

## ESTUDIO DE MECÁNICA Y RESISTENCIA DE SUELOS: CASO LIMA

### STUDY OF MECHANICS AND FLOORS RESISTANCE IN THE CITY OF LIMA

Tomás Exequiel Gallarday Bocanegra\*

#### RESUMEN

Es necesario efectuar estudios de mecánica y resistencia de suelos antes de decidir realizar una construcción civil con altura mayor a 6 metros, en el área de Lima, considerando que está tiene un suelo heterogéneo, conglomerádico y está ubicado en un área de riesgo sísmico [10,1], para ello se efectuará una determinación de granulosidad, que influye en el movimiento y resistencia del suelo, que soportará el peso de la sobre-estructura. Para obtener su resultado, es fundamental practicar una calicata o pozo que tenga ancho y profundidad de acuerdo al diseño del cimiento, permita también operar con facilidad a los trabajadores. Esporádicamente cuando las circunstancias técnicas y físicas del suelo lo permitan, su muestreo puede realizarse *in situ*, determinando en campo el ángulo de fricción interna, que dará el momento de falla para el suelo, simulando la presión ejercida por la obra, conocer este dato físico requiere aplicar las normas técnicas peruanas, que clasifican los suelos para propósitos de ingeniería civil, ello incluye el análisis de los resultados efectuados en laboratorios nacionales de prestigio, con esta información se determina el parámetro Dato, previo a la aplicación de la fórmula de Terzaghi [14] que permite obtener conclusiones, que aplicadas evite la sobrecarga innecesaria, dado por el uso de material exagerado en el cimiento de la obra civil, con impacto negativo en los costos, gravando la economía de los titulares.

**Palabras clave:** Geológico, geotécnico, relleno sanitario, suyo, arcilla, areno-arcilloso.

#### ABSTRACT

Is necessary to make a study of mechanics and floors resistance before to build a civil construction with more height than two floors, in Lima area, considering that it has a heterogene, conglomeratic floor and it is in area of great seismic vulnerability, for this reason we will make a pattern granularity that it will influence in the movement and floors resistance, that it supported the weight of on structure for to get their result, is necessary to practice a open pett or well that it has the width and the depth determined with standards by design foundation, that also the workers can operate whit easiness.

Sometimes when the technical and physical circumstances of the floor allow it, their sampling can be carried in situ, determining in field the angle of internal friction that determines the flaw moment for the floor, simulating that it is exercised by the pressured of the work, to know this physical premises requires to apply the Peruvian technical norms that classify the floors for purpose of civil engineering, it is into analyses made in the National laboratories of prestige with this information you can determine the pattern date before of the apply the formula of Terzaghi that allow it to get conclusions.

that analyzed it avoids the unnecessary up dimension given by the material use in the foundation of the civil work, impacting negatively in the cost, harming economically to the interested ones.

**Keywords:** Mechanics of floors, works community, geotechnicy.

\* Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
E-mail: tgallarday@yahoo.com.ar

## ANTECEDENTES

Está documentado que a partir del año 1930 se construyeron una serie de edificaciones civiles dentro del territorio de la metrópoli limeña, tales como:

Edificios de Palacio de Gobierno, Ministerios Públicos, hospitales, Estadio Nacional, hoteles Bolívar, Crillón, Sheraton, grandes unidades escolares, edificaciones dentro del campus de las diversas Universidades, edificio de la Marina, IMARPE, Empresa Cervecera Backus, Pilsen, Edificios del Poder Judicial, Registros Públicos, Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, Coliseos, Amauta, Miguel Grau y muchos edificios más. Apoyando sus cimientos de estas obras civiles en el suelo conglomerádico, estuárico, arcilloso, arcilloso-limoso, fluvio-aluvial y de rellenos artificiales, característico del cono deyectivo del río Rímac [9].

Los ingenieros civiles nacionales o extranjeros que proyectaron y dirigieron la construcción de las obras mencionadas, se basaron en su amplia experiencia y excelente criterio técnico; adoptando valores de carga, presiones admisibles, del suelo que fueron presentados en códigos de edificaciones, alemanas, francesas, inglesas y norteamericanas, adecuándolas a las características propias del subsuelo limeño, es por ello que hay indicios técnicos, que los cimientos de las citadas edificaciones se diseñaron considerando una presión admisible igual a 4 kg/cm<sup>2</sup>.

El suelo estuárico-deltaico de Lima es de origen marino continental conformado por cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas que muchas veces no permiten obtener muestras de suelos inalterados, a pesar de la protección que pudiera dársele con resina a las muestras, que no fue nuestro caso, para luego efectuar en ellas pruebas especiales; por consiguiente para la determinación de los parámetros de resistencia y ángulo de fricción interna ( $f$ ) y cohesión ( $c$ ) no sería conveniente aconsejar obtenerlas mediante los ensayos de corte directo *in situ*, dicho proceso, requiere maquinaria adecuada, no es económico más aún si no existe densificación de muestras.

Nuestros trabajos realizados en el campo de la mecánica de suelos, previos a las construcciones de obras civiles, sobre material morrénico en los años 1980 a la fecha, nos han permitido aportarla en la estructuración y elaboración de la presente metodología y esperamos que en el futuro se decida antes de construir edificaciones civiles dentro de la delta de Lima, efectuar ensayos y estudios similares [7].

## INTRODUCCIÓN

Para poder determinar los parámetros como es la Cohesión ( $C$ ) y ángulo de fricción interna del suelo ( $f$ ), datos que son esenciales o fundamentales para el cálculo de capacidad de carga, se tuvo que programar la ejecución de dos calicatas o pozos y del fondo extraer dos muestras de suelo, las muestras obtenidas fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en ella se realizó, los ensayos de Corte Directo, empleando para comparación los valores numéricos dados en las normas [6].

### I. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO Y SUBSUELO DEL SECTOR OESTE DE LIMA (PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO)

La historia Geológica demuestra que en la formación del suelo y subsuelo de Lima Sector Oeste, ha tenido influencia directa la carga y descarga de los ríos Chillón y Rímac, con cambios de rumbo en el trayecto de sus lechos, o cerca a su desembocadura, así como también han influenciado las transgresiones o regresiones marinas, permitiendo formar un suelo estuárico integrado por horizontes variados de geometría espacial lenticular estratificada formada por:

Limo arcilloso, limo arenoso, limo arcilloso calichoso de color rojo ladrillo, que resultó por la erosión constante y por el aporte de abundantes detritus desgastados de las rocas integrantes de la formación Casapalca o Capas Rojas, estas están presentes en la parte alta de las cuencas de los ríos mencionados, la erosión se dio a fines del Paleoceno-eoceno, y en el Cuaternario (Pleisto-ceno) [10].

Los dos ríos son torrentosos, nacen en cuerpos de agua superficiales o lagunas; Yuracmayo (represa), Marcopomacocha (1-2), y Chuchún (zonas Ticlio y la Viuda), ubicadas en la Cordillera Occidental, a una altura sobre los 4500 m.s.n.m, los ríos son de trayecto corto 150 km, sus lechos formados en su mayor longitud por pendientes abruptas, y en menor porcentaje moderadas a suaves, antes de verter parte de sus aguas cargadas de sedimentos al Océano Pacífico (la diferencia de su caudal cumple la Ley del Ciclo Hidrológico).

Los lechos en su trayecto, como la llanura costera, han dejado aporte de sedimentos y sales, ello debido a la variación continua, o la expansibilidad del agua superficial o subterránea, que

se distribuyó en zonas extensas en forma de abanico o cono deyeectivo, que se ubican junto al mar, aquí es donde se favorece la decantación de partículas de minerales de arcillas calichosas, limos y arenas, quedando los materiales distribuidos en diferentes horizontes, que después fueron expuestos a levantamientos y hundimientos dados por la dinámica perturbadora de la corteza terrestre, formando las terrazas o tablazos marinos actuales.

Las firmas que elaboran cerveza como la Backus, han efectuado perforaciones de 200 m en el suelo y subsuelo para extraer agua dulce, principalmente cuando la napa freática baja; en su logeo o descripción litológica a los testigos obtenidos de los sondajes perforados, se verificó la continuidad del material fluvio-aluvial que también puede ser verificado in situ, en los acantilados marinos de los distritos de La Perla, San Miguel, Magdalena, Miraflores, Barranco y Chorrillos, lugares donde el material fluvio aluvial llega a 50 m de altura, con cohesión natural que le da equilibrio estable. En el área formada por el suelo que abarca la metrópoli limeña, se han efectuado muchos estudios de resistencia y movimientos de suelos, con el fin de hacer cimentaciones y/o extraer agua subterránea, estos estudios concluyen que en la zona Oeste como el Callao, el suelo tiene en los primeros metros de profundidad de 0-3 y de 3-15, una cobertura superficial integrada por limo arcilloso, calichoso, que esporádicamente varía o se caracteriza por la presencia de zonas turbosas, siendo muy raras veces pantanosas, el suelo Oeste de Lima, es catalogado como errático con espesor variable de 0.50 a 15.00 m de profundidad de riesgo sísmico intermedio o moderado resistencia 3 a 4 kg/cm<sup>2</sup> [4].

El suelo subyacente a este típico suelo fluvio-aluvial está integrado por: bloques de roca esferoidales o cantos rodados, gravas, arenas gruesas, arenas medianas, arenas finas, mezclas de limos con arcillas y arcillas, ellos son de riesgo sísmico, tenue o baja resistencia 5 a 8 kg/cm<sup>2</sup> zona segura [4].

Suelos calichosos con algunos esporádicos horizontes de 0,10 a 0,20 m, de arcilla conglomerada yesífera o rellebo por desmontes, tienen resistencia de 0,5 a 2 kg/cm<sup>2</sup>, son de alto riesgo sísmico y/o extremadamente alta [4].

## 2. FASES QUE SEGUIMOS PARA ESTRUCTURAR EL PRESENTE INFORME

Para obtener los datos y realizar el presente estudio, tuvimos que desarrollar cuatro etapas o

fases de trabajo bien definidas, cada una con características propias, ellas fueron:

### 2.1. Búsqueda, recopilación, y ordenamiento de información bibliográfica

Este ítem es sustentado en la bibliografía adjunto al final de este Informe.

### 2.2. Trabajos realizados en el campo

Esta fase consistió en practicar la excavación de dos calicatas o pozos de 1 x 3 x 3.50 m (ancho x largo x profundidad), los que estuvieron ubicadas espacialmente por coordenadas UTM que se indica a continuación:

La primera calicata excavada se ubica en el lado Norte, al centro de las zapatas replanteadas C-1 Norte y C-2 Norte.



Figura N° 1. Muestra piramidal trunca obtenida de la primera calicata.

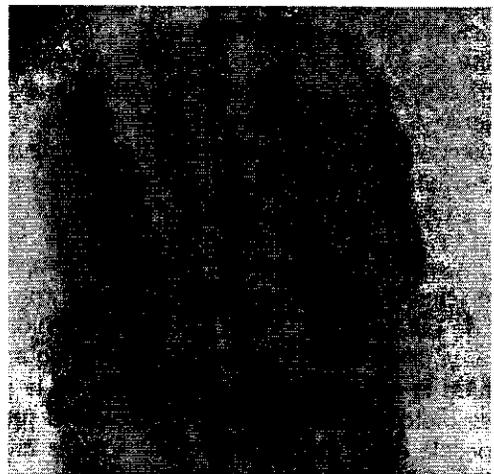


Figura N° 2. Muestra de suelo obtenida del fondo del pozo.

La segunda calicata fue excavada al Sur-Oeste del eje longitudinal de la obra civil, junto a la zapata replanteada C-1 Sur; estas zapatas son de base cuadrada, las zapatas excéntricas, y las zapatas aisladas integran el cimiento corrido o continuo, debajo de la base del cimiento de la obra civil proyectada que fue replanteada en campo, se trazo el eje central longitudinal de ambas calicatas que están representadas en sus extremos, por las coordenadas UTM siguientes:

Extremos-eje primera calicata

PUNTO	COORDENADAS UTM.		ALTURA
	NORTE	ESTE	
A.	8666301276	269698.904	2460
B.	866300.501	269701.802	2455

Extremos-eje segunda calicata

C.	8666289.154	269691.823	24.40
D.	8666286.205	269691.278	24.40

(plano y secciones de cada una de las calicatas). Del fondo de la primera calicata o pozo obtuvimos una muestra de arcilla calichosa color rojo ladrillo de forma geométrica prismática trunca, base 0.40 x 0.40, techo 0.30 x 0.30 y 0.25 m. de altura, la muestra estuvo medianamente saturada con agua, tenía aproximadamente 30 kg de peso, marcamos su posición con una flecha (de la base al techo) ella fue clasificada como arcilla C L illítica silicato de Al, Fe, Mg y K probablemente proveniente de la erosión de la formación Casapalca, así mismo del fondo de la segunda calicata obtuvimos la segunda muestra de suelo de forma geométrica cilíndrica, su base tenía un diámetro de 0.30 x 0.25 m, h y aproximadamente 34 kg de peso, fue clasificada como arcilla limosa C L-M L de composición química compleja formada por minerales de arcilla, Al, Mg, K y  $Fe_2O_3 (H_2O)_n$  [3]. Se consideró arcilla C L, pues su límite líquido es menor de 59%, ambas muestras fueron protegidas con resina y plástico para evitar que pierdan humedad o sus propiedades físicas, además que lleguen inalteradas al laboratorio. Como ello sucedió, en el mismo lugar de obtención de las muestras o in situ, tomamos vistas fotográficas oblicuas que adjuntamos [8].

Las muestras en sí fueron dos sólidos geométricos integrados por suelos arcillosos, y arcilloso-limoso, ligeramente saturados por agua, compuesto por arcillas plásticas, que expuestas al esfuerzo cortante, dieron puntos de falla diferente, las cuales guardan una relación directa con el

esfuerzo normal, lo que se verificó con los resultados de los ensayos obtenidos [2].

### 2.3. Ensayos obtenidos en el laboratorio

Las muestras arcillosas obtenidas de las calicatas, ya recibidas en el laboratorio el que dio su conformidad a su estado físico, acto seguido de la primera muestra se obtuvo tres prismas o pastillas de dimensiones iguales, cada una de 0,06 x 0,06 base x 0,02 m de altura; de la segunda muestra se obtuvo 3 cilindros de 0,06f x 0,02 m de altura, a estas briquetas se les calculó su densidad húmeda y seca inicial en porcentaje, después a las mismas muestras, se calculó su densidad húmeda y seca final en porcentaje, así como también el esfuerzo normal y de corte máximo, ángulo de fricción interna como el de cohesión en  $kg/cm^2$ , previa saturación de agua, para terminar a las pastillas se les aplicó fuerzas normales o axiales, esfuerzos de corte mayores, se calculó el grado de asentamiento en mm obteniendo al final los siguientes datos:

Muestra del primer pozo:

Ángulo de fricción interna	$(\phi) = 20^\circ$
Cohesión ( $kg/cm^2$ )	$(C) = 0.31$

Muestra del segundo pozo:

Ángulo de fricción interna	$(\phi) = 17.9^\circ$
Cohesión ( $kg/cm^2$ )	$(C) = 0.21$

Estos resultados fueron de acuerdo a la norma *ASTM. D-3080-90*.

### 2.4. Trabajos realizados en gabinete elaboración del Informe Final

En esta fase se tomó en cuenta las dimensiones y la ubicación de las calicatas o pozos, que fueron medidas y ubicadas dentro del suelo Oeste de Lima, se consideró el análisis del plano Proyecto de la cimentación a escala 1/50, en el cual se calculó las coordenadas de los 4 puntos que delimitan los dos ejes longitudinales de las calicatas, su detalle permitió elaborar cuatro secciones (dos secciones longitudinales Este-Oeste, Norte-Sur y dos secciones transversales Norte-Sur, Este-Oeste) en ellas mostramos la litología de los estratos

del suelo, cortados al excavar cada una de las calicatas (se adjunta en este Informe).



Figura N° 3. Trabajador indica el fondo de la primera calicata, antes de obtenerse la muestra de suelo *in situ*.



Figura N° 4. Extracción y preparación de la muestra de suelo obtenida del fondo de la calicata antes de su izaje.

Para obtener las resistencias de las muestras del suelo acorde con la realidad, revisamos una serie de informes sobre cimentaciones de obras civiles, existentes en las bibliotecas de las Instituciones Públicas de Lima, y las referencias [12 y 14] sobre mecánica de suelos, con dicho sustento teórico y nuestra experiencia profesional en la práctica, más los datos recibidos en el Informe de Laboratorio, analizamos las zapatas de tres tipos (cuadradas, excéntricas, aisladas) dado en el plano de cimentación del proyecto, que forman parte del cimiento corrido o continuo, que nos permitió tener el sustento teórico, antes de decidir y poder calcular la resistencia del suelo, de una zapata de base cuadrada o continua, en dicho cálculo consideramos la influencia del factor de Seguridad tomado del Reglamento General de Construcciones Norma E.050.

Factor de Seguridad tres (3), frente a una falla por corte, para cargas estáticas. Los cálculos se dan a continuación considerando el método de Terzaghi para determinar la capacidad de carga de una zapata en general, que es la suma de tres componentes:

A. La cohesión y fricción de un material sin peso que no lleva sobrecarga.

$$C = \text{Cohesión}$$

$$q_c = c N_c$$

B. La fricción de un suelo sin peso que soporta una sobrecarga  $q$  aplicada en la superficie.

$$g = \text{Peso volumétrico}$$

$$D_f = \text{Profundidad de zapata}$$

$$q_q = g D_f N_q$$

C. La fricción de un material con peso que no soporta sobrecargas.

$$q_g = \frac{1}{2} g B N_g$$

$$B = \text{Ancho de la zapata}$$

### 3. Cálculos numéricos

#### 3.1. Cálculo de resistencia muestra I, para una zapata de base cuadrada

##### RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

###### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM 3080

Estado : Remediado (material < tamz N° 4)  
 Calicata : C-2  
 Muestra : M-1  
 Prof. (m) : 3.50

Especimen N°	I	II	III
Diámetro del anillo (cm)	6.36	6.36	6.36
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.900	1.900	1.900
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.523	1.523	1.523
Cont. de humedad inicial (%)	24.8	24.8	24.8
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.27	2.315	2.428
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.624	1.664	1.754
Cont. de humedad inicial (%)	39.5	39.1	38.4
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.3763	0.5332	0.7000
Angulo de fricción interna:	17.9°		
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	0.21		

Gráfico N° 1. Ensayo de corte. Directo de Laboratorio.

Fórmula general de Terzaghi.

$$q_d = 1.2 c N_c + g N_q Z + 0.4 g B N_g$$

$q_d$  = Capacidad de carga última.

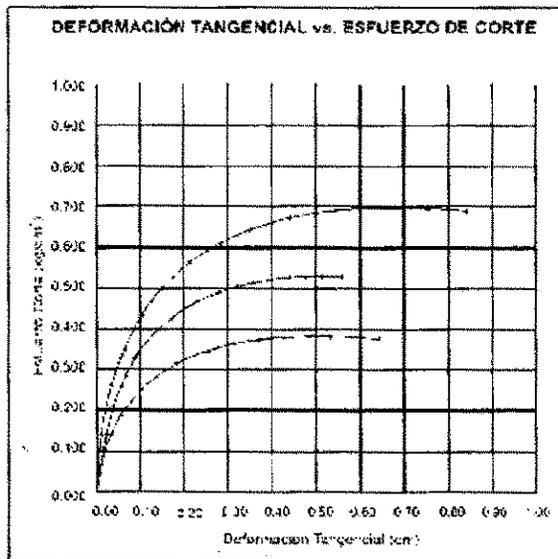
$c$  = Cohesión.

$g$  = Peso específico o densidad volumétrica del suelo.

$z$  = Profundidad de la cimentación (zapata)

$N_c, N_q, N_g$  = Coeficientes de carga en función del ángulo de fricción.

1.2 y 0.4 = Factores por forma de zapata (obtenidos por métodos numéricos).



Fuente UNI.

Gráfico N° 2. Deformación tangencial vs esfuerzo de corte.

Parámetro dato.

Factor de seguridad (adimensional).  
3. Tres.

Parámetros obtenidos en el campo.

Profundidad de cimentación 1.00 m.

Ancho de zapata 1.20 m.

Parámetros obtenidos experimentalmente resultado del ensayo de corte directo.

Ángulo de fricción interna 20°.

Densidad volumétrica del suelo (gr/cm³) 1.90.

Cohesión (kg/cm³) 0.31.

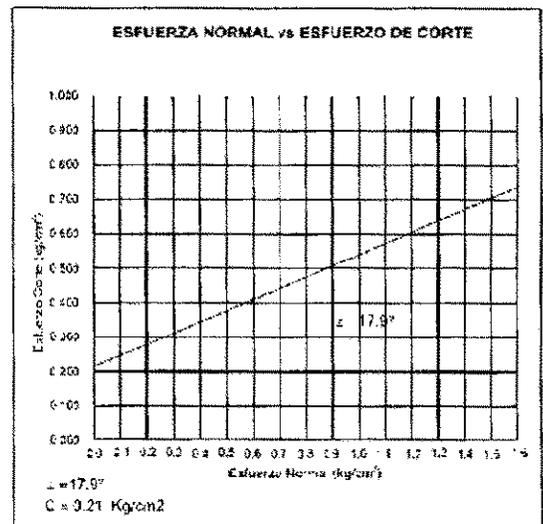


Gráfico N° 3. Esfuerzo normal vs esfuerzo de corte.

Parámetros calculados.

Coeficiente  $N_q$  = 6.38

"  $N_c$  = 14.77

"  $N_g$  = 2.86

Capacidad de carga final o última para una zapata cuadrada 6.97 (kg/cm²).

Capacidad de carga real admisible para una zapata cuadrada 2.32 (kg/cm²).

**3.2. Cálculo de resistencia del suelo obtenido para la primera calicata, zapata continua (cimiento corrido)**

Fórmula general Terzaghi.

$$q_d = c + N_c + g N_q Z + 0.5 g B N_g$$

$q_d$  = Capacidad de carga obtenida.

$c$  = Cohesión.

$g$  = Peso específico o densidad volumétrica del suelo.

$z$  = Profundidad de la cimentación.

$N_c, N_q, N_g$  = Coeficientes de carga en función del ángulo de fricción.

RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM 3080

Estado : Inalterada  
 Calicata : C-1  
 Muestra : M-2  
 Prof. (m) : 3.5

Especimen N°	I	II	III
Lado de la caja (cm)	6.00	6.00	6.00
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.901	1.901	1.901
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1.589	1.589	1.589
Cont. De humedad inicial (%)	19.7	19.7	19.7
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> )	2.050	2.065	2.070
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> )	1.605	1.637	1.665
Cont. De humedad final (%)	27.7	26.1	24.3
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	1.50
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.484	0.685	0.851
Angulo de fricción interna:	20°		
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	0.31		

Gráfico N° 4. Ensayo de corte directo ASRM 3000.

Parámetro dato normado

Factor de seguridad (adimensional)

3 Tres.

Parámetros obtenidos en el campo.

Profundidad de la cimentación 1.00 m.

Ancho de la zapata 1.20 m.

Parámetros obtenidos experimentalmente por ensayo de corte directo realizado en el laboratorio.

Ángulo de fricción interna 20°.

Densidad volumétrica del suelo 1.90 gr/cm<sup>3</sup>.

Cohesión 0.31 kg/cm<sup>2</sup>.

Parámetros finales calculados.

Coefficiente  $N_q = 6.38$

"  $N_c = 14.77$

"  $N_g = 2.86$

Capacidad de carga última obtenida para la zapata continua 6.12 kg/cm<sup>2</sup>.

Capacidad de carga real admisible para la zapata continua 2.04 kg/cm<sup>2</sup>.

3.3. Cálculo de resistencia del suelo para una zapata de base cuadrada, muestra 2.

Especimen N°	I	II	III
Lado de caja(cm)	6.00	6.00	6.00
Densidad húmeda inicial(gr/cm <sup>3</sup> )	1.901	1.901	1.901
Densidad seca inicial(gr/cm <sup>3</sup> )	1.589	1.589	1.589
Cont. De humedad inicial(%)	19.7	19.7	19.7
Densidad húmeda final(gr/cm <sup>3</sup> )	2.050	2.065	2.070
Densidad seca final(gr/cm <sup>3</sup> )	1.605	1.637	1.665
Cont. Seco humedad	27.7	26.1	24.3
Esfuerzo normal(kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.00	1.50
Esfuerzo de cortes máximo(kg/cm <sup>2</sup> )	0.484	0.685	0.851
Angulo de incción interna:	20°		
Cohesion(kg/cm <sup>2</sup> )	0.31		

Fuente UNI.

Gráfico N° 5. Resultados de ensayos de laboratorio.

Fórmula general de Terzaghi.

$$q_d = 1.2 cN_c + g N_q Z + 0.4 g BN_g$$

$q_d$  = Capacidad de carga última.

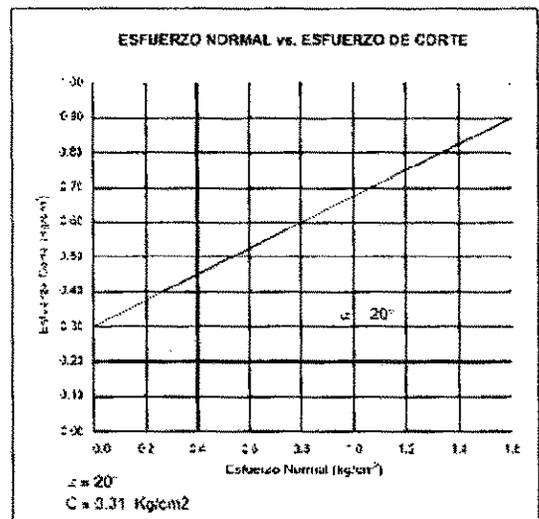
$c$  = Cohesión.

$g$  = Peso específico o densidad volumétrica del suelo.

$Z$  = Profundidad de la cimentación (zapata).

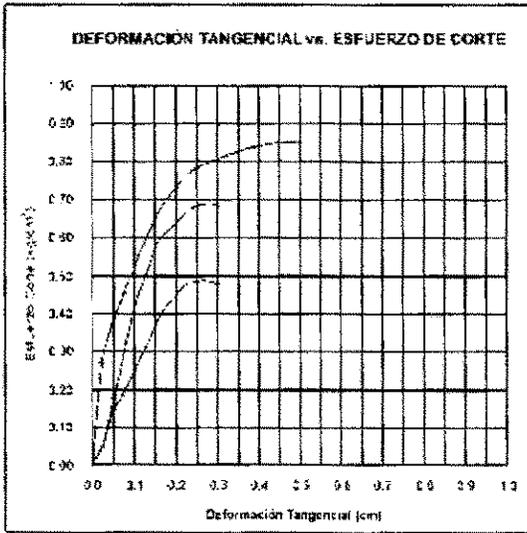
$N_c, N_q, N_g$  = Coeficientes de carga en función del ángulo de fricción.

1.2 y 0.4 = Factores por forma de zapata (obtenidos por métodos numéricos).



Fuente UNI.

Gráfico N° 6. Esfuerzo normal vs. esfuerzo de corte.



Fuente UNI.

**Gráfico N° 7.** Deformación tangencial vs. esfuerzo de corte.

Parámetro dato.

Factor de seguridad (adimensional)  
3 Tres.

Parámetros obtenidos en campo.

Profundidad de cimentación 1.00 m.

Ancho de zapata 1.20 m.

Parámetros obtenidos experimentalmente resultado del ensayo de corte directo obtenidos.

Ángulo de fricción interna 17.9°.

Densidad volumétrica del suelo (gr/cm³) 1.90

Cohesión (kg/cm³) 0.21

Parámetros calculados

Coefficiente $N_q$	(adimensional)	5.19
"	$N_c$	" 12.97
"	$N_g$	" 1.96

Capacidad de carga final o última para una zapata cuadrada 4.43 (kg/cm²).

Capacidad de carga real admisible para una zapata cuadrada 1.48 (kg/cm²).

**3.4. Cálculo de la resistencia del suelo para una zapata de cimiento corrido o continuo, muestra 2**

Fórmula general de Terzaghi.

$$q_d = c N_c + g N_q Z + 0.5 g B N_g$$

$q_d$  = Capacidad de carga obtenida o última.

$c$  = Cohesión.

$g$  = Peso específico o densidad volumétrica del suelo.

$Z$  = Profundidad de la cimentación.

$N_c, N_q, N_g$  = Coeficientes de carga en función del ángulo de fricción.

Parámetro dato normado.

Factor de seguridad (adimensional) 3.

Parámetros obtenidos en el campo.

Profundidad de la cimentación 1.00 m.

Ancho de la zapata 1.20 m.

Parámetros obtenidos experimentalmente por ensayo de corte directo realizado en el laboratorio.

Ángulo de fricción interna 17.9°.

Densidad volumétrica del suelo 1.90 gr/cm³.

Cohesión 0.21 kg/cm².

Parámetros finales calculados.

Coefficiente $N_q$	(adimensional)	5.19
"	$N_c$	" 12.97
"	$N_g$	" 1.96

Capacidad de carga final, obtenida para la zapata continua 3.93 kg/cm².

Capacidad de carga admisible para la zapata continua 1.31 kg/cm².

El suscrito está de acuerdo que si las propiedades mecánicas del suelo son tales, que el asentamiento que precede a la falla del suelo, por deformación plástica de las arcillas es pequeña (como nuestro caso), la zapata no se hunde en el terreno, hasta que no se haya alcanzado un estado de equilibrio plástico, la falla se produciría por deslizamiento hacia el exterior especialmente a ambos lados de la cimentación, ésta es llamada Falla por corte general. [11].

Otra Hipótesis sería si las propiedades mecánicas del suelo son tales que, la deformación plástica de las arcillas es acompañada por un asentamiento muy importante o grande (lo que no es nuestro caso), la proximidad de la falla por corte, está acompañada por un aumento rápido en el asentamiento de la cimentación, recibiendo el nombre de Falla por corte local. [11].

#### 4. CONCLUSIONES

- El comportamiento del suelo arcilloso C L y arcilla limosa C L - M L a los trenes de ondas sísmicas es estable, si reacciona como un todo a las vibraciones elásticas de sus partículas, pues este suelo es elástico y plástico a la vez, es por ende que de darse la eventualidad, el edificio motivo de este estudio navegará sobre el suelo ya que su cimiento tendrá características homogéneas y de producirse la falla, ésta será general, originada por un sismo muy fuerte grado 6 ó 7 en la escala de Richter.
- Evitar en el futuro la creencia algo generalizada que cualquier suelo puede sostener con eficiencia una construcción liviana y, por tanto, no se requiere un estudio de suelos. Sin embargo los hechos demuestran lo contrario. Casas residenciales y otras construcciones livianas han sido muy afectadas dado el suceso sísmico, debido al desconocimiento de las características del subsuelo.
- La capacidad de carga admisible o presión de hundimiento de una cimentación directa en faja, es la que debe aplicarse sin producir desperfectos en la estructura, teniendo un margen de seguridad dado por su coeficiente que en nuestro caso es 3 (Tres).
- La capacidad de carga depende de la litología del suelo (cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas o combinaciones de ellas como nuestro caso), es por ello que las características de las cimentaciones, de las estructuras y el coeficiente de seguridad adoptado es variable, influye también el conocimiento de la presencia del nivel de aguas freáticas, que son importantes porque cambia las condiciones de la resistencia del suelo.
- Las muestras de suelo fueron obtenidas de dos calicatas 3.50 m. de profundidad, inalteradas usando resina y envases plásticos, los resultados finales técnicos fueron:

##### Muestra 1.

Capacidad de carga admisible para una zapata cuadrada 2.32 (kg/cm<sup>2</sup>).

Capacidad de carga admisible para una zapata continua 2.04 (kg/cm<sup>2</sup>).

##### Muestra 2.

Capacidad de carga admisible para una zapata cuadrada 1.48 (kg/cm<sup>2</sup>).

Capacidad admisible para una zapata continua (corrida) 1.31 (kg/cm<sup>2</sup>).

- La información revisada por el suscrito, así como su experiencia profesional le permite postular que el suelo fluvio aluvial del cono deyectivo del río Rímac es estable con riesgo sísmico bajo o mínimo, en las zonas de suelo formado por cantos rodados con valores de resistencia de 5 a 8, Moderado o intermedio de riesgo sísmico fuerte, en zonas de suelos formados por gravas, limos y arcillas con resistencia de 2 a 5, e inestable de riesgo sísmico alto, marcado o muy fuerte en las zonas con suelos formados por limos, capas de sales, carbonatos, caliches y rellenos recientes con marcada humedad, de resistencia de 0.5 a 1 kg/cm<sup>2</sup>, por ende en ellos para construir obras civiles debe justificarse asumir valores aún más bajos de resistencia del suelo, que originan al titular gasto por una sobrecarga en las cimentaciones, más aún cuando carezca de valores reales, gravando su economía. [15].

#### 5. RECOMENDACIÓN

- Es necesario programar más estudios de resistencia del suelo antes de edificar construcciones civiles, dentro del suelo de Lima con prioridad en las zonas de riesgo sísmico marcado, alto o muy fuerte, este estudio contribuye a comprobar que el suelo de Lima no es uniforme y varía mucho en distancias cortas, y dado el caso, para obtener datos reales sobre la resistencia del suelo, se debe considerar que es muy variable y errático, por el cambio continuo de los lechos de los ríos Chillón y Rímac. Dado en la historia geológica de la formación del cono fluvio aluvial de Lima y Callao.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Alva Hurtado, Jorge E. (1995). Separatas UNI. PhD. CISMID-FIC, pp. 10-35.
2. Carvallo, Elena (1987). Tesis, toma y tratamiento de muestras de suelos UNI. pp. 25-42.

3. Carrera de Escalante Elsa (1997). Reglamento Nacional de Construcciones. Norma E. 050. Suelos y cimentaciones, pp. 30,31.
4. Centro de Investigación, Estudios y Prevención de Desastres Nacional (PREDES). Planos tipos de suelos, resistencia de suelos frente a un sismo, vulnerabilidad de los distritos de Lima por el tipo de construcción.
5. Crespo Villalaz, Carlos (1987). Separata Problemas resueltos de Mecánica de suelos y cimentaciones, Capítulo 14: Capacidades de carga en cimentaciones, pp. 101-107.
6. (1995) Designation: D 3080-90 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Conditions, pp. 289-295.
7. Gallarday Bocanegra, Tomás E. (2002). Informe de resistencia y movimiento del suelo en el área aledaña al Edificio de la Pre-UNAC, Lima, pp. 1-12.
8. González de Vallejo, Luis I. (2003). Ingeniería Geológica pp. 42-45, 394-400.
9. Humala Ayvar, Genaro. (1995). Informe Ensayo de Corte Directo In Sito en Lima IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil pp. 1-8,
10. INGEMMET (1995). Boletín Nº 55 Serie A: Carta Geológica Nacional, pp. 1-40.
11. (1997). Informe Laboratorio Mecánica de suelos UNI. pp. 75-83.
12. Juárez Badillo - Rico Rodríguez (1998). Tomo 1 y 2 de Mecánica de Suelos, pp. 347-400, 200-215.
13. Suelos. Método (Norma Técnica) para la clasificación de suelos con propósito de Ingeniería Civil (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS).
14. Terzaghi Von Karl (1936). Tomo 1, The shearing resistencie of saturated soils. Proc. I ICSMFE. Vol. 1, pp. 54-56.
15. Terzaghi Von Karl (1936). Tomo 2, The shearing resistencie of saturated soils. Proc. I ICSMFE. Vol. 2, pp. 212-221.