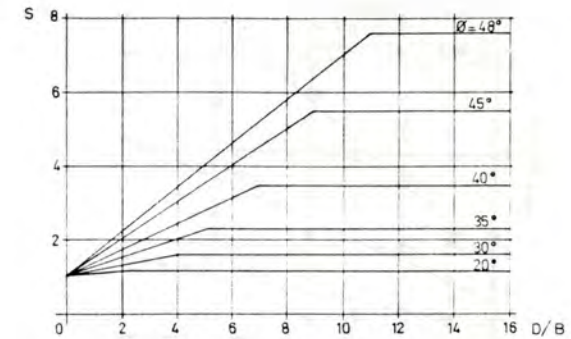


Fig. 6.17.- Factors de forma d'ancoratges circulars (Meyerhof & Adams, 1968)

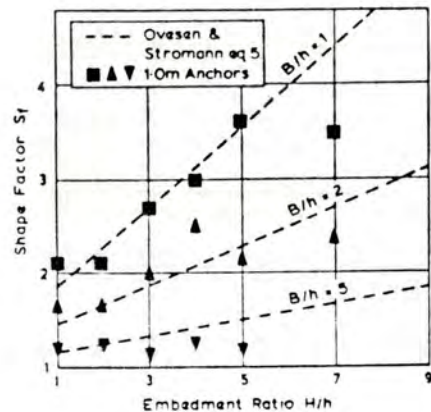


Fig. 6.18.- Efecte de la profunditat relativa D/B en el factor de forma S (Dickin & Leung, 1983).

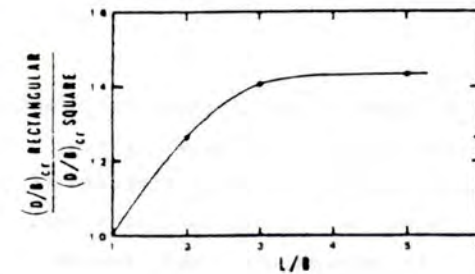


Fig. 6.19.- Efecte amplificador de la proporció L/B en el quocient entre la profunditat relativa crítica de plaques rectangulars i quadrades (Das & Seeley, 1975)

Els ancoratges aïllats són més resistents que els correguts ja que els factors forma superen en tots els casos la unitat i per tant resultarà conservador estimar el comportament dels primers en base a l'anàlisi i les observacions dels segons.

Aquest efecte procedeix de l'influència del perímetre en la formació del volum de sòl afectat per l'extracció (fig. 6.20.). Com que les proporcions de l'ancoratge modifiquen la relació entre perímetre i superfície, influeixen també en la formació del volum interessat, o sigui en la resistència. (fig. 6.21.)

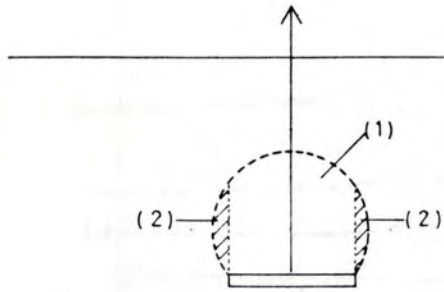


Fig. 6.20.- L'efecte total de la placa en el sòl es pot considerar dividit entre l'efecte de l'interior (1) i el de la vora (2).

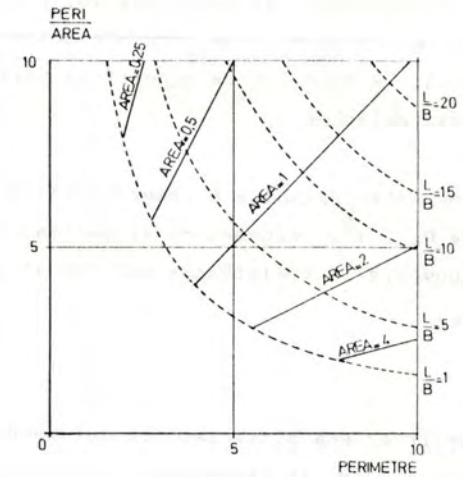


Fig. 6.21.- Efecte del Perímetre en la relació Perímetre/Àrea

L'efecte del perímetre s'acusa seguint qualsevol corba d'igual àrea. Al augmentar la desproporció, augmenta el perímetre o sigui la repercussió de vora per unitat de superfície de la placa. A igualtat de superfície resisteix més la placa que té més perímetre.

Aixó ho constaten Hiekbila & Laine (1964) al arrencar dues plaques de $0,75 \text{ m}^2$. Augmentant el perímetre de 3,48 m. a 5,44 m., s'augmenta la resistència del 40% al 50% segons el tipus de sòl.

Es pot realitzar una altra lectura del mateix efecte observant la repercussió de la proporció L/B en la relació Perímetre/Àrea (fig. 6.22.).

Per cada amplada B , al augmentar la proporció L/B , disminueix la repercussió del perímetre per unitat de superfície, o sigui la repercussió del volum de la calca de sòl que mobilitza el contorn de la placa i per tant disminueix també la resistència unitaria.

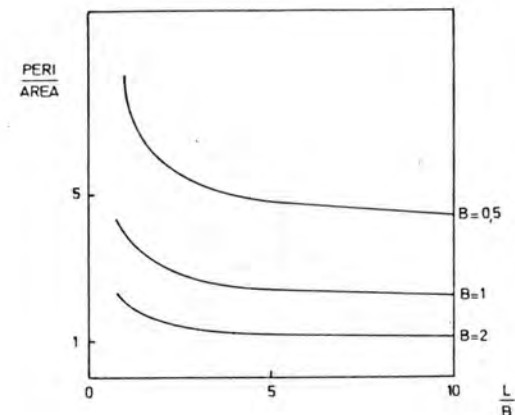
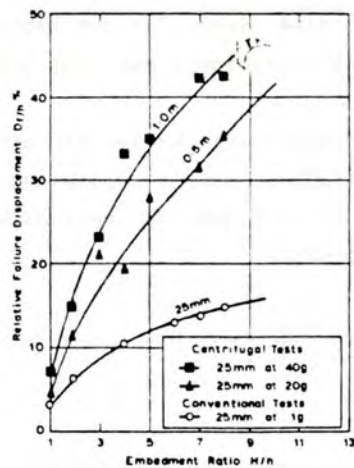
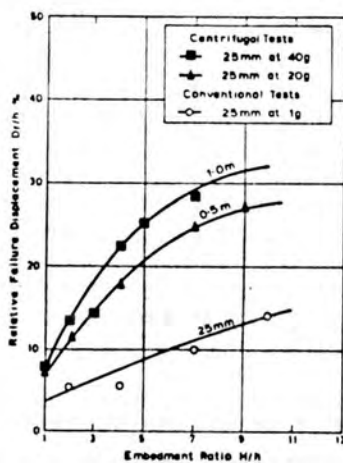


Fig. 6.22.- Efecte de la proporció L/B en la relació Perímetre/Àrea.

Les variacions en la resistència promogudes per la influència del perímetre es reflexen també en el desplaçament, ja que el desplaçament relatiu de les plaques corregudes es inferior al de les quadrades (fig. 6.23.)



Plaquas quadrades



Plaquas corregudes

Fig. 6.23.- Efecte de la profunditat relativa D/B en el desplaçament relatiu màxim d'arrencament su/B de plaques quadrades i rectangulars (Dickin & Lung, 1983)

2) Efecte de la curvatura

Kwasniewski & Sulikowska (1964) investiguen l'efecte de la curvatura de plaques verticals en sorra de Sopot (fig. 6.24.). Es troben amb que les plaques que empenyen el sòl amb el costat convex resisteixen més que les plaques planes. En canvi, les que ho fan amb el costat còncav resisteixen menys. En ambdós casos la curvatura augmenta la deformació.

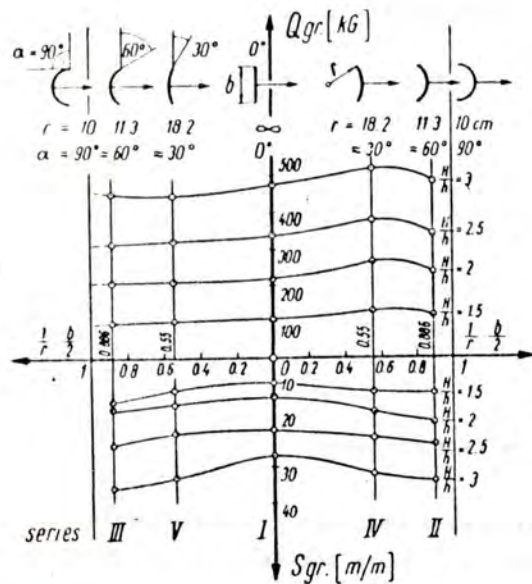


Fig. 6.24.- Resistència a l'arrencament i desplaçaments de plaques verticals de 200 x 200 mm. en projecció vertical i curvatura variable (Kwasniewski & Sulikowska, 1964).

3) Plaques i pilots

L'estudi comparatiu de les corbes resistència vs. profunditat relativa D/B de plaques i pilots de igual diàmetre, a la mateixa profunditat i en el mateix sòl indiquen les diferències de comportament entre aqueste dos tipus d'ancoratges (fig. 6.25.).

La resistència a l'arrencament dels pilots augmenta amb la profunditat de forma lineal, ja que també ho fa la superfície de contacte sòl-ancoratge i per tant l'adherència total.

En canvi, la resistència de les plaques augmenta molt depressa al principi (mes que la dels pilots) però s'estabilitza a partir de $D/B = 3$ quan la trencadura deixa de dependre de la profunditat.

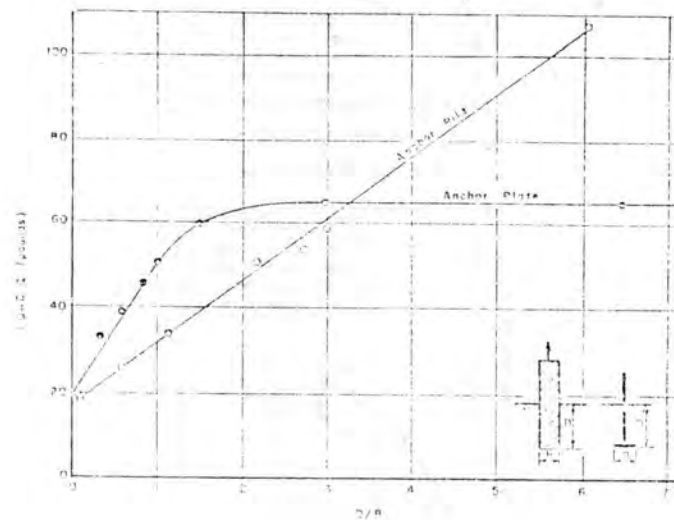
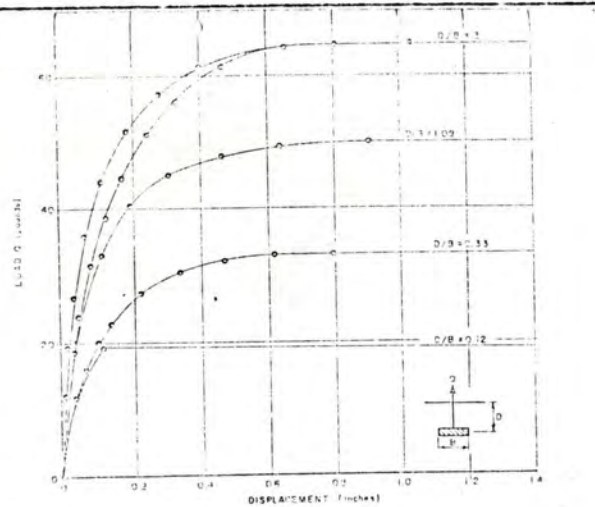


Fig. 6.25.- Efecte de la profunditat relativa D/B en la càrrega d'arrencament de plaques i pilots d'igual diàmetre (76,2 mm.) (Ali, 1968).

CARREGA en lliures (1 lb = 4,45 N)

6.- COMPORTAMENT

Els pilots son molt més rígids perquè s'arrenquen al produir-se un desplaçament equivalent al 4% del diàmetre, mentre que les plaques necessiten un 20% (fig. 6.26.)



6.- COMPORTAMENT

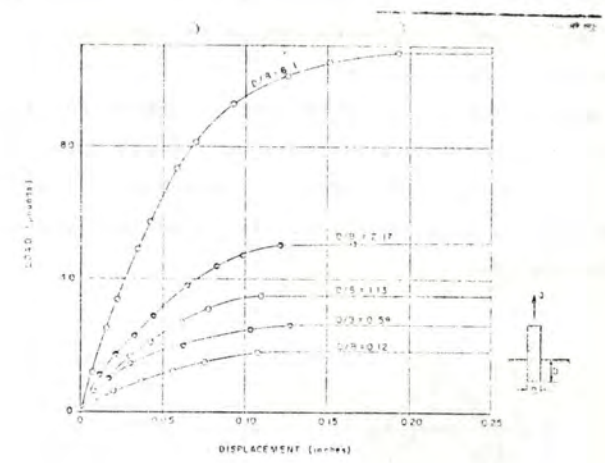


Fig. 6.26.- Corbes càrrega vs. desplaçament de plaques i pilots d'igual diàmetre (76,2 mm.) (Alf, 1968)

CARREGA en lliures (1 lb = 4,45 N)
 DESPLAÇAMENT en mm.

Una comparació semblant entre barres injectades i plaques (fig. 6.27.) indica que si bé la resistència es comparable, les barres injectades deixen de resistir al iniciarse l'extracció, mentre que les plaques van cedint progressivament a mesura que es van arrencant ja que el sòl aixecat amb la placa continua subministrant resistència durant l'alçament. El volum de l'ancoratge es inferior però el volum de sòl que participa es superior. Per això la placa necessita desplaçar-se més.

37

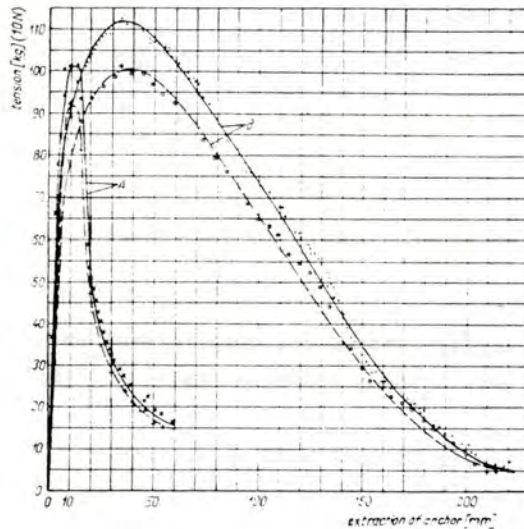


Fig. 6.27.- Corbes càrrega vs. desplaçament de barres injectades (A) i plaques (B). (Hobst & Zajic, 1977)

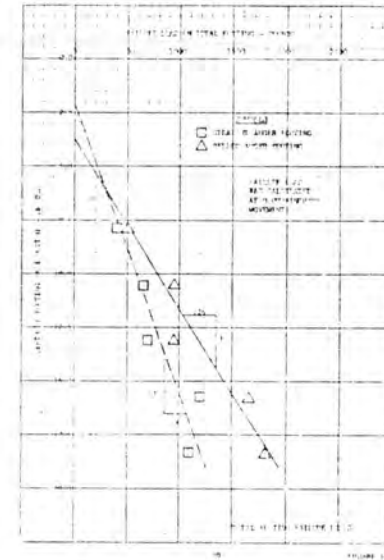
TRACCIÓ en Kp (1 Kp = 9,81 N)

DESPLAÇAMENT en mm.

4) Eixamplaments

L'eixamplament de la base de l'ancoratge afegeix l'efecte placa als de la fricció i pes propi dels ancoratges cilíndrics (fig. 6.28.).

A més produeixen un efecte de falca que involucra al sòl lateral en el volum afectat per l'arrencament.



PROFUNDITAT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

CÀRREGA TOTAL SOBRE EL POU (FUST+BASE) en lliures (1 lb = 4,45 N)

La càrrega correspon a 1,81 mm. de desplaçament



Fig. 6.28.- Efecte de la profunditat en la resistència a l'arrencament total i de la base de pous cilíndrics i acampanats (Horner, 1972).

PROFUNDITAT en polzanes (1 in = 25,4 mm.)
 CÀRREGA SOBRE LA BASE en lliures (1 lb = 4,45 N)

La càrrega correspon a 1,81 mm. de desplaçament

Els pous acampanats resisteixen més que els cilíndrics i acusen més l'augment de profunditat. És més efectiu doncs augmentar la profunditat quan la base del pou està acampanada.

Observis a més que els pous cilíndrics augmenten la resistència al augmentar la profunditat perquè augmenta la longitud. En canvi la resistència de les campanes augmenta pel sol fet d'augmentar la profunditat.

L'eixamplament també augmenta el moviment produït per la càrrega màxima, ja que la part cilíndrica s'esgota abans que la campana, que proporciona resistència adicional. (fig. 6.29.)

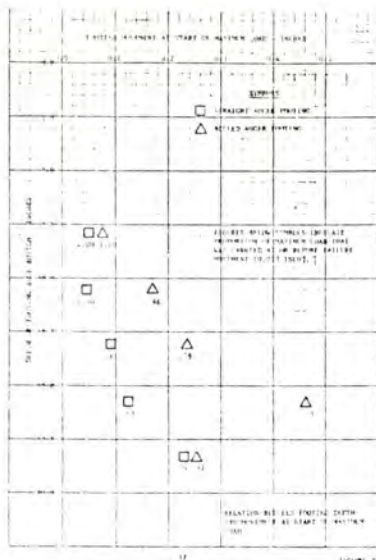


Fig. 6.29.- Efecte de la profunditat en el moviment de pous cilíndrics i acampanats (Horner, 1972)

PROFUNDITAT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

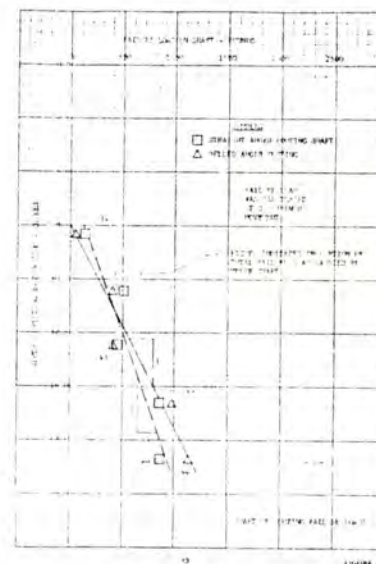
MOVIMENT PRODUIIT PER LA CÀRREGA MÀXIMA en polzades (1 in = 25,4 mm.)

La presència de la campana influeix molt poc en la resistència del fust. (fig. 6.30.).

Per la càrrega que produeix 1,81 mm. de moviment, sembla que l'eixamplament debiliti el fust a poca profunditat, potser perquè, al aixecar-se, arrossega tot el sòl cap amunt, separant-lo del fust. En canvi, al augmentar la profunditat

l'eixamplament millora la resistència del fust, perquè augmenta la pressió lateral de les terres confinades al comprimir-les.

Per la càrrega màxima d'arrencament, el fust del pou cilíndric aguanta una mica més que l'acampanat perquè l'eixamplament encara resisteix quan el fust ja ha superat la resistència màxima (fig. 6.30).



PROFUNDITAT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

CÀRREGA SOBRE EL FUST en lliures (1 lb = 4,45 N)

Fust del pou cilíndric

Fust del pou acampanat

La càrrega correspon a 1,81 mm. de desplaçament

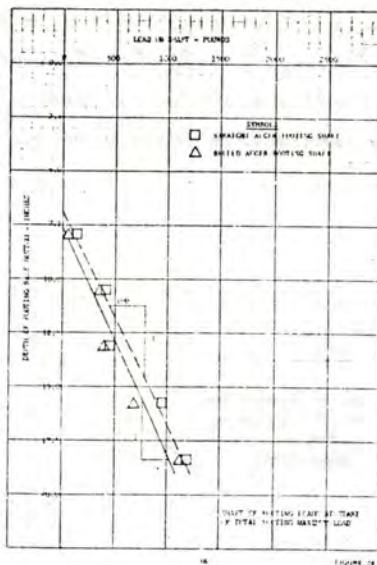


Fig. 30.- Efecte de la profunditat en la resistència del fust de pous cilíndrics i acampanats (Horner, 1972)

PROFUNDITAT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

CARREGA D'ARRENCAMENT SOBRE EL FUST en lliures (1 lb = 4,45 N)

Els eixamplaments poden ser múltiples en la llargada del fust de l'ancoratge, tant en pilots com en plaques helicoidals i barres injectades. Al separar les plaques, augmenta la resistència fins que el valor de la separació supera el triple del diàmetre. (fig. 6.31.). Quan estan molt juntes es produeix una trencadura cilíndrica global i al separar-les es comporten com si fossin independents. (fig. 6.32.).

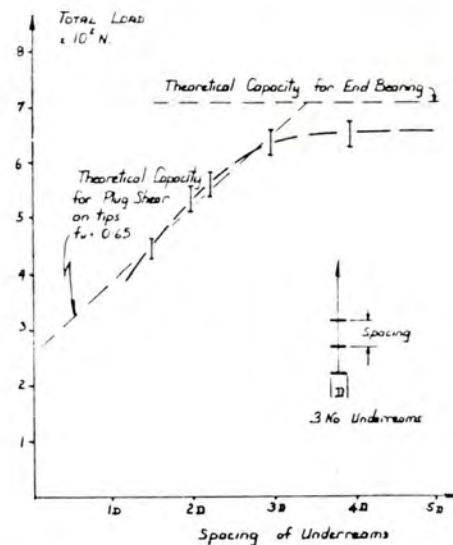


Fig. 6.31.- Efecte de la separació entre plaques o eixamplaments en la resistència (Potts, 1973).

CARREGA en KN/10

SEPARACIO ENTRE PLAQUES

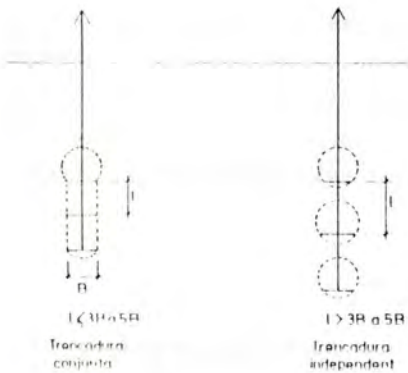


Fig. 6.32.- Efecte de la separació entre plaques en la superfície de trencament.

Al augmentar el nombre de plaques augmenta proporcionalment la resistència a l'extracció ja que s'allarga el cilindre tangent (fig. 6.33.). Però els moviments també augmenten tant que no resulta efectiu a la pràctica utilitzar més de 6 plaques o eixamplaments (fig. 6.34.).

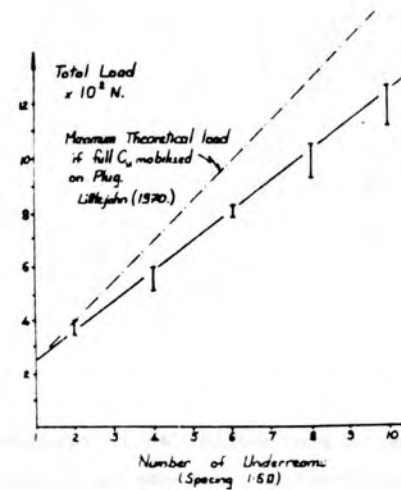


Fig. 6.33.- Efecte del nombre de plaques en la resistència a l'arrencament (Potts, 1973)

CARREGA en KN/10
NOMBRE DE PLAQUES

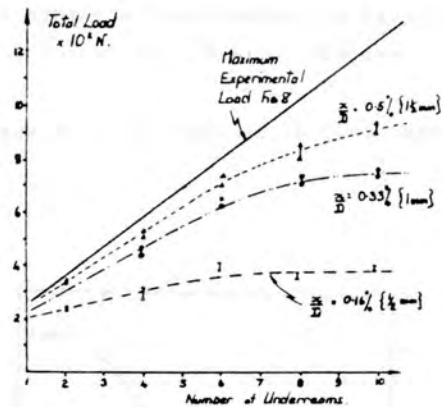


Fig. 6.34.- Efecte del nombre de plaques o eixamplaments en la resistència per diversos desplaçaments relatius (Potts, 1973).

CARREGA en KN/10
 NOMBRE DE PLAQUES
 Càrrega màxima
 $S/B = 5\%$
 $S/B = 3,33\%$
 $S/B = 1,67\%$

Cal observar també que els eixamplaments augmenten la superfície en projecció vertical i per tant la resistència als esforços horitzontals i evita que es deteriори la tensió normal al fust quan l'ancoratge està sotmès a càrregues cícliques com les del vent.

5) Afusament

L'afusament de les cares verticals dirigit cap a la superfície millora la resistència perquè produeix un efecte de falca i augmenta l'empenta lateral (fig. 6.35.).

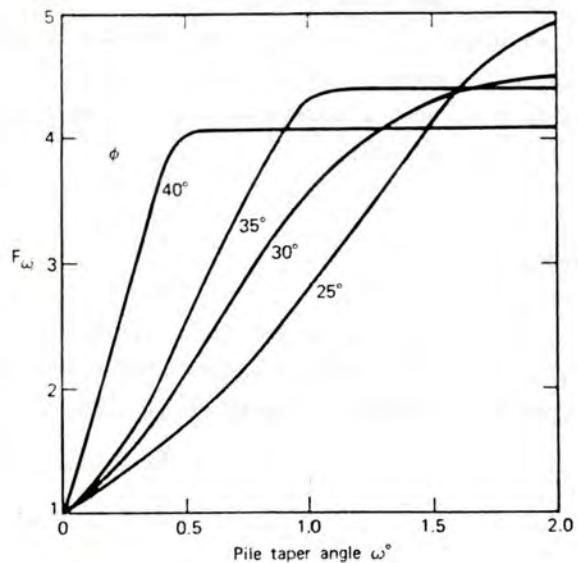


Fig. 6.35.- Efecte de la inclinació de les cares laterals en l'empenta (Nordlund 1963, esmentat per Poulos & Davis, 1980).

Empenta sobre la cara inclinada

Empenta sobre la cara vertical

Inclinació de la cara vertical

6.2.2.- Grandària

1) Càrrega d'arrencament

La resistència a l'arrencament augmenta amb la grandària ja que es mobilitza més volum de sòl durant l'extracció.

En l'efecte placa és la superfície la que més incideix (fig. 6.36.).

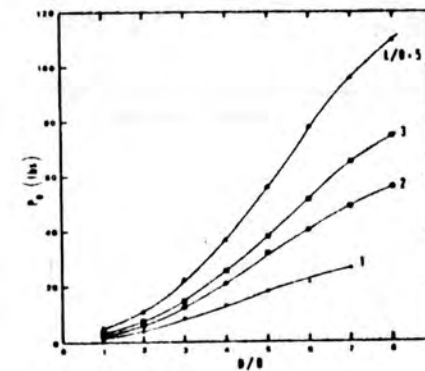


Fig. 6.36.- Efecte del tamany en la resistència a l'arrencament de plaques de 51 mm. d'amplada (Das & Seeley, 1975)

CARREGA en lliures (1 lb = 4,45 N)

PROFUNDITAT RELATIVA D/B

En l'efecte fust de barres injectades, la dimensió més influent es la llargada (fig. 6.37.) sobretot en barres curtes en sòl dens. A partir de 7 m., l'augment de resistència es fa independent de la densitat. S'observa també que la influència de les variacions del diàmetre en la resistència a l'extrecció es mínima comparada amb les de la longitud i del pes unitari.

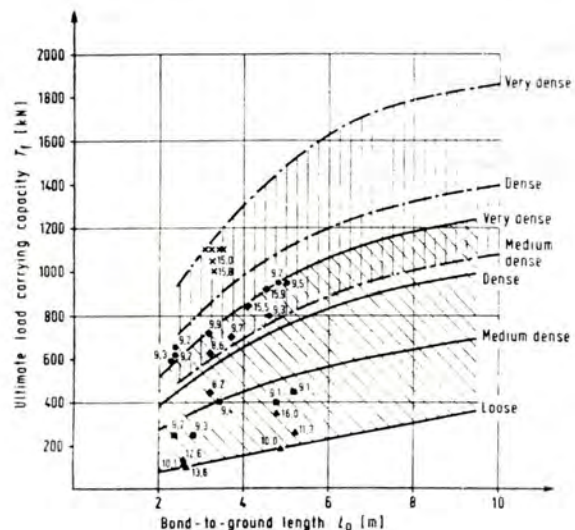


Fig. 6.37.- Càrrega d'arrencament de barres injectades inclinades 70° respecte la vertical segons la llargada i la densitat, $B = 100$ a 150 mm. (Ostermayer & Scheele, 1977).

2) Profunditat crítica

La profunditat crítica mesura l'alçada de les terres mobilitzades per l'ancoratge a partir de la qual la superfície lliure deixa de interferir amb la de trencament.

Com que la grandària influeix en el volum del sòl afectat, repercuteix també en la seva alçada, o sigui la profunditat crítica D_c . Per això s'expressa normalment en funció de l'amplada B i es parla de profunditat relativa crítica D_c/B . Altres factors que la modifiquen són la forma de l'ancoratge i la rigidesa o pes unitari del sòl que incideixen en la capacitat de penetració.

3) Pressió límit

Al augmentar la grandària disminueixen la pressió límit i el factor de capacitat de càrrega a l'arrencament degut a que la participació unitària del perímetre també disminueix (figs. 6.38. i 6.39.)

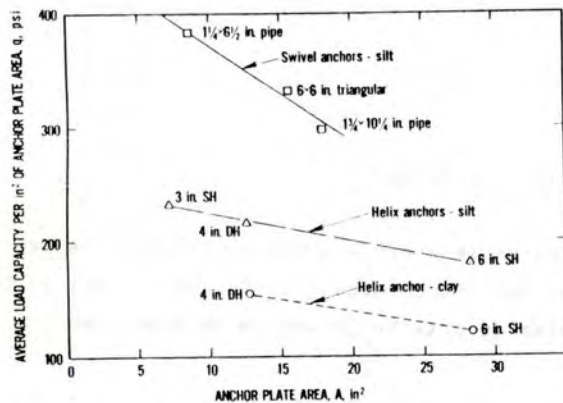


Fig. 6.38.- Efecte de la grandària a la pressió límit
(Yokel et al., 1982)

PRESSIÓ LÍMIT en psi (1 psi = 6,90 KPa)

SUPERFÍCIE en m² (1 m² = 645 mm²)

La pressió límit és la resistència a l'arrencament per unitat de superfície de l'ancoratge projectada sobre un pla perpendicular a la direcció de la càrrega.

Tub articulad 1-1/4 x 6-1/2 in (en llim)

Tub articulad 1-3/4 x 10-1/4 in (en llim)

Placa triangular 6x6 in (en llim)

Hélices (en llim)

Individual B = 3 in

Doble B = 4 in

Individual B = 6 in

Hèlices (argiles)

Doble B = 4 in

Individual B = 6 in

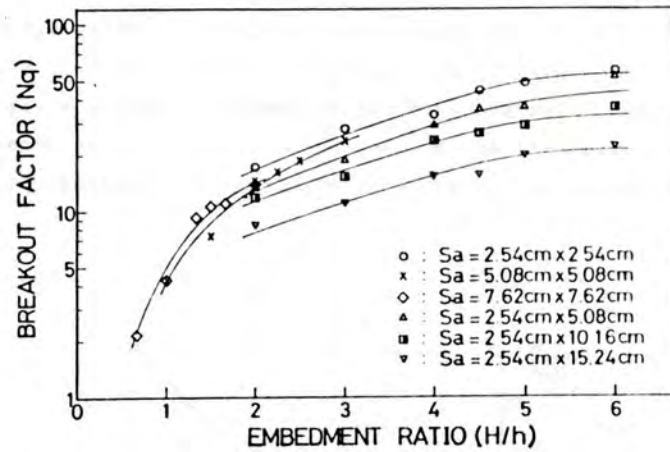


Fig. 6.39.- Variació del factor de capacitat de càrrega a l'arrencament en sorres Nqu amb la grandària i la profunditat (Hoshiya & Mandal, 1984)

Nqu

PROFUNDITAT RELATIVA D/B

$$Nqu = \frac{qu}{\gamma B L D}$$

Nqu = factor de capacitat de càrrega a l'arrencament

γ = pes unitari

B = amplada

L = llargada

D = profunditat

En base a les observacions de Yokel et al.(1982) es poden comparar dues hèlices de 6" i 3" de diàmetre respectivament (taula 6.1). La primera té 4 vegades més de superfície però només aguante 3,16 vegades més indicant que la resistència unitària es inferior, com ho demostra la última columna. A la quarta columna es presenta la relació entre el perímetre i l'àrea de cada hèlice i s'observa com la petita dobla a la gran. El perímetre doncs distorsiona l'efecte de la superfície en la resistència que podria semblar que hauria de ser lineal.

Hèlice (in)	Àrea (in ²)	Perímetre (in)	Perímetre Àrea	Càrrega d'extracció (lb)	Pressió límit (psi)
6	28,27	18,85	0,67	5212	184
3	7,07	9,42	1,33	1650	233

(1in=25,4mm, 1lb=4,45N, 1psi=6,90kPa)

Taula 6.1.- Estudi comparatiu de les observacions de Yokel et al. (1982) relatives a l'extracció de dues hèlices diferents.

A la fig. 6.21. es pot constatar com varia la relació entre el perímetre i la superfície corrent per les corbes d'igual proporció $\frac{L}{B}$. Al disminuir la superfície, augmenta la repercussió de perímetre per unitat de superfície, o sigui la repercussió del volum de la falca de sòl que mobilitza el contorn de la placa i per tant augmenta també la resistència unitària. Per tant, l'efecte de la desproporció pot compensar-se amb el de la grandària. Augmentar la superfície sense modificar la proporció L/B , disminueix la resistència unitària. Augmentar la proporció L/B sense modificar l'àrea augmenta la resistència unitària. Per tant, es podrien augmentar simultàneament els dos factors de manera que es compensessin aquests efectes.

Exemples (fig. 6.39)

Una placa de 1 m. x 1 m. (àrea = 1 m²., perímetre = 4 m.) té la mateixa relació perímetre/àrea que una placa de 0,60 x 3,40 (àrea = 2 m², perímetre = 8 m.). La superfície ha augmentat de 1 m² a 2 m², per la qual cosa la relació perímetre/àrea disminuiria de 4 a 2,83 si es mantingués la proporció $L/B = 1$. Però s'ha augmentat aquesta proporció a 5,83, o sigui que el perímetre ha passat a 8 m. i la relació perímetre/àrea a 4, que es el valor inicial.

Augmentant primer la proporció de $L/B = 1$ a $L/B = 5,83$ i després l'àrea de 1 m² a 2 m² s'hagués aconseguit el mateix resultat.

Heikkila & Laine (1964) ho constaten al necessitar la mateixa càrrega per arrencar dues plaques diferents. Una té 0,75 m² i $L/B = 8$ (perímetre/àrea = 7,35) i l'altra 1,3 m² i $L/B = 1$ (perímetre/àrea = 3,51). La superfície quasi s'ha doblat però la repercussió del perímetre ha passat a ser la meitat. Resulta doncs que amb el doble de placa es conserva la resistència total per haver disminuït la desproporció.

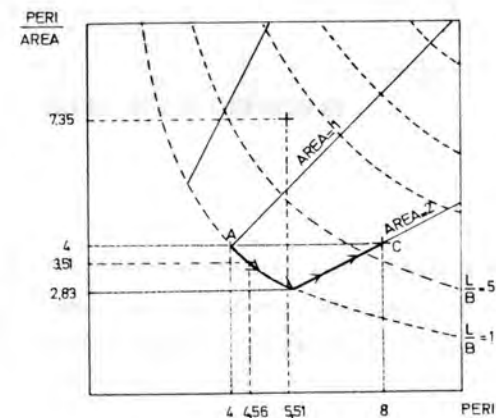


Fig. 6.39.- L'efecte de la forma i de la grandària es poden arribar a compensar. Passant de A a C no es varia la relació Perímetre/Àrea perquè augmenta la superfície però també la desproporció.

Exemple de Heikkila & Laine (1964)

4) Factor de forma

La influència de la grandària en la pressió límit es pot llegir també a través de la disminució que es produeix en el factor de forma al augmentar la superfície (fig. 6.40.). Observis a més com varia el factor de forma amb la profunditat.

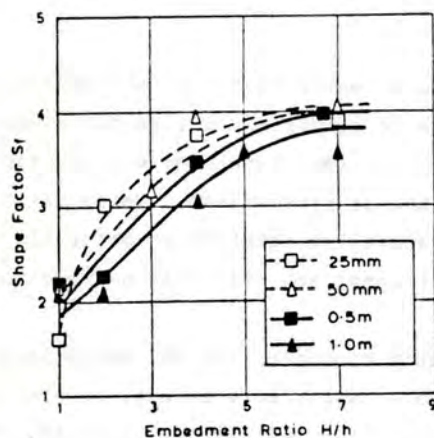


Fig. 6.40.- Variació del factor de forma S amb la profunditat i la superfície. Plaques verticals quadrades (Dickin & Leung, 1983).

FACTOR DE FORMA S

PROFUNDITAT RELATIVA D/B

5) Desplaçaments

Com a conseqüència de la relació entre grandària i volum de sòl afectat, els desplaçaments també augmenten amb la magnitud de l'ancoratge (fig. 6.23.), com també augmenta l'esforç necessari per iniciar el moviment. Heikkila & Laine (1964) arrenquen plaques prefabricades de formigó enterrades en sorra. Es troben amb que al augmentar la grandària d'una placa col.locada a 2,25 m. de profunditat de 0,75 m² a 1,5 m², augmenta la càrrega per iniciar el moviment de 49 KN(5T) a 88 KN(9T).

La repercussió de la grandària indica doncs que el càlcul de la resistència unitària està relacionat amb la magnitud de les dimensions geomètriques, que si es varia, produirà resultats menys exactes.

6.2.3.- Profunditat

L'efecte principal de la profunditat es el de augmentar el volum de sòl que participa en la resistència. Per aixó els ancoratges fondos resisteixen i es deformen més que els superficials (Fig. 6.41). Cal esmentar però, algunes limitacions que en aquest efecte produeixen el tipus d'ancoratge, la grandària i el sòl.

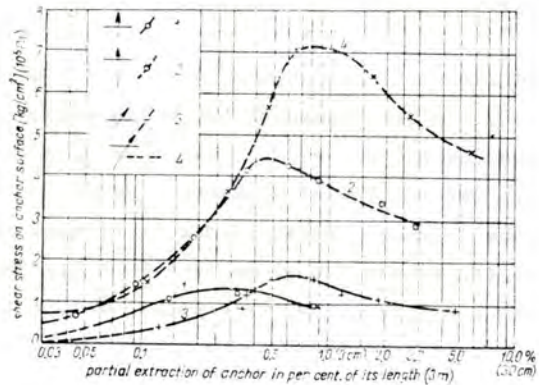


Fig. 6.41.- Relació entre l'esforç tallant mitjà sobre la superfície de l'ancoratge i el desplaçament de barres injectades 3 m. en sorres (Hobst & Zajic, 1977).

- 1.- vertical de 0 a 3 m.
- 2.- vertical de 6 a 9 m.
- 3.- inclinada 30° respecte a la vertical, de 0 a 2,60 m.
- 4.- inclinada 30° de 5,20 a 7,80 m.

ESFORÇ TALLANT MITJA SOBRE LA SUPERFICIE LATERAL en kp/cm^2
(1 $\text{kp}/\text{cm}^2 = 98 \text{ kPa}$)

EXTRACCIÓ DE LA BARRA (en percentatge de la longitud)

Els ancoratges que arriben fins a la superfície, com per exemple les barres injectades, les estakes o els pilots, van augmentant la resistència amb la profunditat de manera quasi lineal perquè l'efecte que domina és el de fust, que s'incrementa linealment amb la superfície lateral.

En canvi, els ancoratges que queden enterrats, com per exemple les plaques i els engraellats, passen per dues fases en les que el comportament es modifica segons la profunditat (fig. 6.42).

1ª fase: situació superficial. El sòl mobilitzat arriba fins a la superfície lliure (la superfície participa). La resistència és molt sensible a les variacions de profunditat. Varia parabòlicament amb la profunditat relativa en materials densos o durs i linealment amb materials solts o tous.

2ª fase: situació profunda. El sòl mobilitzat no arriba fins a la superfície lliure, es produeix una fallida local. La resistència no és tan sensible a les variacions de profunditat. Varia linealment amb la profunditat relativa o no augmenta gens en argiles toves.

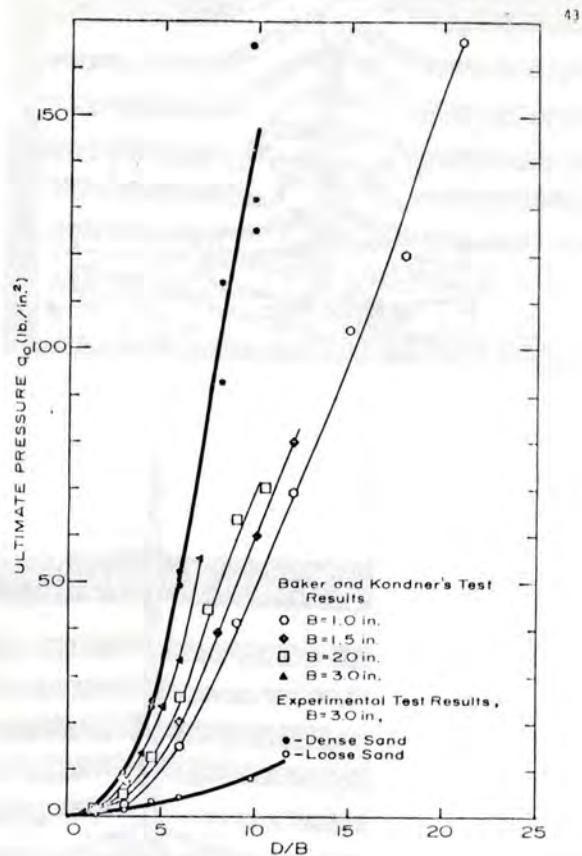


Fig. 6.42.- Pressió límit de plaques circulars en sorra segons la profunditat relativa i el diàmetre.

PRESSIO LIMIT q_u

PROFUNDITAT RELATIVA D/B

Observacions de Baker & Kondner (1966)

Observacions de Esquivel (1967)

Es produeixen situacions intermèdies entre les dues fases, (fig. 6.43.). Alf (1968) observa l'evolució de la superfície de trencadura amb la profunditat al arrencar plaques circulars en argiles toves (fig. 6.44.).

La superfície de trencadura evoluciona desde un cilindre a poca profunditat ($0 < D/B \leq 1$) fins a una falca amb vèrtex de 90° a partir de $D/B = 3$, passant per les profunditats intermèdies en que es mobilitza una superfície cònica de generatriu curvilínia. A la corba de resistència vs. profunditat relativa (fig. 6.25.) es reflexa aquesta evolució. Comença lineal, fins a $D/B = 1$ indicant la trencadura cilíndrica. Després es corba progressivament fins a $D/B = 3$ indicant la trencadura cònica. A partir de $D/B = 3$ es forma la falca independent de la profunditat.

El comportament de les plaques d'ancoratge fondes s'assembla doncs al dels fonaments a compressió, lo qual justifica l'aplicació de mètodes teòrics basats en els factors de capacitat de càrrega dels fonaments convencionals.

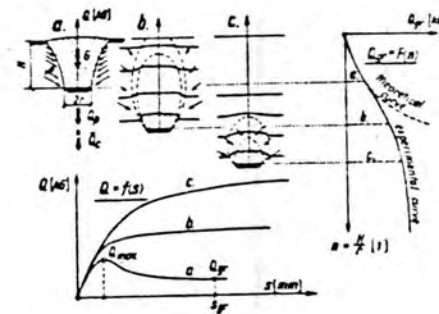
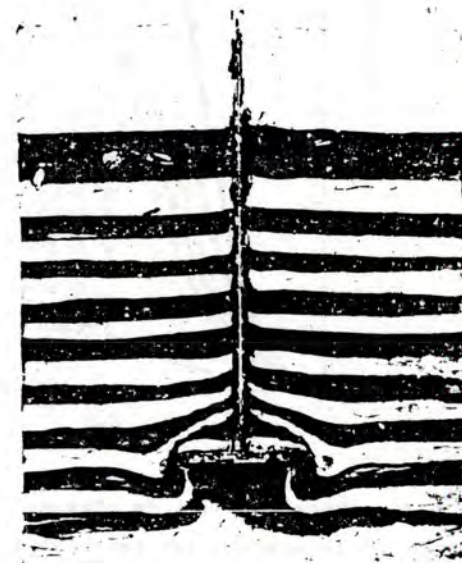
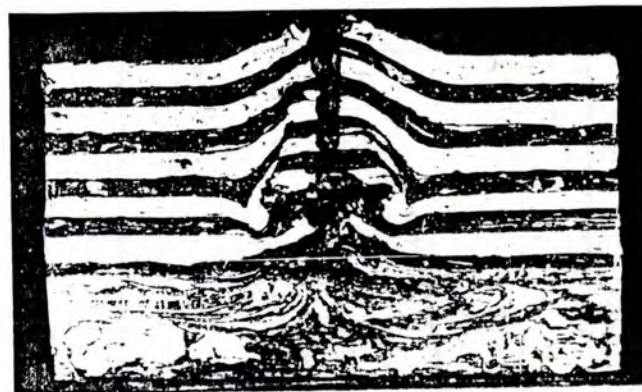
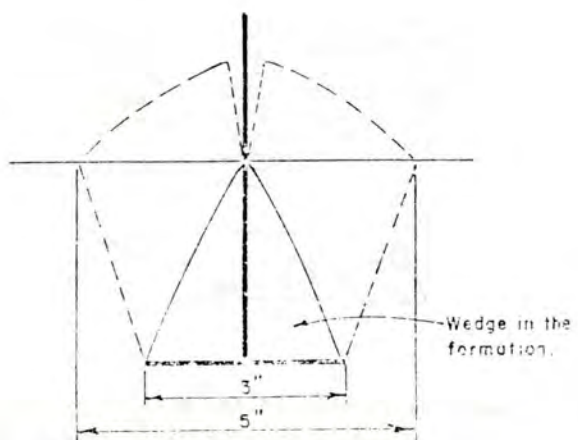
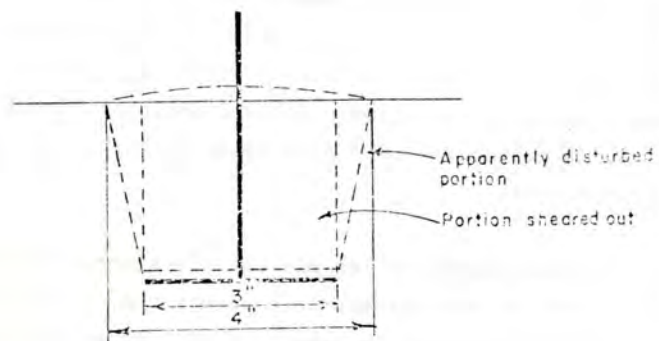
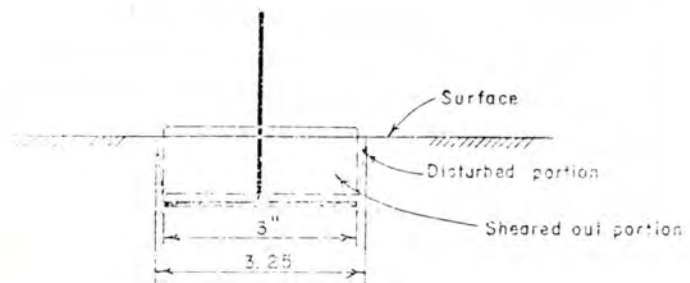


Fig. 6.43.- Efecte de la profunditat en el sòl afectat per l'arrencament de plaques horitzontals (Kwasniewski et al., 1975).



$$D/B = 0,33$$

$$D/B = 0,87$$

$$D/B = 1$$

$$D/B = 1,5$$

$$D/B = 3$$

Fig. 6.44.- Evolució de la superfície de trencament al augmentar la profunditat. Plaques horitzontals en argila tova (Alf, 1968).

Coincidint amb les variacions de la resistència segons la profunditat, els moviments relatius segueixen una tendència similar (fig. 6.45.). Fins a $D/B = 2$ la relació es quasi lineal i a partir de $D/B = 4,5$ el desplaçament relatiu deixa de variar amb la profunditat indicant la trencadura fonda local. Els límits de les fases en aquest cas son superiors als anteriors perquè les argiles assa jades son més dures.

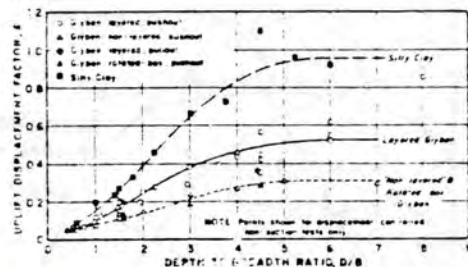


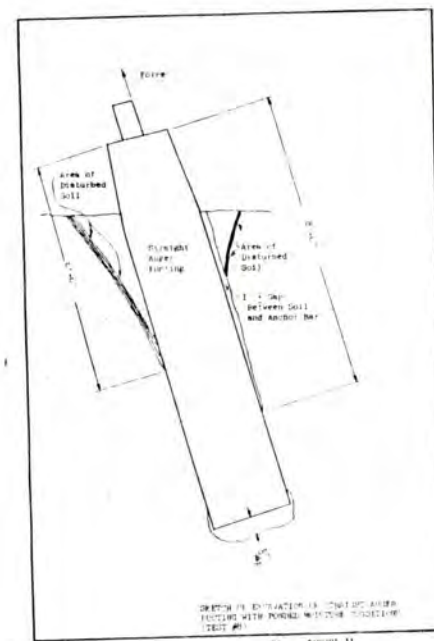
Fig. 6.45.- Desplaçament relatiu vs. profunditat relativa.
Plaquetes circulars en argila llimosa i argiles de laboratori (Davie & Sutherland, 1977).

DESPLAÇAMENT RELATIU su/B
PROFUNDITAT RELATIVA D/B

L'esforç necessari per iniciar el moviment també augmenta amb la profunditat. Heikkila & Laine (1964) arrenquen plaques prefabricades de formigó enterrades en sorra. Es troben amb que al augmentar la profunditat de una placa de $0,75 \text{ m}^2$ de $1,5$ a 3 m. , augmenta la càrrega per iniciar el moviment de 29 kN (3 T) a 64 kN ($6,5 \text{ T}$).

6.2.4.- Inclinació de l'ancoratge (càrrega axial)

La inclinació de l'ancoratge produeix una asimetria en la superfície de trencadura (fig. 6.46.) i augmenta la resistència i el desplaçament (fig. 6.47.). Les inclinacions que s'utilitzen a la pràctica es limiten normalment a valors moderats inferiors als 45° , respecte a la vertical. Son excepció les barres injectades i les plaques destinades a subjectar estructures de contenció.



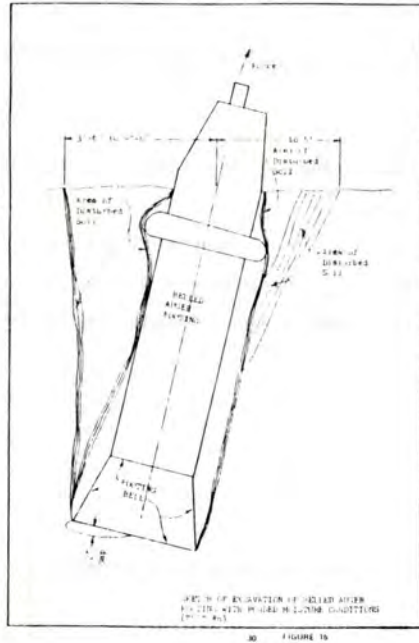
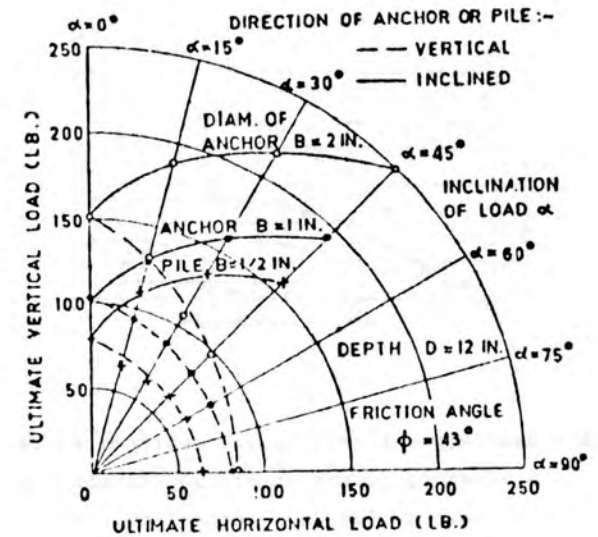


FIGURE 15

Fig. 6.46.- Alteracions del sòl produïdes a les proximitats d'un pou cilíndric i un altre d'eixamplat al arrencar-los (Horner, 1969).



COMPONENT VERTICAL LIMIT en lb.

SORRES - COMPONENT HORIZONTAL LIMIT en lb.

Orientació de l'ancoratge:

Vertical

Inclinat

Placa $B = 2$ in

Placa $B = 1$ in

Pilot $B = 1/2$ in

$D = 12$ in

$\phi = 43^\circ$

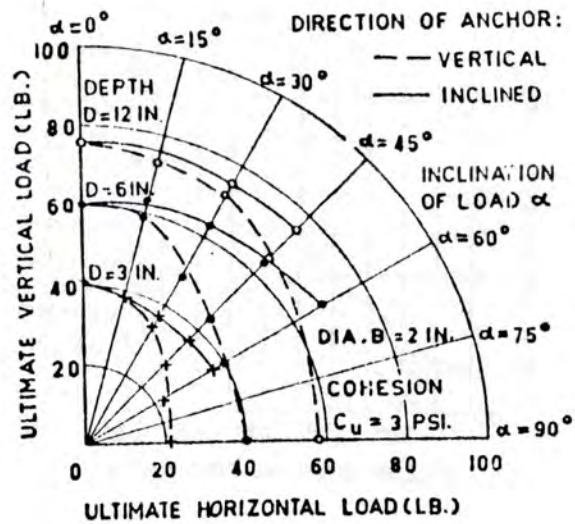


Fig. 6.47.- Efecte de la inclinació en sorres i argiles. Plaques i pilots (Meyerhof, 1973).

COMPONENT VERTICAL LIMIT en lb

ARGILES - COMPONENT HORIZONTAL LIMIT en lb.

Orientació de l'ancoratge:

Vertical

Inclinat

D = 12 in

D = 6 in

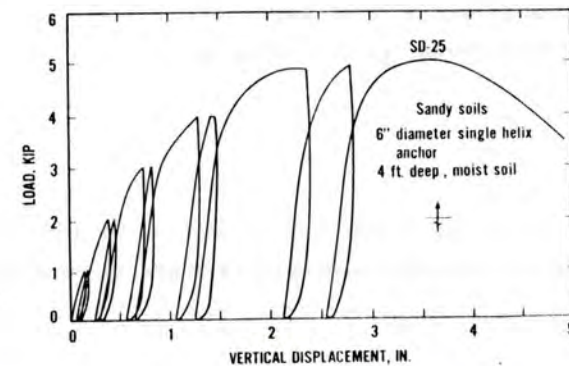
D = 3 in

B = 2 in

c = 3 psi

α = inclinació de la càrrega (respecte a la vertical)

Ara bé, si al inclinar l'ancoratge disminueix la profunditat (perque es conserva la llargada), la resistència pot disminuir considerablement. Aquest és el cas de les hèlices, que tenen la longitud fixa perque ve determinada per la llargada de la barra de transmissió. Al inclinar-les disminueix la profunditat i per tant la resistència. (fig. 6.48.).



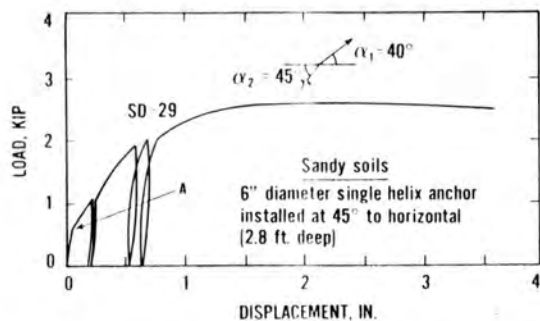


Fig. 6.48.- Corbes càrrega vs. desplaçament d'una hèlice de 150 mm. de diàmetre amb barra de 1,20 m. assajada en sorres en posició horitzontal e inclinada 45°.

CARREGA en kips (1 kip = 4,45 kN)

DESPLAÇAMENT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

La inclinació afecta menys al augmentar la profunditat perquè la pressió vertical neutralitza l'efecte de l'asimetria. (fig. 6.49.)

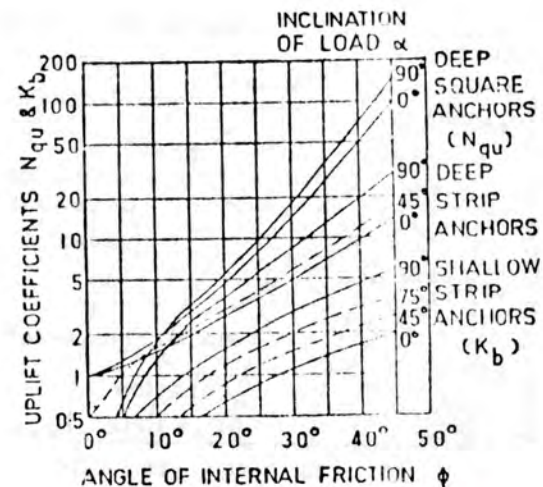


Fig. 6.49.- Valors del factor de capacitat de càrrega a l'arrencament N_{qu} segons la inclinació de l'ancoratge (càrrega axial) i l'angle de fricció (Meyerhof, 1973).

INCLINACIO DE L'ANCORATGE

Plaques quadrades fondes

Plaques corregudes fondes

Plaques corregudes superficials

6.2.5.- Rugositat

La rugositat incideix principalment en l'empenta i la fricció. Serà més apreciable doncs en pilots, blocs i plaques verticals que en plaques horitzontals. (fig. 6.50.) En plaques verticals l'efecte de la rugositat disminueix amb la profunditat (fig. 6.51.)

L'anàlisi de Rowe & Davis (1982) de plaques en sorres revela a més que les plaques horitzontals sotmeses a càrrega vertical son insensibles a les variacions de rugositat.

En canvi, en plaques verticals superficials, la dilatància augmenta l'efecte de la rugositat. Ara bé, com que, amb la dilatància també augmenta molt el desplaçament, s'acostuma a definir la càrrega límit bastant inferior a la d'extracció. Per aixó queda esmorteïda l'amplificació de l'efecte de la rugositat produïda per la dilatància i a la pràctica s'utilitzen els valors derivats del sòl no dilatant.

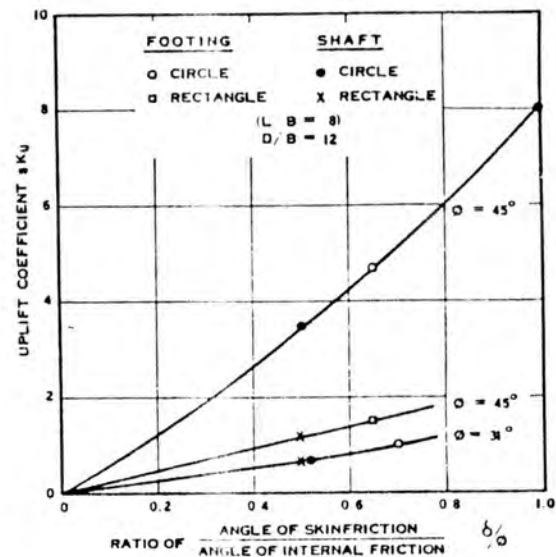


Fig. 6.50.- Efecte de la rugositat en el producte $S \times Nqu$ (Meyerhof & Adams, 1968)

$S \times Nqu$

RELACIO δ/ϕ

S = factor de forma

Nqu = factor de capacitat de càrrega a l'arrencament

δ = angle de fricció sòl-fonament

ϕ = angle de fricció interna del sòl

Bloc

circular

rectangular

Pou

circular

rectangular

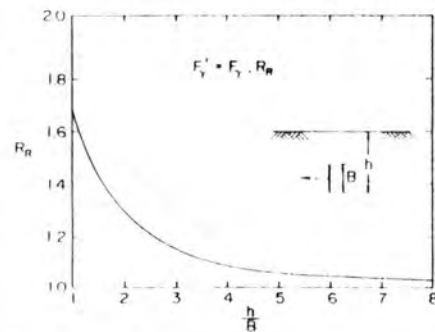


Fig. 6.51.- Efecte de la rugositat, plaques corrugades en sorra (Rowe & Davis, 1982)

COEFICIENT CORRECTOR PER RUGOSITAT R_R

PROFUNDITAT RELATIVA D/B

$R_R = Q_u$ (placa rugosa) / Q_u (placa llisa)

Yoshimi (1964) observà estirant pilots inclinats en sorra que al augmentar la component axial de tracció, augmenta l'efecte de la rugositat millorant la resistència (fig. 6.52.)

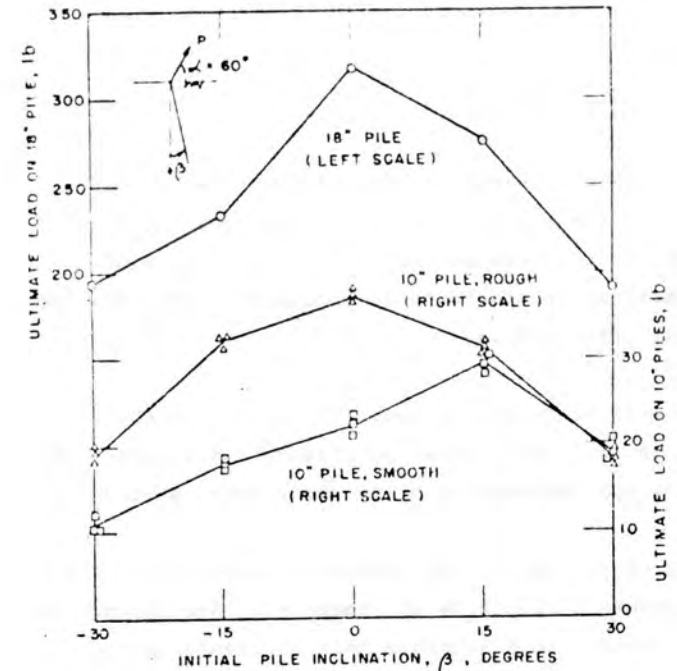


Fig. 6.52.- Efecte de la inclinació del pilot en la càrrega d'arrencament inclinada 30° (Yoshimi, 1964)

CÀRREGA D'ARRENCAMENT ($B = 457$ mm.) en lb

CÀRREGA D'ARRENCAMENT ($B = 254$ mm.) en lb

$B = 457$ mm.

$B = 254$ mm. llis

$B = 254$ mm. rugós

INCLINACIÓ INICIAL DEL PILOT

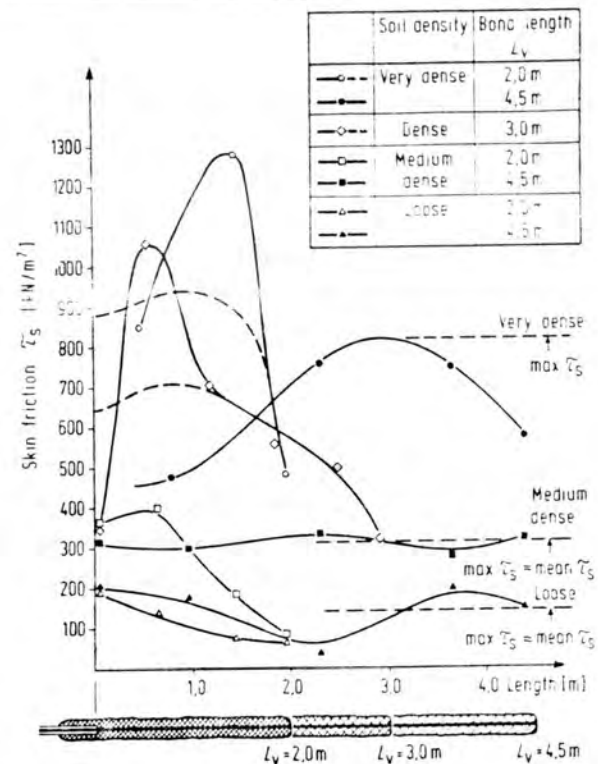
(respecte la vertical)

1 lb = 4,45 N

6.2.6.- Rigidesa

La transmissió de la càrrega a través de l'ancoratge i la distribució de tensions sobre la superfície de contacte amb el sòl depenen de la rigidesa relativa de l'ancoratge en relació al sòl i de la posició del mecanisme d'unió entre el connector i l'ancoratge.

En barres injectades inclinades 70°, al disminuir la densitat del sòl i augmentar la rigidesa relativa de l'ancoratge, es suavitza la distribució de la fricció unitària (fig. 6.53.). L'allargament de la barra en sorra solta es inferior perquè també ho es la càrrega. Al arrencar-la es belluga tota sense- ra conjuntament sense desplaçaments relatius.



q_s en kPa

LONGITUD en m.

Densitat

Longitud

Molt densa

Densa

Mitjana

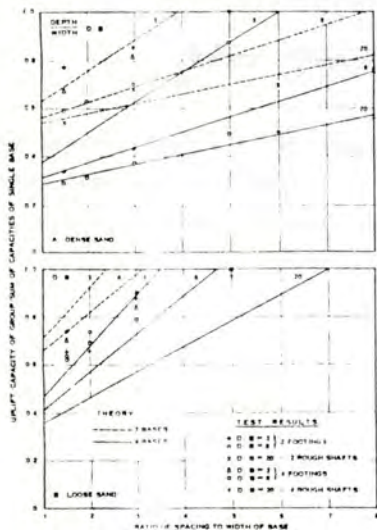
Solta

6.2.7.- Efecte de grup

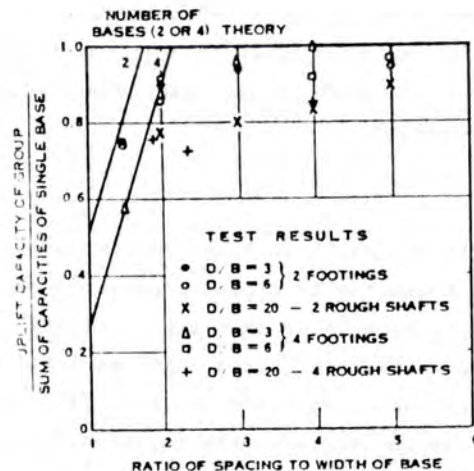
Per augmentar la resistència pot ser necessari recórrer a utilitzar més d'un ancoratge, perquè no es pot fer més gran, ni més fondo ni es pot canviar de tipus.

La resistència de un grup d'ancoratges pot ser inferior a la suma de les resistències de cada un dels ancoratges treballant individualment.

La relació entre la resistència del grup i la suma de les resistències de cada un dels ancoratges, si treballessin per separat, es l'eficàcia del grup (fig. 6.54.). Augmenta amb la separació entre ancoratges i disminueix al augmentar la profunditat, el nombre d'elements i la densitat.



EFICACIA
SEPARACIÓ RELATIVA 1/B
Sorra densa
Sorra solta
2 Blocs
2 Pous
4 Blocs
4 Pous
Teoria
2 elements
4 elements



EFICACIA
SEPARACIÓ RELATIVA 1/B
Argila
Nombre d'elements = 2 o 4 (teoria)
2 Blocs
2 Pous
4 Blocs
4 Pous

Fig. 6.54.- Eficàcia de grups de blocs i pous en sorres i argiles (Meyerhof & Adams, 1968)

Aquesta relació també s'observa estirant grups de plaques verticals (fig. 6.55.). L'eficàcia depèn una mica de la profunditat i molt de la separació. Per una separació entre plaques igual a $3,5 B$ l'eficàcia es mínima i varia entre $0,35$ i $0,48$ segons la profunditat, o sigui que no surt a compte posar dues plaques separades $3,5 B$.

Per separacions inferiors l'eficàcia augmenta perquè es mobilitza un arc de sòl que genera una superfície de trencadura conjunta. Al augmentar la separació també augmenta l'eficàcia perquè els ancoratges s'interfereixen menys.

A partir d'una separació superior el valor crític (9 o 10 amplades, desapareix l'efecte de grup (eficàcia igual a 1).

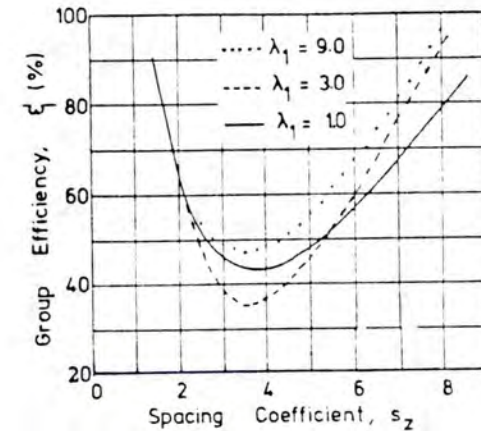


Fig. 6.55.- Efecte de la separació relativa en l'eficàcia (Akinmusuru, 1978)

EFICACIA

SEPARACIO RELATIVA $1/B$

$D/B = 9$

$D/B = 3$

$D/B = 1$

L'eficàcia inferior a 1 indica que la resistència mitjana per element es inferior a la de l'element aïllat. El moviment però resulta molt superior (fig. 6.56.). El comportament de l'ancoratge varia doncs substancialment al formar part d'un grup si la separació entre elements és inferior al valor crític.

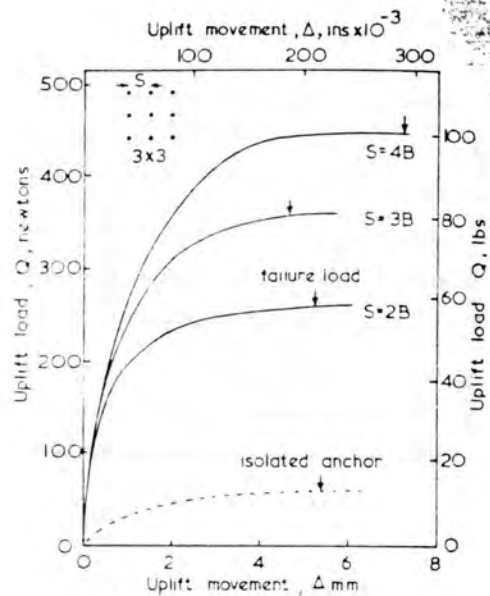


Fig. 6.56.- Càrrega vs. alçament d'un grup de 3 x 3 plaques en serra comparada amb la de l'element aïllat (Yilmaz & Hanna, 1971)

La distribució de la càrrega total entre els elements del grup depèn de la configuració geomètrica, la magnitud i la profunditat. Si la càrrega no supera el 20% de la resistència els elements se la reparteixen uniformement (fig. 6.57.). Però a mesura que augmenta, els elements de les cantonades resulten més afectats, mentre que els interiors agafen menys càrrega i passen pel seu màxim avans de que ho fassin els exteriors, o sigui que al acostar-se el trencament, els ancoratges interiors es descarreguen (fig. 6.58.). L'element central acaba suportant una càrrega molt inferior als de cantonada.

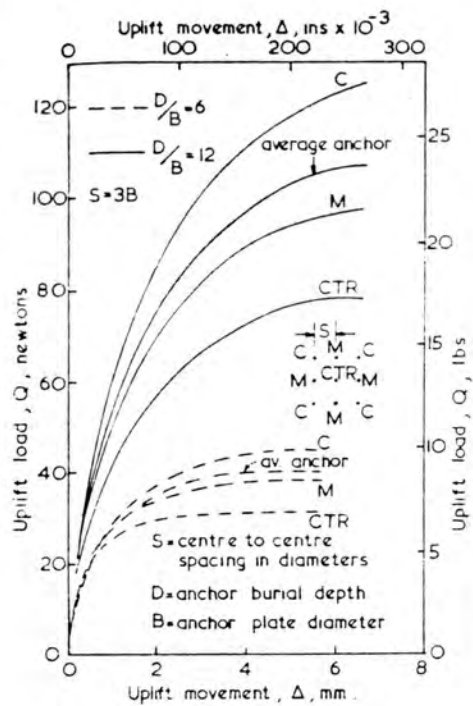


Fig. 6.57.- Càrrega vs. alçament dels elements d'un grup de 3 x 3 plaques en sorra. (Yilmaz & Hanna, 1971)

CARREGA (N)
ALÇAMENT (mm.)

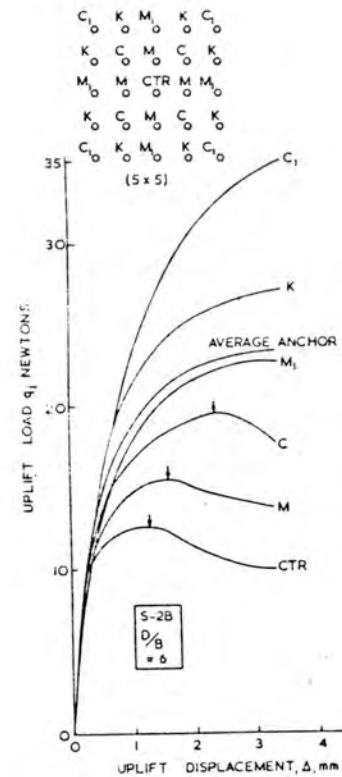


Fig. 6.58.- Càrrega vs. alçament dels elements d'un grup de 5 x 5 plaques en sorra (Hanna, Sparks & Yilmaz, 1972)

CARREGA (N)
ALÇAMENT (mm.)

El comportament dels grups d'ancoratges està molt influenciat a més per la posició de la càrrega, la inclinació, l'encep i la geometria del conjunt.

Horner (1969) desenterra grups de 4 barres assajats en llims sorrencs i realitza una inspecció visual de l'alteració del sòl a les proximitats dels ancoratges (fig. 6.59.). S'observa l'efecte de grup entre barres i l'asimetria de les àrees alterades degut a l'inclinació de la càrrega i la configuració geomètrica del grup.

Al estudiar la participació de cada barra (fig. 6.60.) es comprova que les del darrera agafen més de 6 vegades més de càrrega que les del davant.

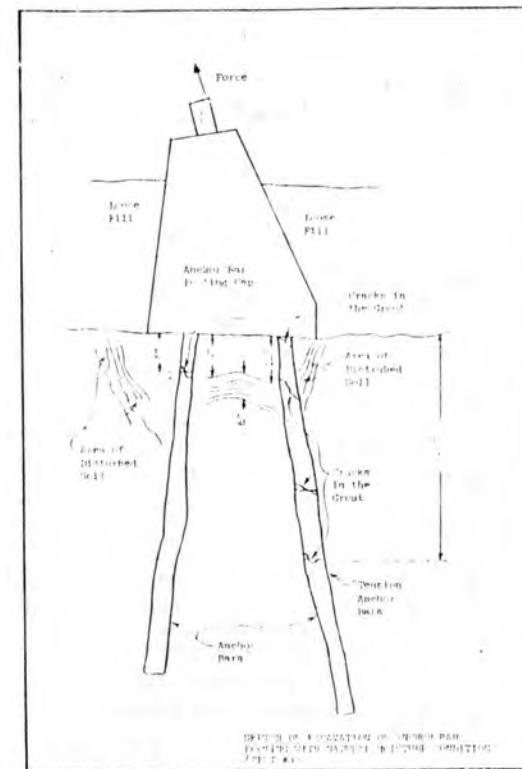
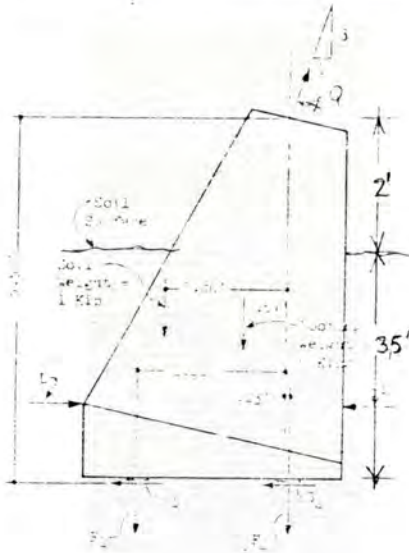


Fig. 6.59.- Alteracions del sòl produïdes a les proximitats d'un grup de 4 barres injectades (Horner, 1969).



Barres A i B

Barres C i D

Q (kN)

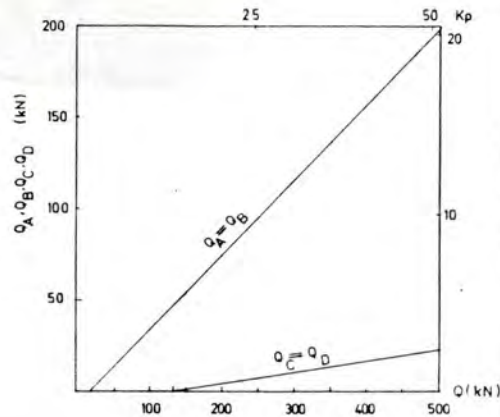
 Q_A, Q_B, Q_C, Q_D (kN) $Q_A = Q_B$ $Q_C = Q_D$ 

Fig. 6.60.- Estudi de la participació de cada barra en la resistència a l'arrencament. Grup de 4 barres injectades en llim sorrenc (Horner, 1969).

La càrrega queda doncs mal repartida, s'aixeca més la part posterior i el conjunt gira. Amb un moviment diferencial vertical de 5 mm. entre les barres del davant i les del darrera, n'hi ha prou per produir un desplaçament horitzontal del punt d'ancoratge de l'estructura al fonament de 12,7 mm., que es el moviment màxim admissible per una torre d'alta tensió. Observis que a aquest moviment horitzontal s'hi arribarà molt avans de que s'hagi produït en qualsevol dels ancoratges individuals.

6.3.- Característiques del sòl

6.3.1.- Tipus

La mobilització de tensions i deformacions que es generen a les proximitats de l'ancoratge i subministren la resistència a l'arrencament, varia segons es tracti de sòls granulars o coherents.

En sòls coherents, la resistència està relacionada amb la cohesió, que varia poc amb la deformació i la profunditat. Per això els ancoratges enterrats en sòls coherents conserven bona part de la capacitat de càrrega bastant després d'haver-se produït la resistència màxima (fig. 6.61), que va augmentant amb la profunditat fins a arribar a un valor constant. La superfície de trencadura és única i es va desenvolupant progressivament al augmentar la càrrega (fig. 6.62.).

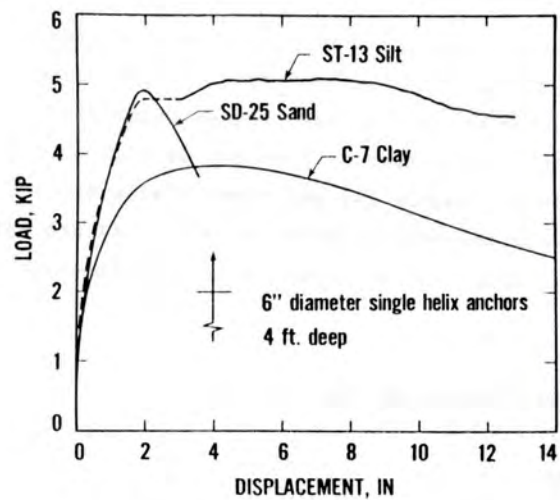


Fig. 6.61.- Corbes càrrega vs. desplaçament d'hèlices en sorra argila i llim. $B = 150$ mm.; $D = 1,20$ m. (Yokel et al., 1982)

CÀRREGA en kip (1 kip = 4,45 kN)

DESPLAÇAMENT en polzades (1 in = 25,4 mm.)

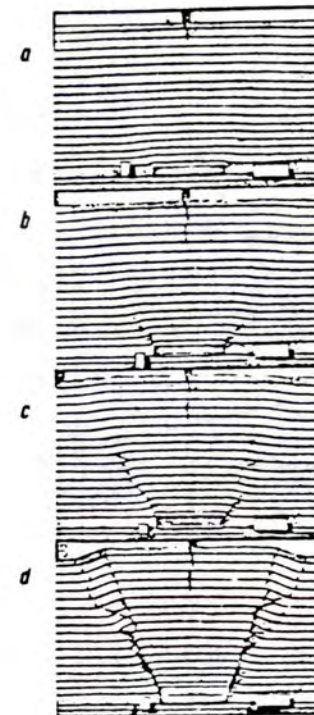


Fig. 6.62.- En sòls coherents la superfície de trencadura és única i es va desenvolupant progressivament al augmentar la càrrega. (Kwasniewski, et al. 1975)

En canvi, en sorres el comportament deriva de la resistència al tall, que depèn de la pressió vertical o sigui de la profunditat. Per això la resistència dels ancoratges enterrats en sòls granulars augmenta amb la profunditat amb increment geomètric en sorres denses i lineal en sorres soltes, ja que les primeres mobilitzen la resistència al tall sobre una superfície molt més gran. A més, la capacitat de càrrega, superior a la de l'argila, minva ràpidament després d'haver-se produït la resistència màxima, que ha mobilitzat desplaçaments inferiors als dels sòl coherents. La superfície de trencadura carvia constantment durant l'aplicació de la càrrega ja que els grans la modifiquen a mesura que van caient en els buits produït per l'avanç de la placa (fig. 6.63.).

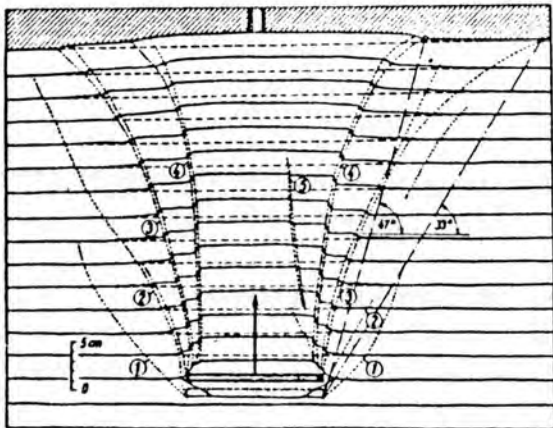


Fig. 6.63.- En sòls granulars la superfície de trencadura es modifica constantment (Kwasniewski et al. 1975)

6.3.2.- Densitat

La densitat incideix en la resistència perquè afecta al pes propi, l'angle de fricció i el volum de sòl mobilitzat.

Amb la densitat augmenten:

- 1) L'efecte placa, perquè la resistència al tall es mobilitza sobre una superfície més gran
- 2) L'efecte fust i l'empenta lateral, perquè augmenta la pressió vertical i l'angle de fricció
- 3) El pes propi del sòl arrossegat per l'extracció
- 4) La profunditat crítica, perquè augmenta la capacitat de penetració.

Totes les observacions realitzades confirmen aquestes tendències, per exemple en plaques circulars (fig. 6.42.), plaques en Y (fig. 6.64.) i barres injectades (fig. 6.37.)

Cal tenir present que la densitat pot variar com a conseqüència de la col·locació o l'arrencament. Les sorres denses dilaten al plastificar i per tant impliquen més sòl circumdant al afegir a l'acció de l'ancoratge la de la seva expansió. El resultat es una millora de la resistència que es pot estimar a través d'un coeficient corrector variable amb la dilatació i la profunditat (fig. 6.65.). L'efecte del mètode constructiu es comentarà més endavant.

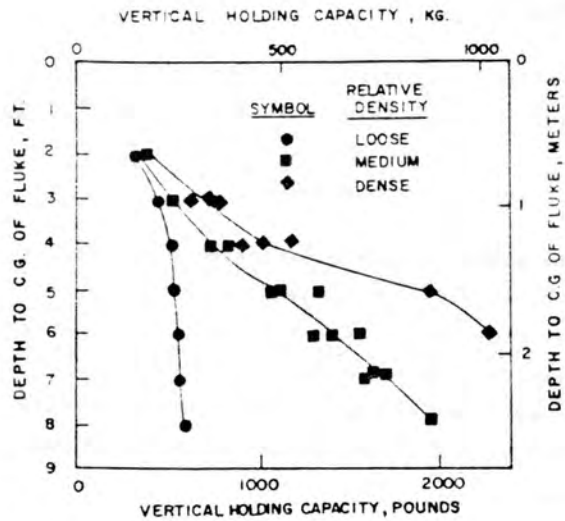


Fig. 6.64.- Resistència a l'arrencament, placa γ ; $B = 198$ mm. sorra saturada (Bemben et al., 1973)

PROFUNDITAT DEL C.D.G., en peus (1 ft ; 0,3048 m.)

PROFUNDITAT DEL C.D.G., en m.

RESISTENCIA A L'ARRENCAMENT en lb (1 lb = 4,45 N)

RESISTENCIA A L'ARRENCAMENT en kp (1 kp = 9,81 N)

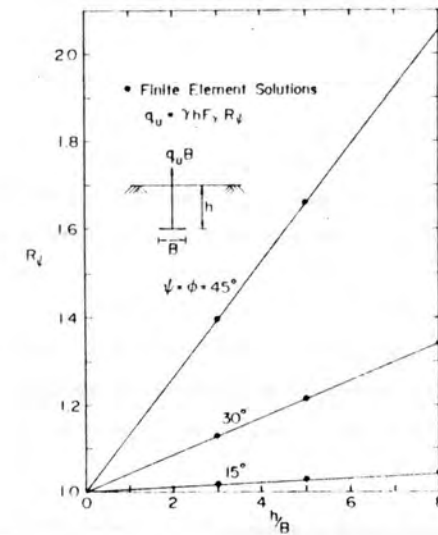


Fig. 6.65.- Efecte de la dilatància, plaques corregudes en sorra (Rowe & Davis, 1982)

COEFICIENT CORRECTOR PER DILATANCIA R_ψ

PROFUNDITAT RELATIVA D/B

$R_\psi = q_u$ (amb dilatància) / q_u (sense dilatància)

6.3.3.- Angle de fricció

Amb l'angle de fricció augmenta la resistència a l'extracció perquè augmenta la resistència al tall. Aquest efecte s'amplifica amb la profunditat (fig. 6.66.)

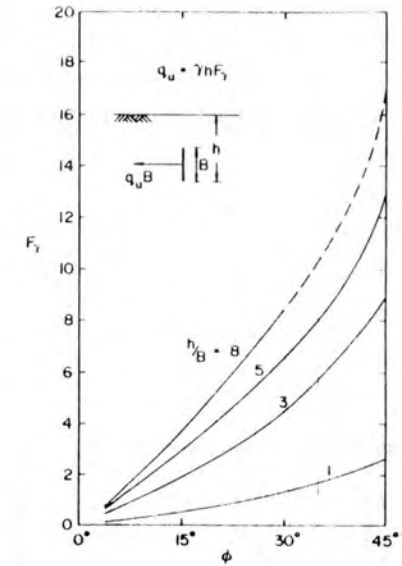
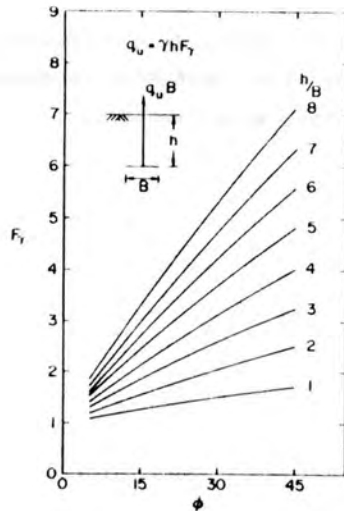


Fig. 6.66.- Variació del factor de capacitat de càrrega a l'arrencament, plaques corregudes en sorra (Rowe & Davis, 1982)

6.3.4.- Cohesió

Amb la cohesió augmenta la resistència a l'arrencament i la profunditat crítica perquè millora la resistència al tall (fig. 6.67.). Per plaques quadrades o circulars:

$$D_c/B = 0,107 c + 2,5 \leq 7$$

D_c = profunditat crítica

B = amplada

c = cohesió en kPa

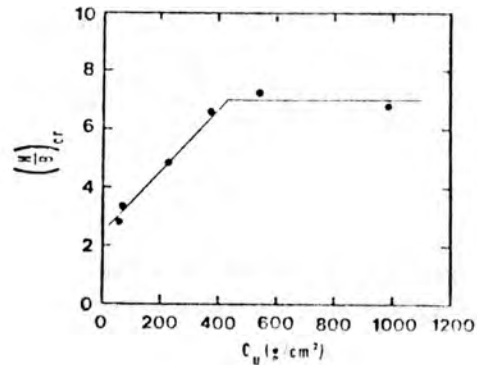


Fig. 6.67.- Efecte de la cohesió en la profunditat crítica, plaques en argila (Das, 1978)

6.3.5.- Adherència

L'adherència mobilitza resistència a la tracció entre l'ancoratge i el sòl i pot arribar a igualar a la resistència al tall. Està molt relacionada amb la regeneració del sòl després de la col·locació de l'ancoratge.

6.3.6.- Rigidesa, compressibilitat

Davie i Sutherland (1977) comparen els resultats d'arrencar plaques amb les teories de Meyerhof i Adams (1968) i Vesic (1972), (fig. 6.68.). Els primers consideren el sòl incompressible i per tant dedueixen valors molt superiors als obtinguts. En canvi en Vesic, al considerar la compressibilitat del sòl en ancoratges profunds, consegueix adaptar-se molt millor a les corbes experimentals.

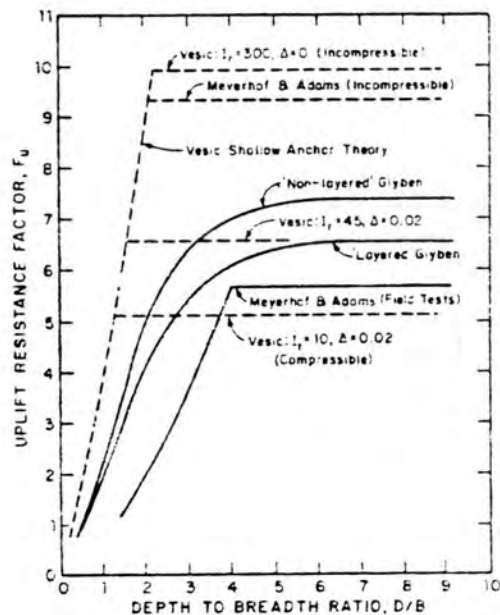


Fig. 6.68.- Resultats experimentals comparats amb les teories de Meyerhof & Adams (1968) i Vesic (1971) segons Davie & Sutherland (1977).

$$F_u = (q_u - \gamma D)/C$$

F_u = factor de capacitat de càrrega de Davie & Sutherland

q_u = pressió limit

γ = pes unitari

D = profunditat

C = cohesió

6.3.7.- Estat inicial de tensions i preconsolidació

L'estat inicial de tensions heretat pel sòl i les modificacions produïdes per la construcció de l'ancoratge, modifiquen la resistència i els desplaçaments. En sorres la sobreconsolidació incrementa la càrrega d'arrencament i la rigidesa (fig. 6.69.) perquè modifica l'estat inicial de tensions i augmenta el volum del sòl afectat encara que influeix molt poc en la densitat (en els assaigs de Hanna & Carr (1971) amb una pressió de 220 kN/m^2 la densitat augmenta l'1%). Al comparar la preconsolidació amb l'efecte de la sobrecàrrega es comprova que pels valors inferiors les diferències són mínimes, però a mesura que s'incrementa la pressió, la sorra perd la memòria i l'efecte de la sobreconsolidació va disminuint.

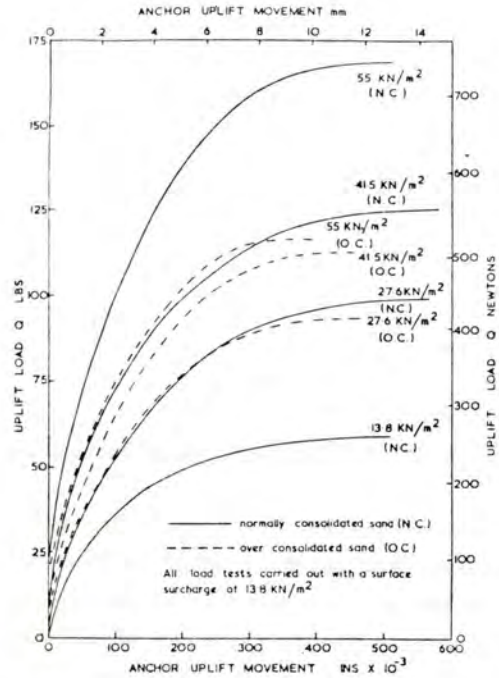


Fig. 6.69.- Efecte de la preconsolidació i la sobrecàrrega.
Plaques circulars en sorra (Hanna & Carr, 1971)

NC = sorra normalment consolidada sotmesa a la sobrecàrrega que s'indica

OC = sorra preconsolidada a la pressió que s'indica i sotmesa a una sobrecàrrega de 13,8 kN/m².

CARREGA D'ARRENCAMENT (lbs)

CARREGA D'ARRENCAMENT (N)

ALÇAMENT (ins x 10⁻³)

ALÇAMENT (mm.)

La preconsolidació millora considerablement la resposta de les argiles (fig. 6.70.).

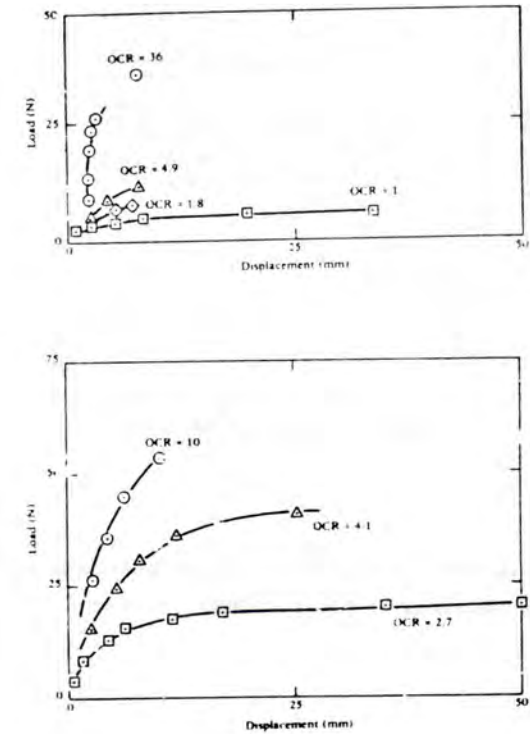


Fig. 6.70.- Corbes càrrega lenta vs. desplaçament de plaques circulars en argila submergida (Beard, 1979).

CARREGA (N)

DESPLAÇAMENT (mm.)

D/B = 1,5

CARREGA (N)
 DESPLAÇAMENT (mm.)
 D/B = 3

CARREGA (N)
 DESPLAÇAMENT (mm.)
 D/B = 6

OCR = coeficient de
 sobreconsolidació

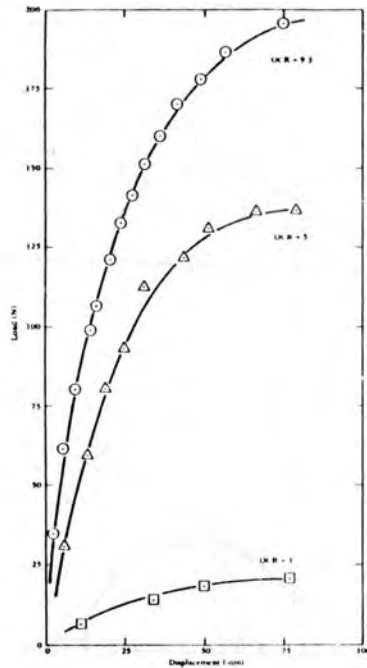


Fig. 6.70 (Cont.)

Al carregar lentament plaques circulars en argiles submergides, s'observa que la resistència augmenta al augmentar la pre-consolidació i els desplaçaments disminueixen. Aquest efecte s'acusa més al augmentar la profunditat.

6.3.8.- Humitat, nivell freàtic

Amb la humitat varien la resistència i els moviments. Modifica més el comportament dels ancoratges amb cantell perquè mobilitzen més resistència al tall que pes propi, en relació als ancoratges en els que domina la superfície.

Skempton (1959) va mesurar l'efecte de la humitat en la resistència al tall de l'argila de Londres (fig. 6.71.)

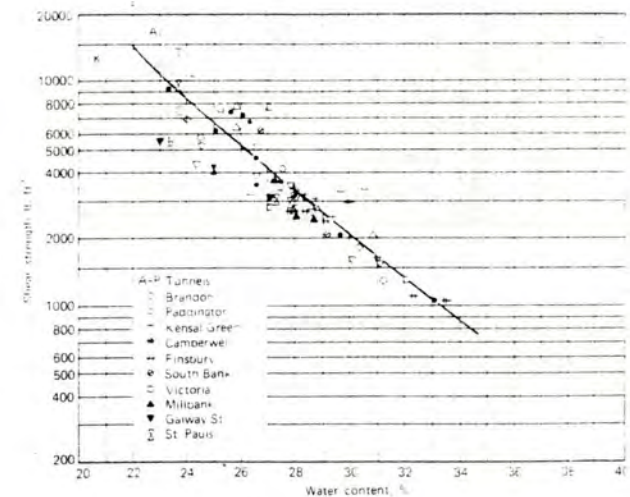


Fig. 6.71.- Efecte de la humitat en la resistència al tall de l'argila de Londres (Skempton, 1959)

Per comprovar l'alteració de les característiques del sòl, Horner (1969) compara un llim sorrenc avans i després d'haver-lo embassat (taula 6.2.). La humitat augmenta i el nombre de cops del S.P.T. disminueix considerablement indicant un minvament de la resistència. A més, la cohesió del sòl embassat disminueix de 10,9 a 5,1 psi (1 psi = 6,9 kPa) a 1,52 m. de profunditat i de 6,6 a 3,9 psi a 2,44 m. (fig. 6.72.).

		Profunditat En peus (1ft = 0,30m)	N(S.P.T.)	Humitat %
HUMITAT	NATURAL	5a6	16	11,3
		7a8	23	9,9
		9,1a10,1	19	12,5
	AUMENTADA	5a6	14	13,4
		8,5a9,5	6	19,8
		10,2a11,3	5	16,7

Taula 6.2.- Efecte de l'embassament en llim sorrenc (Horner, 1969)

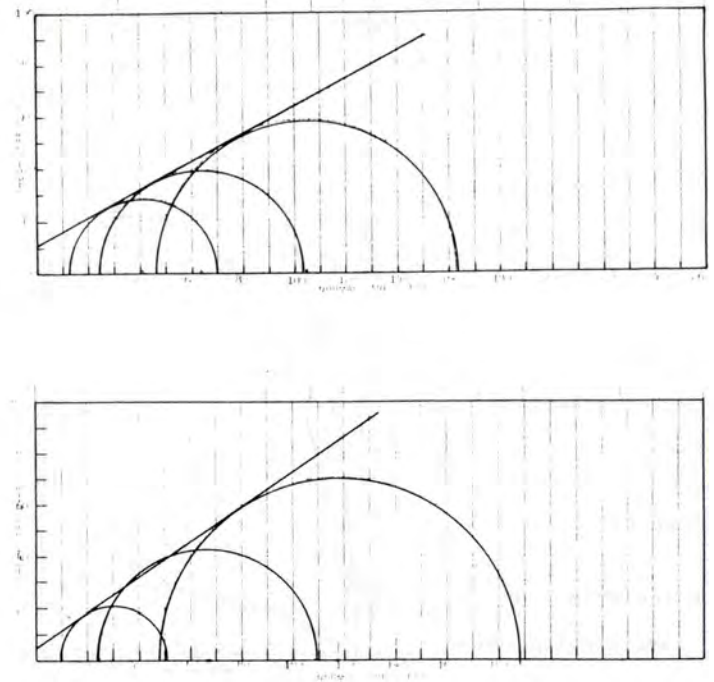


Fig. 6.72.- Assaig triaxial de llims sorrencs avans i després d'embassar.

Profunditat = 5 a 6 peus

Humitat natural = 12,1%

Tan ϕ = 0,53

Cohesió = 10,9 psi

Profunditat = 5 a 6 peus

Humitat augmentada = 18,4%

Tan ϕ = 0,68

Cohesió = 5,1 psi

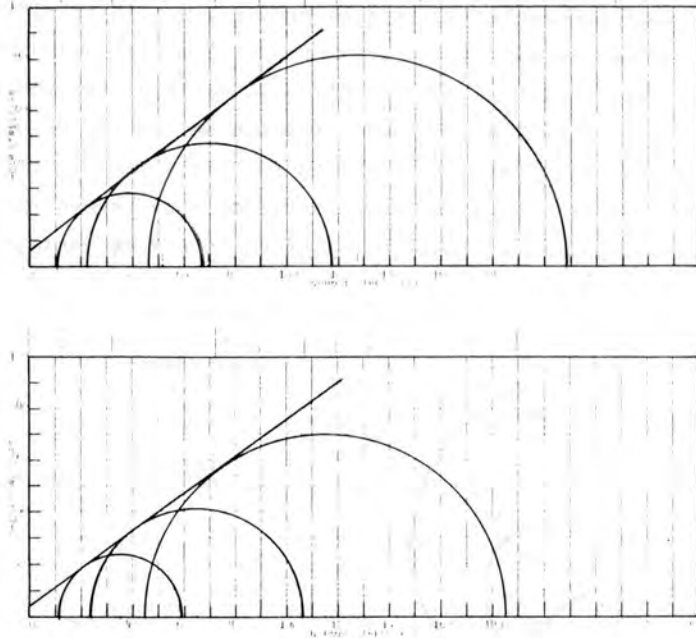


Fig. 6.72. (Cont.)

Profunditat = 8 a 9 peus

Humitat natural = 11,8%

$\tan \phi = 0,74$

Cohesió = 6,6 psi

Profunditat = 8 a 9 peus

Humitat augmentada = 13%

$\tan \phi = 0,71$

Cohesió = 3,9 psi

1 ft = 0,30 m.

1 psi = 6,895 kPa

L'interval de profunditats en que es col·loquen els ancoratges assaïjats es precisament de 0 a 2,44 m. En aquestes profunditats, la porció dels gràfics que representa l'estat de tensions es la inicial de 0 a 5 psi (34,5 kPa) en la que es pot constatar com el sòl embassat resulta més dèbil.

Les sorres seques en canvi, milloren al augmentar la humitat. Balla (1961) necessita 220 N (22,5 kp) per arrencar una placa de 120 mm. de diàmetre a 0,20 m. de profunditat en sorra seca. Al mullar la sorra, la resistència augmenta a 598,2 N (61 kp) per una humitat del 11%.

L'elevació del nivell freàtic disminueix la resistència (fig. 6.73.). A mesura que va pujant, l'ancoratge es relaxa i cal disminuir la càrrega si es vol evitar l'arrencament. En sorres, els ancoratges submergits poden arribar a resistir el 50% menys.

Les característiques del sòl a considerar en el disseny hauràn de reflexar la humitat més desfavorable i el nivell freàtic més elevat.

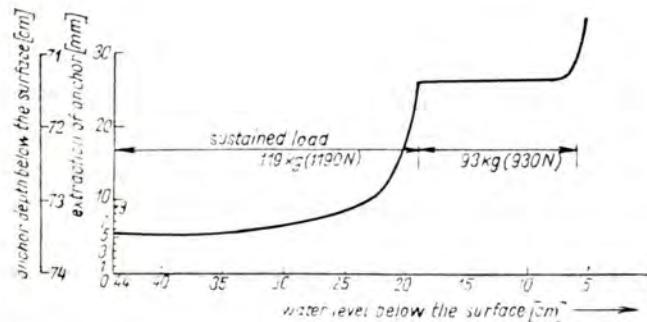


Fig. 6.73.- Efecte de l'elevació del nivell freàtic (Hobst & Zajic, 1977).

D (cm.)

s (mm.)

PROFUNDITAT DEL NIVELL FREÀTIC (cm.)

Càrrega permanent 1190 N

930 N

D = Profunditat de l'ancoratge

S = Desplaçament

L'assaig s'inicià amb l'ancoratge a 0,7345 m. i el nivell freàtic a 0,44 m. de profunditat.

6.3.9.- Succió

En sols coherents saturats es produeix a curt termini una diferència de pressió intersticial entre les cares superior i inferior de l'ancoratge que s'oposa a la càrrega d'arrencament (fig. 6.74.). Resulta doncs un increment del factor de capacitat de càrrega. Beard (1969) l'ha arribat a mesurar igual a 15 per plaques circulars fondes sotmeses a càrregues ràpides en argiles submergides (molt superior al $N_c = 9$ de Terzaghi).

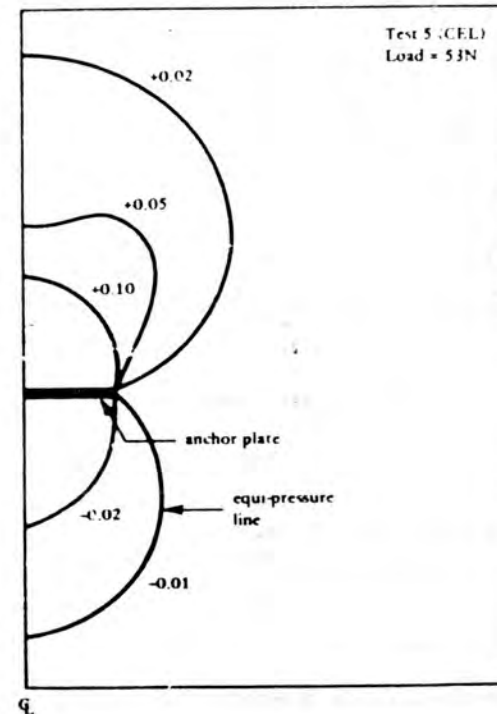


Fig. 6.74.- Distribució de pressions intersticials a les proximitats d'una placa circular fonda sotmesa a càrrega ràpida en argila submergida (Beard, 1979)

6.- COMPORTAMENT

La succió es mobilitza de seguida però immediatament comença a disminuir encara que la càrrega sigui ràpida (figs. 6.75. i 6.76.).

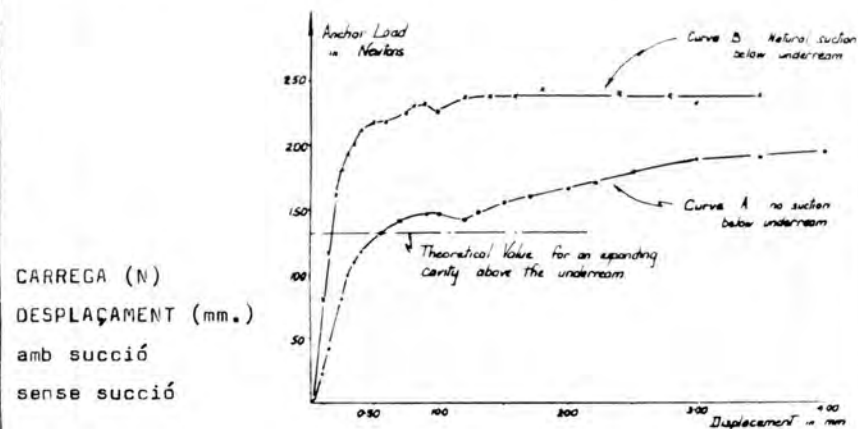


Fig. 6.75.- Efecte de la succió en la corba càrrega vs. desplaçament, discs enterrats en argila de Londres saturada (Potts, 1973).

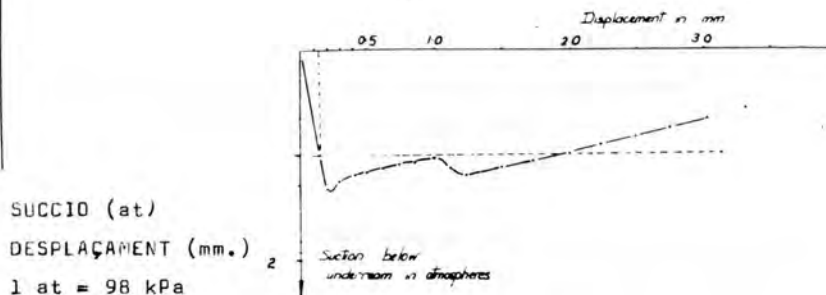


Fig. 6.76.- Corba succió vs. desplaçament de discs enterrats en argila de Londres saturada (Potts, 1973).

6.- COMPORTAMENT

Arrencant plaques enterrades en argila molt plàstica, Alf (1968) constata que la succió participa molt de la resistència a l'arrencament. Mesura un valor de la succió de 19 kPa ($0,20 \text{ kp/cm}^2$) mentre que la cohesió val 5 kPa ($0,05 \text{ kp/cm}^2$) i l'adherència 3,5 kPa ($0,04 \text{ kp/cm}^2$).

En Davie (1973) compara la resistència a l'arrencament de plaques circulars enterrades en materials coherents fabricats en laboratori i dedueix que la succió representa aproximadament el triple de la cohesió.

Al augmentar la permeabilitat disminueix la succió.

Al arrencar pous cilíndrics en argila llimosa húmida, Horner (1972) mesura la resistència dels 67 mm. inferiors (fig. 6.28.).

Es troba amb que sempre aguanten 1201 N amb independència de la profunditat. En canvi la resistència mitjana per unitat de longitud, que resulta constant, es de 13 N/mm. Per tant els 67 mm. inferiors haurien de resistir només 868 N. Atribueix la diferència $1201 - 868 = 333 \text{ N}$ a la succió, que representa 53,6 kPa ($c = 64,5 \text{ kPa}$).

6.4.- Característiques de la càrrega

6.4.1.- Magnitud

Amb la magnitud de la càrrega augmenten els esforços transmesos al sòl adjacent a l'ancoratge, el volum mobilitzat i el moviment (figs. 6.4, 6.11. i 6.12.)

6.4.2.- Duració

L'efecte de la permanència de la càrrega depèn de la permeabilitat, el valor de la càrrega relatiu a la resistència ràpida i la profunditat. (fig. 6.77.). Si la càrrega lenta roman inferior a la tercera part de la resistència ràpida ($Q_1 = Q_u/3$) el desplaçament es detura al cap d'una estona. Al augmentar la càrrega lenta (Q_2) tardarà més en deturar-se el desplaçament. A partir d'un valor límit Q_3 es produirà l'arrencaament.

La velocitat del desplaçament també depèn de la permeabilitat del sòl. Per això en sorres el moviment es detura avans que en llims (fig. 6.70.).

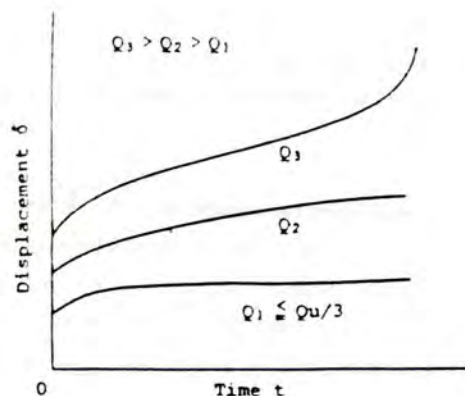


Fig. 6.77.- Efecte de la permanència de la càrrega (The Building Center of Japan and Membrane Structures Association, 1980)

DESPLAÇAMENT

TEMPS

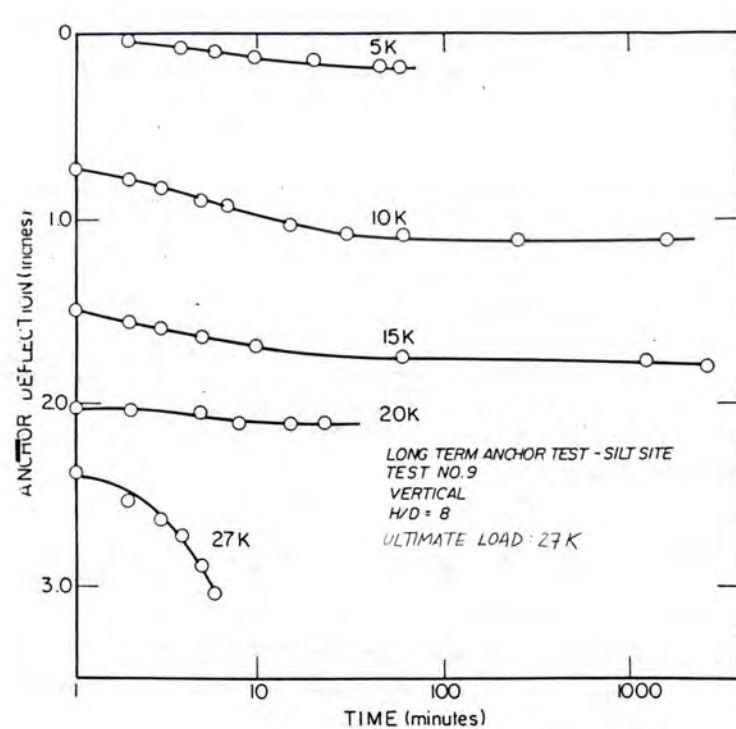
 Q_1 , Q_2 , i Q_3 (romanen constants durant l'assaig)

Fig. 6.78.- Desplaçament vs. temps a cada grau de càrrega.

Arrencament d'hèlixes triples en sorra de McConnellville (plana següent) i llim de Fulton, Clemence, 1984.

(1 polzada = 25,4 mm.; 1 K = 4,4482 kN)

DESPLAÇAMENT (polzades)

TEMPS (minuts)

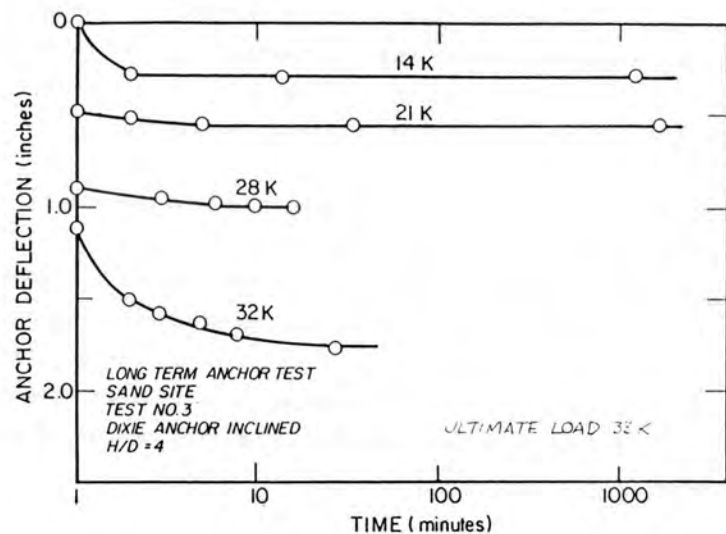


Fig. 6.78 (Cont.)

En sòls granulars la resistència a l'arrencament no varia al augmentar el temps d'aplicació de la càrrega, perquè la distinció entre càrrega lenta i ràpida (amb drenatge i sense) es inapreciable.

Els sòls coherents en canvi, poden beneficiar-se de la duració de la càrrega sempre i quan el ancoratge estigui situat a prou fondària com perquè es pugui consolidar el sòl que el cobreix (fig. 6.79.). Les pressions intersticials mesurades a les proximitats de l'ancoratge (fig. 6.74.) tendeixen a dissipar-se amb el temps (fig. 6.80.).

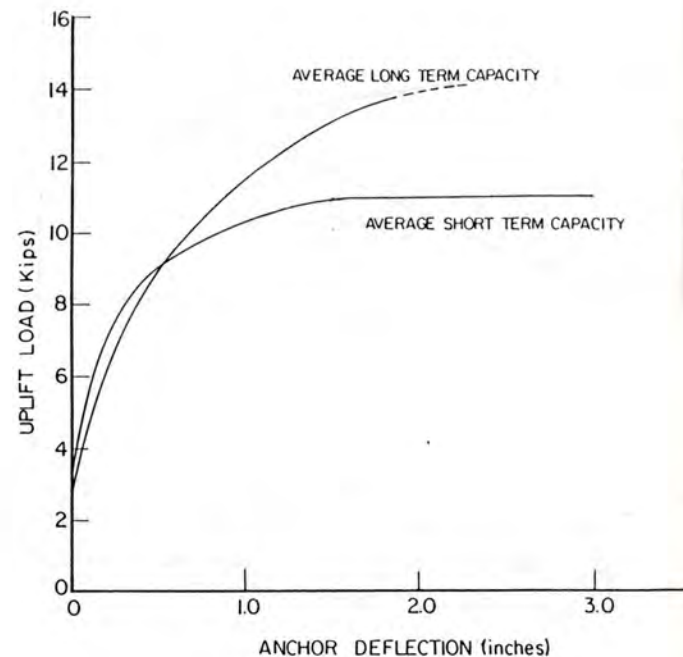


Fig. 6.79.- Càrrega vs. desplaçament de hèlixes triples en argila sotmeses a càrrega lenta i ràpida (Clemence, 1984).

1 kip = 4,4482 kN; 1 polzada = 25,4 mm.

CARREGA (kips)

DESPLAÇAMENT (polzades)

CARREGA LENTA

CARREGA RAPIDA

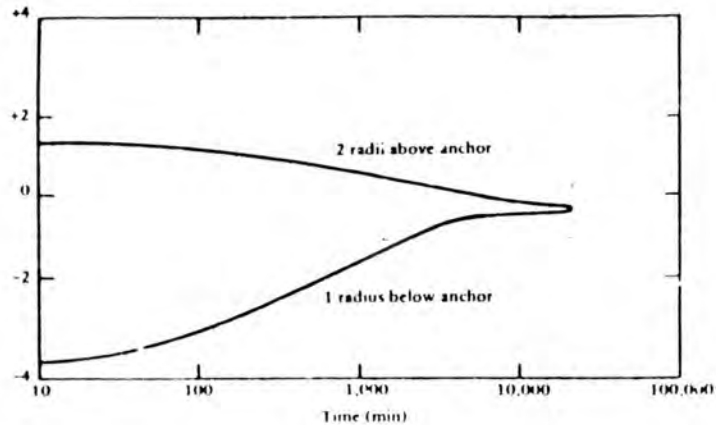


Fig. 6.80.- Dissipació de la pressió intersticial amb el temps, placa circular, $B = 100$ mm., $D/B = 5$, càrrega lenta = 44% de la resistència ràpida, en argila submergida (Beard, 1979).

PRESSIO INTERSTICIAL (kPa)
 TEMPS (min.)
 a 100 mm. per damunt
 a 50 mm. per sota

Damunt de l'ancoratge, l'esvaïment de les pressions intersticials positives es produeix a canvi de la consolidació. El sòl millora e incrementa la resistència, però al dessota s'esdevé el contrari. Les pressions negatives es dissipen, desapareix la succió i el sòl queda debilitat. Aquest afebliment no repercuteix en la resistència perquè es produeix a la part posterior, a peses sol·licitada per la càrrega, mentre que

l'efecte de la succió queda compensat per la consolidació de la part resistent. No és necessari per tant penalitzar la resistència dels ancoratges fondos per la desaparició a llarg termini de la succió, encara que la consolidació genera moviments a llarg termini que caldrà recuperar en el dispositiu d'unió a l'estructura per tal de mantenir la tensió.

La resistència lenta pot fins i tot superar a la ràpida sempre i quan la càrrega s'apliqui per graons lents inferiors a la resistència sense drenatge. (figs. 6.81. i 6.82.). Tant el desplaçament com la velocitat en que es produeix, resulten proporcionals a la càrrega. En el interval assajat (fins al 75% de la resistència sense drenatge) la velocitat disminueix i el desplaçament s'estabilitza, indicant que no es produirà arrencament.

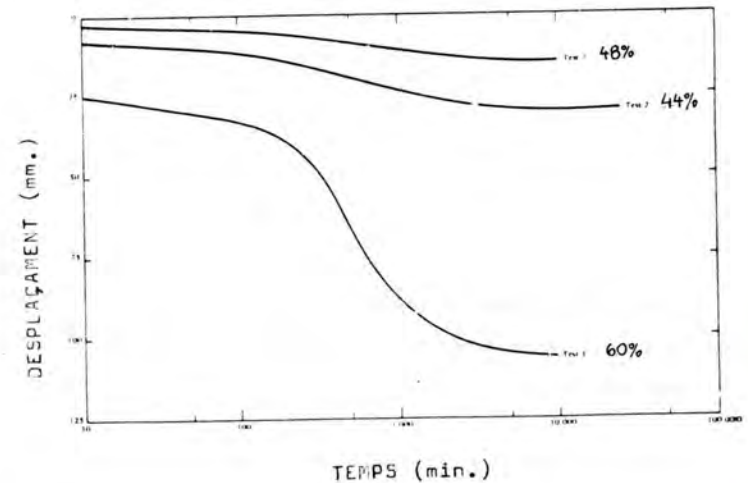


Fig. 6.81.- Corbes desplaçament vs. temps, plaques circulars, $B = 100$ mm., $D/B = 5$ en argila submergida. El percentatge indica la càrrega aplicada en relació a la resistència ràpida (Beard, 1979).

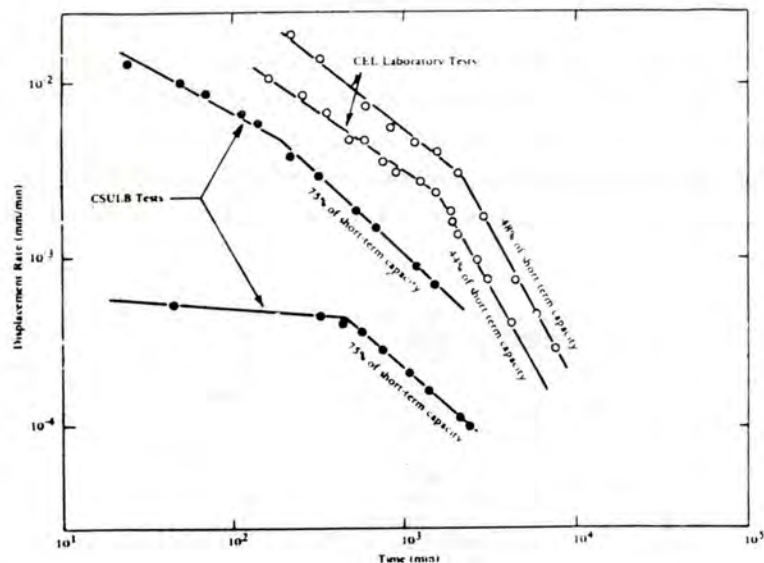


Fig. 6.82.- Efecte del temps en la velocitat del desplaçament Plaques circulars en argila submergida. El percentatge indica la càrrega aplicada en relació a la resistència ràpida (Beard, 1979).

VELOCITAT DEL DESPLAÇAMENT (mm./min.)

TEMPS (min.)

B = 100 mm.

B = 100 mm.

B = 76 mm.

B = 76 mm.

Ara bé, la permanència de la càrrega pot arribar a minvar la resistència a l'arrencament si disminueix la profunditat (fig. 6.83.). En ancoratges superficials la pressió vertical no es suficient per evitar l'aparició de pressions intersticials negatives damunt de l'ancoratge que es dissipen amb el temps debilitant el sòl.

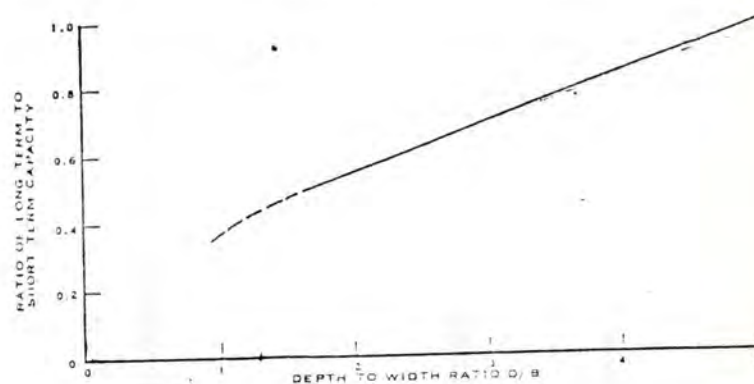


Fig. 6.83.- Efecte de la profunditat en la relació entre les resistències lenta i ràpida de pous eixamplats en argila dura (Adams, 1975)

RELACIÓ ENTRE LA RESISTÈNCIA LENTA I LA RÀPIDA
PROFUNDITAT RELATIVA

Aquesta reducció pot arribar a ser molt gran en argiles dures fissurades, perquè al augmentar la rigidesa, augmenta el volum de sòl debilitat per la dissipació de les pressions intersticials negatives, l'efecte de les quals s'amplifica amb la fissuració (fig. 6.84.).

L'efecte de la permanència de la càrrega pot arribar a ser doncs preocupant en ancoratges superficials, per valors pròxims a la resistència sense drenatge i especialment en argiles dures. Cal assenyalar però que en estructures traccionades, la càrrega permanent acostuma a ser un percentatge inferior al 50% de les càrregues instantànies i que gairebé sempre es possible recórrer a la profunditat.

6.- COMPORTAMENT

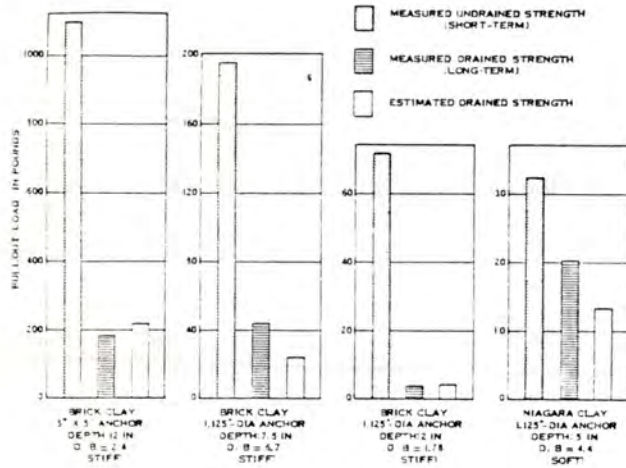


Fig. 6.84.- Resistències a curt i llarg termini de plaques en argila dura i tova (Meyerhof & Adams, 1968).

CÀRREGA D'ARRENCAMENT en lliures

- B = l = 5"
- D/B = 2,4
- (dura)
- B = 1,125"
- D/B = 6,67
- (dura)
- B = 1,125"
- D/B = 1,78
- (dura)
- B = 1,125"
- D/B = 4,44
- (tova)

- Resistència ràpida observada
- Resistència lenta observada
- Resistència lenta calculada

6.- COMPORTAMENT

6.4.3.- Repeticició

La repetició de la càrrega pot produir la degradació del sòl circundant i l'extracció gradual de l'ancoratge. Aquest efecte està relacionat amb el valor de la càrrega permanent, l'amplitud de la càrrega cíclica, el nombre de repeticions i, en sorres, la profunditat (Figs. 6.85. i 6.86.).

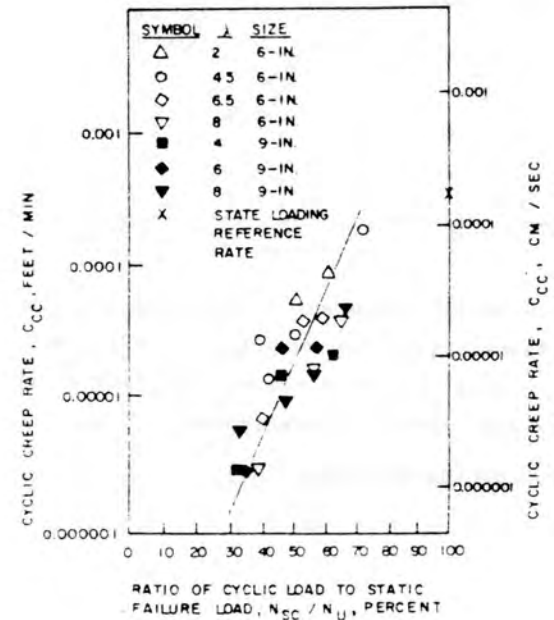


Fig. 6.85.- Efecte de la relació entre la càrrega repetida i la resistència ràpida en la fluència de plaques Y en argila saturada (Bemben et al., 1973)

- FLUENCIA (peus/min.)
- FLUENCIA (cm./s.)
- RELACIÓ ENTRE LA CARREGA CÍCLICA I LA RESISTÈNCIA RÀPIDA (%)
- D/B

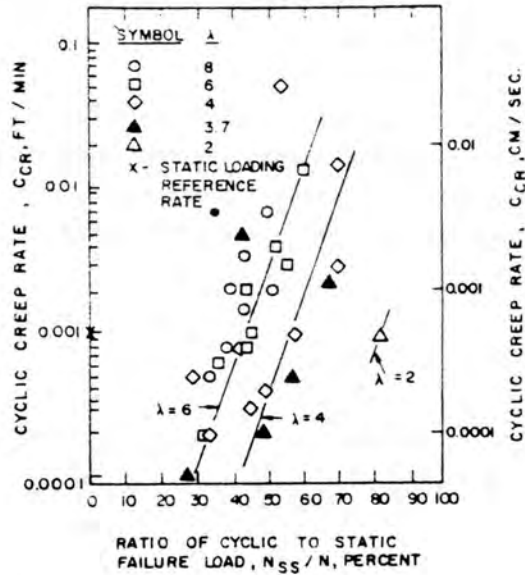


Fig. 6.86.- Efecte de la relació entre la càrrega repetida i la resistència ràpida en la fluència de plaques Y de 230 mm. de diàmetre en sorra saturada (Bemben et al., 1973)

FLUENCIA (peus/min.)

FLUENCIA (cm./s.)

RELACIO ENTRE LA CARREGA CICLICA I LA RESISTENCIA RAPIDA (%)

D/B

D/B = 6

D/B = 4

D/B = 2

Les observacions realitzades indiquen com el desplaçament es va acumulant amb el nombre de repeticions, la càrrega màxima aplicada i l'amplitud (fig. 6.87.). L'efecte de la descàrrega total a cada repetició es catastròfic. En canvi, la

descàrrega parcial a cada cicle allarga considerablement la vida de l'ancoratge. El més conservador es aplicar fluctuacions moderades sobre càrrega permanent.

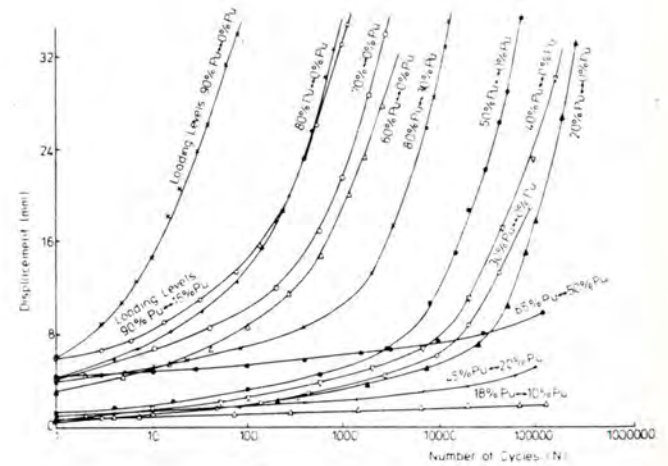


Fig. 6.87.- Efecte de la repetició de la càrrega en el desplaçament, plaques circulars, B = 38 mm. en sorra seca de densitat mitjana (Al-Mosawe, 1979).

DESPLAÇAMENT (mm.)

NUMBRE DE CICLES

El primer porcentage indica la càrrega màxima aplicada (càrrega cíclica més càrrega permanent) en relació a la resistència sense drenatge. El segon indica la càrrega permanent. La diferència indica doncs la fluctuació de la càrrega cíclica.

6.- COMPORTAMENT

També s'observa (fig. 6.88.) com el desplaçament produït per cada cicle disminueix al augmentar el nombre de repeticions, al disminuir la càrrega màxima aplicada i l'amplitud.

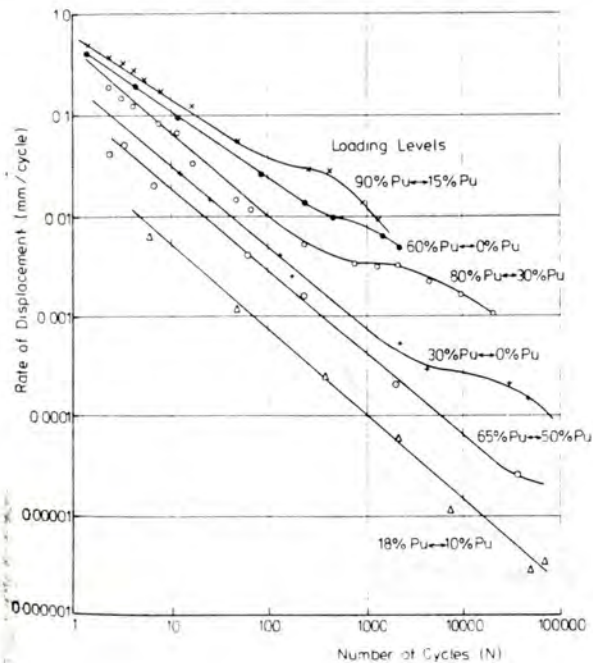


Fig. 6.88.- Efecte de la repetició de la càrrega en el desplaçament produït a cada repetició, plaques circulars $B = 38$ mm. en sorra seca de densitat mitjana (Al-Musaawi, 1979).

DESPLAÇAMENT PER CICLE (mm./cicle)
NOMBRE DE CICLES

El primer percentatge indica la càrrega màxima aplicada (càrrega cíclica més càrrega permanent) en relació a la resistència sense drenatge. El segon indica la càrrega permanent. La diferència indica doncs la fluctuació de la càrrega cíclica.

6.- COMPORTAMENT

Els pilots en sorres són molt vulnerables a la repetició, que acaba arrancant-los segons la càrrega màxima aplicada i l'amplitud (fig. 6.89.).

Es produeix una variació progressiva de la densitat amb deteriorament de la tensió normal que perjudica a la fricció i augmenta el desplaçament fins a l'extracció. Per limitar aquest efecte es pot recórrer als eixamplaments.

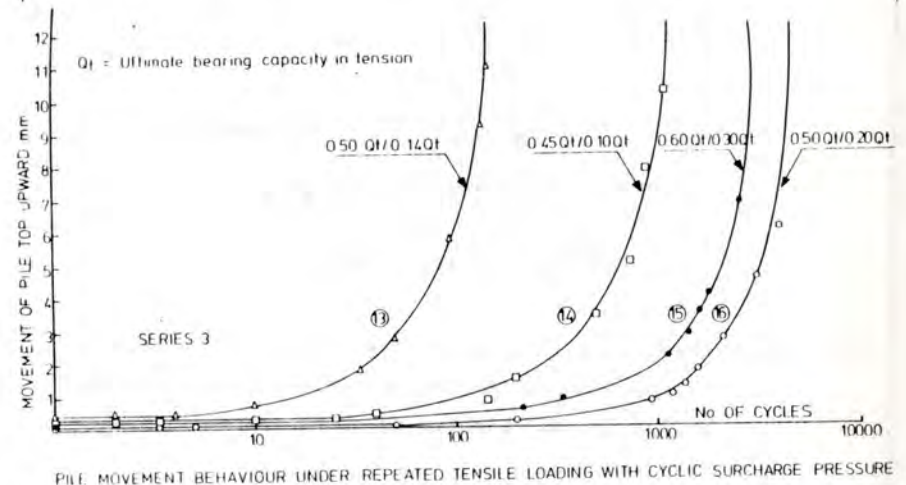


Fig. 6.89.- Efecte de la repetició de la càrrega en el desplaçament, pilots $D/B = 50$ (Madhloom, 1978).

DESPLAÇAMENT (mm.)
NOMBRE DE CICLES

El primer coeficient indica la càrrega màxima aplicada (càrrega cíclica més càrrega permanent) en relació a la resistència sense drenatge. El segon indica la càrrega permanent. La diferència indica doncs la fluctuació de la càrrega cíclica.

En sorres soltes saturades la repetició de la càrrega pot produir liqüefacció, o sigui la desaparició de la resistència al tall. En aquest cas caldrà augmentar la profunditat en busca d'un sòl millor o confiar únicament en el pes propi que s'oposi a l'aixecament.

Els valors pràctics que es proposen per la càrrega màxima (permanent més repetida) varien entre el 40% i el 80% de la resistència ràpida segons es tracti de sòls saturats o secs, sorres soltes o denses o argiles toves o dures (Adams 1975, Bembem & Kupferman, 1975, Kovacs & Yokel, 1979). Intenten que la càrrega quedi en la zona quasi lineal de la corba tensió-deformació perquè l'efecte de la repetició sigui poc apreciable. Si la càrrega s'acosta a la zona plàstica, la deformació permanent produïda per la repetició va augmentant, fins que es produeix la trencadura, encara que la càrrega no arribi a la màxima resistida en un assaig estàtic sense drenar.

6.4.4.- Inclinació (respecte a l'ancoratge)

L'efecte de la inclinació de la càrrega depèn del tipus d'ancoratge i la profunditat. Els ancoratges que queden enterats no tenen superfície lateral per mobilitzar l'empenta i giren més fàcilment, col·locant-se en posició axial (o quasi) respecte a la càrrega (fig. 6.90.). La situació acaba doncs semblant a la dels ancoratges inclinats sotmesos a càrrega axial. Per tant, la inclinació augmenta la resistència (fig. 6.91.) i els moviments inicials. Si la placa està molt inclinada respecte a la direcció de l'esforç, haurà de girar molt per col·locar-se perpendicular i iniciar la mobilització de la resistència màxima. Per això es recomana estirar prèviament els ancoratges que no han quedat orientats en la posició òptima de treball després de la col·locació.

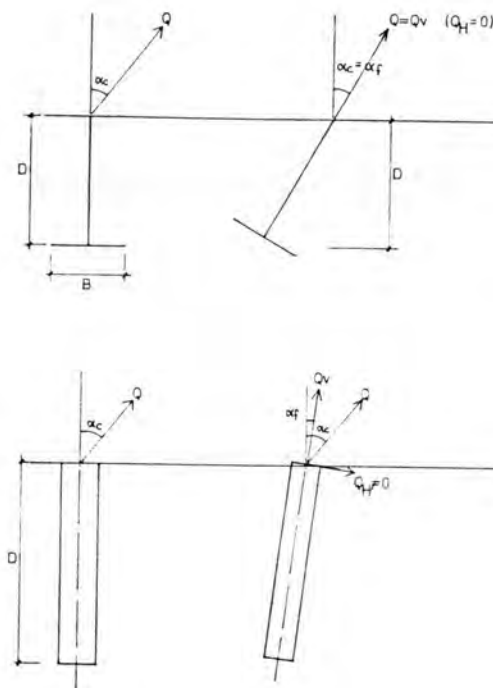


Fig. 6.90.- Efecte de la inclinació de la càrrega. La placa gira més perquè no té fust.

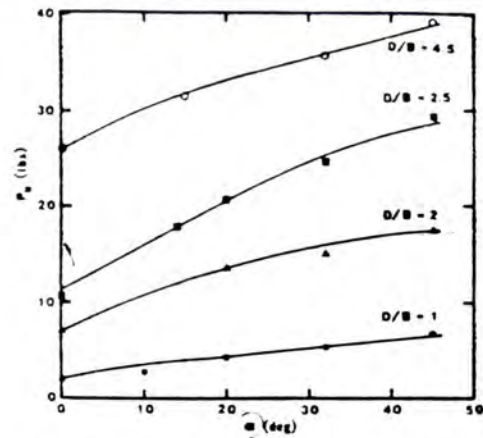


Fig. 6.91.- Efecte de l'inclinació de la càrrega en la resistència a l'arrencament, placa quadrada, $B = 64$ mm. en sorra seca (Das & Seeley, 1975)

La profunditat disminueix l'efecte de l'inclinació, ja que la pressió vertical neutralitza l'efecte de l'asimetria en la zona de trencament (fig. 6.92.)

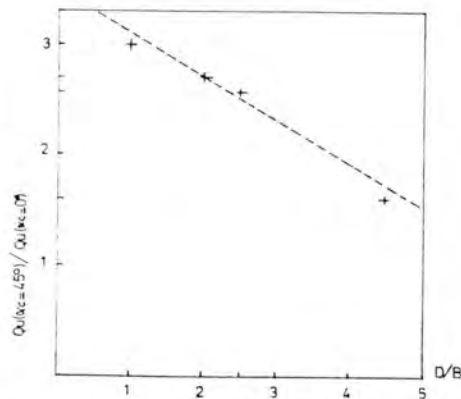


Fig. 6.92.- Efecte de la profunditat en la relació entre la resistència a la càrrega inclinada 45° i sense inclinar, placa quadrada, $B = 64$ mm. en sorra seca (Das & Seeley, 1975)

6.- COMPORTAMENT

Els ancoratges que arriben fins a la superfície tenen fust que mobilitza empena lateral i limita el gir. L'efecte de la inclinació serà el resultat de l'acció combinada de les components axial i normal de la càrrega, de la forma del fust i de la profunditat. (fig. 6.47.)

Si l'ancoratge s'inclina en direcció contrària a la càrrega (fig. 6.93.), resulta una inclinació total de la càrrega respecte de l'ancoratge igual a la suma de les inclinacions. La component d'extracció (axial) disminueix i augmenta la d'empena (normal).

Si l'ancoratge s'inclina en la mateixa direcció que la càrrega, resulta una inclinació total de la càrrega respecte de l'ancoratge igual a la diferència de les inclinacions. La component d'extracció (axial) augmenta i disminueix la d'empena (normal).

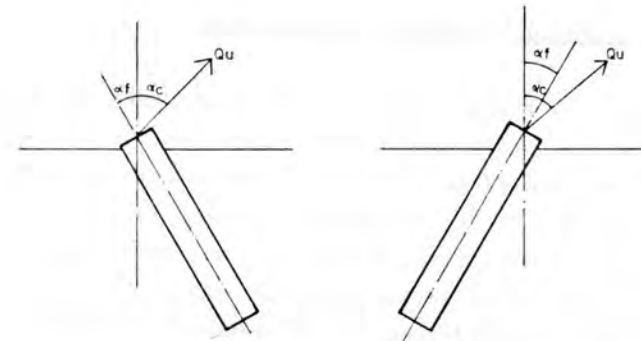


Fig. 6.93.- Inclinació combinada de l'ancoratge i la càrrega.

Cal assenyalar que els efectes de les dues components (axial i normal) no son independents. Al carregar elements de pantalla, per exemple (fig. 6.94), s'observa com el gir produït per la component horitzontal d'una càrrega inclinada es superior al que produeix una càrrega horitzontal de valor igual al de la component.

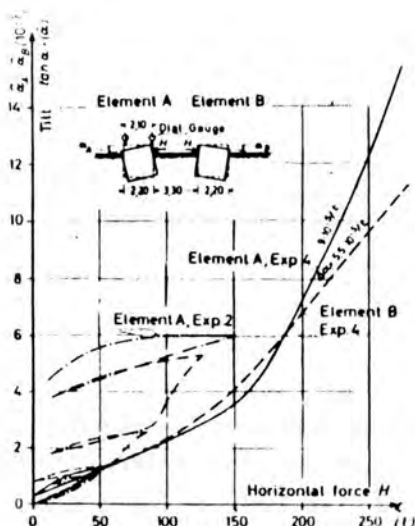


Fig. 6.94.- Relació gir vs. càrrega horitzontal. Elements de pantalla A i B de 2,30 x 0,60 m. i 9 m. de profunditat (4 en grava i 5 en sorra). Exp. 2 = càrrega inclinada. Exp. 4 = càrrega horitzontal. (Von Soos, 1972).

GIR ($\tan \alpha$)
FORÇA HORIZONTAL (T)

6.- COMPORTAMENT

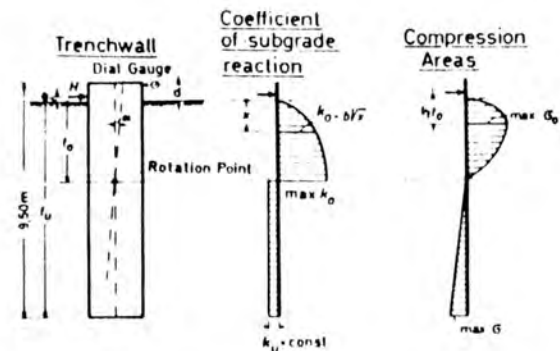


Fig. 6.94 (Cont.)

Yoshimi (1964) estira pilots inclinats i verticals amb la càrrega inclinada 30° respecte la vertical (fig. 6.52.). La inclinació del pilot perjudica a la resistència, excepte en el cas del pilot curt llis inclinat 15° que no es beneficia de la contribució de la rugositat al augmentar la component axial.

Les inclinacions positives (cap a la càrrega) augmenten el desplaçament (fig. 6.95).

Al estirar a 90° pilots inclinats i verticals observa que al augmentar la inclinació positiva i per tant la compressió, disminueix la resistència a l'arrencament (fig. 6.96). El pilot apreta una falca de sòl inferior a 90°. En canvi, la inclinació del pilot negativa augmenta la tracció i fins a -15° millora la resistència dels pilots rugosos.

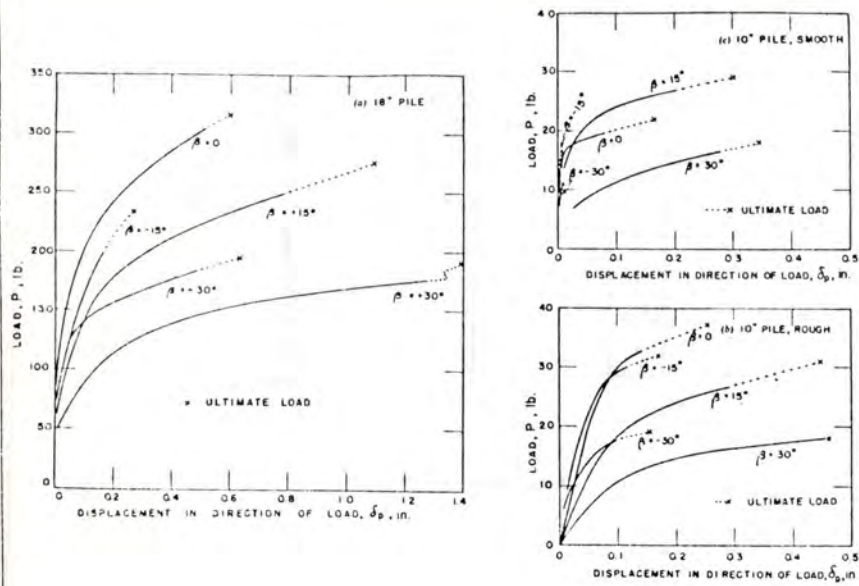


Fig. 6.95.- Càrrega d'arrencament en lb (1 lb = 4,4482 N) de pilots en sorra vs. desplaçament en in (1 in = 25,4 mm.) en la direcció de la càrrega (Yoshimi, 1964)

CARREGA (lb)
 DESPLAÇAMENT (in)
 B = 18 in

 B = 10 in (llis)

 B = 10 in (rugós)

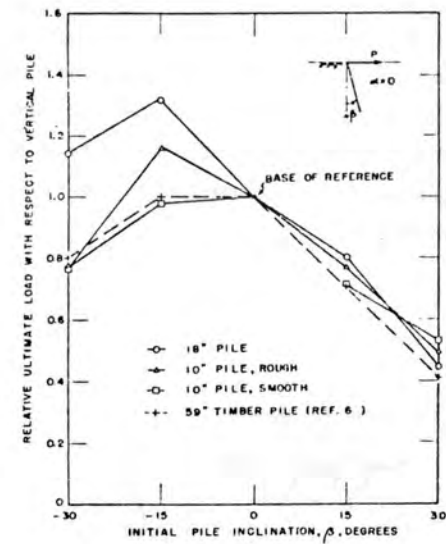


Fig. 6.96.- Efecte de la inclinació del pilot en la càrrega límit (càrrega horitzontal). (Yoshimi, 1964)

RELACIO CARREGA ULTIMA (PILOT INCLINAT)/CARREGA ULTIMA (PILOT VERTICAL)
 INCLINACIO DEL PILOT
 B = 18"
 B = 10" (rugós)
 B = 10" (llis)
 B = 59" (fusta)

Broms (1972) proposa diversos procediments per millorar la resistència lateral dels pilots (fig. 6.97)

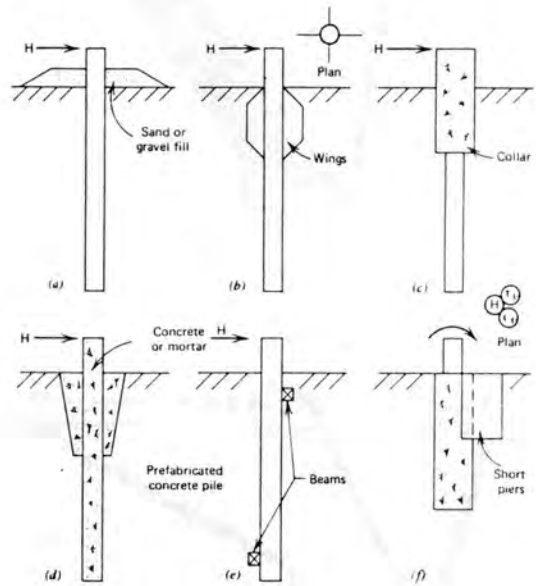


Fig. 6.97.- Procediments per incrementar la resistència lateral dels pilots. (Broms, 1972).

6.4.5.- Excentricitat

L'aplicació excèntrica de la càrrega produeix la rotació de l'ancoratge i per tant la disminució de la superfície frontal de resistència contra les terres que s'oposen a l'aixecament (fig. 6.98)

Per això l'excentricitat facilita l'extracció. Aquest efecte s'aplica als dispositius de recuperació dels ancoratges, que es col.loquen en un dels extrems, i a les forces de rescat d'objectes submergits que s'apliquen amb excentricitat.

6.- COMPORTAMENT

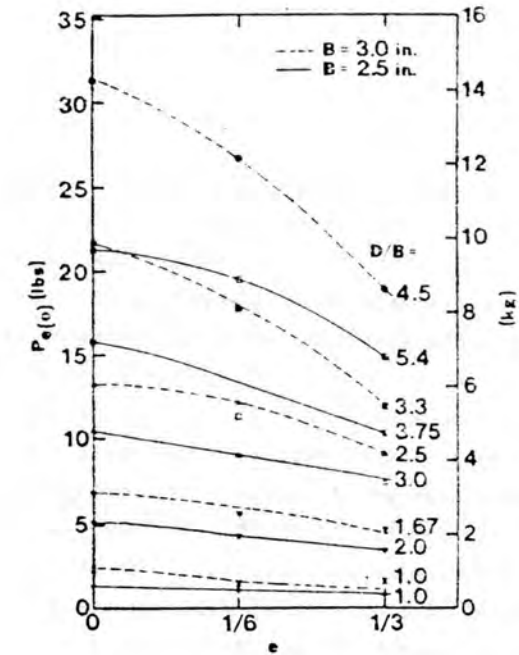


Fig. 6.98.- Efecte de l'excentricitat relativa e/B en la càrrega neta d'arrencament de plaques circulars en sorra solta (Das & Seeley, 1976)

6.5.- Característiques del procés constructiu

6.5.1.- Col.locació de l'ancoratge

Els mètodes de col.locació dels ancoratges es poden classificar, com els dels pilots, en mètodes de desplaçament i d'extracció. Tant amb els uns com amb els altres es poden produir millores o afebliments del sòl i del contacte amb el fonament. L'afebliment més desfavorable es el que produeix una superfície de trencadura cilíndrica sense fricció ni adherència, de resistència mínima a l'arrencament.

1) Mètodes de desplaçament

Els mètodes de desplaçament més habituals són el clavat a percussió o rotació, encara que també s'utilitzen la penetració estàtica i la vibració. Els efectes resistents depenen de la forma de transmissió de l'energia, el tipus de sòl i la forma de la punta (tancada, oberta o esmolada) de l'ancoratge. Incideixen en l'angle de fricció de la superfície de contacte, el valor de l'empenta i l'adhesió. Els sòls més sensibles són les argiles susceptibles al reamassat i els llims i les sorres submergits en els que es poden produir disminucions de la resistència del 20 al 30%. En canvi les sorres de densitat mitjana i alta no saturades i les argiles dures poc susceptibles al reamassat poden millorar per la consolidació que provoca la penetració de l'ancoratge.

2) Mètodes d'extracció

Els mètodes d'extracció debiliten el sòl afectat perquè el descomprimeixen i en ancoratges que queden enterrats s'han de completar reomplint (fig. 6.99). La grandària de l'excavació i l'inclinació de la càrrega incideixen en la quantitat de sòl natural involucrat en l'arrencament. Heikkila & Laine, (1964), per una placa col·locada a 2,25 m. en excavació estreta i estirada a 37,5°, mesuren una resistència del 60% superior a la de la mateixa placa en excavació ampla. Però si la profunditat es redueix a 1,75 m. i l'inclinació a 22,5°, aquesta diferència disminueix al 15%.

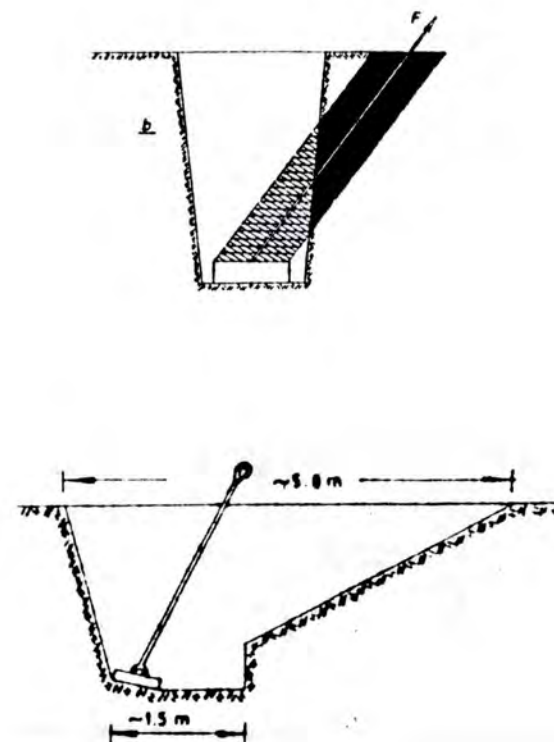


Fig. 6.99.- Efecte de la grandària de l'excavació i de l'inclinació de la càrrega en el volum de sòl natural mobilitzat.

Excavació estreta

Excavació ampla

Es pot esmorteir aquest efecte compactant cursament el reblert (fig. 6.100.).

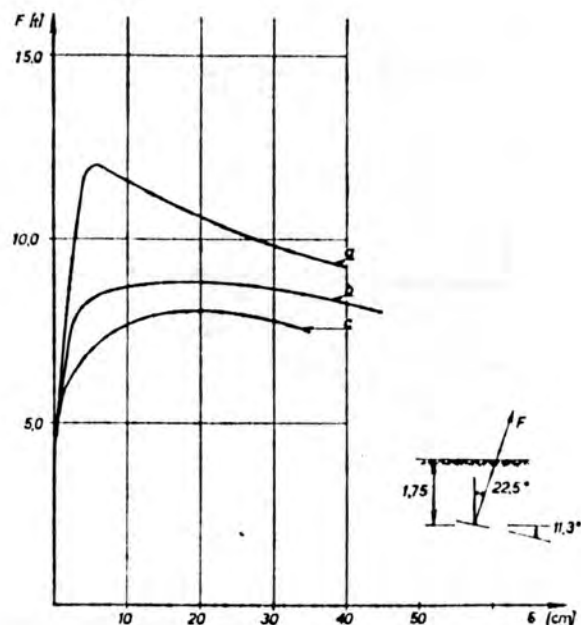


Fig. 6.100.- Efecte de la compactació en la corba càrrega vs. desplaçament de plaques prefabricades de formigó a 1,75 m. en sorra (Heikkila & Laine, 1964)

- a) Amb 0,80 m. piconats sobre la placa (50 cops/m² amb picó de 118 N (12 kp) cada 0,2 m.)
- b) amb 0,4 m. piconats sobre la placa
- c) sense piconar

6.- COMPORTAMENT

En excavació ampla, els mateixos autors han comprovat, per una placa col·locada a 1,75 m. en sorra, que piconant 0,40 m. es millora una mica la resistència, però piconant-ne 0,80 m. augmenta el 45% (passa de 78 kN (8 T) a 115 kN (11,5 T)), mentre que el moviment es redueix a 200 mm. a 60 mm.

En sòls coherents, l'efecte del compactat es equivalent al de la consolidació natural. Heikkila & Laine (1964) esperant 275 dies han obtingut resistències augmentades en el 25% i, arrencant els fonaments d'una línia abandonada, han mesurat resistències del 55% superiors a les dels mateixos fonaments assajats després de tornar-los a col·locar.

Retrassar l'aplicació de la càrrega en sòls coherents es doncs una alternativa econòmica al procés de compactació.

Una altra alternativa al procés de compactació per ancoratges enterrats o eixamplats es la d'excavar desde el fons del pou, sense alterar el sòl situat sobre la base. Parr & Vanner ho comproven arrencant plaques i blocs acampanats (fig. 6.101).

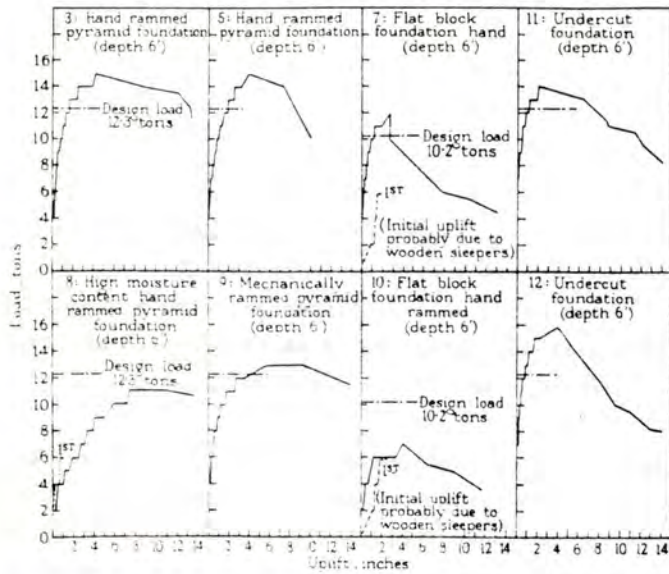


Fig. 6.101.- Arrencament de plaques i pous acampanats (Parr & Vanner, 1962)

No 3,5 i 9 = blocs acampanats amb reblert i compactat curós

No 8 = bloc acampanat. Va ploure al excavar i reomplir

No 7 = placa de fusta amb compactat curós

No 10 = placa de fusta. Va ploure al excavar i reomplir

No 11 i 12 = blocs acampanats. Eixamplament excavat desde sota.

3) Excavació amb llots

Un procediment per mantenir estable la excavació es el d'utilitzar llots bentonitics que tenen l'inconvenient de formar una crosta lubrificant sobre les parets laterals i per tant modifiquen el contacte ancoratge-sòl disminuint la fricció (fig. 6.102).

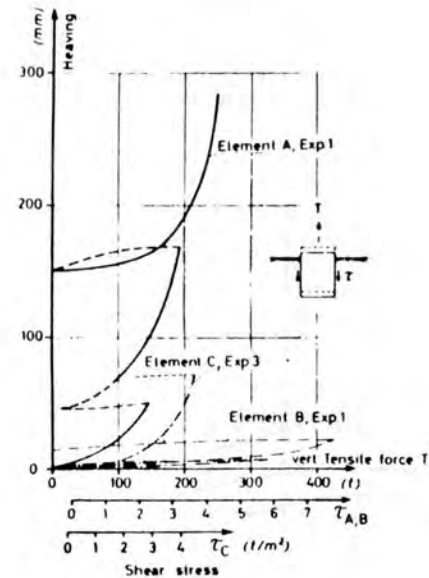


Fig. 102.- Aixecament d'elements de pantalla de 2,30 x 0,60 i 9 m. de profunditat 4 en grava i 5 en sorra (Van Soos, 1972)

AIXECAMENT (mm.)

TRACCIÓ (T)

TENSIO TALLANT (T/m^2)

Element A = es va deixar dos dies l'excavació plena de llots

Element B = es va formigonar de seguida

Soos (1972) constata aquest efecte arrencant un element de pantalla després de 2 dies de interrupció dels treballs, durant els quals l'excavació va quedar plena de bentonita i s'hi va poder formar una crosta molt gruixuda. Als 250 mm. d'extracció, la tensió tallant arribarà a $4T/m^2$ mentre que un altre element idèntic formigonat sense interrupció després d'excavar, ja aguantava $7 T/m^2$ amb 25 mm. d'extracció. Per tant, encara que tota la diferència no sigui imputable als llots (Fernandez Kenau, 1972), es convenient formigonar lo avans possible per limitar la lubricació.

4) Abocat del formigó

L'abocat també afecta al sòl circundant perquè produeix una empenta hidrostàtica i altera la humitat natural. L'empenta hidrostàtica pot recuperar l'efecte de la descompressió i mobilitzar fins i tot part de l'empenta passiva mentre que la humitat s'altera molt poc si no es tracta de sòls secs que puguin absorbir aigua de la abeurada, morter o formigó.

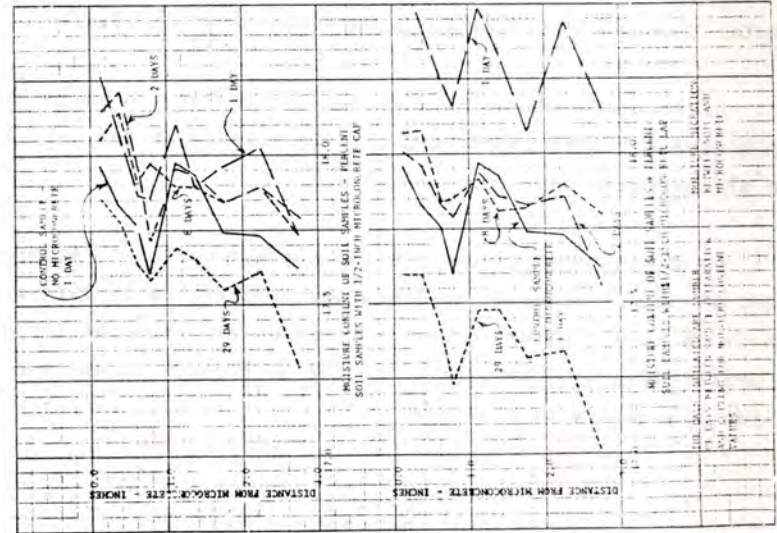
Horner (1972) mesura l'efecte de l'abocat del formigó en la humitat natural d'una argila llimosa i observa que la humitat augmenta una mica al primer dia però després disminueix i es queda una mica per sota (menys del 1%) de la humitat original (fig. 6.103).

Aquest resultat podria variar amb la relació aigua/ciment.

6.- COMPORTAMENT

Fig. 6.103.- Intercanvi de humitat entre el morter i el sòl (Horner, 1972).

DISTANCIA AL MORTER (in)	
HUMITAT DEL SOL (%)	
Mostra de morter 1 1/2" (1 in = 25,4 mm.)	
Mostra de control sense morter (1 dia)	
1 dia	
2 dies	
8 dies	
29 dies	
DISTANCIA AL MORTER (in)	
HUMITAT DEL SOL (%)	
Mostra de morter 1 1/2" (1 in = 25,4 mm.)	
Mostra de control sense morter (1 dia)	
1 dia	
2 dies	
8 dies	
29 dies	



5) Injecció a pressió

En barres injectades hi ha la possibilitat de formigonar a pressió, procediment que pot millorar les característiques de tall del sòl circumdant perquè el consolida i augmenta la empena, encara que és una tècnica més habitual dels ancoratges actius.

6.5.2.- Estirada prèvia

L'estirada prèvia o pretensat no permanent millora els ancoratges que queden enterrats perquè consumeix el moviment inicial. Les plaques clavades o vibrades ho requereixen per tal de trabar-se en posició perpendicular a la càrrega i presentar la superfície màxima de resistència a l'extracció.

El comportament abans i després de la travada es reflexa en l'assaig d'arrencament d'una placa triangular de 0,15 m. en sòl granular dens (fig. 6.104).

La discontinuïtat en la corba càrrega-moviment reflexa el punt en que la placa es col·loca perpendicular a la direcció de la càrrega. Observis que la corba passa a ser més empinada a partir d'aquest punt, es a dir que disminueix la deformabilitat i augmenta la rigidesa.

6.- COMPORTAMENT

TEST 2 ANCHOR III
6 INCH TRIANGULAR ANCHOR
DEPTH 3 FEET VERTICAL LOADING
CLASS 4 "COMPACT GRAVEL & SAND/SMALL AMOUNT OF CLAY,
USBPR CLASS A-2-5"

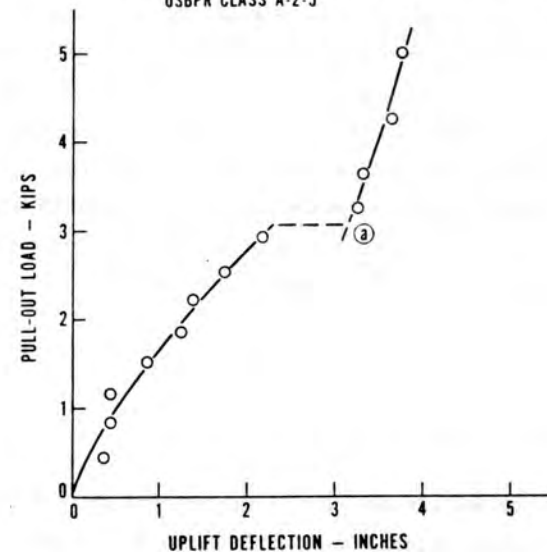


Fig. 6.104.- Corba càrrega vs. aixecament, placa triangular, B = 152 mm., D = 0,9 m. en sorra i grava compactes amb una mica d'argila. (Kovacs & Yokel, 1979)

CARREGA (kips)
ALÇAMENT (in)
1 kip = 4,45 kN
1 in = 25,4 mm.