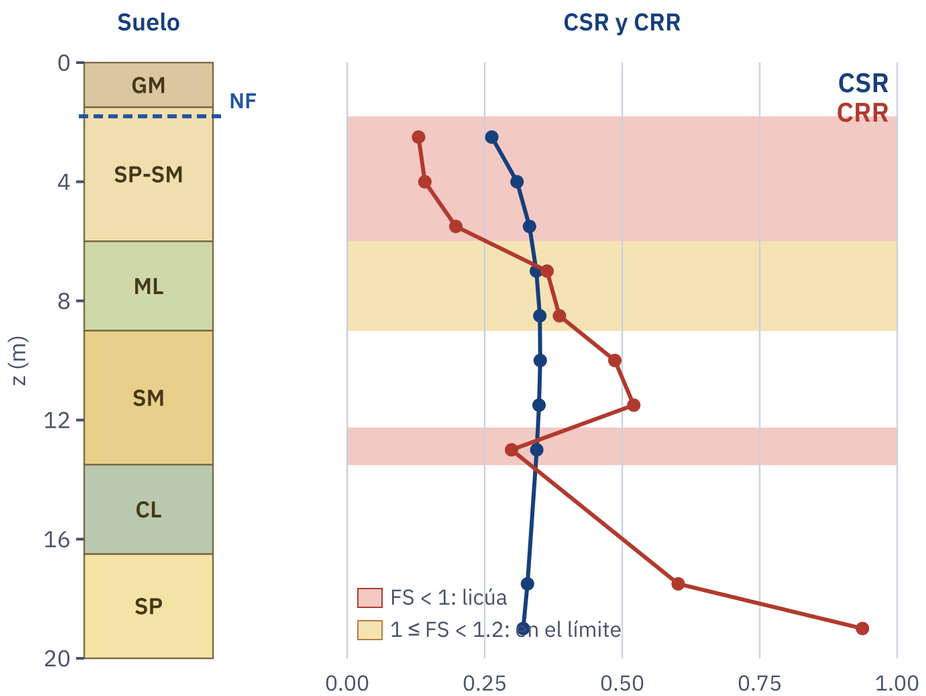
Presentación de clase de geotecnia · Licuefacción

Desencadenamiento de la licuefacción con SPT

Clase: desencadenamiento de la licuefacción a partir del SPT (Idriss–Boulanger); un sondeo y un punto de ensayo se resuelven a mano de principio a fin, los puntos restantes con tablas.

Correcciones · CSR · CRR · MSF · Kσ · FS y zonas · Resoluble a mano



Se basa en la página de teoría de GeoTerva · geoterva.com

Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

La evaluación **basada en tensiones** de la licuefacción: la solicitación sísmica **CSR** se compara con la resistencia **CRR** del suelo; **FS = CRR / CSR**

Correcciones desde el número de golpes SPT bruto N_{30} hasta $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$: energía, longitud de varillas, terreno suprayacente y finos

CSR (r_d, σ_v/σ'_v), curva CRR, **escala por magnitud** MSF y **factor de corrección por tensión de confinamiento** K_σ

Qué ensayos no intervienen en el cálculo por haber sido **descartados**; cómo se determinan las zonas y el espesor licuable

En un sondeo, **un único punto de ensayo resuelto íntegramente a mano**, y los demás con los mismos pasos en la tabla

DESARROLLO DE LA CLASE

Cada tema se desarrolla en **tres pasos**:

1 · **Teoría**: fórmula y su justificación

2 · **Enunciado**: datos y se pide

3 · **Solución**: paso a paso, con números

Ejemplo: sondeo BH-1 (nivel freático a 1.80 m; relleno de 0–1.5 m, arena suelta de 1.5–6 m …); a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, relación de energía del martillo del 60 %, FS_{req} = 1.20.

¿Qué ensayo se evalúa?

TEORÍA

Un ensayo se evalúa si se encuentra **por debajo del nivel freático (NF)**, no más profundo que z_{max} (valor predeterminado: 20 m) y en un suelo que **se comporta como arena**

Un suelo con índice de plasticidad PI ≥ PI_{lim} (valor predeterminado 7) es **de tipo arcilloso**; si no se indica PI, el símbolo CL, CH, OL, OH o PT lo señala

El suelo de tipo arcilloso puede **ablandarse** bajo carga cíclica, pero no se licúa en el sentido que aquí se utiliza: se deja para la comprobación del ablandamiento cíclico

Los ensayos no evaluados permanecen en todas las tablas **con sus motivos**. Las consecuencias de la licuefacción (asentamiento, extensión lateral, pérdida de capacidad portante) quedan fuera del alcance de esta versión

Tensión vertical total, presión intersticial y efectiva

TEORÍA

γ por encima del nivel freático; **γ_{sat}** por debajo; se suman estrato por estrato. La presión intersticial es **hidrostática** a partir del nivel freático (z_w es la profundidad del nivel freático del sondeo)

La tensión efectiva σ'_v se usa tanto en el CSR como en las correcciones por el terreno suprayacente

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

La tensión efectiva se calcula solo para los ensayos situados por debajo del nivel freático: por encima de él, u = 0 y el ensayo se descarta.

De N_{30} a N_{60}

TEORÍA

El recuento bruto de golpes N_{30} (últimos 30 cm) se lleva a la varilla estándar con una **energía del 60 %**: C_E = ER/60 (martillo), C_B (diámetro del sondeo), C_S (tubo de muestreo)

C_R depende de la longitud de las varillas: longitud de varillas = z + longitud sobre la superficie (aquí 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Longitud de la barra (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

TEORÍA

C_N lleva la medición a una tensión efectiva de 1 atm (P_a = 101.3 kPa); como el exponente m depende del propio resultado, se determina **por iteración**; $C_N \leq 1.7$

Los **finos** aumentan la resistencia de tipo arenoso: con FC (en porcentaje; el valor propio del ensayo si se ha medido y, si no, el del estrato) se pasa al equivalente de arena limpia

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

Solicitación sísmica: CSR y r_d

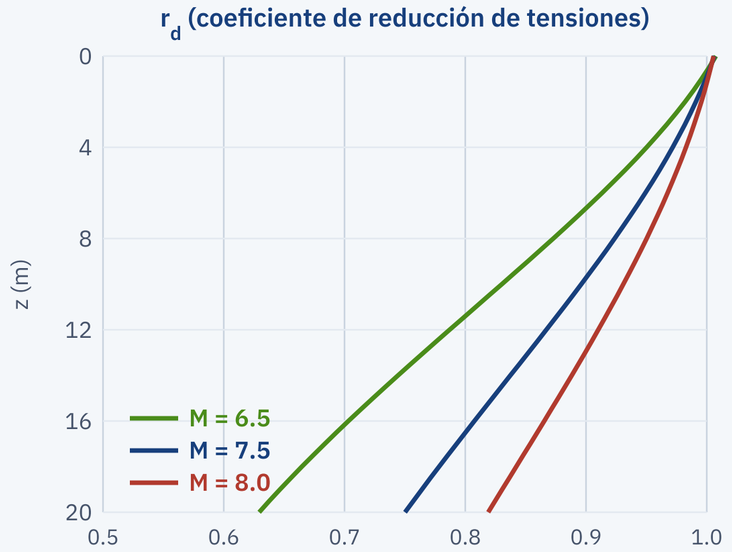
TEORÍA

CSR es la relación entre la tensión de corte cíclica que el sismo aplica al suelo y la tensión efectiva; 0.65 representa la tensión media y σ_V/σ'_V el efecto de la profundidad

r_d (coeficiente de reducción de tensiones) disminuye con la profundidad y con la magnitud; en la superficie vale 1

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



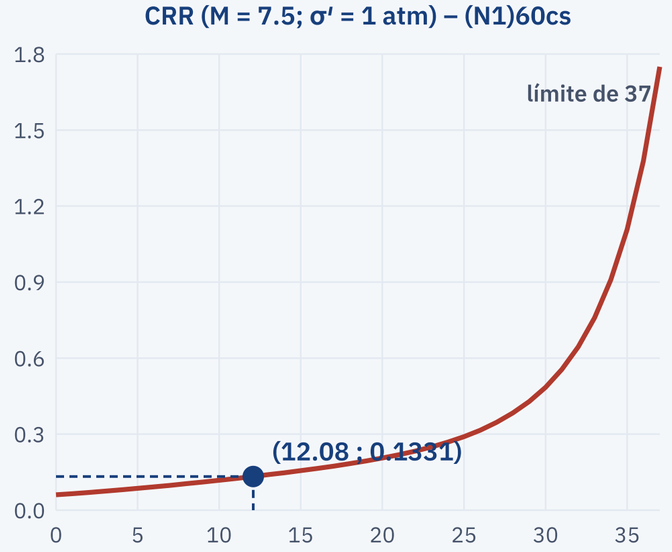
Resistencia del suelo: curva CRR

TEORÍA

$CRR_{M=7.5;\ \sigma'=1}$ depende únicamente de $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$ (curva de Idriss–Boulanger); es válida para M = 7.5 y σ'_V = 1 atm

La curva se utiliza hasta $\mathbf{(N_1)_{60cs} = 37}$; un ensayo más denso se evalúa en este límite y se emite una advertencia

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF y K_σ

TEORÍA

Escalado por magnitud **MSF**: CRR corresponde a M = 7.5; para otras magnitudes incorpora la diferencia en el número de ciclos. Para M < 7.5, MSF > 1

Coeficiente de corrección por tensión de confinamiento **K_σ**: CRR corresponde a 1 atm; al aumentar σ'_v la relación de resistencia disminuye. $K_\sigma \leq 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \frac{\sigma'_v}{P_a} \leq 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3$$

FS = CRR / CSR; zona y espesor

TEORÍA

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1: **se desencadena la licuefacción**; 1 ≤ FS < FS_{req} (1.20): **en el límite**; el valor requerido es un dato tomado del pliego del proyecto

Cada ensayo evaluado representa su propio estrato: hasta el **punto medio** respecto del ensayo superior y del inferior; el intervalo se detiene en el límite del estrato y en el NF

Si intervalos contiguos dan el mismo resultado, se unen en una **zona**; el **espesor licuable** de un sondeo es la suma de las zonas con FS < 1

$$CRR = CRR_{7.5,\,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Enunciado

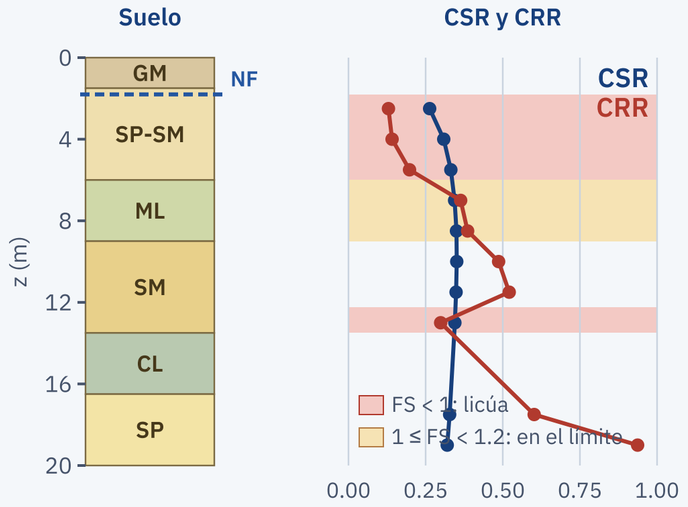
EJEMPLO

Datos

Sondeo BH-1	**Nivel freático $z_w = 1.80$ m; 0–1.5 m relleno (GM): $\gamma = 18.5$; 1.5–6 m arena suelta (SP-SM): $\gamma = 18.0$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³, FC = 8 %**
Ensayo	**A $z = 4.0$ m, $N_{30} = 10$ (por debajo del nivel freático)**
Sismo y equipamiento	**$a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$; ER = 60% ($C_E = C_B = C_S = 1$), longitud del varillaje = $z + 1.5$ m; $FS_{req} = 1.20$**

SE PIDE

Tensiones, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (por iteración), **CSR**, **CRR** y **FS**.



Solución (1/5)

SOLUCIÓN

1 Tensión vertical total (estrato por estrato; NF 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \mathrm{kPa}$$

2 Presión intersticial y tensión efectiva

$$u = \gamma_w (z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \mathrm{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \mathrm{kPa}$$

El ensayo se sitúa **2.20 m** por debajo del nivel freático: σ_V = 76.05, u = 21.58, **σ'_V = 54.47 kPa**. Este punto es aquel en el que se encuentra el FS mínimo del sondeo (figura de la página del enunciado).

Solución (2/5)

SOLUCIÓN

3 Corrección por longitud de varillaje y N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 Aumento de finos

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 Corrección por tensión de confinamiento: como C_N depende de $(N_1)_{60cs}$, se requiere iteración (σ'_v = 54.47 kPa)

Iteración	n (dato de entrada)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

Converge en 8 iteraciones: **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

Solución (3/5)

SOLUCIÓN

6 Coeficiente de reducción de tensiones r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 Relación de tensiones cíclicas

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max} r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

El sismo aplica a esta profundidad una tensión tangencial cíclica igual al **30.9** % de la tensión efectiva (CSR = 0.3087).

Solución (4/5)

SOLUCIÓN

8 Resistencia de referencia, para M = 7.5 y σ′ = 1 atm ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 Coeficientes de magnitud y de terreno suprayacente

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996 \ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0619**: el producto de estos tres números da CRR (página siguiente).

Solución (5/5)

SOLUCIÓN

10 Resistencia y factor de seguridad

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1: en este ensayo **se desencadena** la licuefacción. El ensayo representa el intervalo 3.25 – 4.75 m (puntos medios hacia el ensayo superior, a 2.5 m, y hacia el inferior, a 5.5 m). Los mismos diez pasos se repiten en cada ensayo.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Sondeo BH-1	**13 SPT:** $z = 1.0$ **–** 19.0 **m; NF** 1.80 **m;** $z_{max} = 20$ **m;** $PI_{lim} = 7$
Estratos	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML** $PI = 5$ **(6–9), SM (9–13.5), CL** $PI = 18$ **(13.5–16.5), SP (16.5–20)**

SE PIDE

Para cada ensayo, la decisión **se evalúa / no se evalúa** y su justificación.

Solución

SOLUCIÓN

z (m)	N_{30}	Suelo	PI	¿NF?	¿Tipo arcilla?	Decisión
1.0	9	GM	–	**por encima**	–	**no se evalúa**: por encima del nivel freático
2.5	7	SP-SM	–	por debajo	no	se evalúa
4.0	10	SP-SM	–	por debajo	no	se evalúa
5.5	16	SP-SM	–	por debajo	no	se evalúa
7.0	21	ML	5	por debajo	no	se evalúa
8.5	22	ML	5	por debajo	no	se evalúa
10.0	27	SM	–	por debajo	no	se evalúa
11.5	29	SM	–	por debajo	no	se evalúa
13.0	25	SM	–	por debajo	no	se evalúa
14.5	13	CL	18	por debajo	sí	**no se evalúa**: comportamiento arcilloso (PI ≥ 7)
16.0	15	CL	18	por debajo	sí	**no se evalúa**: comportamiento arcilloso (PI ≥ 7)
17.5	40	SP	–	por debajo	no	se evalúa
19.0	44	SP	–	por debajo	no	se evalúa

Se descartan 3 de los 13 ensayos: el de 1.0 m (por encima del nivel freático) y los de 14.5 y 16.0 m (CL, PI = 18 ≥ 7). El estrato ML (PI = 5 < 7) no se considera de tipo arcilloso, y los ensayos de 7.0 y 8.5 m **se evalúan** (FC = 62 %). Los ensayos descartados siguen apareciendo en las tablas.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Sondeo	**BH-1 y parámetros del ejemplo 1; los diez pasos son los mismos en cada ensayo**
Regla de la zona	**cada ensayo, en su propio estrato, hasta el punto medio de los ensayos vecinos; se detiene en el límite del estrato y en el nivel freático**

SE PIDE

Tabla de todos los ensayos; **zonas que licúan**, **espesor que licúa** y el FS mínimo.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

z (m)	N_{30}	Suelo	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	Situación
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*sobre el nivel freático*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	Licúa
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**Se licúa**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	Licúa
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	En el límite
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	En el límite
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	Seguro
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	Seguro
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	Licúa
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*de tipo arcilloso (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*de tipo arcilloso (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	Seguro
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	Seguro

FS mínimo = 0.458 (z = 4.0 m). Zonas de licuefacción: **1.80 – 6.00 m** y **12.25 – 13.50 m**; en el límite: 6.00 – 9.00 m. Espesor licuado = 5.45 m. La fila de 4.0 m es el Ejemplo 1 resuelto a mano.

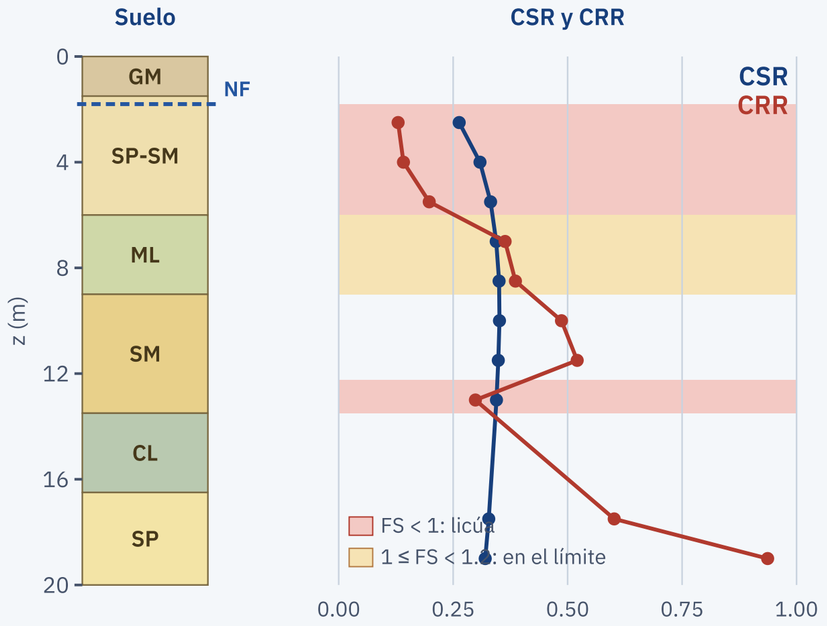
Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 Cada ensayo representa su propio intervalo; los intervalos contiguos con el mismo resultado se unen

Zona	Intervalo (m)	Espesor (m)	Ensayos	Intervalo de FS
Licuable 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
En el límite	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
Licuable 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
Total licuado		**5.45**		

Ejemplo: el ensayo a 4.0 m representa 3.25 – 4.75 m; el ensayo a 2.5 m abarca 1.80 – 3.25 m (se detiene en el nivel freático) y el de 5.5 m abarca 4.75 – 6.00 m (se detiene en el límite del estrato): total **4.20 m**. El espesor licuable del sondeo es de 5.45 m.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Caso base	**BH-1:** $a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$, **nivel freático** 1.80 **m, ER = 60%**
Variables	**solo uno cada vez:** $a_{max} = 0.25g$ **/** $0.45g$**;** $M = 6.5$ **/** 8.0**; nivel freático** 3.0 **m /** 1.0 **m; ER 45% / 80%**

SE PIDE

El **FS mínimo** y el **espesor que licúa** de BH-1; comprobación a mano de MSF en el ensayo de 4.0 m.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

Situación	Variación	FS mínimo	z (m)	Espesor que licúa (m)	En el límite (m)
Base	a_{max} 0.35g; M 7.5; nivel freático 1.8; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} disminuye	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} aumenta	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
La magnitud disminuye	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
La magnitud aumenta	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
Desciende el nivel freático	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
Asciende el nivel freático	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
La energía disminuye	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
La energía aumenta	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max} es el dato de entrada más influyente: con 0.25g el espesor licuable es de 4.20 m, con 0.45g de 8.45 m. La **energía del martillo** tiene un efecto inesperadamente grande: con ER 45%, N_{60} disminuye y el espesor licuable asciende a 15.20 m. Por ello es importante **conocer** la relación de energía medida.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 Factor de escala por magnitud para M = 6.5 y M = 8.0 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 En el mismo ensayo (4.0 m) FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

Una magnitud menor implica menos ciclos: MSF aumenta y FS cambia: 0.458 → **0.510**; para M = 8.0, FS es 0.436. Tanto r_d como MSF dependen de la magnitud; ambos actúan en el mismo sentido.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Sondeos	**BH-1 (nivel freático 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m); mismos parámetros**
Sección	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

SE PIDE

El **FS mínimo** de cada sondeo, los espesores que **licúan** y los **marginales**; resumen del proyecto.

Solución

SOLUCIÓN

Sondeo	NF (m)	Ensayo	Descartado	FS mínimo	z (m)	Zonas que licúan (m)	Espesor (m)	En el límite (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

La licuefacción se desencadena **en los tres sondeos**. FS mínimo = 0.458 (BH-1, 4.0 m); el suelo licuado de mayor espesor se encuentra en BH-1 (5.45 m). De 39 ensayos, se evaluaron 27 y se excluyeron 12 (por encima del nivel freático o de tipo arcilloso).

Si hay una línea de sección, la banda de color se interpola linealmente entre sondeos; la zona gris es terreno no evaluado.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resumen

Puntos clave

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), C_N se obtiene por iteración

Ejemplo (BH-1, 4.0 m): σ'_v 54.47 kPa; N_{60} 8.50; C_N 1.378; $(N_1)_{60cs}$ 12.08; CSR 0.3087; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

Descarte: no entran en el cálculo los ensayos por encima del nivel freático, por debajo de z_{max} ni los de tipo arcilloso (PI ≥ 7); **zona**: los ensayos se extienden hasta los puntos medios con sus vecinos

Sensibilidad: a_{max} y la energía medida del martillo son los datos de entrada que más modifican el resultado; las consecuencias de la licuefacción son un cálculo aparte

Referencias bibliográficas

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han obtenido con el propio motor de cálculo del módulo; el módulo da los mismos valores. El proyecto inicial del módulo son estos tres sondeos (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Introducir en GeoTerva los sondeos propios, los resultados SPT, el nivel freático y los parámetros sísmicos; el módulo proporciona las correcciones de cada ensayo, CSR, CRR, FS, las zonas, el espesor licuable y la sección con bandas de color, junto con la solución paso a paso y el informe.

Abrir el módulo →

Página de teoría →

Abrir en el teléfono
Los módulos de prueba no requieren registro.

Si desea utilizarlas en sus clases: info@geoterva.com