

El Fenómeno de licuefacción de suelos:

Elaborado por Carlos Grus

Los estudios sobre efectos de sismos se han desarrollado a partir de su observación directa, cada sismo arroja nuevas lecciones. Los sismos de Valdivia (Chile), Anchorage (Alaska) y Njgata (Japón) permitieron apreciar los efectos de la licuefacción de suelos. Este fenómeno que transforma algunos suelos susceptibles originalmente sólidos en líquidos viscosos es mencionado en los libros de ingeniería sísmica y de ingeniería de fundaciones, y es percibido como algo lejano a nuestra práctica común en la ingeniería civil.

Recientemente el sismo de Cariaco del año 1997 nos permitió apreciar en nuestro país los efectos de este fenómeno, a continuación incluyo algunos fragmentos de un informe rubricado por Alonso & Martínez, publicado por la Universidad Simón Bolívar, sobre los efectos del sismo de Cariaco.

“

3. Problemas de inestabilidad de suelos

En el sismo de Cariaco, quedó una vez más demostrado que aún en una misma localidad, las variaciones de las características del suelo local ejercieron una enorme influencia en el patrón de distribución de daños de edificaciones y viviendas, y en la amplitud y contenido de frecuencias de los movimientos del terreno registrados en la superficie de los depósitos de suelo durante el terremoto.

En zonas en las que los depósitos estaban formados por materiales granulares sueltos saturados, su tendencia a compactarse originó presiones hidrostáticas excesivas capaces de producir licuefacción del suelo, dando como resultado grandes asentamientos y daños estructurales considerables. En general, en el sismo de Cariaco se observaron:

- (a) Desplazamientos de bloques del suelo que se movieron sobre capas del suelo totalmente licuadas en la laguna Buena Vista, entre las poblaciones de Cariaco y Casanay, precisamente en la zona donde fue ubicado el epicentro.
- (b) Agrietamiento y hundimiento del dique de contención de la planta de cría de Camarones en Campoma, a 10 km del epicentro (Foto 17). Hundimiento parcial de carretera costera en la población de San Antonio del Golfo, a orillas precisamente del golfo de Cariaco a 30 km del epicentro.
- (c) Hundimiento parcial y agrietamiento de la zona de enrocado (en contacto con el mar), en terraplén de relleno artificial en la planta de Alimentos Margarita, en la población de Mariguítar, a 42 km del epicentro (Fotos 7 y 18). En todo este terraplén se produjo boils), lo cual causó bastante daño a las instalaciones de la planta (Foto 19) y en las instalaciones del hotel Maigüalida, también en la localidad de Mariguítar. La Figura 4 muestra un modelo probable del hundimiento del fondo marino en el litoral costero producido por una cuña de deslizamiento que se desplazó a lo largo del talud marino que en esa localidad, al igual que el resto de la fosa del golfo de Cariaco, buza en dirección al mar con un grado de inclinación bastante abrupto a escasos metros de la costa, tal como se puede apreciar en la Foto 18. De suyo, la profundidad del mar en las costas de la ciudad de Cumaná es superior a los 200 metros a tan solo 0.5 km de distancia de la desembocadura del río Manzanares.

(d) Hundimiento vertical de zonas costeras en la desembocadura del río Manzanares, en el puerto pesquero y zonas aledañas a Cumaná, Fotos 8, 9 y 20. En esta zona se presentó también el fenómeno de licuefacción característico de este tipo de suelos.

Los estudios de suelos llevados a cabo recientemente por Herrera (1997) en Cariaco, reafirman nuestras observaciones en el sentido de que los estratos estudiados presentan todas las características de un suelo licuable:

1. Arena limosa no plástica 100% saturada.
2. Coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10} < 15$.
3. Resistencia SPT menor de 15 (entre 5 y 10).

Por otra parte, la arcilla que se encuentra en las capas superiores de suelo es blanda a semi-dura.

También se tienen fotografías tomadas de ese informe:



Foto # 18: Vista aérea del terraplén artificial en La Planta de Alimentos Margarita en Margaritar. Obsérvese inclinación pronunciada del talud marino en la costa.

Zona portuaria - Marigüitar.

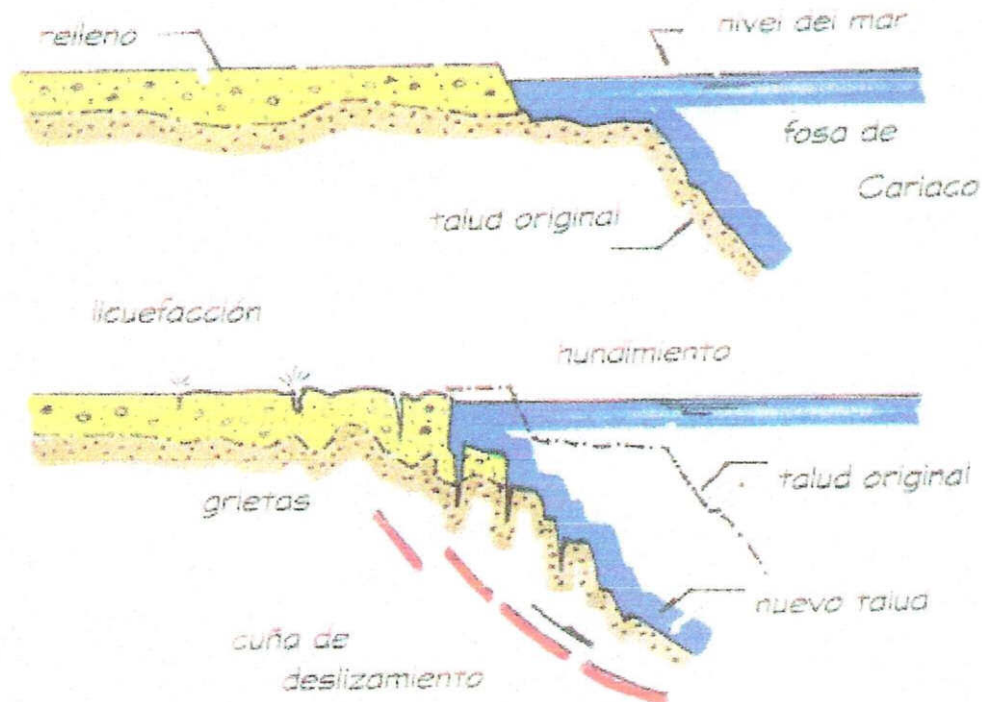


Figura # 4. Modelo probable del hundimiento producido por cuña de deslizamiento en talud marino muy inclinado, con aumento de la profundidad y pérdida de zona costera.

En la gráfica se aprecia el deslizamiento de un talud costero como consecuencia de la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante

Pero ¿ En qué consiste esa licuefacción ? básicamente afecta a suelos sensibles generalmente arenas de baja compactación o arcillas débiles en presencia de agua (saturadas o sumergidas), las ondas de corte ocasionadas por el sismo producen un bombeo del agua intersticial aumentando drásticamente la presión de poros en esa circunstancia el esfuerzo efectivo se reduce llegando prácticamente a cero. Dado que la resistencia al corte de los suelos friccionantes es $\tau = \sigma_e \times \tan \phi$. Esta se aproxima a cero al reducirse el esfuerzo efectivo y prácticamente el suelo se transforma en una merengada.

Que suelos son susceptibles a sufrir este fenómeno por causa del sismo, prácticamente todos pero en diferente grado, existen factores que aumentan el riesgo de licuación, principalmente la Compactación relativa, mientras mayor sea la relación de vacíos mayor la posibilidad de que ocurra la licuefacción, otros factores son la uniformidad de las partículas del suelo, la baja cohesión, la intensidad del sismo y el número de ciclos de carga.

En estudios citados por Lambe, al someter arenas finas saturadas de baja compacidad a cargas y descargas repetidas y rápidas, estas mantienen su capacidad relativamente completa hasta el octavo ciclo y en el noveno se deforman abruptamente en más de un 20%, al parecer la presión de poro no es disipada entre los diferentes ciclos de carga y va aumentando (bombeo) hasta anular los esfuerzos efectivos. Estas experiencias se han realizado también con arenas gruesas de mediana y alta compacidad y el fenómeno ocurre a un número de ciclos mayor y con efectos menos sensibles.

En la siguiente tabla tomada de Bowles se exponen relaciones aproximadas entre la intensidad del sismo, la densidad relativa y el potencial de licuefacción para un nivel freático de unos 1,5 metros bajo la superficie, el autor indica que esta tabla tomada de un estudio de Seed & Idriss (1971) se puede usar sin errores notables para mesa de agua hasta tres (3) metros por debajo de la superficie.

TABLE 6-1
Approximate relationship between earthquake magnitude, relative density, and liquefaction potential for water table 1.5 m below ground surface*

Earthquake acceleration	High liquefaction probability	Potential for liquefaction depends on soil type and earthquake acceleration	Low liquefaction probability
0.10g	$D_r < 33\%$	$33 < D_r \leq 54$	$D_r > 54\%$
0.15g	< 48	$48 < D_r \leq 73$	> 73
0.20g	< 60	$60 < D_r \leq 85$	> 85
0.25g	< 70	$70 < D_r \leq 92$	> 92

*From Seed and Idriss (1971).

De la tabla se puede concluir que en presencia de agua existe potencial de licuefacción aún para suelos relativamente compactos, dependiendo de sus características y de la intensidad del sismo. Hay que considerar también que el suelo tiene también un período propio de vibración y su coincidencia con el período de las ondas sísmicas puede producir amplificación dinámica.

Métodos de mejoramiento del suelo susceptible de licuefacción:

Para aumentar la capacidad portante del suelo y disminuir su potencial de licuefacción o licuación se debe aumentar su cementación o aumentar su compacidad, también se puede disminuir el nivel de agua abatiendo el nivel freático o mejorando el drenaje.

Según el material recibido en el curso existen varios métodos de compactación como voladuras, vibroflotación, sondas vibrantes, inyección de estabilizantes, Golpeteo pesado, sobrecarga, pilotes de arena o piedra, vitrificación, drenaje, etc.

Resulta difícil opinar sobre estos métodos sin haberlos utilizado en experiencias prácticas, se requiere evaluar y probar los sistemas haciendo ensayos de campo para calibrar su efectividad y escoger el sistema más adecuado según la situación, la naturaleza del suelo, el espesor y profundidad del estrato a mejorar,

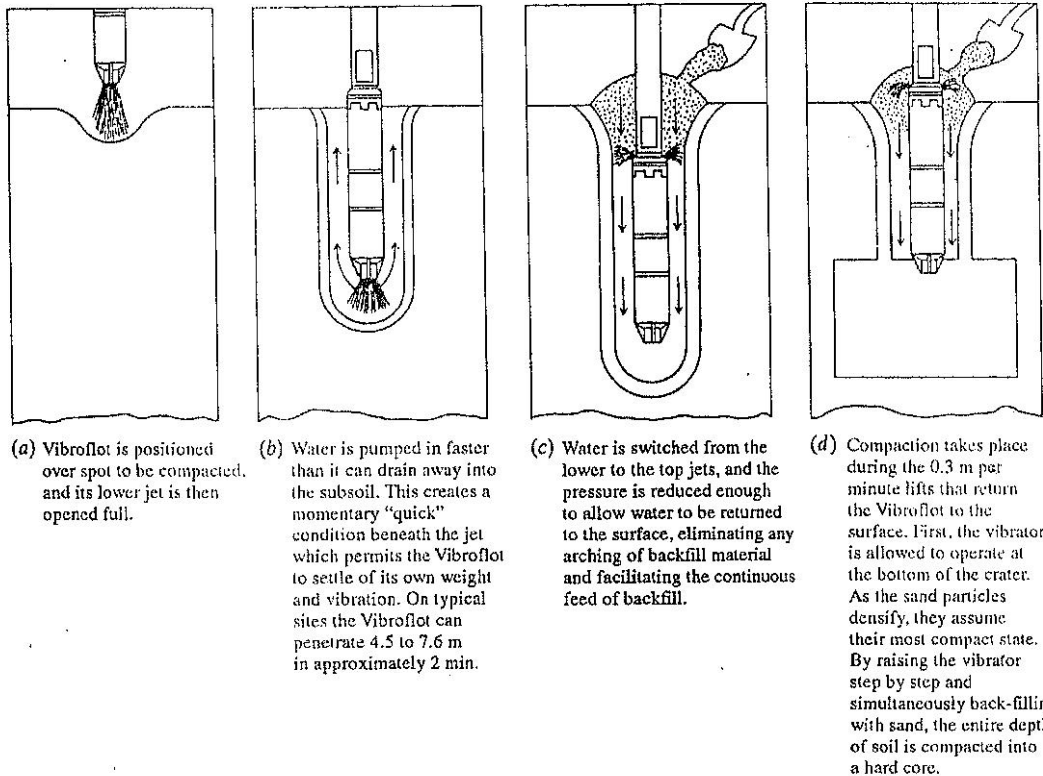
Con riesgo de emitir opiniones sin fundamento, considero que el mejor método es el de los pilotes de arena gruesa o piedra pues densifican el estrato suelto, mejoran el drenaje y se constituyen en pilotes o barreras estabilizantes ante cargas laterales, además su rendimiento en la ejecución podría ser considerable.

Como opción económica y rápida tomaría la vibroflotación dado que se puede obtener un rendimiento de hasta 7.500 o 15.000 m³ por turno de trabajo, en una ocasión pude apreciar indirectamente un trabajo de este tipo, incluyo figuras tomadas de Bowles explicativas del procedimiento.

Se utiliza un martinete de 1,83 metros de largo que contiene una pieza excéntrica de unos 1800 Kg de peso que gira a unas 1800 rpm, posee chorros de agua en la punta y en la parte posterior. Se arrojan fuertes chorros de agua para producir licuación del suelo y se penetra a una velocidad de 1 a 2 m por minuto, luego se compacta por vibración y finalmente se abre el chorro de la parte posterior y se va retirando a una velocidad de 0,3 m por minuto, simultáneamente se va colocando arena para rellenar la perforación que se ha ensanchado por la densificación lograda con la vibración

Este sistema fue patentado por Vibroflotation Foundation Co. Y desarrolla fuerzas de 9 toneladas lateralmente como consecuencia de la rotación excéntrica. Se utilizan para depósitos de arena o grava hasta con 20% de limos o 10% de arcilla.

Figure 6-6 Vibroflotation.



Para estos mismos suelos puede usarse la inserción de un pilote vibratorio llamado Sonda Terra.(Terra Proving)

A pesar de los resultados que pueden obtenerse con los diferentes métodos, hay que evaluar muy bien la situación y en caso de posibles deslizamientos de tierra como los apreciados en los sismos de Valdivia y Anchorage, considero que el mejoramiento del suelo no podría garantizar la estabilidad de la fundación y sería preferible la utilización de pilotes o pilas que atraviesen el estrato licuable y se apoye en estratos mas firmes.

Referencias:

- Material del Curso de Fundaciones PIE UCAB Noviembre 2007
- Informe USB Dpto.Cs, de la Tierra. Alonso-Bermudez 1998
- Bowles, Joseph. Foundations Design.
- Lambe, Whitman. Mecánica de Suelos