

Licuefacción de Suelos y el Esfuerzo Efectivo = 0: Fundamentos y Consecuencias

1. Principio del Esfuerzo Efectivo de Terzaghi

El principio del esfuerzo efectivo, introducido por Karl Terzaghi, es un pilar fundamental de la mecánica de suelos. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma' = \sigma - u$$

donde:

- σ' es el **esfuerzo efectivo**,
- σ es el **esfuerzo total** aplicado al suelo, y
- u Es la **presión de poros**.

Este principio establece que el comportamiento mecánico del suelo (resistencia y deformabilidad) depende exclusivamente del esfuerzo efectivo y no del esfuerzo total [1].

2. ¿Cuándo el Esfuerzo Efectivo es Igual a Cero?

El esfuerzo efectivo llega a cero cuando la presión de poros iguala al esfuerzo total aplicado sobre el

$$\sigma' = \sigma - u = 0 \Rightarrow u = \sigma$$

Esta condición puede ocurrir durante eventos dinámicos como terremotos. En suelos saturados, las vibraciones sísmicas inducen una compactación súbita, pero si no hay tiempo para el drenaje, el agua en los poros no puede escapar y la presión de poros se eleva rápidamente. Cuando esta presión iguala el esfuerzo total, las partículas del suelo pierden contacto efectivo entre sí [2].

3. ¿Cuándo se Produce la Licuefacción?

La licuefacción se produce en suelos **granulares, sueltos y saturados**, como arenas finas o limos, cuando están sometidos a esfuerzos cíclicos, típicamente durante un sismo. El proceso incluye [3]:

1. **Cargas dinámicas** (por sismos o maquinaria vibratoria).
2. **Aumento de la presión de poros** debido a la falta de drenaje.

3. **Reducción del esfuerzo efectivo.**

4. **Pérdida de resistencia al corte y comportamiento fluido del suelo.**

Esto ocurre especialmente si el **nivel freático** es alto y el suelo no ha sido previamente consolidado.

4. **¿Cómo Afecta la Licuefacción a la Resistencia y Esfuerzos del Suelo?**

Cuando el esfuerzo efectivo se anula:

- **Resistencia al corte nula:** Al desaparecer los contactos efectivos entre partículas, la resistencia al corte del suelo disminuye drásticamente [4].
- **Deformaciones excesivas:** El suelo pierde su capacidad para sostener cargas, ocasionando asentamientos, deslizamientos y colapsos de estructuras [5].
- **Redistribución de esfuerzos estructurales:** Al no poder soportar carga, los cimientos pierden soporte y los esfuerzos se transfieren a otras partes del sistema estructural, lo que puede producir fallas graves [6].

5. **¿En Qué se Traduce que el Esfuerzo Efectivo sea Igual a Cero?**

Matemáticamente:

$$\sigma' = 0 \Rightarrow u = \sigma$$

Significa que todo el esfuerzo aplicado está contenido en el agua de los poros, sin transferencia de carga entre las partículas sólidas del suelo.

Geotécnicamente:

- **Colapso estructural del suelo:** El suelo deja de comportarse como un sólido y pasa a comportarse como un líquido.
- **Fallos geotécnicos:** Se producen hundimientos, inclinaciones, roturas de cimentaciones y licuefacción superficial, entre otros.
- **Emergencia de estructuras enterradas:** Tuberías, tanques y otros elementos pueden ser forzados hacia la superficie [7].

6. **Medidas para Prevenir o Mitigar la Licuefacción**

- **Mejoramiento del terreno:** Como la **vibro compactación**, **inyecciones de resina** o **sustitución de suelos**.
- **Drenaje efectivo:** Drenes verticales o sistemas prefabricados.

- **Diseño estructural:** Uso de cimentaciones profundas que transmitan las cargas a estratos no licuables [8].

Referencias (formato IEEE)

- [1] K. Terzaghi, *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley, 1943.
- [2] University of Puerto Rico Mayagüez, "Introducción a la Licuefacción," [Online]. Available: <https://www.uprm.edu/riseup/wp-content/uploads/sites/223/2020/02/Introducci%C3%B3n-a-la-licuaci%C3%B3n.pdf>
- [3] A. Seed y I. M. Idriss, "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential," *Journal of Soil Mechanics and Foundations Div.*, vol. 97, no. 9, pp. 1249-1273, 1971.
- [4] R. Boulanger and I. Idriss, *Soil Liquefaction during Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute, 2004.
- [5] P. Lade, "Instability and liquefaction of granular materials," *Computers and Geotechnics*, vol. 10, no. 2, pp. 123-151, 1990.
- [6] Instituto Tecnológico de Costa Rica, "Evaluación del potencial de licuefacción de suelos," [Online]. Available: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6061/evaluacion_potencial_licuefaccion_suelos.pdf
- [7] Red Sismológica Nacional, "Licuación de suelos durante terremotos," [Online]. Available: <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/571-licuacion-de-suelos-durante-terremotos>
- [8] Geotecnia Fácil, "Licuación de suelos: qué es y cómo intervenir," [Online]. Available: <https://geotecniafacil.com/licuefaccion-suelos>