

# MÉTODOS SIMPLIFICADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE SUELOS

Denys Parra Murrugarra <sup>(1)</sup>  
Jorge E. Alva Hurtado <sup>(1)</sup>

## RESUMEN

Este trabajo presenta una revisión de los métodos disponibles para evaluar el potencial de licuación de un suelo, utilizando metodologías simplificadas en base a observaciones de campo del comportamiento de depósitos de arena en terremotos pasados, es decir, mediante correlaciones empíricas entre el potencial a sufrir licuación de un suelo y algunas características físicas y/o mecánicas del mismo, tales como: la resistencia a la penetración, tipo de suelo, etc., además de conocer la magnitud y aceleración máxima superficial del sismo de diseño.

Los ensayos de penetración más comúnmente usados para establecer estas correlaciones son: el ensayo de penetración estándar (SPT) y el ensayo de penetración con el cono holandés (CPT), en los cuales los parámetros principales de entrada son: el esfuerzo efectivo vertical, el valor de la resistencia a la penetración ( $N$  ó  $q_c$ ), el contenido de finos de la arena y el diámetro promedio de las partículas.

## INTRODUCCIÓN

El estudio del fenómeno de licuación de arenas ha sido desarrollado por numerosos ingenieros e investigadores en todo el mundo, desde que este fenómeno fue identificado como el causante principal de los daños en el terreno y estructuras de tierra durante terremotos. Mientras que en una primera etapa este desarrollo fue motivado por la ocurrencia catastrófica de licuación durante los terremotos de Niigata y Alaska en 1964, el ímpetu para continuar el

---

(1) Laboratorio Geotécnico del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ponencia presentada en el VI Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, del 11 al 13 de Noviembre de 1991.

estudio de licuación se ha debido a una serie de grandes terremotos que han ocurrido en todas las regiones sísmicamente activas del mundo.

Existen básicamente dos métodos disponibles para evaluar el potencial de licuación de una arena saturada sometida a sacudimiento sísmico.

- 1) Usando métodos basados en una evaluación de las condiciones de esfuerzo cíclico o deformación que serán desarrollados en el campo por un terremoto de diseño propuesto, y una comparación de estos esfuerzos o deformaciones con aquellos observados para causar licuación en muestras representativas del depósito en un ensayo de laboratorio apropiado que proporcione una adecuada simulación de las condiciones de campo, o que puedan proporcionar resultados que permitan una evaluación del comportamiento del suelo bajo condiciones de campo.
- 2) Usando métodos basados en observaciones de campo del comportamiento de depósitos de arena en terremotos pasados que impliquen el uso de alguna característica in-situ de los depósitos para determinar probables semejanzas o diferencias entre estos lugares y otros propuestos, con respecto a su comportamiento potencial.

Debido al hecho que la mayoría de los depósitos naturales de arena son muy poco uniformes y a la extrema dificultad de obtener muestras inalteradas de suelos no cohesivos para ensayos de laboratorio, se desarrollarán básicamente los métodos llamados empíricos o simplificados.

## **MÉTODOS SIMPLIFICADOS BASADOS EN LOS RESULTADOS DE ENSAYOS IN-SITU**

Por las razones indicadas, el uso de ensayos in-situ para evaluar la resistencia a la carga cíclica o características de licuación de arenas, ha llegado a ser el método preferido para la evaluación de estas propiedades en la práctica ingenieril en los pasados 15 años. Puesto que no existe ningún método capaz de medir la resistencia a la licuación de una arena in-situ, ha sido necesario desarrollar correlaciones entre los valores de resistencia a la carga cíclica determinados de estudios de comportamiento de campo durante sacudimientos sísmicos y parámetros de ensayos in-situ, los cuales serán probablemente indicativos de estas propiedades (Seed y De Alba, 1986).

## MÉTODOS BASADOS EN EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

El valor de la resistencia a la penetración estándar, o valor N del SPT, se define como el número de golpes necesarios para que el muestreador de caña partida, de 2" de diámetro exterior y 1 3/8" de diámetro interno, penetre 12" en el terreno debido al impacto de la caída libre de un martillo de 140 lb desde una altura de 30".

Debido a las dificultades para la realización de este ensayo, algunos parámetros de los suelos pueden tal vez ser medidos con mayor exactitud sobre un amplio rango de profundidades, y en condiciones ambientales más difíciles. Sin embargo, debido a que el SPT ha sido tan ampliamente usado en el pasado, la mayoría de los datos de comportamiento de campo están generalmente correlacionados con este índice de resistencia del suelo.

### A) MÉTODO SIMPLIFICADO DE SEED E IDRISSE

Seed e Idriss (1966) estudiaron el fenómeno de licuación ocurrido en el terremoto de Niigata en 1964. Basados en los resultados de laboratorio en arenas limpias sometidas a ensayos triaxiales cíclicos, propusieron un método simple para estimar la resistencia a la licuación de las arenas. El método usaba la densidad relativa, derivada del SPT, como un parámetro principal del suelo en la determinación de la resistencia a la licuación.

Posteriormente, en 1983, este procedimiento fue revisado. Basados en datos de campo en lugares donde se sabía que había o no habían licuado durante terremotos en Estados Unidos, Japón, China, Guatemala, Argentina y otros países, establecieron nuevos criterios para evaluar la licuación en arenas limpias y arenas limosas. Finalmente, en 1986, Seed y De Alba complementaron este método, presentando un nuevo criterio donde se establece la importancia del contenido de finos en la resistencia a la licuación de las arenas.

Seed e Idriss propusieron que la relación de esfuerzo cíclico para un suelo a una profundidad determinada durante un terremoto puede ser evaluada mediante:

$$\frac{\tau_d}{\sigma_o} = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_o}{\sigma_o} r_d$$

donde:  $\tau_d$  = esfuerzo de corte promedio inducido por el terremoto  
 $a_{\max}$  = aceleración máxima en la superficie del terreno  
 $g$  = aceleración de la gravedad  
 $\bar{\sigma}$  = esfuerzo total vertical a la profundidad considerada

$r_d$  = factor de reducción del esfuerzo que decrece de 1 en la superficie a 0.9 a 10 m. de profundidad.

La resistencia a la penetración del suelo usada en las correlaciones es la resistencia a la penetración normalizada  $N_1$ , bajo esfuerzo efectivo vertical de  $1 \text{ kg/cm}^2$ . El valor de  $N_1$  puede ser determinado por medio de la fórmula:

$$N_1 = C_n N$$

dónde:  $C_n$  = factor de corrección que puede ser evaluado del gráfico de la Figura 1

Liao y Whitman (1985) propusieron la siguiente relación para evaluar  $C_n$

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_o}} ; \quad \bar{\sigma}_o \text{ en } \text{kg/cm}^2 \quad y < 2$$

La Figura 2 muestra la relación entre  $\tau_1 / \bar{\sigma}_o$ , y el valor de  $N_1$ , propuesto a partir de un estudio extensivo para desarrollar las correlaciones del método simplificado. En esta figura las correlaciones están dadas para arenas con diversos contenidos de finos y para un sismo de  $7 \frac{1}{2}$  de magnitud. La relación mostrada puede ser fácilmente extendida a terremotos de diferentes magnitudes, multiplicando la relación de esfuerzos cíclicos calculados por los factores de corrección mostrados en la Tabla 1, la cual fue deducida a partir de estudios estadísticos basados en el número de ciclos representativos que inducen terremotos de diferente magnitud, tomando como base de comparación una magnitud de  $7 \frac{1}{2}$ , según se muestra en la Tabla 2 (Seed et al, 1975).

## **B) MÉTODO SIMPLIFICADO DE TOKIMATSU Y YOSHIMI**

Basados en resultados de extensivos ensayos de laboratorio de licuación de arenas saturadas, Tokimatsu y Yoshimi (1983), indicaron que los efectos de movimientos sísmicos que causan licuación pueden ser representados por dos parámetros: la aceleración horizontal del terreno y el número de ciclos de movimientos significativos. Esta conclusión es incorporada en la siguiente ecuación para la relación del esfuerzo de corte dinámico para una profundidad determinada:

$$\frac{\tau_d}{\bar{\sigma}_o} = \frac{a_{\max}}{g} \frac{\bar{\sigma}_o}{\sigma_o} r_d r_n$$

donde:  $\tau_d$  = amplitud de los ciclos de esfuerzo de corte uniforme, equivalente a un registro tiempo-historia de esfuerzo de corte sísmico.

$a_{max}$  = aceleración máxima en la superficie del terreno

$g$  = aceleración de la gravedad

$\sigma_o$  = esfuerzo vertical inicial

$\bar{\sigma}_o$  = esfuerzo efectivo vertical inicial

$r_d$  y  $r_n$  = son factores de corrección en términos de la profundidad y la magnitud del terremoto, respectivamente, como sigue:

$r_d = 1 - 0.015 z$  (según Iwasaki et al, 1978)

$r_n = 0.1 (M - 1)$

donde :  $z$  = profundidad en metros

$M$  = magnitud del terremoto.

El factor  $r_n$  se introduce para facilitar la comparación del comportamiento de campo durante terremotos de diferentes magnitudes, en base al número de ciclos uniformes equivalentes que producen los sismos, como se indica en la Tabla 2.

Los valores de la resistencia a la penetración, o valores de  $N$  corregidos para una profundidad dada, se obtienen como sigue:

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

$$N_1 = C_n N$$

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_o}} ; \bar{\sigma}_o \text{ en kg/cm}^2$$

donde:  $N_a$  = valor corregido de la penetración estándar

$N_1$  = resistencia a la penetración estándar normalizada para un esfuerzo efectivo vertical de  $1 \text{ kg/cm}^2$

$\Delta N_f$  = valor de  $N$  adicional que se incrementa proporcionalmente con el contenido de finos de la arena, Figura 3

La relación de esfuerzo de corte ( $\tau_c / \bar{\sigma}_o$ ) está dada por la Figura 4. En este gráfico se evalúa la relación de resistencia a la licuación en función de los valores de  $N$  corregidos y para tres niveles de deformación por corte 2%, 5% y 10%.

### C) MÉTODO SIMPLIFICADO DE IWASAKI Y TATSUOKA

En base al trabajo realizado por Seed e Idriss (1971), la carga dinámica inducida en el elemento de suelo por un movimiento sísmico puede ser estimada mediante:

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v} = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_v} = \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v} r_d$$

donde :

$\tau_{\max}$	=	esfuerzo de corte máximo
$a_{\max}$	=	aceleración máxima en la superficie del terreno
$g$	=	aceleración de la gravedad
$\sigma_v$	=	esfuerzo total vertical
$\bar{\sigma}_v$	=	esfuerzo efectivo vertical
$r_d$	=	factor de reducción del esfuerzo de corte dinámico para tomar en cuenta la deformación elástica del terreno.

Basados en un gran número de análisis de respuesta sísmica del terreno, Iwasaki et al (1978) propusieron la siguiente relación para  $r_d$ .

	$r_d$	=	$1 - 0.015 z$
donde :	$z$	=	profundidad en metros

Por otro lado, Iwasaki et al (1978) condujeron numerosos ensayos triaxiales cíclicos sobre muestras de arena no disturbada. Como resultado concluyeron que la resistencia cíclica no drenada o relación de esfuerzos cíclicos que causará licuación en un elemento de suelo sometido a cargas dinámicas durante un terremoto puede ser evaluada mediante:

- para  $0.02 \leq D_{50} \leq 0.6$  mm.

$$\frac{\tau_l}{\sigma_v} = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}_v + 0.7}} + 0.225 \log(0.35 / D_{50})$$

- para  $0.6 \leq D_{50} \leq 2.0$  mm.

$$\frac{\tau_l}{\sigma_v} = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\bar{\sigma}_v + 0.7}} - 0.05$$

donde :	$\tau_l$	=	esfuerzo de corte cíclico que causará licuación
	$N$	=	número de golpes del SPT.
	$\bar{\sigma}_v$	=	esfuerzo efectivo vertical
	$D_{50}$	=	diámetro promedio de las partículas en mm

## MÉTODOS BASADOS EN EL ENSAYO DE PENETRACIÓN CÓNICA

En años recientes se han realizado significativos avances en la investigación, interpretación, desarrollo y aplicación del ensayo de penetración cónica. La adición de la medición de presión de poros durante el ensayo de penetración ha agregado una nueva dimensión en la interpretación de los parámetros geotécnicos. Por lo tanto, es necesario establecer una relación entre los valores medidos de este ensayo, ya sea resistencia por punta, fricción lateral o exceso de presión de poros, con la resistencia a la licuación de las arenas, en forma análoga a las ya desarrolladas para los valores  $N$  del SPT.

En 1986, Seed y De Alba presentaron un método para evaluar la licuación de arenas, basados en un trabajo realizado por ellos mismos para valores  $N$  del SPT. El estudio consistía en obtener una relación confiable entre la resistencia por punta y el valor de la resistencia a la penetración  $N$ , y aprovechar la gran cantidad de datos de campo disponibles que relacionan la resistencia a la licuación con los datos del SPT. En la actualidad existe el consenso que el valor  $q_c / N$  varía con el tamaño de los granos del suelo, que usualmente está representado por el diámetro promedio  $D_{50}$ .

Robertson y Campanella propusieron en 1983 un método modificado basado en los resultados del CPT para evaluar la licuación de arenas, revisando la información disponible acerca de la licuación de arenas limpias y arenas limosas, considerando la influencia del contenido de finos y tomando en cuenta dos parámetros del ensayo: la resistencia por punta  $q_c$  y la fricción lateral  $f_s$ , expresados ambos como la relación de fricción  $FR$  (%).

Yasuda, Saito, Iwasaki y Morimoto, en 1985, propusieron un nuevo método simplificado para predecir el potencial de licuación del ensayo de penetración cónica con medición de presión de poros (CPTU). Este método de predicción es más preciso que los métodos convencionales, debido a que no sólo se toma en consideración la resistencia por punta,  $q_c$ , sino también la fricción lateral,  $f_s$ , y el exceso de presión de poros,  $u$ . Este método es esencialmente válido para predecir el potencial de licuación del terreno que soporta tuberías enterradas a través de una gran área.

El desarrollo de estas metodologías será motivo de un próximo trabajo, pudiendo el interesado encontrar mayor información en las referencias que se dan en esta publicación.

## EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA LICUACIÓN

Cada uno de los métodos simplificados descritos, basados en las experiencias de campo y de laboratorio de sus autores, proponen diversas expresiones para evaluar, tanto la relación de esfuerzos que se requiere para causar licuación en un suelo dado, cuyas características son conocidas ( $\tau_l / \bar{\sigma}_v$ ), como la relación de esfuerzos que induce un movimiento sísmico cuyas características también son conocidas ( $\tau_d / \bar{\sigma}_v$ ).

Por lo tanto, se puede definir el factor de seguridad contra la ocurrencia del fenómeno de licuación (FL), mediante la siguiente expresión.

$$FL = \frac{(\tau_l / \bar{\sigma}_v)}{(\tau_d / \bar{\sigma}_v)}$$

Por lo tanto:

Si  $FL > 1$  no se producirá licuación

Si  $FL \leq 1$  se producirá licuación

## APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS SIMPLIFICADAS

Debido a la gran cantidad de datos de correlaciones existentes entre la resistencia a la penetración medida por el valor N del SPT y la resistencia a la licuación de un suelo, la aplicación de las metodologías simplificadas se basará principalmente en aquellas desarrolladas a partir de los resultados del ensayo SPT.

El programa DLICUA desarrollado en el Laboratorio Geotécnico del CISMID-UNI, realiza el análisis de licuación para las tres metodologías basadas en el SPT, mediante un menú el cual permite seleccionar el tipo de método a utilizar o también un análisis considerando todos los métodos disponibles. Los parámetros generales de entrada son:

- La magnitud del sismo de diseño.
- La aceleración máxima superficial de este sismo.
- El perfil estratigráfico obtenido de la perforación, incluyendo la información de la ubicación del nivel freático.
- El tipo de suelo analizado a la profundidad del ensayo SPT: clasificación, contenido de finos, diámetro promedio.



- El valor N a la profundidad del ensayo SPT.

Se presenta en el Anexo I un ejemplo de la corrida del programa DLICUA para tres sondajes de exploración de campo, uno realizado en la ciudad de Chimbote y los otros dos en la ciudad de Moyobamba, en las localidades de Tahuisco y Azungue, considerando diferentes sismos de diseño. El fenómeno de licuación ocurrió en Chimbote durante el terremoto de 1970 y en los dos últimos lugares durante los sismos de 1990 y 1991.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. Licuación es un fenómeno por el cual un suelo arenoso y saturado pierde toda su resistencia al corte por el efecto de un sacudimiento sísmico severo, comportándose virtualmente como un fluido viscoso.
2. Debido a que la mayoría de los depósitos naturales de arena son poco uniformes y a la extrema dificultad de obtener muestras inalteradas de suelos no cohesivos para realizar ensayos de laboratorio, el uso de ensayos in-situ ha llegado a ser el método más aceptado para la evaluación de la resistencia a la carga cíclica ó característica de licuación de arenas, durante los pasados 15 años.
3. La ocurrencia de licuación en terremotos pasados ha evidenciado que el comportamiento de los depósitos arenosos ante las perturbaciones originadas por el movimiento sísmico está influenciado por las características del depósito, los esfuerzos iniciales actuantes y las características del terremoto que origina la perturbación.
3. Los métodos simplificados implican el conocimiento de algunos parámetros del suelo, tales como: la resistencia a la penetración (valores de N ó  $q_c$ ) o la velocidad de ondas de corte, entre otros. Sin embargo, debido a la gran cantidad de datos del ensayo SPT disponibles que han servido para correlacionar el valor N con la resistencia a la licuación del suelo, es que se hace más confiable utilizar este parámetro del suelo para evaluar su potencial de licuación.
4. Se define como el factor de seguridad contra la ocurrencia de la licuación (FL), a la relación entre los esfuerzos inducidos por el terremoto de diseño y los esfuerzos requeridos para causar licuación en el suelo. No se producirá el fenómeno si  $FL > 1$ .
5. Para realizar la evaluación del potencial de licuación es necesario disponer de toda la información posible acerca de las características de los suelos estudiados, para lo cual

es necesario recopilar los estudios existentes realizados por instituciones públicas y empresas privadas y además realizar sondeos de exploración de campo en aquellos lugares donde se carezca de información.

6. Para ejecutar el análisis mediante las metodologías simplificadas en la evaluación del potencial de licuación, se requiere el conocimiento del perfil estratigráfico y ensayos de penetración estándar, nivel freático, ensayos de clasificación de laboratorio y el sismo de diseño. Los resultados obtenidos indican que existen muy buena aproximación entre los métodos de Seed e Idriss y Tokimatsu y Yoshimi, debido probablemente a que ambos métodos consideran los mismos parámetros de entrada.

## REFERENCIAS

De Beer E., Goelen E., Heynen W. y Joustra K. (1988), "Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure", Penetration Testing, ISSMFE, pp. 27-51.

Decourt L., Muromachi T., Nixon I.K., Schmertmann J. H., Thorburn S. y Zolkov E. (1988), "Standard Penetration Tests (SPT): International Reference Test Procedure", Penetration Testing, ISSMFE, pp. 3-26.

Iwasaki T. (1986), "Soil Liquefaction Studies in Japan. State of the Art", International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering.

Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K. y Yasuda S. (1978), "A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan", 5 th Japan Symposium on Earthquake Engineering, November.

Liao S. y Whitman R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, March, pp. 373-377.

Parra M. D. (1991), "Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos de la Ciudad de Chimbote", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Robertson P.K. y Campanella R.G. (1983), "Interpretation of Cone Penetration Test Part I Sand", Canadian Geotechnical Journal, Vol 20, pp 718-733

Robertson P.K. y Campanella R.G. (1985), "Liquefaction Potential of Sands Using the CPT", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol 111, N° 3, pp 384-403.

Seed H.B., Idriss I.M. y Arango I. (1983), "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 109, N° 3 pp. 458-481.

Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.y Chung R. (1985), "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 111, N° 12 pp. 1425-1445.

Sedd H.B. y De Alba P. (1986), "Use of SPT and CPT Test for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands", Use of Insitu Test in Geotechnical Engineering, ASCE, pp 281-302.

Tokimatsu K., Uchida A. y Oh-oka H. (1989), "Evaluation of Liquefaction Potential Based on Shear Wave Velocity", 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 151-156.

Tokimatsu K. y Yoshimi Y. (1981), "Field Correlation of Soil Liquefaction with SPT and Grain Size", International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, University of Missouri-Rolla, pp 203-208.

Tokimatsu K. y Yoshimi Y. (1983), "Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content", Soils and Foundations, Vol. 23, N°4, pp 56-74.

Yasuda S., Saito K., Iwasaki K. y Morimoto I. (1989), "Prediction of Liquefaction Potential Using CPTU", 12th International Conference on Soil Mechanics and Fondation Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 131-134.

**TABLA 1 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TERREMOTOS DE DIFERENTES MAGNITUDES**

Magnitud	Factores de Corrección
8 ½	0.89
7 ½	1.00
6 ¾	1.13
6	1.32
5 ¼	1.50

**TABLA 2 NÚMERO DE CICLOS REPRESENTATIVOS DE TERREMOTOS DE DIFERENTES MAGNITUDES**

Magnitud	Número de Ciclos Representativos en 0.65 max
8 ½	26
7 ½	15
6 ¾	10
6	5 – 6
5 ¼	2 – 3

## ANEXO I

### EJEMPLO DE ANALISIS DE LICUACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES

EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION DE SUELOS

MEDOTODOLOGIAS SIMPLIFICADAS BASADAS EN EL SPT

(Ejemplo 1)

SOLICITADO: CISMID - UNI  
PROYECTO : LICUACION DE SUELOS  
UBICACIÓN : CIUDAD DE CHIMBOTE  
FECHA : ENERO 90

VALOR DE LA MAGNITUD: 7.5 Ms  
ACELERACION MAXIMA : 0.30 g

SONDAJE : S-11 (Colegio Fe y Alegría - San Juan)  
NIVEL FREATICO (mt) : 1.60

Profundidad (mt.)	Clasif. (sucs)	Densidad (Ton/m <sup>3</sup> )	Cont. Finos (%)	D50 (mm)	Valor N (gol/pie)	Esf. Total (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Efectivo (Kg/cm <sup>2</sup> )	FRL 1	FRL 2	FRL 3
1.45	SP-SM	1.80	5.0	0.215	5	0.261	0.261	0.577	0.675	0.848
2.55	SP-SM	1.80	5.7	0.211	11	0.459	0.364	0.839	0.921	0.915
3.65	SM	1.75	15.2	0.184	4	0.655	0.450	0.368	0.561	0.551
4.45	SP-SM	1.85	8.5	0.307	24	0.799	0.514	4.118	5.303	0.931
5.55	SM	1.85	16.2	0.165	21	1.003	0.608	2.298	5.086	0.941
6.45	SM	1.85	16.2	0.172	26	1.169	0.684	4.707	4.948	0.975
7.45	SM	1.85	21.1	0.197	21	1.354	0.769	1.671	4.919	0.831
8.45	SM	1.85	21.1	0.197	57	1.539	0.854	4.637	4.889	1.250
9.45	SM	1.85	27.4	0.145	63	1.724	0.939	4.657	4.882	1.339

(Ejemplo 2)

SOLICITADO : CISMID - UNI  
PROYECTO : MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE MOYOBAMBA  
UBICACION : SECTOR TAHUISCO  
FECHA : AGOSTO 90

VALOR DE LA MAGNITUD: 7.0 Ms  
ACELERACION MAXIMA : 0.20 g

SONDAJE : CPT 1  
NIVEL FREATICO (mt) : 2.40

Profundidad (mt.)	Clasif. (sucs)	Densidad (Ton/m <sup>3</sup> )	Cont. Finos (%)	D50 (mm)	Valor N (gol/pie)	Esf. Total (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Efectivo (Kg/cm <sup>2</sup> )	FRL 1	FRL 2	FRL 3
1.00	SM	1.85	19.0	0.203	5	0.185	0.185	1.414	1.666	1.334
2.00	SC	1.80	37.0	0.174	7	0.366	0.366	1.741	2.337	1.517
3.00	SP-SM	1.90	6.0	0.271	2	0.555	0.495	0.174	0.642	0.650
4.00	SC	1.80	45.0	0.084	5	0.739	0.579	0.809	1.301	1.308
5.00	SC	1.80	45.0	0.084	3	0.919	0.659	0.437	1.031	1.049
6.00	SC	1.80	45.0	0.084	3	1.099	0.759	0.418	0.972	0.986
7.00	SM	1.85	26.0	0.200	11	1.281	0.821	1.128	1.529	1.045
8.00	SM	1.85	26.0	0.200	17	1.466	0.906	1.522	3.468	1.200

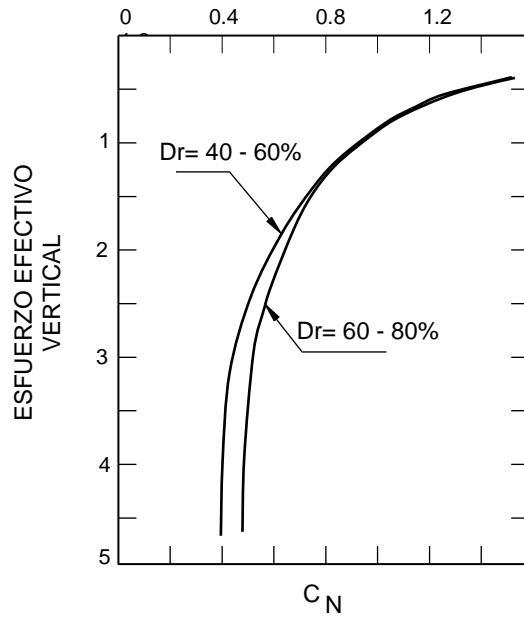
(Ejemplo 3)

SOLICITADO : CISMID - UNI  
PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMICA DE MOYOBAMBA  
UBICACION : A.A.H.H. SANTA ANITA DE AZUNGUE  
FECHA : AGOSTO 90

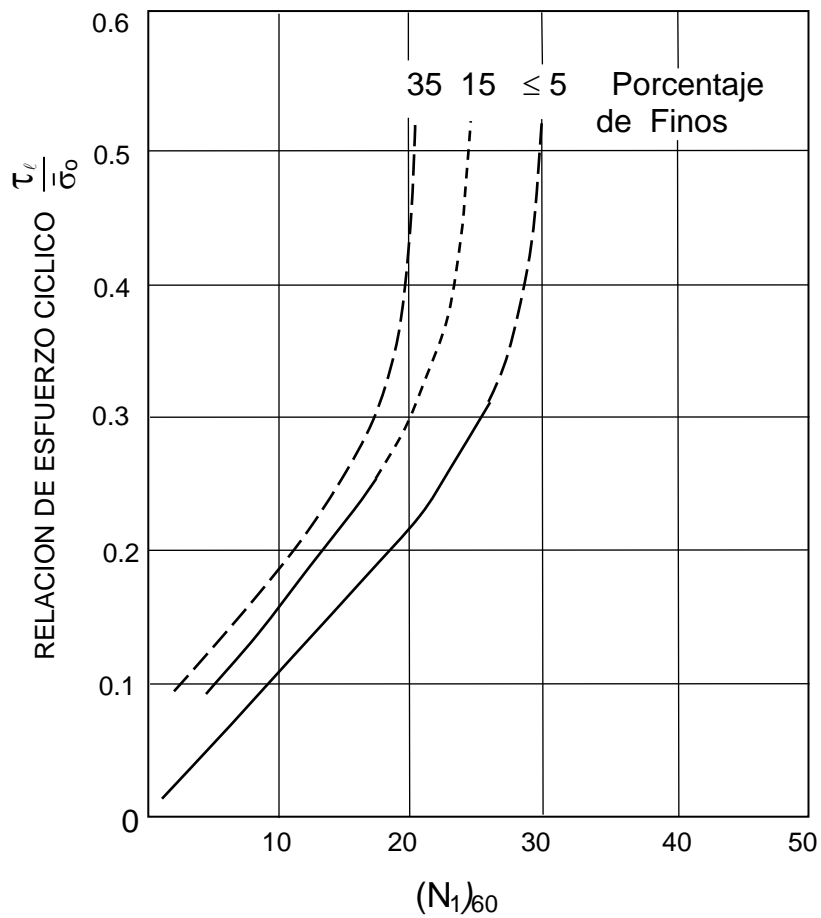
VALOR DE LA MAGNITUD: 7.0 Ms  
ACELERACION MAXIMA : 0.20 g

SONDAJE : CPT3  
NIVEL FREATICO (mt) : 0.30

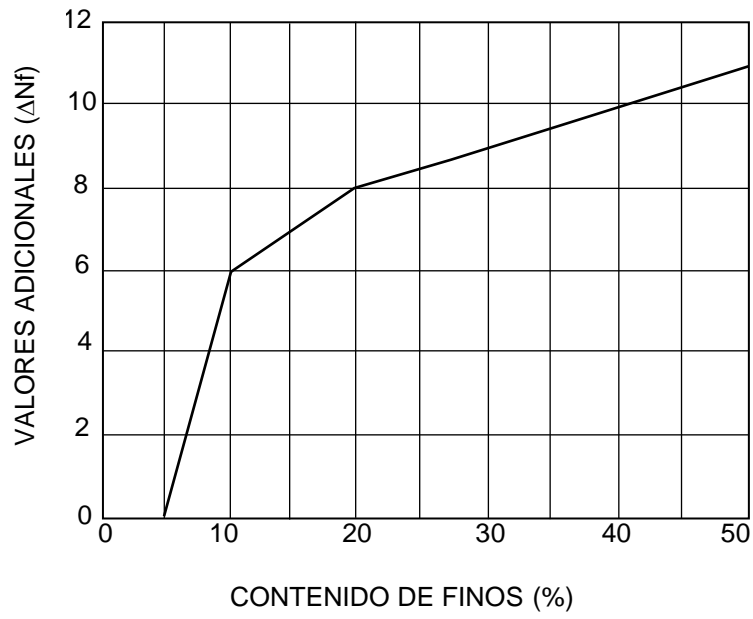
Profundidad (mt.)	Clasif. (sucs)	Densidad (Ton/m <sup>3</sup> )	Cont. Finos (%)	D50 (mm)	Valor N (gol/pie)	Esf. Total (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Efectivo (Kg/cm <sup>2</sup> )	FRL 1	FRL 2	FRL 3
1.00	SM	1.85	26.0	0.150	3	0.183	0.113	0.591	0.851	0.791
2.00	SP-SM	1.90	6.0	0.250	12	0.370	0.2900	1.264	2.217	0.989
3.00	SP-SM	1.90	6.0	0.250	8	0.560	0.290	0.782	0.795	0.769
4.00	SP-SM	1.85	6.0	0.250	10	0.749	0.379	0.820	0.862	0.811
5.00	SM	1.85	30.0	0.145	1	0.934	0.464	0.363	0.597	0.451
6.00	SM	1.85	30.0	0.145	3	1.119	0.549	0.361	0.678	0.601
7.00	SM	1.85	30.0	0.145	2	1.304	0.634	0.333	0.636	0.527
7.50	SP	1.95	4.0	0.300	30	1.402	0.682	4.799	6.850	1.167



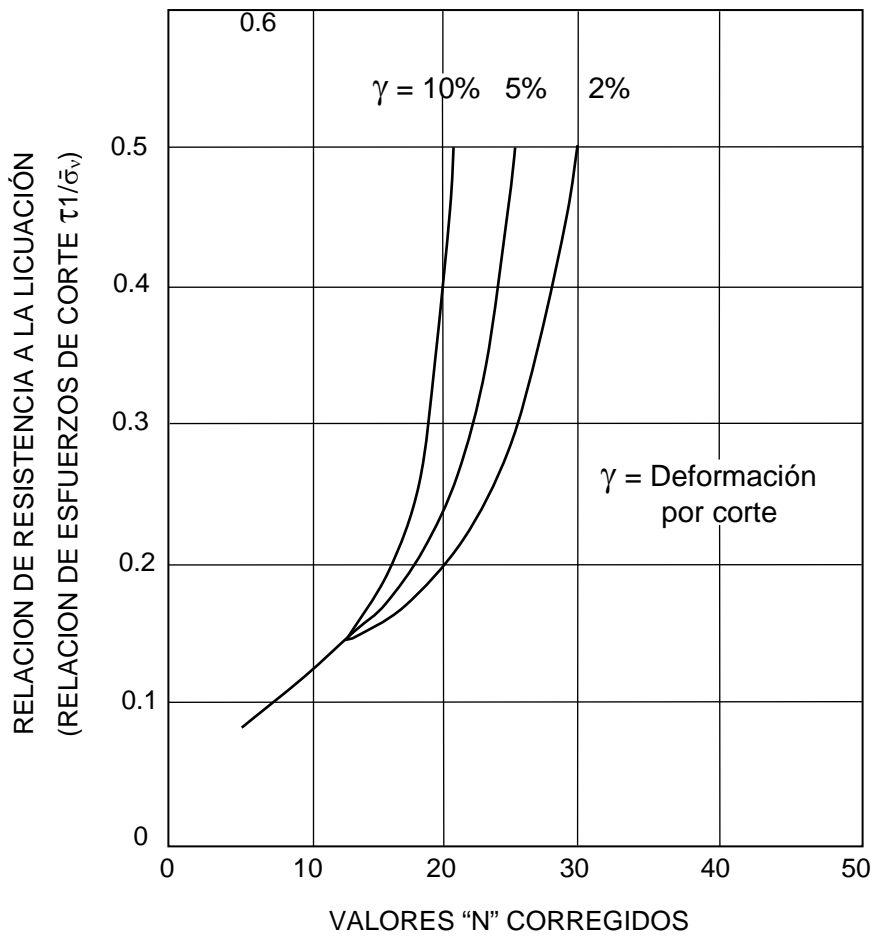
**Figura 1 :** Gráfico de Valores  $C_N$  Basados en los Estudios de Marcuson y Bieganousky(1976, 1977)



**Figura 2 :** Gráfico de la Relación de Esfuerzo para Causar Licuación, vs Valores  $N_1$ , para Arenas Limosas para Terremotos de  $M=7 - \frac{1}{2}$  (Seed y De Alba, 1986)



**Figura 3 :** Relación entre valores N Adicionales y Contenido de Finos (Tokimatsu y Yoshimi, 1983)



**Figura 4 :** Gráfico de la Relación de la Resistencia a la Licuación vs Valores N Corregidos (Tokimatsu y Yoshimi, 1983)