



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

VALORES COMPARATIVOS DE SPT EN SUELOS BLANDOS
APLICANDO METODOS DE TERZAGUI Y MEYERFORD

GUNCAY ENCALADA RICARDO MARCELINO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

VALORES COMPARATIVOS DE SPT EN SUELOS BLANDOS
APLICANDO METODOS DE TERZAGUI Y MEYERFORD

GUNCAY ENCALADA RICARDO MARCELINO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

VALORES COMPARATIVOS DE SPT EN SUELOS BLANDOS APLICANDO
METODOS DE TERZAGUI Y MEYERFORD

GUNCAY ENCALADA RICARDO MARCELINO
INGENIERO CIVIL

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

MACHALA, 17 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
17 de febrero de 2022

TESIS

por Ricardo Guncay

Fecha de entrega: 11-feb-2022 12:35p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1760169513

Nombre del archivo: RICARDO_GUNCAY.docx (161.18K)

Total de palabras: 2761

Total de caracteres: 14590

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

idoc.pub

Fuente de Internet

4%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 3%

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, GUNCAY ENCALADA RICARDO MARCELINO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado VALORES COMPARATIVOS DE SPT EN SUELOS BLANDOS APLICANDO METODOS DE TERZAGUI Y MEYERFORD, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

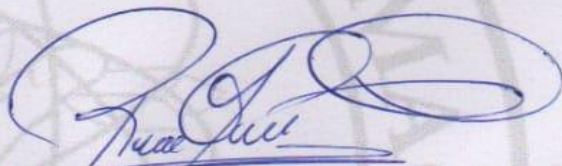
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 17 de febrero de 2022



GUNCAY ENCALADA RICARDO MARCELINO
0705344844

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser quien me ayuda a afrontar y superar los momentos de adversidad que se presentan en mi camino.

Agradezco a la Universidad Técnica de Machala por haberme permitido ser parte de ella abriéndome sus puertas dentro de la Facultad de Ingeniería Civil y a los docentes que con sus conocimientos y enseñanzas han sabido formar personas que hoy por hoy están convirtiéndose en profesionales.

Muchas gracias a mis padres y hermanos por haber sido mi apoyo permanente durante todo este proceso inculcando en mí valores que hasta el día de hoy mantengo presentes y me han ayudado a llegar donde estoy, culminando la carrera de ingeniería civil.

Gracias a todos quienes fueron mis compañeros de clases durante cada nivel de la carrera por ayudarme a mejorar mi calidad humana al mismo tiempo de apoyarme en las diferentes situaciones académicas que se han presentado.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado en especial a mi familia quienes siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo y consejo para ser un buen hombre en la sociedad y un excelente profesional como ingeniero civil del Ecuador.

A mi amada hija Lía por ser la fuente de motivación e inspiración en mi vida que me incita a superarme cada día y luchar para lograr un futuro mejor.

RESUMEN

El diseño y construcción de una obra de ingeniería civil demanda un cálculo estructural preciso y un estudio geotécnico previo.

La capacidad de carga es una característica del suelo sobre el cual se implanta una cimentación y no sólo una cualidad de este. Los suelos difieren en su capacidad de carga según su composición, sin embargo, ocurre que en un suelo específico esta capacidad varía según el tipo, forma, tamaño y profundidad de la cimentación que se carga sobre él; esta capacidad se puede determinar a través de una teoría basada en un mecanismo de falla y una tensión (q_u) sustentada en términos de resistencia al corte del suelo y en la geometría del problema.

La teoría de Terzaghi considera cimentaciones continuas, cuadradas y circulares exceptuando a las rectangulares, no toma en cuenta la resistencia cortante en el área de falla en el suelo ni tampoco la inclinación de la carga actuante; la teoría de Meyerhof toma en consideración todos estos factores y plantea la ecuación en base a estas deficiencias, a esta fórmula se le llama ecuación general de capacidad de carga.

En este trabajo práctico se aplicarán las teorías de capacidad portante en suelos blandos: Terzaghi Y Meyerhof, conceptualizándolas y definiendo las fórmulas para su cálculo. Se tomarán los valores de SPT de un suelo blando existente, cuyos resultados han sido obtenidos en ensayos de laboratorio para luego utilizar las ecuaciones de las teorías antes mencionadas en cálculos cuyos resultados serán evaluados de manera comparativa a fin de conocer las diferencias entre ambas teorías.

Palabras claves: SPT, Suelos Blandos, Capacidad Portante del Suelo, Terzaghi, Meyerhof.

ABSTRACT

The design and construction of a civil engineering work demands a precise structural calculation and a previous geotechnical study.

The load capacity is a characteristic of the soil on which a foundation is placed and not just its quality. Soils differ in their load capacity according to their composition, however, it happens that in a specific soil this capacity varies according to the type, shape, size and depth of the foundation that is loaded on it; this capacity can be determined through a theory based on a failure mechanism and a sustained stress (q_u) in terms of soil shear strength and the geometry of the problem.

Terzaghi's theory considers continuous, square and circular foundations except rectangular ones, it does not take into account the shear resistance in the area of failure in the soil nor the inclination of the acting load; Meyerhof's theory takes into consideration all these factors and proposes the formula based on these deficiencies, this formula is called the general load capacity formula.

In this practical work, the theories of bearing capacity in soft soils will be applied: Terzaghi and Meyerhof, conceptualizing them and defining the formulas for their calculation. The SPT values of an existing soft soil will be taken, whose results have been obtained in laboratory tests, and then the equations of the aforementioned theories will be used in calculations whose results will be evaluated in a comparative manner in order to know the differences between both theories.

Keywords: SPT, Soft Soils, Soil Bearing Capacity, Terzaghi, Meyerhof.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	1
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
ÍNDICE DE CONTENIDO	9
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	10
INTRODUCCIÓN	11
DESARROLLO	12
Fundamentación Teórica	12
Mecanica de Suelos	12
Suelos blandos	12
SPT (ensayo de penetración estándar)	12
Capacidad Portante de suelos	13
Cimentación	13
Factor de seguridad	13
Método de Terzaghi	14
Teoría de Meyerhof	15
Caso práctico	17
Análisis de los resultados	19
Metodología	19
Análisis y síntesis	19
Investigación bibliográfica	19
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	21
ANEXOS	24
Anexo 1. Tabla de Factores de capacidad de carga de Terzaghi (N_c , N_q , N_γ) para un modo de falla por corte general.	24
Anexo 2. Tabla de formulaciones: Factores de forma, profundidad e inclinación recomendados (De Meyerhof (1963); Beer (1970); Hansen (1970); Meyerhof y Hanna (1981))	25
Anexo 3. Factores de capacidad de carga de Meyerhof.	26
Anexo 4. Cálculo de la capacidad de carga utilizando las fórmulas de Terzaghi y Meyerhof	27

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ensayo de penetración estándar. **Fuente:** [9]

Ilustración 2: Falla por capacidad de carga en un suelo, bajo una cimentación corrida o continua. **Fuente:** Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 2012 [17].

Ilustración 3: Falla por corte general. **Fuente:** Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 2012 [17].

Ilustración 4: Modelo de falla según Meyerhof. **Fuente:** Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 2012 [17]

Ilustración 5: Valores obtenidos posterior a los ensayos de las muestras de suelo. **Fuente:** [15]

1. INTRODUCCIÓN

Para ejecutar el proyecto de una obra civil se debe tomar muy en cuenta los medios con los que se dispone para realizar el trabajo. Una edificación causa gran impacto en la naturaleza debido a que no es un elemento aislado sino que interactúa con los elementos de ella, por lo que su presencia provoca ciertas modificaciones en el medio. Una estructura se implanta en el suelo y sus cargas se transmiten hacia él causando repercusiones a lo largo del tiempo [1].

La composición del suelo varía mucho, por lo que no es un material firme para construir y que garantice completa estabilidad; su resistencia comparada con la del acero y el concreto es muy baja, estos otros materiales son utilizados en la construcción de la estructura y a diferencia del suelo cuyos análisis son más limitados, a estos se les dedica mucho tiempo a su estudio [1].

El acero y el concreto son materiales susceptibles a las deformaciones y tienen una resistencia límite que no debe ser superada por las cargas que provienen de la estructura [2]. Por ello es necesario considerar los esfuerzos o carga permisible del suelo y las deformaciones que se aparecen en el diseño de las estructuras y cimentaciones [3]. No es lo mismo construir una edificación sobre un suelo blando que sobre un suelo rígido, pues cuando hay presencia de fuerzas laterales o sísmicas, las consecuencias son más catastróficas en las edificaciones implantadas en suelos blandos [1].

En este trabajo práctico se observarán los valores comparativos de SPT (Ensayo de Penetración Estándar) en suelos blandos de un ensayo ya existente, considerando las teorías para la determinación de la capacidad de carga del suelo que proporcionan directrices para el diseño de cimientos sobre suelos en estado natural. El objetivo de este trabajo es determinar la capacidad de carga de un suelo en base a las teorías de Terzaghi y Meyerhof planteadas en función a las propiedades y características del suelo y de la cimentación; para comparar los resultados obtenidos y señalar sus principales diferencias.

2. DESARROLLO

2.1. Fundamentación Teórica

Mecánica de Suelos

Es una disciplina que se encarga del estudio de muestras de suelos efectuadas en terrenos donde se pretende construir una obra civil; para ello emplea métodos como los ensayos de laboratorio y el análisis de resultados para las condiciones, el tipo de material, las propiedades físicas y mecánicas y la capacidad portante del suelo [4]. Por otro lado, la mecánica de suelos estudia sus deformaciones y la presencia de agua en el terreno; el estudio del suelo es primordial previo la construcción de una obra civil para asegurar un correcto desempeño futuro de la estructura, cabe mencionar que según los resultados, si el requerimiento de carga sobrepasa la capacidad de resistencia del suelo, es probable que se originen deformaciones estructurales considerables que producirían el colapso de la estructura [5].

Suelos blandos

Son suelos con baja capacidad portante, que necesitan un procedimiento extra para mejorar su capacidad y cumplir con los requerimientos de diseño de la estructura, permite también elegir un adecuado proceso constructivo [6]. Para determinar la composición del suelo es importante conocer las características físicas y mecánicas del perfil del suelo sobre el cual se pretende ejecutar el proyecto, estas propiedades dependen del tipo de material, condiciones ambientales, exposición etc. Los suelos blandos tienen la particularidad de que son difíciles de caracterizar, debido a que tienen un perfil geológico complejo lo cual dificulta la obtención de muestras inalteradas para el análisis en el laboratorio [7].

SPT (ensayo de penetración estándar)

Este es uno de los ensayos de mayor importancia en el área de la geotecnia por su versatilidad, rapidez y sencillez en los resultados; su funcionamiento se basa en la contabilización del número de golpes efectuados al introducir el equipo para tomar las muestras (tubo cilíndrico con punta ciega) en el suelo, toma muestras cada 3 m de profundidad lo que permite identificar más efectivamente el tipo de suelo, la estratigrafía y contribuye a la determinación de los parámetros de resistencia al corte. Este ensayo es uno de los más efectuados actualmente y se lo puede efectuar en todo tipo de suelos [8].

El ensayo de penetración estándar es uno de los más utilizados en las obras civiles de América, más del 80% de cimentaciones se diseñan utilizando sus resultados obtenidos; se basa en el principio de trabajo y energía [9].



Ilustración 1: Ensayo de penetración estándar. Fuente: [9]

Capacidad Portante de suelos

Es la capacidad de resistencia del suelo para soportar las cargas aplicadas sobre él, en otras palabras es la máxima presión media que hay entre la cimentación y el suelo que varía según el tipo de suelo [10].

En el área de geotecnia de cimentaciones, este parámetro contribuye al cumplimiento de requerimientos necesarios para la construcción como los estados límites de resistencia, la capacidad portante ante vuelco de la estructura y deslizamiento de la cimentación [11].

Cimentación

Es el elemento estructural que permite transmitir las cargas al suelo, distribuyéndolas de manera uniforme sin superar la carga admisible del suelo ni producir cargas zonales; evaluar todos los estudios previos existentes en el área la cimentación siempre dependerá de las características mecánicas y el tipo de suelo. Y para poder determinar el tipo de cimentación se necesita conocer el estudio de carga, análisis estructural y la capacidad de carga del suelo [12].

Para garantizar la correcta capacidad de deformación inelástica por parte de la estructura, es necesario que el sistema compuesto por la cimentación y el suelo permanezca siempre en el rango elástico ante la mayor acción que puede introducir la superestructura al momento de ocurrir un colapso [13].

Factor de seguridad

Es el resultado obtenido al dividir el valor de la capacidad máxima de un sistema cualquiera para el valor de la capacidad requerida o a la que se someterá, el resultado será siempre superior a la unidad lo cual indica que la capacidad de la estructura siempre será superior al requerimiento [14].

En la NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones (2015); sección 4.2.1., se establece que el diseño estructural de la cimentación se basa en la garantía de que los esfuerzos aplicados por parte de la estructura sean inferiores a la capacidad admisible del subsuelo durante el periodo

de servicio. Para el diseño geotécnico se emplea un FS general que recoge todas las dudas relacionadas a este proceso [15].

Atkinson (2007), señala que el FS más apto y que se recomienda para el diseño, se encuentra en un rango entre 2.5 y 3.5 dependiendo de la estratificación del suelo, sus características y lo que se conozca del mismo [16].

Método de Terzaghi

En 1943 Terzaghi fue la primera persona en proponer una teoría que evaluaba completamente la capacidad de carga última de las cimentaciones superficiales. En la Ilustración 2 se ejemplifica esta teoría, aquí se muestra que una cimentación se considera superficial cuando su profundidad (D_f) es igual o inferior a su ancho.

Investigadores más actuales plantearon la teoría de que aquellas cimentaciones cuya profundidad sea tres o cuatro veces más su ancho, podrían considerarse como superficiales. Terzaghi planteó que en el caso de una cimentación continua, el área de falla producida en el suelo por efecto de la última carga (Ilustración 2), que corresponde a la falla por corte general (Ilustración 3). La consecuencia del suelo tomado desde el fondo de la losa de cimentación, puede reemplazarse por una sobrecarga equivalente [17].

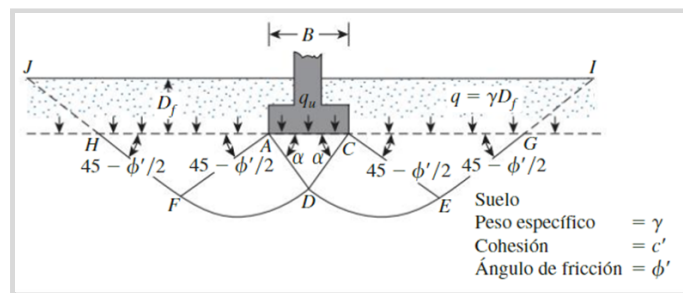


Ilustración 2: Falla por capacidad de carga en un suelo, bajo una cimentación corrida o continua. **Fuente:** Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 2012 [17].

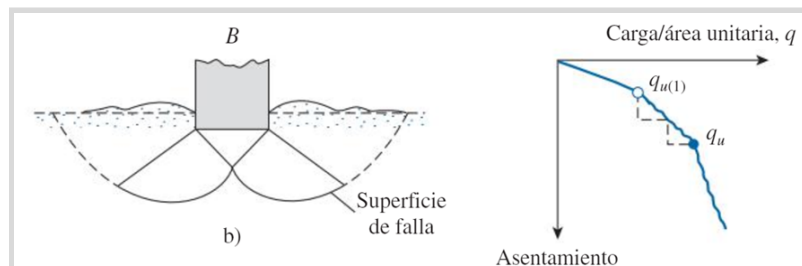


Ilustración 3: Falla por corte general. **Fuente:** Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 2012 [17].

El área de falla en la parte baja de la cimentación se divide en 3 partes (Ilustración 2):

1. La triangulación ACD bajo la cimentación.

2. Las áreas delimitadas por ADF y CDE, junto a las curvas DE y DF que componen una curva logarítmica.
3. Finalmente 2 zonas estáticas *Rankine* de forma triangular AFH y CEG

Se estima que los ángulos delimitados por CAD y ACD sean iguales al ángulo de fricción del suelo ϕ' [17]. Reemplazando el suelo sobre el fondo de la cimentación por una sobrecarga (q), se desprecia la resistencia al corte del suelo en las zonas de falla GI y HJ. Equilibrando esto, Terzaghi presenta una ecuación para expresar la capacidad de carga última del suelo:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}cBN_\gamma \quad \text{cimentación corrida o continua (1) [17]}$$

Donde:

c' = cohesión del suelo

γ = peso unitario del suelo

$$q = \gamma D_f$$

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensional (ángulo de fricción del suelo ϕ')

Para zapatas cuadradas y circulares, se sugirió las siguientes ecuaciones:

Zapatas cuadradas

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4BN_\gamma \quad (2) [17]$$

Zapatas circulares

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (3) [17]$$

donde:

B = diámetro de la zapata.

La variación de N_c , N_q y N_γ con ϕ' se muestra en la tabla del Anexo 1 [17].

Teoría de Meyerhof

Meyerhof planteó una nueva formulación para calcular la capacidad de carga del suelo, considerando los parámetros que su colega anterior no tomó en cuenta. En esta teoría se consideró la carga centrada en una base más pequeña que la real refiriendo que un ancho de faja $2e$ de un cimiento no aporta a la suficiencia de carga, por lo que recomendó sustituirse a B por $B' = B - 2e$. También toma en cuenta la superficie que está sobre el nivel de la cimentación, asumiendo el instrumento de falla de acuerdo a lo siguiente [17]:

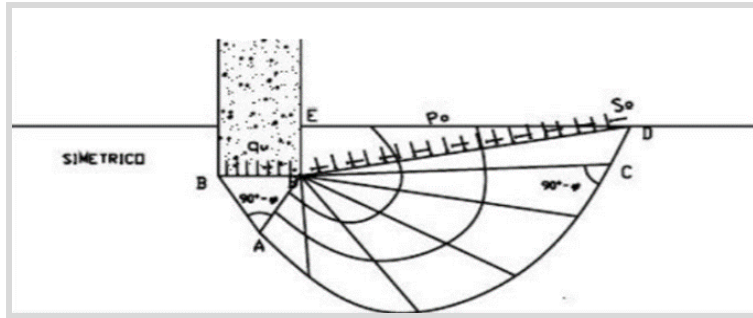


Ilustración 4: Modelo de falla según Meyerhof. **Fuente:** Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 2012 [17]

La falla de una cimentación superficial se divide en 3 partes:

1. ABB': zona de esfuerzos equivalentes que pueden considerarse en actividad (Rankine).
2. ABC: zona delimitada por una curva logarítmica y es considerada como zona de esfuerzo cortante.
3. BCDE: zona pasiva (Rankine). La línea BD es la Línea de Meyerhof en donde se ejercen los esfuerzos normales (P_o) y tangenciales (S_o) resultado del área BDE [17].

Con estas deducciones, Meyerhof propuso la siguiente fórmula con el fin de calcular la capacidad de carga o resistencia del suelo en un cimiento:

$$q_{br} = CN_c + P_o N_q + 0.5c\gamma BN_\gamma \quad (4) [17]$$

Donde:

P_o : Esfuerzos normales

Con esto se tiene $P_o \neq \gamma h$ y N_c, N_q, N_γ que es un valor nuevo y diferente a los que había considerado Terzaghi en su teoría, este no depende principalmente del ángulo de fricción interna (ϕ), pues se considera la profundidad, geometría de cimentación y rugosidad para calcularlo [18].

En el libro de Braja M. Das se encuentra una ecuación general de capacidad de carga propuesta por Meyerhof:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

c = cohesión

q = esfuerzo efectivo a la altura de la base de la cimentación ($q = \gamma * Df$)

$\gamma =$ peso específico suelo

$B =$ ancho de cimentación (diámetro en las circulares)

$F_{cs} F_{qs} F_{\gamma s} =$ factores de forma

$F_{cd} F_{qd} F_{\gamma d} =$ factores de profundidad

$F_{ci} F_{qi} F_{\gamma i} =$ factores por inclinación de la carga

$N_c N_q N_\gamma =$ factores de capacidad de carga [17].

Las formulaciones se encuentran en la tabla del Anexo 2.

En este caso, existe un ligero cambio en el cálculo de los valores de N_c , N_q y N_γ dados para un ángulo de fricción del suelo, se toma en consideración el ángulo $\Theta = 45 + \phi' / 2$ y los resultados se muestran en la tabla del Anexo 3.

2.2. Caso práctico

En este apartado se desarrolla el trabajo práctico, inicialmente se presentan los resultados ya obtenidos por medio de un estudio de suelo plasmados en un informe existente, de donde se tomarán todos los valores para la realización de este trabajo, cabe mencionar que la investigación tomada como referencia está publicada en el repositorio de la Universidad Técnica de Machala.

En el trabajo de ejemplo se han extraído muestras de suelo de 4 sitios en un mismo sector.

Resultados de los sondeos							
Sondeo 1		Sondeo 2		Sondeo 3		Sondeo 4	
ϕ°	qu(kg/cm ²)	ϕ°	qu(kg/cm ²)	ϕ°	qu(kg/cm ²)	ϕ°	qu(kg/cm ²)
5	0,25	5	0,29	5	0,13	6	0,42

Ilustración 5: Valores obtenidos posterior a los ensayos de las muestras de suelo. **Fuente:** [15]

En este caso se consideran los requerimientos de la columna más cargada, se compara con los resultados de cada sondeo [15].

$$S(1) = 2,5 \text{ Ton/m}^2 > 72,45 \text{ Ton/m}^2$$

$$S(2) = 2,9 \text{ Ton/m}^2 > 72,45 \text{ Ton/m}^2$$

$$S(3) = 1,3 \text{ Ton/m}^2 > 72,45 \text{ Ton/m}^2$$

$$S(4) = 4,2 \text{ Ton/m}^2 > 72,45 \text{ Ton/m}^2$$

Se hacen 2 mejoramientos de suelo en donde se calcula su capacidad portante y se suman sus resultados para cumplir con los requerimientos de carga.

- **TERZAGHI**

(Mejoramiento 1)

$$q_u = CNc + \gamma DfNq + 0,5\gamma BN\gamma$$

$$q_u = 0 + \frac{2,5 \text{ Ton}}{m^3} * 0,8 * 28,52 + 0,5 * \frac{2,5 \text{ Ton}}{m^3} * 1 * 26,87$$

$$q_u = 91 \text{ Ton}/m^2$$

(Mejoramiento 2)

$$q_u = \frac{0,5 \text{ Ton}}{m^2} * 15,12 + \frac{2,26 \text{ Ton}}{m^2} * 0,3m * 6,04 + 0,5 * \frac{2,26 \text{ Ton}}{m^2} * 1 * 2,59$$

$$q_u = 15 \text{ Ton}/m^2$$

Sumando valores de carga última de ambos mejoramientos, se tiene [15]:

$$91 \text{ Ton}/m^2 + 15 \text{ Ton}/m^2 = 106 \text{ Ton}/m^2$$

$$106 \text{ Ton}/m^2 > 72,45 \text{ Ton}/m^2$$

- **MEYERHOF**

(Mejoramiento 1)

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = 0 + 2 * 23,18 * 1,625 * 1,221 * 1 + \frac{1}{2} * 2,5 * 1 * 26,87 * 0,6 * 1 * 1$$

$$q_u = 112,137 \text{ Ton}/m^2$$

(Mejoramiento 2)

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = 0,5 * 13,10 * 1,402 * 1,115 * 1 + 0,678 * 5,26 * 1,325 * 1,093 * 1$$

$$+ \frac{1}{2} * 2,26 * 1 * 4,07 * 0,6 * 1 * 1$$

$$q_u = 18,16 \text{ Ton}/m^2$$

Sumando valores de carga última de ambos mejoramientos, se tiene:

$$112,137 \text{ Ton}/m^2 + 18,16 \text{ Ton}/m^2 = 130,297 \text{ Ton}/m^2$$

$$130,297 \text{ Ton}/m^2 > 72,45 \text{ Ton}/m^2$$

Análisis de los resultados

El tipo de suelo en el que se basa este estudio es suelo blando, por lo cual es necesario realizarle un mejoramiento con el fin de que alcance una resistencia y soporte mayor a las cargas que se aplican en la superficie y cimentación. La reposición del suelo se la realiza con 2 materiales distintos: piedra bola y material de mejoramiento subbase 3 – cantera Calichana. De acuerdo a las condiciones y características del suelo se sugiere que se debe construir una zapata corrida o continua.

Utilizando ambas formulaciones para el cálculo se ha obtenido valores aproximados entre sí que cumplen con los requerimientos de carga. No obstante, hay una brecha entre estos resultados, con el método de Terzaghi se calculó una capacidad del suelo de 106 Ton/m^2 , mientras que con el método de Meyerhof el valor fue de $130,297 \text{ Ton/m}^2$.

Los valores de los resultados difieren porque las formulaciones utilizadas para el cálculo son diferentes, la teoría de Meyerhof considera una tabla con valores modificados de los factores de carga y toma en cuenta nuevos factores: de forma, profundidad e inclinación de carga que a diferencia de la formulación de Terzaghi no utilizaba.

2.3. Metodología

Este apartado comprende las herramientas utilizadas para recopilar y procesar la información necesaria para solucionar la problemática planteada.

Análisis y síntesis

El análisis consiste en el estudio minucioso de un problema, en donde es necesario separarlo por partes para facilitar la comprensión de su significado y la relación que existe entre ellas; por otro lado, la síntesis es la unión de las partes que componen un todo. Este es un método compuesto que reúne dos métodos opuestos pero complementarios, el análisis es la observación sintética de un tema examinado por partes y la síntesis se elabora a partir de los resultados obtenidos en el análisis [19].

Investigación bibliográfica

Comprende una etapa de la investigación científica en donde se recopila información documentada desde diferentes fuentes y se usa como base para el estudio que se está llevando a cabo. Con la investigación bibliográfica se desarrolla el marco teórico que consiste en parte teórica del documento, la cual contextualiza el problema y forma parte de la bibliografía del documento [20].

3. CONCLUSIONES

- En el cálculo de cimentaciones, el método de Terzaghi fue el primero en ser propuesto y durante mucho tiempo ha sido el más utilizado debido a su practicidad puesto que no requiere factores de forma, profundidad e inclinación para su cálculo, además se usa simplemente para cimentaciones cuyas cargas se concentran en un sitio sobre el terreno plano y no considera excentricidad de cargas o diferencia de estratos del suelo.
- El método de Meyerhof se propuso después y se planteó en base a las falencias en las formulaciones de Terzaghi, este nuevo método considera los factores del suelo que antes no fueron considerados, se utiliza cuando hay cargas inclinadas sobre la cimentación en donde hay que tomar en cuenta su excentricidad respecto al eje central a fin de prever riesgos y evitar asentamientos, deslizamientos en el terreno o volcamiento de la estructura.
- Luego de efectuar los cálculos de la capacidad del suelo utilizando ambos métodos, se han encontrado diferencias significativas. Utilizando la teoría de Meyerhof se obtuvo una capacidad de carga del suelo de $130,297 \text{ Ton}/\text{m}^2$ que resulta ser mayor que la obtenida con la formulación de Terzaghi ($106 \text{ Ton}/\text{m}^2$).

4. RECOMENDACIONES

- Es recomendable que previo al cálculo y diseño de cimentaciones se realice un correcto estudio de suelos, en donde se pueda establecer la estratigrafía y particularidades del suelo que sirvan de guía para definir el tipo de zapata idóneo.
- Se recomienda revisar las normativas de construcción vigentes en el país y tomar como referencia sus especificaciones técnicas para dimensionar zapatas y columnas que soporten las cargas impuestas y las fuerzas laterales del suelo mismo.
- Es recomendable que los mejoramientos de suelo establecidos en el laboratorio se plasmen exactamente en el terreno a fin de estabilizar la base en donde se construirá la cimentación, puesto que estos han sido definidos por estudios y ensayos en base a los requerimientos del terreno natural.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. W. Rodriguez, “Ingeniería Geotecnia Suelos y Cimentaciones,” *Patología Estructural y Funcional*, 2018.
- [2] R. J. G. Amaya, C. A. M. Ovallos, and A. A. M. Quintero, “Caracterización de un suelo plástico para estabilización con cementantes,” *Respuestas*, vol. 25, no. 2, pp. 6–13, Jan. 2020, doi: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7381982.pdf>.
- [3] B. C. Jiménez, D. L. Martín, and G. R. Plasencia, “Estudio de la interacción suelo-estructura de una cimentación aislada mediante simulación numérica,” *Universidad & ciencia*, vol. 9, no. 1, pp. 160–172, Jan. 2020, doi: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dcart?info=link&codigo=8125827&orden=0>.
- [4] C. L. López, S. X. C. Martinez, and D. C. Cárdenas, “Modelos a escala reducida de flujo bidimensional para la enseñanza de la mecánica de suelos,” *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 14, no. 27, pp. 122–127, Jan. 2019, doi: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dcart?info=link&codigo=7849396&orden=0>.
- [5] M. Chury and A. Silva-Buso, “Relación entre datos geomecánicos medidos en ensayos SPT y resistividad del subsuelo en la fm. Ubajay, Entre Ríos, Argentina,” *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, no. 42, pp. 23–34, Jan. 2019, doi: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7384136.pdf>.
- [6] R. V. Ballesteros Granados, C. J. Sainea Vargas, and L. A. Cáceres Cárdenas, “Analysis of deflections and settlements in deep excavations on soft soils of Bogotá,” *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 36, no. 2, pp. 437–454, Jul. 2018, doi: 10.14482/inde.36.2.10469.
- [7] R. V. B. Granados, “OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO HARDENING SOIL MEDIANTE ENSAYO CPTu EN SUELOS BLANDOS DE BOGOTÁ,” *Revista Politécnica*, vol. 14, no. 26, pp. 89–97.
- [8] G. S. Marques and J. A. Lukiantchuki, “Evaluation of the stability of a highway slope through numerical modeling,” *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, vol. 84, no. 200, pp. 121–128, Jan. 2017, doi: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5979852.pdf>.
- [9] V. Zambrano, E. Ortiz, and W. Alcívar, “Caracterización geotécnica de los suelos de la ciudad de Calceta en la provincia de Manabí,” *Polo del conocimiento*, vol. 6, no. 8, pp. 77–89,

Aug. 2021, doi: 10.23857/pc.v6i8.2926.

[10] E. A. F. Sixto and O. G. Campos, “Identificación y caracterización de las arcillas de la ciudad de Huánuco,” *Investigación Valdizana*, vol. 12, no. 1, pp. 25–34, Jan. 2018, doi: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7099897.pdf>.

[11] E. R. Álvarez-Deulofeu, E. Beira-Fontaine, P. M. Cabrera-Castro, and O. Reyes-Pérez, “Comparación de métodos geotécnicos para la evaluación de asentamientos por consolidación primaria para cimentaciones en balsa,” *Minería y Geología*, vol. 35, no. 4, pp. 369–383.

[12] J. González and Á. Pedregal, “Análisis de cimentaciones en terrenos difíciles evaporíticos,” *Ingeniería civil*, no. 194, pp. 86–103, Jan. 2019.

[13] L. R. Fernández Sola, L. F. Hernández Rodríguez, C. E. Loeza Pérez, and O. M. González Cuevas, “ACCIONES DE DISEÑO EN CIMENTACIONES EN EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO CON COMPORTAMIENTO INELÁSTICO,” *Revista de Ingeniería Sísmica*, no. 104, pp. 32–50, Dec. 2020, doi: 10.18867/ris.104.539.

[14] C. de los proyectos Wikimedia, “Coeficiente de seguridad,” *Wikipedia*, Mar. 17, 2021. https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_seguridad (accessed Jan. 18, 2022).

[15] R. J. Lima Leon, “Estudios geotécnicos como elemento de análisis y diseño de cimentaciones para viviendas de tres pisos en la ciudad de Machala,” Jan. 01, 2019. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15007> (accessed Jan. 18, 2022).

[16] P. H. Delgado, “Diseño alternativo de cimentaciones superficiales por estado límite,” *Revista Arquitectura e Ingeniería*, vol. 8, no. 3, Jan. 2014, doi: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6339728.pdf>.

[17] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. 7ma. Edición Parte 1*, 7th ed. México D.F.: Cengage Learning Editores, 2012.

[18] “Determinación de la capacidad de carga en cimentaciones superficiales sobre bases estratificadas en suelos friccionales.” <https://1library.co/document/q7w598oz-determinacion-capacidad-carga-cimentaciones-superficiales-estratificadas-suelos-friccionales.html> (accessed Jan. 18, 2022).

[19] A. Rodríguez Jiménez and A. O. Pérez Jacinto, “Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento,” *Revista Escuela de Administración de Negocios*, no. 82, pp. 175–195, Jul. 2017, doi: 10.21158/01208160.n82.2017.1647.

[20] S. G. Martín and V. Lafuente, “Referencias bibliográficas: indicadores para su evaluación en trabajos científicos,” *Investigación Bibliotecológica. Archivonomía, Bibliotecología e Información*, vol. 31, no. 71, p. 151, Mar. 2017, doi: 10.22201/iibi.0187358xp.2017.71.57814.

6. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Factores de capacidad de carga de Terzaghi (N_c , N_q , N_γ) para un modo de falla por corte general.

ϕ' (grad)	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ' (grad)	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

^aValores para N_γ de Kumbhojkar (1993)

Anexo 2. Tabla de formulaciones: Factores de forma, profundidad e inclinación recomendados (De Meyerhof (1963); Beer (1970); Hansen (1970); Meyerhof y Hanna (1981))

Factor	Relación	Referencia
Forma	$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$ $F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \phi'$ $F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$	DeBeer (1970)
Profundidad	<p>si; $\frac{D_f}{B} \leq 1$</p> <p>Para $\phi = 0$:</p> $F_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right)$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$ <p>Para $\phi' > 0$:</p> $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \text{sen } \phi')^2 \left(\frac{D_f}{B}\right)$ $F_{\gamma d} = 1$ <p>si; $\frac{D_f}{B} > 1$</p> <p>Para $\phi = 0$:</p> $F_{cd} = 1 + 0.4 \underbrace{\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)}_{\text{radianes}}$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$ <p>Para $\phi' > 0$:</p> $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \text{sen } \phi')^2 \underbrace{\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)}_{\text{radianes}}$ $F_{\gamma d} = 1$	Hansen (1970)
Inclinación	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^2}{90^\circ}\right)^2$ $F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)$ <p>β = inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical</p>	Meyerhof (1963); Hanna y Meyerhof (1981)

Anexo 3. Factores de capacidad de carga de Meyerhof.

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Anexo 4. Cálculo de la capacidad de carga utilizando las fórmulas de Terzaghi y Meyerhof

Los datos utilizados para el cálculo son tomados de una investigación ya elaborada [15].

A los 2 m de profundidad de la primera excavación se tiene los siguientes datos:

$$IP = 22,9$$

$$qu = 2,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$\gamma = 1,56 \text{ kg/m}^3$$

$$LL = 49,80$$

$$N.F. = 2,5 \text{ m}$$

Cálculo de Df o desplante

$$Df = \frac{(0,827 - 0,01698 IP)IP - 4}{\gamma_n} = \frac{(0,827 - 0,01698 * 22,9) * 22,9 - 4}{1,56} = 3,8 \text{ m}$$

En base a este resultado se entiende que la cimentación deberá construirse a 3,8 m de profundidad, por lo que para contrarrestarlo se asume un desplante menor de 1,5 m y se plantea un mejoramiento de suelo.

Se calcula el índice de compresibilidad:

$$C_c = 0,009(LL - 10) = 0,009(49,8 - 10) = 0,36$$

Baja compresibilidad $0.0 < C_c < 0.19$

Media compresibilidad $0.20 < C_c < 0.39$

Alta compresibilidad $C_c < 0.40$ [15]

Este índice indica que el suelo analizado es de mediana compresibilidad por lo que se recomienda construir una zapata continua rigidizada a fin de controlar el asentamiento, misma que se debe manejar con la colocación de vigas en varias direcciones..

Tomando en cuenta las consideraciones de la cimentación se realiza el cálculo de la siguiente manera:

Mejoramiento de suelo: Piedra bola (material), en 2 capas de 0,2 m [15].

$$Df = 0,8 \text{ m (obtenido mediante cálculo)}$$

$$\phi = 32^\circ$$

$$\gamma = 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$B = 1 \text{ m (asumido)}$$

$$C = 0$$

Cálculo de la capacidad portante del suelo- método de Terzagui para una zapata continua
[15].

$$qu = CNc + \gamma DfNq + 0,5\gamma BN\gamma [17]$$

$$Nc = 44,04$$

$$Nq = 28,52$$

$$N\gamma = 26,870.8$$

$$qu = 0 + \frac{2,5 \text{ Ton}}{\text{m}^3} * 0,8 * 28,52 + 0,5 * \frac{2,5 \text{ Ton}}{\text{m}^3} * 1 * 26,87$$

$$qu = 91 \text{ Ton/m}^2 \text{ (Mejoramiento 1)}$$

Material: material de mejoramiento subbase 3 – cantera Calichana [15]

$$Df = 0,3 \text{ m}$$

$$\phi = 18^\circ$$

$$\gamma = 2,26 \text{ Ton/m}^3$$

$$B = 1 \text{ m (asumido)}$$

$$C = 0,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$qu = CNc + \gamma DfNq + 0,5\gamma BN\gamma [17]$$

$$Nc = 15,12$$

$$Nq = 6,04$$

$$N\gamma = 2,59$$

$$qu = \frac{0,5 \text{ Ton}}{\text{m}^2} * 15,12 + \frac{2,26 \text{ Ton}}{\text{m}^2} * 0,3 \text{ m} * 6,04 + 0,5 * \frac{2,26 \text{ Ton}}{\text{m}^2} * 1 * 2,59$$

$$qu = 15 \text{ Ton/m}^2 \text{ (Mejoramiento 2)}$$

Sumando valores de carga última de ambos mejoramientos, se tiene [15]:

$$91 \text{ Ton/m}^2 + 15 \text{ Ton/m}^2 = 106 \text{ Ton/m}^2$$

$$106 \text{ Ton/m}^2 > 72,45 \text{ Ton/m}^2$$

En esta práctica se ejecutaron 4 sondeos a diferentes alturas [15].

- **Sondeo 2 (2m):**

$$IP = 12,93$$

$$qu = 2,9 \text{ Ton}/m^2$$

$$\gamma = 1,76 \text{ kg}/m^3$$

$$LL = 36$$

$$N.F. = 1,6 \text{ m}$$

$$Df = \frac{(0,827-0,01698 IP)IP-4}{\gamma_n} = \frac{(0,827-0,01698 *12,93)*12,93-4}{1,76} = 2,19\text{m}$$

$$C_c = 0,009(LL - 10) = 0,009(36 - 10) = 0,234$$

- **Sondeo 3 (2m):**

$$IP = 12,86$$

$$qu = 1,3 \text{ Ton}/m^2$$

$$\gamma = 1,57 \text{ kg}/m^3$$

$$LL = 38,5$$

$$N.F. = 1,4 \text{ m}$$

$$Df = \frac{(0,827-0,01698 IP)IP-4}{\gamma_n} = \frac{(0,827-0,01698 *12,86)*12,86-4}{1,57} = 2,44\text{m}$$

$$C_c = 0,009(LL - 10) = 0,009(38,5 - 10) = 0,26$$

- **Sondeo 4 (2m):**

$$IP = 12,45$$

$$qu = 4,2 \text{ Ton}/m^2$$

$$\gamma = 1,8 \text{ kg}/m^3$$

$$LL = 38,7$$

$$N.F. = 2 \text{ m}$$

$$Df = \frac{(0,827-0,01698 IP)IP-4}{\gamma_n} = \frac{(0,827-0,01698 *12,45)*12,45-4}{1,8} = 2,04\text{m}$$

$$C_c = 0,009(LL - 10) = 0,009(38,7 - 10) = 0,26$$

Con base en los resultados obtenidos, se ha propuesto un mejoramiento de suelo para cada

sondeo [15].

Cálculo de la capacidad portante del suelo- método de Meyerhof para una zapata continua.

Mejoramiento de suelo: Piedra bola (material), en 2 capas de 0,2 m.

*Los cálculos se efectúan con los datos utilizados para el método de Terzagui.

$$Df = 0,8 \text{ m [15]}$$

$$\phi = 32^\circ$$

$$\gamma = 2,5 \text{ Ton/m}^3$$

$$B = 1 \text{ m (asumido)}$$

$$C = 0$$

$$Nc = 35,49$$

$$Nq = 23,18$$

$$N\gamma = 30,22$$

$$q = \gamma * Df$$

$$q = 2,5 * 0,8 = 2$$

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad [17]$$

$$q_u = 0 + 2 * 23,18 * 1,625 * 1,221 * 1 + \frac{1}{2} * 2,5 * 1 * 26,87 * 0,6 * 1 * 1$$

$$q_u = 112,137 \text{ Ton/m}^2 \text{ (Mejoramiento 1)}$$

➤ Factores de forma (L>B)(En este caso como es zapata continua, se hace el cálculo para una franja de 1m x 1m) [17]:

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} \frac{Nq}{Nc} \qquad F_{cs} = 1 + \frac{1}{1} \frac{23,18}{35,49} = 1,653$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi' \qquad F_{qs} = 1 + \frac{1}{1} \tan(32) = 1,625$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \frac{B}{L} \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \frac{1}{1} = 0,6$$

➤ Factores de profundidad [17]:

$$\frac{Df}{B} \leq 1 \quad \rightarrow \quad \frac{0,8}{1} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,8 \leq 1 \quad \checkmark \checkmark$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{Nc \cdot \tan \phi'} \qquad F_{cd} = 1,221 - \frac{1-1,221}{35,49 \cdot \tan(32)} = 1,231$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan(32) (1 - \sin(32))^2 \left(\frac{0,8}{1} \right) = 1,221$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

➤ Factores de inclinación [17]:

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2 \qquad F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{0}{90^\circ} \right)^2 = 1$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'} \right) \qquad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{0}{32} \right) = 1$$

β = inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical

Material: material de mejoramiento subbase 3 – cantera Calichana

$$Df = 0,3 \text{ m}$$

$$\phi = 18^\circ$$

$$\gamma = 2,26 \text{ Ton/m}^3$$

$$B = 1 \text{ m (asumido)}$$

$$C = 0,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$Nc = 13,10$$

$$Nq = 5,26$$

$$N\gamma = 4,07$$

$$q = \gamma * Df \text{ [17]}$$

$$q = 2,26 * 0,3 = 0,678$$

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad [17]$$

$$q_u = 0,5 * 13,10 * 1,402 * 1,115 * 1 + 0,678 * 5,26 * 1,325 * 1,093 * 1$$

$$+ \frac{1}{2} * 2,26 * 1 * 4,07 * 0,6 * 1 * 1$$

$$q_u = 18,16 \text{ Ton/m}^2 \text{ (Mejoramiento 2)}$$

➤ Factores de forma (L>B)(En este caso como es zapata continua, se hace el cálculo para una franja de 1m x 1m) [17]:

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} \frac{Nq}{Nc} \quad F_{cs} = 1 + \frac{1}{1} \frac{5,26}{13,10} = 1,402$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi' \quad F_{qs} = 1 + \frac{1}{1} \tan(18) = 1,325$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \frac{B}{L} \quad F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \frac{1}{1} = 0,6$$

➤ Factores de profundidad [17]:

$$\frac{Df}{B} \leq 1 \quad \rightarrow \quad \frac{0,3}{1} \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,3 \leq 1 \quad \checkmark \checkmark$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc * \tan \phi'} \quad F_{cd} = 1,093 - \frac{1 - 1,093}{13,10 * \tan(18)} = 1,115$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan(18) (1 - \sin(18))^2 \left(\frac{0,3}{1} \right) = 1,093$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

➤ Factores de inclinación [17]:

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2 \quad F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{0}{90^\circ} \right)^2 = 1$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{0}{18}\right) = 1$$

Sumando valores de carga última de ambos mejoramientos, se tiene:

$$112,137 \text{ Ton/m}^2 + 18,16 \text{ Ton/m}^2 = 130,297 \text{ Ton/m}^2$$

$$130,297 \text{ Ton/m}^2 > 72,45 \text{ Ton/m}^2$$

Anexo 5. Datos del suelo en mejoramiento 1 y cálculo de la capacidad de carga por el método de Terzaghi

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO -MÉTODO DE TERZAGHI-	
Datos:	
Profundidad de desplante, Df; (mts):	0,8
Peso Volumétrico del suelo; Gm (Ton/m3):	2,5
Cohesión del suelo, c; (Ton/m2):	0,0
Ángulo de fricción interna del suelo, Fi (grados):	32
Ancho o Radio del cimient; B ó R (mts):	1,0
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	1
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	2,5
Cálculos y Resultados:	
Factores dependientes del ángulo de fricción:	
Factor de cohesión, Nc =	44,04
Factor de sobrecarga, Nq =	28,52
Factor de piso, Ng =	26,87
a) Para cimiento continuo:	
Capacidad de carga última, qc:	
$qc = c \cdot N_c + G_m \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N_g$	
Capacidad de carga admisible; qa:	
$qa = qc / FS$	
$c \cdot N_c = 0,0$	
$G_m \cdot D_f \cdot N_q = 57,0$	
$0.5 \cdot g \cdot B \cdot N_g = 33,6$	
$qc, (Ton/m^2) = 90,6$	
$qa, (Ton/m^2) = 36,3$	

Datos del suelo en mejoramiento 2 y cálculo de la capacidad de carga por el método de Terzaghi

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO -MÉTODO DE TERZAGHI-	
Datos:	
Profundidad de desplante, Df; (mts):	0,3
Peso Volumétrico del suelo; Gm (Ton/m3):	2,26
Cohesión del suelo, c; (Ton/m2):	0,5
Ángulo de fricción interna del suelo, Fi (grados):	18
Ancho o Radio del cimient; B ó R (mts):	1,0
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	1
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	2,5

Cálculos y Resultados:

Factores dependientes del ángulo de fricción:

Factor de cohesión, $N_c =$	15,12
Factor de sobrecarga, $N_q =$	6,04
Factor de piso, $N_g =$	2,59

a) Para cimiento continuo:

$$q_c = c \cdot N_c + G_m \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N_g$$

Capacidad de carga última, q_c :
 Capacidad de carga admisible; q_a :
 $q_a = q_c / FS$

$$c \cdot N_c = 7,6$$

$$G_m \cdot D_f \cdot N_q = 4,1$$

$$0.5 \cdot g \cdot B \cdot N_g = 2,9$$

$$q_c, (Ton/m^2) = 14,6$$

$$q_a, (Ton/m^2) = 5,8$$

Suma de la capacidad de carga del mejoramiento de suelo 1 y 2

$q_{c1} =$	91	Ton/m ²
$q_{c2} =$	15	Ton/m ²
$q_u =$	106	Ton/m³

Datos del suelo en mejoramiento 1 y cálculo de la capacidad de carga por el método de Meyerhof

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO -MÉTODO DE MEYERHOF-	
Datos:	
Profundidad de desplante, D_f ; (mts):	0,8
Peso Volumétrico del suelo; G_m (Ton/m ³):	2,5
Cohesión del suelo, c ; (Ton/m ²):	0,0
Ángulo de fricción interna del suelo, F_i (grados):	32
Ancho o Radio del cimiento; B ó R (mts):	1,0
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	1
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	2,5
Cálculos y Resultados:	
Factores dependientes del ángulo de fricción:	
Factor de cohesión, $N_c =$	35,49
Factor de sobrecarga, $N_q =$	23,18
Factor de piso, $N_g =$	30,22
Cálculo de (q):	
$q = G_m \cdot D_f$	
$q = 2,5 \cdot 0,8$	2,00

Factores de forma:

$F_{cs} = 1 + \frac{B Nq}{L Nc}$	$F_{cs} = 1 + \frac{1\ 23,18}{1\ 35,49}$	1,653
$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi'$	$F_{qs} = 1 + \frac{1}{1} \tan(32)$	1,625
$F_{gs} = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$	$F_{gs} = 1 - 0,4 \frac{1}{1}$	0,6

Factores de profundidad: $\frac{Df}{B} \leq 1 = \frac{0,8}{1} \leq 1 = 0,8 \leq 1$

$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc * \tan\phi'}$	$F_{cd} = 1,221 - \frac{1 - 1,221}{35,49 * \tan(32)}$	1,231
$F_{qd} = 1 + 2 \tan\phi' * (1 - \sin\phi')^2 \left(\frac{Df}{B}\right)$	$F_{qd} = 1 + 2 \tan(32) * (1 - \sin(32))^2 \left(\frac{0,8}{1}\right)$	1,221
$F_{gd} = 1$	$F_{gd} = 1$	1

Factores de inclinación: $\beta =$ inclinación de carga sobre la cimentación

$F_{ci} = F_{qi} \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{0}{90^\circ}\right)^2$	1
$F_{gi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\phi'}\right)$	$F_{gi} = \left(1 - \frac{0}{32}\right)$	1

a) Para cimiento continuo:

Capacidad de carga última, qc:

$$qc = c * Nc * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * Nq * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + 0.5 * Gm * B * Ng * F_{gs} * F_{gd} * F_{gi}$$

Capacidad de carga admisible; qa:

$$qa = qc / FS$$

$$c * Nc * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} = 0,0$$

$$q * Nq * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} = 92,0$$

$$0.5 * Gm * B * Ng * F_{gs} * F_{gd} * F_{gi} = 20,2$$

$$qc, (Ton/m^2) = 112,1$$

$$qa, (Ton/m^2) = 44,9$$

Datos del suelo en mejoramiento 2 y cálculo de la capacidad de carga por el método de Meyerhof

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO -MÉTODO DE MEYERHOF-		
Datos:		
Profundidad de desplante, D_f (mts):	0,3	
Peso Volumétrico del suelo; G_m (Ton/m ³):	2,26	
Cohesión del suelo, c ; (Ton/m ²):	0,5	
Ángulo de fricción interna del suelo, F_i (grados):	18	
Ancho o Radio del cimientó; B ó R (mts):	1,0	
Tipo de suelo: 1-Arilloso firme / 2-Arilloso blando / 3-Arenoso	1	
Factor de seguridad, F.S.: (3.5/3.0/2.5)	2,5	
Longitud, L :	1,0	
Cálculos y Resultados:		
Factores dependientes del ángulo de fricción:		
Factor de cohesión, $N_c =$	13,10	
Factor de sobrecarga, $N_q =$	5,26	
Factor de piso, $N_\gamma =$	4,07	
Cálculo de (q):		
$q = G_m \cdot D_f$		
$q = 2,26 \cdot 0,3$	0,68	
Factores de forma:		
$F_{cs} = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$	$F_{cs} = 1 + \frac{1}{1} \cdot \frac{5,26}{13,10}$	1,402
$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi'$	$F_{qs} = 1 + \frac{1}{1} \tan(18)$	1,325
$F_{gs} = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$	$F_{gs} = 1 - 0,4 \frac{1}{1}$	0,6
Factores de profundidad: $\frac{D_f}{B} \leq 1 = \frac{0,3}{1} \leq 1 = 0,3 \leq 1$		
$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c + \tan \phi'}$	$F_{cd} = 1,093 - \frac{1 - 1,093}{13,10 + \tan(18)}$	1,115
$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \left(\frac{D_f}{B} \right)$	$F_{qd} = 1 + 2 \tan(18) \cdot (1 - \sin(18))^2 \left(\frac{0,3}{1} \right)$	1,093
$F_{gd} = 1$	$F_{gd} = 1$	1

Factores de inclinación: $\beta = \text{inclinación de carga sobre la cimentación}$

$F_{ci} = F_{qi} \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{0}{90^\circ}\right)^2$	1
$F_{gi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\phi'}\right)$	$F_{gi} = \left(1 - \frac{0}{18}\right)$	1

a) Para cimiento continuo:

Capacidad de carga última, q_c :

$$q_c = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N_g \cdot F_{gs} \cdot F_{gd} \cdot F_{gi}$$

Capacidad de carga admisible, q_a :

$$q_a = q_c / FS$$

$$c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = 10,2$$

$$q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = 5,2$$

$$0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N_g \cdot F_{gs} \cdot F_{gd} \cdot F_{gi} = 2,8$$

$$q_c, (\text{Ton/m}^2) = 18,2$$

$$q_a, (\text{Ton/m}^2) = 7,3$$

Suma de la capacidad de carga del mejoramiento de suelo 1 y 2

$$q_{c1} = 112,137 \text{ Ton/m}^2$$

$$q_{c2} = 18,16 \text{ Ton/m}^2$$

$$q_u = 130,297 \text{ Ton/m}^3$$

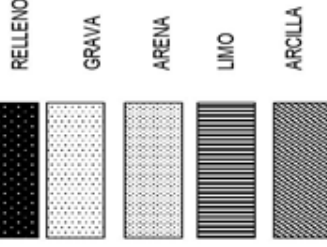
Estratigrafía de los Sondeos realizados - Valores de SPT

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA		NOMENCLATURA		PROYECTO: "INFORMACIÓN GEOTÉCNICA COMO ELEMENTO DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA VIVIENDAS DE 3 PISOS EN LA CIUDAD DE MACHALA"															
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		SIMBOLOGIA		SONDEO : N°1															
Operator Robinson Jimmi Lima León		RELENO		DIRECCION: CDL SAN RAMÓN															
Revisado: Ing. Paul Cabrera Gordillo		GRAVA		FECHA: Machala 19/06/2019															
		ARENA																	
		LIMO																	
		ARCILLA																	
		NAF= Nivel de agua freática																	
		W = Humedad natural																	
		L. L. = Límite líquido																	
		L. P. = Límite plástico																	
		I. P. = Índice plástico																	
		"qu" = Resistencia a la Compresión simple																	
		ε = Deformación																	
		N = Número de golpes (SPT)																	
PROF. mts.	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	ESTRATI GRAFIA	NAF	MUESTRA #	PROFUNDIDAD	CLASIF. SUCS	W %	L. L. %	L. P. %	I. P. %	GRANULOMETRIA	"qu" (kg/cm ²)	P. UNT. (gr/cm ³)	SPT Niple	● W	○ L. L.	X I. P.	● NUMERO DE GOLPES
0,5		RELLENO				0,5													
1		Arcilla orgánica de alta compresibilidad, alta plasticidad, contenido de humedad medio, color café oscuro, de consistencia firme.			1	1,00	OH	26,73	66,85	44,94	21,91	99,92	99,66	99,40	1,4	2			
2		Arcilla inorgánica de media compresibilidad, alta plasticidad, contenido de humedad, color café claro de consistencia media.		-2,5	2	2,00	CL	36,96	49,80	26,90	22,90	99,98	99,65	0,25	1,56	2			
3		Arcilla inorgánica de baja compresibilidad de plasticidad alta con contenido de humedad, color café claro.			3	3,00	CL	44,07	38,70	16,42	22,28	99,93	99,50	84,49	1,6	4			
4		arena limosa con contenido de humedad, color café claro.			4	4,00	SM	36,73	31,20	20,99	10,21	99,94	99,37	37,58	1,71	4			
5		Limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad, color gris oscuro			5	5,00	ML	40,83	31,00	26,34	4,66	100,00	99,24	73,85	1,75	4			
6		Limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad, color gris oscuro			6	6,00	ML	40,90	30,90	26,34	4,56	100,00	99,12	73,61	1,8	5			

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS
UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Operador: Robinsó Jimmi Lima León
 Revisado: Ing. Paul Cabrera Gordillo

NOMENCLATURA



NAF= Nivel de agua freática
 W = Humedad natural
 L.L. = Limite líquido
 L.P. = Limite plástico
 I.P. = Índice plástico
 "qu" = Resistencia a la Compresión simple
 ε = Deformación
 N = Número de golpes (SPT)

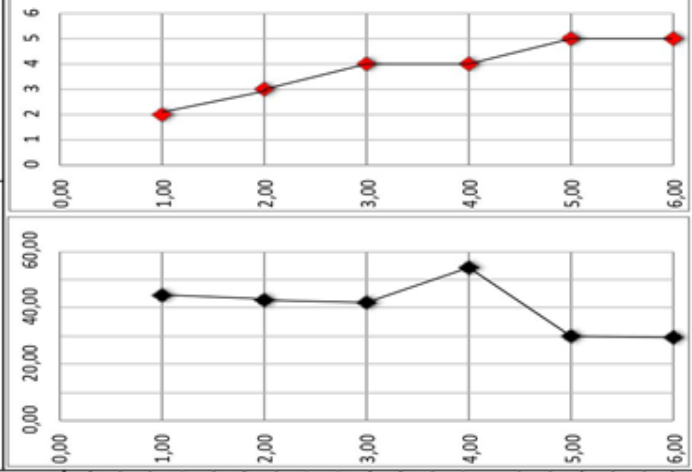
PROYECTO: "INFORMACIÓN GEOTÉCNICA COMO ELEMENTO DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA VIVIENDAS DE 3 PISOS EN LA CIUDAD DE MACHALA"

SONDEO : N° 2
DIRECCION: AV. ALEJANDRO CASTRO BENITEZ Y COLÓN TINOCO

FECHA: Machala 03/07/2019

CAMBO DE ESTRATO	PROF mts.	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	ESTRATI GRAFIA	NAF	MUESTRA #	CLASIF. SUCS	W %	L.L. %	L.P. %	I.P. %	GRANULOMETRIA			"qu" (Kg/cm ²)	P. UNIT. (Kg/cm ²)	SPT Npie	W	O	L	L	X	I	P.	NUMERO DE GOLPES	
											% Pasante tamaz N° 4	% Pasante tamaz N° 10	% Pasante tamaz N° 200												
	0,6	RELLENO																							
	1	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad y alta plasticidad de consistencia media, con contenido de humedad, color café oscuro		-1,6	1	CL	44,55	48,70	27,33	21,37	100,00	99,96	99,32	1,68	2										
	2	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad, mediana plasticidad de consistencia media y contenido de humedad, color café claro			2	CL	42,87	36,00	23,07	12,93	99,98	99,71	79,61	1,76	3										
	3	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad y mediana plasticidad con contenido de humedad, color café claro			3	CL	41,80	41,25	23,39	17,86	100,00	99,78	86,52	1,82	4										
	4	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad y mediana plasticidad con contenido de humedad, color gris oscuro, con mínimas cantidades de materia orgánica			4	CL	54,16	40,70	24,10	16,60	100,00	98,85	76,28	1,89	4										
	5	Arena limosa con mediano contenido de humedad, color gris claro.			5	SM	29,80	25,40	19,64	5,76	100,00	81,29	42,00	1,90	5										
	6	Arena limosa con mediano contenido de humedad, color gris claro.			6	SM	29,43	24,80	19,10	5,70	100,00	80,76	41,47	1,96	5										

A G U A



LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS UNIVERSIDAD TECNICA E MACHALA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				NOMENCLATURA				PROYECTO: "INFORMACIÓN GEOTÉCNICA COMO ELEMENTO DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA VIVIENDAS DE 3 PISOS EN LA CIUDAD DE MACHALA"																
Operador: Robino Jimmi Lima León Revisó: Ing. Paul Cabrera Gordillo				NAF= Nivel de agua freática W = Humedad natural L.L. = Limite líquido L.P.= Limite plástico I.P.= Indice plástico "qu" = Resistencia a la Compresión simple ε = Deformación N = Número de golpes (SPT)				DIRECCION: CDL. GARCÍA GULLÉN SONDEO : N° 3 FECHA: Machala 08/07/2019																
PROF mts.	CAMBO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	ESTRATI GRAFIA	NAF	MUESTRA #	CLASIF. SUCS	W %	L.L. %	L.P. %	I.P. %	GRANULOMETRIA			"qu" (Kg/cm ²)	P. UNIT. (gr/cm ³)	SPT Np/ie	W	O.L.L.	X	I.P.	●	●	NUMERO DE GOLPES	
											%Pasante tamaz N4	%Pasante tamaz N40	%Pasante tamaz N200											
0,4		RELLENO			0,40																			
1		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, plasticidad alta, contenido de humedad, color café oscuro de consistencia firme.		-1,4	1	CH	45,32	58,40	26,56	31,94	100,00	99,70	95,44	1,46	2									
2		Arcilla orgánica de baja compresibilidad, mediana plasticidad de consistencia media y contenido de humedad, color gris oscuro			2	OL	48,67	38,50	25,64	12,86	100,00	99,98	97,19	1,57	2									
3		Limo arenoso de baja plasticidad con contenido de humedad, color gris oscuro.			3	ML	34,12	28,80	23,50	5,30	100,00	98,39	54,33	1,61	2									
4		Arena gruesa con contenido de humedad, color gris oscuro.			4	SM	36,24	25,00	22,03	2,97	100,00	98,75	45,45	1,88	3									
5		Limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad, color café claro.			5	ML	40,05	27,80	24,17	3,63	100,00	98,69	62,01	1,91	3									
6		Limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad, color café claro.			6	ML	39,64	27,40	24,62	2,78	100,00	98,26	61,29	1,93	4									

