



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## UAC

TESIS

---

“ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE UN SUELO COHESIVO PARA DIFERENTES TIPOS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES, USANDO ECUACIONES DE CÁLCULO Y ENSAYO SPT SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL SECTOR TAMBOCANCHA - CHINCHERO”

---

Presentado por los tesisistas:

Poma Quispe Nilton Néstor

Flores Yana Walther

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Edson Julio Salas Fortón

CUSCO – PERÚ

2021



## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mis padres, Néstor Poma y Arcelia Quispe en especial a mi padre ya que siempre estuvo apoyándome, al enseñarme que todo se puede en esta vida con dedicación y responsabilidad.

A mi hermana quien me apoyó moral y económicamente.

A mi pareja y mi princesa, quien me apoyan y alientan para continuar en esta tesis, cuando parecía que me iba a rendir.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, les digo desde el fondo de mi alma pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

**Nilton Néstor Poma Quispe**

A mis padres que me han acompañado en todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mis hermanos que con sus consejos han sabido guiarme para acabar con mi carrera profesional.

**Walther Flores Yana**

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi universidad, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que estuvieron en el día a día y fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se viene reflejando en el comienzo de mi carrera profesional. Gracias a mis padres, que fueron mis mayores promotores durante este proceso, a todos mis familiares, gracias a Dios, que fue mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin darme por vencido.

**Nilton Néstor Poma Quispe**

Agradezco a Dios a mis padres Juan y Florentina y mis hermanos, por ser el apoyo en mi carrera en mis logros en todo, por quienes estoy inmensamente agradecido.

**Walther Flores Yana**



## Resumen

La presente investigación está orientada a realizar un análisis comparativo en la estimación de la capacidad portante usando 4 ecuaciones de cálculo para diseño de Cimentaciones Superficiales y un ensayo SPT, dichas ecuaciones pertenecen a: “Terzagui, Meyerhof, Hansen y Vesic” siendo utilizadas en la actualidad en nuestro medio local.

En la elaboración de esta tesis, se realizaron excavaciones a cielo abierto (calicatas) aleatoriamente y de los cuales se extrajeron muestras para realizarles las pruebas en laboratorio de suelo, dichas muestras de suelo pertenecen de la zona de Tambocancha, distrito de Chinchero, de la provincia de Urubamba, departamento de Cusco, los ensayos que se realizaron fueron tanto de caracterización como de resistencia al corte.

Para el desarrollo de los diversos ensayos se trabajó en el laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco.

Se realizó el estudio aplicable al diseño de cimentaciones superficiales como zapatas aisladas, zapata combinada, zapata conectada, vigas de fundación y losa de fundación.

Se concluyó que las ecuaciones de cálculo tienen un valor mayor de capacidad admisible obtenido con respecto a los resultados del ensayo SPT.

También se pudo comprobar que las ecuaciones de cálculo, (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic), están estructuradas en función a la cohesión del suelo ( $c$ ), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).

Se demostró que el nivel freático aumenta la capacidad portante de los resultados obtenidos de las ecuaciones de cálculo para un suelo cohesivo considerando que la arcilla se encuentra sumergida y presenta un peso específico sumergido o boyante que hace que la presión de poro genere una fuerza de cimentación.

Se logró comprobar que el asentamiento elástico disminuye según la profundidad, verificándose que a mayor profundidad se tiene menor asentamiento, esto debido a que uno de los factores ( $A_2$ ) que se utilizaron para el cálculo del asentamiento elástico de cimentación sobre arcilla saturada está en función de  $D_f/B$  que es la relación entre la profundidad de cimentación y el ancho de la zapata.

Se logró comprobar que, si existe una relación directa entre las formas de los tipos de cimentaciones en función de sus respectivas capacidades de carga última.



## Abstract

The present investigation is oriented to carry out a comparative analysis in the estimation of bearing capacity using 4 calculation equations for the design of Surface Foundations and an SPT test, these equations belong to: “Terzagui, Meyerhof, Hansen and Vesic” being used in the News in our local environment. In the preparation of this thesis, open pit excavations (gaps) were carried out randomly and from which samples were extracted for testing in the soil laboratory, said soil samples belong to the area of Tambocancha, Chinchero District of the Province from the Urubamba Department of Cusco, the tests that were carried out were both characterization and resistance to cutting. For the development of the various tests, we worked in the soil laboratory of the Andean University of Cusco. The study was applied to the Design of Surface Foundations such as insulated footings, combined footings, connected footings, foundation beams and foundation slab. It was concluded that the calculation equations have a greater permissible capacity with respect to the results of the SPT test. It was also found that the calculation equations, (Hansen, Meyerhof, Terzaghi and Vesic), are structured according to the cohesion of the soil ( $c$ ), angle of internal friction. It was shown that the water table increases the bearing capacity of the results obtained from the calculation equations for a cohesive soil considering that the clay is submerged and has a specific submerged or buoyant weight that causes the pore pressure to generate a foundation force. It was possible to verify that the elastic settlement decreases according to the depth, verifying that the depth is lower due to one of the factors ( $A_2$ ) that were used for the calculation of the elastic foundation settlement on saturated clay is a function of  $D_f/B$  which is the relationship between the depth of foundation and the width of the shoe It was possible to verify that, if there is a direct relationship between the forms of the types of foundations based on their respective ultimate load capacities.



## Introducción

Siendo los estudios de suelos uno de los más importantes al realizar una obra, por este motivo que a nivel mundial se ha desarrollado estudios específicos sobre Geotecnia y en Mecánica de Suelos especialmente en edificaciones, presas, centrales hidroeléctricas, muros de contención, puentes y otros.

En el país que vivimos, el Estado ha asumido un reto de sensibilizar y en mejor de los casos concientizar la importancia de la fundación de los cimientos en las obras, mediante normas y reglamentos que se ciñen los contratistas y consultores para que los proyectos de construcción ejecuten ensayos de mecánica de suelos es decir, ensayos físicos mecánicos en laboratorio como son: Granulometrías, Límites de Atterberg, peso específico, contenido de humedad y ensayos especiales como: SPT, Corte Directo, Ensayo Triaxial No drenado No Consolidado UU y otros.

La pregunta en cuestión, se resume a responder ¿Cuál es la máxima presión que el suelo puede resistir, ejercida por cargas externas (edificaciones), la parte que hace contacto directo con el suelo está en los diversos tipos de cimentaciones, en este caso cimentaciones superficiales, “saber antes que falle”, a la cual se denomina “Capacidad Portante” del suelo, en la actualidad existen diferentes métodos y aproximaciones teóricas, para la estimación de la capacidad portante, hallar dichos cálculos estimados mediante ecuaciones, basadas en la mecánica de suelos para obtener la relación entre los esfuerzos en falla, las propiedades relevantes del suelo y la geometría de la cimentación. Dichas preguntas se resuelven haciendo número de hipótesis simplificadoras.

Hoy en día en la ingeniería moderna requiere de estimaciones razonables en los tipos de cimentaciones y en su costo antes que se realice la ejecución física del proyecto.

Para los análisis comparativos para la estimación de la “capacidad portante” de un suelo cohesivo para diferentes tipos de cimentaciones superficiales usaremos ecuaciones de cálculo (Meyerhof, Terzaghi, Hansen, y Vesic) las cuales ya nos establecen ecuaciones generales deducida de la falla por corte del suelo, las cuales dependerán de las características físico mecánicas del suelo a estudiar

Es así que, para hallar el cálculo estimado para la capacidad de carga, constituye la base para el diseño, para cualquier tipo de diseño de zapata se determina la máxima carga que se puede aplicar al suelo, sin ser dañada la estabilidad del conjunto de estructuras, mitigar la rotura del suelo o un asentamiento excesivo.



## Índice general

|  |      |
|--|------|
| Dedicatoria .....  | i    |
| Agradecimientos.....   | i    |
| Resumen .....  | ii   |
| Abstract .....   | iii  |
| Introducción .....   | iv   |
| Índice general .....   | v    |
| Índice de tablas.....  | xii  |
| Índice de figuras .....  | xvii |
| 1. Capítulo I: Planteamiento del problema.....                             | 1    |
| 1.1. Ámbito de influencia de la tesis .....                                | 1    |
| 1.1.1. Ubicación geográfica.....   | 1    |
| 1.1.2. Zonificación del área de estudio.....                               | 3    |
| 1.2. Dimensiones propuestas para los diferentes tipos de cimentación ..... | 5    |
| 1.3. Consideraciones para determinar la profundidad de cimentación.....    | 6    |
| 1.4. Identificación del problema.....                                      | 6    |
| 1.4.1. Descripción del problema.....                                       | 6    |
| 1.4.2. Formulación interrogativa del problema .....                        | 7    |
| 1.4.2.1. Formulación interrogativa del problema general .....              | 7    |
| 1.4.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.....       | 7    |
| 1.5. Justificación e importancia de la investigación.....                  | 8    |
| 1.5.1. Justificación técnica .....   | 8    |
| 1.5.2. Justificación social .....  | 8    |
| 1.5.3. Justificación por viabilidad .....                                  | 8    |
| 1.5.4. Justificación por relevancia.....                                   | 9    |
| 1.6. Limitaciones de la investigación .....                                | 9    |
| 1.7. Objetivo de la investigación .....                                    | 9    |
| 1.7.1. Objetivo general .....  | 9    |
| 1.7.2. Objetivos específicos.....  | 10   |
| 2 Capítulo II: Marco teórico.....  | 11   |
| 2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual.....                  | 11   |
| 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional .....                                 | 11   |



|            |   |    |
|------------|---|----|
| 2.1.1.1.   | Antecedente N° 1: .....   | 11 |
| 2.1.1.2.   | Antecedente N° 2: .....   | 12 |
| 2.1.2.     | Antecedentes a nivel internacional .....                                      | 14 |
| 2.1.2.1.   | Antecedente N° 3: .....   | 14 |
| 2.2.       | Aspectos teóricos pertinentes .....   | 14 |
| 2.2.1.     | Tamaño de partícula de suelo .....  | 14 |
| 2.2.2.     | Propiedades geotécnicas de las arcillas .....                                 | 16 |
| 2.2.3.     | Relaciones peso volumen .....   | 19 |
| 2.2.3.1.   | Relaciones de volumen .....   | 21 |
| 2.2.3.2.   | Relación de peso .....  | 21 |
| 2.2.4.     | Análisis mecánico de suelos .....   | 23 |
| 2.2.4.1.   | Análisis de tamiz .....   | 23 |
| 2.2.4.2.   | Consistencia del suelo .....  | 25 |
| 2.2.4.2.1. | Plasticidad .....   | 26 |
| 2.2.4.2.2. | Límite líquido .....  | 26 |
| 2.2.4.2.3. | Límite plástico .....   | 28 |
| 2.2.4.3.   | Carta de plasticidad .....  | 29 |
| 2.2.5.     | Clasificación de suelos .....   | 30 |
| 2.2.5.1.   | Sistema de clasificación AASHTO .....   | 30 |
| 2.2.5.2.   | Sistema de clasificación SUCS .....   | 34 |
| 2.2.5.3.   | Ensayo de corte directo .....   | 36 |
| 2.2.5.4.   | Arcillas de alta plasticidad .....  | 39 |
| 2.2.6.     | Cimentaciones superficiales .....   | 39 |
| A.         | Falla general por corte .....   | 40 |
| B.         | Falla local por corte .....   | 40 |
| C.         | Falla de corte por punzonamiento .....  | 41 |
| 2.2.6.1.   | Cimentaciones superficiales .....   | 42 |
| 2.2.7.     | Metodologías de cálculo de cimentaciones superficiales .....                  | 43 |
| 2.2.7.1.   | Criterios para la elección de ecuaciones: .....                               | 43 |
| 2.2.7.1.1. | Teoría de Terzaghi .....  | 44 |
| a)         | Factor de seguridad .....   | 47 |
| b)         | Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático ..... | 48 |
| 2.2.7.1.2. | Teoría de Meyerhof .....  | 49 |



|            |  |    |
|------------|--|----|
| 2.2.7.1.3. | Teoría de B. Hansen .....  | 54 |
| 2.2.7.1.4. | Teoría de Vesic.....   | 58 |
| 2.2.7.2.   | Cimentaciones.....   | 61 |
| 2.2.7.3.   | Cimentaciones superficiales.....                                   | 61 |
| 2.2.7.3.1. | Criterios generales de diseño.....                                 | 62 |
| 2.2.7.3.2. | Definiciones básicas .....   | 63 |
| 2.2.7.3.3. | Zapatas de cimentación .....                                       | 66 |
| A.         | Zapatas aisladas .....   | 66 |
| B.         | Zapatas corridas o continuas .....                                 | 67 |
| C.         | Losa de fundación o cimentación.....                               | 68 |
| 2.2.8.     | Ensayo de penetración estándar (SPT).....                          | 69 |
| 2.2.9.     | Asentamiento elástico de cimentaciones sobre arcilla saturada..... | 73 |
| 2.3.       | Hipótesis.....   | 74 |
| 2.3.1.     | Hipótesis general .....  | 74 |
| 2.3.2.     | Sub hipótesis .....  | 75 |
| 2.4.       | Definición de variables.....                                       | 75 |
| 2.4.1.     | Variables independientes.....                                      | 75 |
| 2.4.1.1.   | Tipo de suelo.....   | 75 |
| 2.4.1.2.   | Angulo de fricción interna .....                                   | 75 |
| 2.4.1.3.   | Coefficiente de cohesión .....                                     | 75 |
| 2.4.2.     | Variables dependientes.....  | 76 |
| 2.4.2.1.   | Capacidad de carga ultima .....                                    | 76 |
| 2.4.2.2.   | Capacidad admisible .....  | 76 |
| 2.4.2.3.   | Ensayo SPT .....   | 76 |
| 2.4.3.     | Cuadro de operacionalización de variables .....                    | 77 |
| 3.         | Capitulo III: Metodología.....                                     | 78 |
| 3.1.       | Metodología de la investigación .....                              | 78 |
| 3.1.1.     | Enfoque de la investigación .....                                  | 78 |
| 3.1.1.1.   | Investigación cuantitativa .....                                   | 78 |
| 3.1.2.     | Nivel o alcance de la investigación .....                          | 78 |
| 3.1.2.1.   | Nivel descriptivo .....  | 78 |
| 3.1.3.     | Método de investigación .....                                      | 79 |
| 3.1.3.1.   | Método hipotético – deductivo .....                                | 79 |





|  |    |
|--|----|
| 3.2. Diseño de la investigación.....   | 79 |
| 3.2.1. Diseño metodológico.....  | 79 |
| 3.2.2. Diseño de ingeniería.....   | 80 |
| 3.3. Población y muestra .....   | 81 |
| 3.3.1. Población.....  | 81 |
| 3.3.1.1. Descripción de la población.....                                      | 81 |
| 3.3.1.2. Cuantificación de la población.....                                   | 81 |
| 3.3.2. Muestra.....  | 81 |
| 3.3.2.1. Descripción de la muestra .....                                       | 81 |
| 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.....                                     | 81 |
| 3.3.2.3. Método de muestreo.....   | 83 |
| 3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra .....                              | 83 |
| 3.3.3. Criterio de inclusión .....   | 84 |
| 3.4. Instrumentos .....  | 84 |
| 3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos ..... | 84 |
| 3.4.1.1. Contenido de humedad .....  | 85 |
| 3.4.1.2. Límite líquido.....   | 86 |
| 3.4.1.3. Límite plástico .....   | 87 |
| 3.4.1.4. Peso específico.....  | 88 |
| 3.4.1.5. Granulometría .....   | 89 |
| 3.4.1.6. Corte directo.....  | 90 |
| 3.4.2. Instrumentos de ingeniería .....  | 90 |
| 3.4.2.1. Aparato de corte directo.....   | 90 |
| 3.4.2.2. Tamices ASTM.....   | 91 |
| 3.4.2.3. Agitador mecánico de tamices .....                                    | 91 |
| 3.4.2.4. Equipo SPT .....  | 92 |
| 3.4.2.5. Cuchara de Casagrande.....  | 93 |
| 3.4.2.6. Horno o estufa eléctrica .....  | 93 |
| 3.4.2.7. Balanza electrónica .....   | 94 |
| 3.4.2.8. Probeta graduada.....   | 94 |
| 3.4.2.9. Vidrio esmerilado.....  | 95 |
| 3.5. Procedimientos de recolección de datos.....                               | 96 |
| 3.5.1. Programa de investigación .....   | 96 |



|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 3.5.1.1.   | Toma de muestras .....                               | 96  |
| 3.5.1.1.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 96  |
| 3.5.1.1.2. | Procedimiento.....                                   | 96  |
| 3.5.1.2.   | Ensayo para determinar el contenido de humedad ..... | 98  |
| 3.5.1.2.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 98  |
| 3.5.1.2.2. | Procedimiento.....                                   | 98  |
| 3.5.1.2.3. | Toma de datos .....                                  | 100 |
| 3.5.1.3.   | Ensayo para determinar el límite líquido .....       | 101 |
| 3.5.1.3.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 101 |
| 3.5.1.3.2. | Procedimiento.....                                   | 102 |
| 3.5.1.3.3. | Toma de datos .....                                  | 105 |
| 3.5.1.4.   | Ensayo para determinar el límite plástico.....       | 107 |
| 3.5.1.4.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 107 |
| 3.5.1.4.2. | Procedimiento.....                                   | 107 |
| 3.5.1.4.3. | Toma de datos .....                                  | 109 |
| 3.5.1.5.   | Ensayo de peso volumétrico de suelo .....            | 110 |
| 3.5.1.5.1. | Equipos utilizados .....                             | 110 |
| 3.5.1.5.2. | Procedimiento.....                                   | 111 |
| 3.5.1.5.3. | Toma de datos .....                                  | 114 |
| 3.5.1.6.   | Ensayo de granulometría.....                         | 117 |
| 3.5.1.6.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 117 |
| 3.5.1.6.2. | Procedimiento.....                                   | 117 |
| 3.5.1.6.3. | Toma de datos .....                                  | 120 |
| 3.5.1.7.   | Ensayo de corte directo .....                        | 122 |
| 3.5.1.7.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 122 |
| 3.5.1.7.2. | Procedimiento.....                                   | 122 |
| 3.5.1.7.3. | Toma de datos .....                                  | 124 |
| 3.5.1.8.   | Ensayo de penetración estándar SPT .....             | 129 |
| 3.5.1.8.1. | Instrumentos utilizados .....                        | 129 |
| 3.5.1.8.2. | Procedimiento.....                                   | 129 |
| 3.5.1.8.3. | Toma de datos .....                                  | 133 |
| 3.6.       | Procedimientos de análisis de datos .....            | 134 |
| 3.6.1.     | Ensayo para determinar el contenido de humedad.....  | 134 |



|          |  |     |
|----------|--|-----|
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 134 |
| b)       | Análisis de la prueba .....  | 136 |
| 3.6.2.   | Ensayo para determinar el límite plástico .....  | 137 |
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 137 |
| b)       | Análisis de la prueba .....  | 139 |
| 3.6.3.   | Ensayo para determinar el límite líquido .....   | 140 |
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 140 |
| b)       | Análisis de la prueba .....  | 143 |
| 3.6.4.   | Ensayo de peso volumétrico de suelo .....  | 143 |
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 143 |
| 3.6.4.1. | Peso específico de suelo con humedad natural .....   | 145 |
| 3.6.4.2. | Peso específico de suelo saturado .....  | 147 |
| 3.6.4.3. | Peso específico de suelo seco .....  | 149 |
| 3.6.5.   | Ensayo de análisis granulometría .....   | 150 |
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 150 |
| 3.6.6.   | Ensayo de corte directo .....  | 154 |
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 154 |
| 3.6.7.   | Ensayo de SPT .....  | 164 |
| a)       | Procesamiento o cálculos de la prueba.....   | 164 |
| 4.       | Capítulo IV: Resultados .....  | 167 |
| 4.1.     | Análisis de resultados de la calicata (C-1) y la calicata (C-2) para una profundidad de 2m. ....   | 167 |
| 4.2.     | Análisis de resultados de la calicata (C-1) y la calicata (C-2) para una profundidad de 3m. ....   | 171 |
| 4.3.     | Análisis de resultados de la calicata (C-1), calicata (C-2) para una profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2) para 3m. ....     | 175 |
| 4.4.     | Análisis de resultados de la calicata (C-1) para una profundidad de 2m y 3m y los resultados del ensayo SPT para (C-1). ....                             | 181 |
| 4.5.     | Análisis de resultados de la calicata (C-2) para una profundidad de 2m y 3m y los resultados del ensayo SPT para (C-2). ....                             | 182 |
| 4.6.     | Análisis de resultados de asentamiento de las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m y para 3m. ....   | 182 |
| 4.7.     | Análisis de resultados de asentamiento de las calicatas (C-1) para 2m y 3m de profundidad y las calicatas (C-2), para las profundidades de 2m y 3m. .... | 184 |



|  |     |
|--|-----|
| 4.8. Análisis de resultados de asentamiento de las calicatas (C-1), (C-2) para las profundidades de 2m, 3m y los resultados de los ensayos de SPT para (C-1) y (C-2). .... | 185 |
| 5. Capítulo V: Discusión .....   | 187 |
| Glosario .....   | 189 |
| Conclusiones .....   | 193 |
| Conclusión 1:.....   | 193 |
| Conclusión 2:.....   | 193 |
| Conclusión 3:.....   | 193 |
| Conclusión 4:.....   | 194 |
| Conclusión 5:.....   | 194 |
| Conclusión 6:.....   | 194 |
| Recomendaciones.....   | 195 |
| Referencias .....  | 197 |
| Anexos.....  | 199 |



## Índice de tablas

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1 Cuadro de ubicación de la tesis de investigación.....  | 1   |
| Tabla 2 Distribución de la población del distrito de Chinchero.....  | 5   |
| Tabla 3 Cuadro de dimensionamiento de los diferentes tipos de cimentaciones utilizados en la tesis, para las profundidades de 2m y 3m..... | 6   |
| Tabla 4 Límites de separación de tamaño de suelo .....   | 15  |
| Tabla 5 Tamaños estándar de tamices.....   | 24  |
| Tabla 6 Clasificación de materiales de carreteras subrasante AASHTO .....  | 32  |
| Tabla 7 Criterios para la elección de ecuaciones .....   | 43  |
| Tabla 8 Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi .....   | 47  |
| Tabla 9 Factores de forma del cimientto usados por Vesic.....  | 59  |
| Tabla 10 Tabla propiedades de suelos arcillosos .....  | 72  |
| Tabla 11 Cuadro de operacionalización de variables.....  | 77  |
| Tabla 12 Tipo de edificación para determinar el número de puntos de exploración .....  | 82  |
| Tabla 13 Número de puntos de exploración.....  | 83  |
| Tabla 14 Formato para la recolección de datos del ensayo de contenido de humedad.....  | 85  |
| Tabla 15 Formato para la recolección de datos del ensayo de límite líquido .....   | 86  |
| Tabla 16 Formato para la recolección de datos del ensayo de límite plástico .....  | 87  |
| Tabla 17 Formato para la recolección de datos del ensayo de peso específico.....   | 88  |
| Tabla 18 Formato para la recolección de datos del ensayo de granulometría.....   | 89  |
| Tabla 19 Formato para la recolección de datos del ensayo de corte directo.....   | 90  |
| Tabla 20 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para contenido de humedad .....   | 100 |
| Tabla 21 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para contenido de humedad .....   | 101 |
| Tabla 22 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de límite líquido .....   | 105 |
| Tabla 23 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de límite líquido .....   | 106 |
| Tabla 24 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de límite plástico .....  | 109 |
| Tabla 25 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de límite plástico.....   | 110 |
| Tabla 26 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de peso específico de suelo con humedad natural .....                             | 114 |
| Tabla 27 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de peso específico de suelo con humedad natural .....                             | 115 |
| Tabla 28 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de peso específico de suelo saturado .....  | 115 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla 29 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de peso específico de suelo saturado ..... | 116 |
| Tabla 30 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de peso específico de suelo seco           | 116 |
| Tabla 31 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de peso específico de suelo seco           | 117 |
| Tabla 32 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de granulometría .....                     | 120 |
| Tabla 33 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de granulometría .....                     | 121 |
| Tabla 34 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de corte directo muestra 1 .....           | 124 |
| Tabla 35 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de corte directo muestra 2 .....           | 125 |
| Tabla 36 Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de corte directo muestra 3 .....           | 126 |
| Tabla 37 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de corte directo muestra 1 .....           | 127 |
| Tabla 38 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de corte directo muestra 2 .....           | 128 |
| Tabla 39 Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de corte directo muestra 3 .....           | 129 |
| Tabla 40 Numero de golpes de SPT cada 30 cm para calicata N° 1 .....                                | 133 |
| Tabla 41 Numero de golpes de SPT cada 30 cm para calicata N° 2 .....                                | 133 |
| Tabla 42 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de contenido de humedad .....                | 135 |
| Tabla 43 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de contenido de humedad .....                | 136 |
| Tabla 44 Contenido de humedad en % para calicatas N° 1 y 2 .....                                    | 136 |
| Tabla 45 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de contenido de límite plástico .....        | 138 |
| Tabla 46 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de contenido de límite plástico .....        | 139 |
| Tabla 47 Límite plástico en % para las calicatas N° 1 y 2 .....                                     | 139 |
| Tabla 48 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de contenido de límite líquido .....         | 141 |
| Tabla 49 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de contenido de límite líquido .....         | 142 |
| Tabla 50 Resultados de límite líquido e índice plasticidad para las calicatas N° 1 y 2 .....        | 143 |
| Tabla 51 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de peso específico con humedad natural ..... | 145 |
| Tabla 52 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de peso específico con humedad natural ..... | 146 |
| Tabla 53 Resultado de peso específico de suelo con humedad natural .....                            | 146 |
| Tabla 54 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de peso específico con suelo saturado ..     | 147 |
| Tabla 55 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de peso específico con suelo saturado ..     | 148 |
| Tabla 56 Resultados de peso específico de suelo saturado .....                                      | 148 |
| Tabla 57 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de peso específico con suelo seco ..         | 149 |
| Tabla 58 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de peso específico con suelo seco ..         | 150 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla 59 Resultados de peso específico de suelo seco.....   | 150 |
| Tabla 60 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de granulometría.....                            | 152 |
| Tabla 61 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de granulometría.....                            | 153 |
| Tabla 62 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de corte directo muestra 1 .....                 | 155 |
| Tabla 63 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de corte directo muestra 2 .....                 | 156 |
| Tabla 64 Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de corte directo muestra 3 .....                 | 157 |
| Tabla 65 Resultados de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para la calicata N° 1.....                   | 158 |
| Tabla 66 Angulo de fricción interna y cohesión para la calicata N° 1.....                               | 159 |
| Tabla 67 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de corte directo muestra 1 .....                 | 160 |
| Tabla 68 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de corte directo muestra 2 .....                 | 161 |
| Tabla 69 Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de corte directo muestra 3 .....                 | 162 |
| Tabla 70 Resultados de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para la calicata N° 2.....                   | 163 |
| Tabla 71 Angulo de fricción interna y cohesión para la calicata N° 2.....                               | 164 |
| Tabla 72 Resultados de correcciones y capacidad ultima de ensayo SPT para la calicata N° 1.<br>.....    | 165 |
| Tabla 73 Resultados de capacidad admisible para la Calicata N° 1.....                                   | 165 |
| Tabla 74 Resultados de correcciones y capacidad ultima de ensayo SPT para la calicata N° 2.<br>.....    | 166 |
| Tabla 75 Resultados de capacidad admisible para la Calicata N° 2.....                                   | 166 |
| Tabla 76 Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-1) ( $Df = 2m$ ).....<br>..... | 167 |
| Tabla 77 Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-2) ( $Df = 2m$ ).....<br>..... | 167 |
| Tabla 78 ..Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-1) ( $Df = 2m$ )<br>..... | 168 |
| Tabla 79 Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-2) ( $Df = 2m$ )<br>.....   | 168 |
| Tabla 80 Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-1) ( $Df = 2m$ ) .....         | 169 |
| Tabla 81 Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-2) ( $Df = 2m$ ) .....         | 169 |
| Tabla 82 Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-1) ( $Df = 2m$ ).....<br>..... | 169 |
| Tabla 83 Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-2) ( $Df = 2m$ ).....<br>..... | 170 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla 84 Resultados de capacidad portante de losa de cimentación calicata (C-1) ( $Df = 2m$ )..... | 170 |
| Tabla 85 Resultados de capacidad portante de losa de cimentación calicata (C-2) ( $Df = 2m$ )..... | 171 |
| Tabla 86 Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-1) ( $Df = 3m$ ).....     | 171 |
| Tabla 87 Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-2) ( $Df = 3m$ ).....     | 172 |
| Tabla 88 Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-1) ( $Df = 3m$ ) ..    | 172 |
| Tabla 89 Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-2) ( $Df = 3m$ ) ..    | 172 |
| Tabla 90 Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-1) ( $Df = 3m$ ) .....    | 173 |
| Tabla 91 Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-2) ( $Df = 3m$ ) .....    | 173 |
| Tabla 92 Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-1) ( $Df = 3m$ ).....     | 174 |
| Tabla 93 Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-2) ( $Df = 3m$ ).....     | 174 |
| Tabla 94 Resultados de capacidad portante de losa cimentación calicata (C-1) ( $Df = 3m$ ) ...     | 175 |
| Tabla 95 Resultados de capacidad portante de losa cimentación calicata (C-2) ( $Df = 3m$ ) ...     | 175 |
| Tabla 96 Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada (C-1) y (C-2) ( $Df = 2m$ ) .....     | 176 |
| Tabla 97 Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada (C-1) y (C-2) ( $Df = 3m$ ) .....     | 176 |
| Tabla 98 Resultados de capacidad portante de zapata rectangular (C-1) y (C-2) ( $Df = 2m$ )..      | 177 |
| Tabla 99 Resultados de capacidad portante de zapata rectangular (C-1) y (C-2) ( $Df = 3m$ )..      | 177 |
| Tabla 100 Resultados de capacidad portante de zapata continua (C-1) y (C-2) ( $Df = 2m$ )....      | 178 |
| Tabla 101 Resultados de capacidad portante de zapata continua (C-1) y (C-2) ( $Df = 3m$ )....      | 178 |
| Tabla 102 Resultados de capacidad portante de zapata circular (C-1) y (C-2) ( $Df = 2m$ ).....     | 179 |





|   |     |
|---|-----|
| Tabla 103 Resultados de capacidad portante de zapata circular (C-1) y (C-2) ( $Df = 3m$ ).....            | 179 |
| Tabla 104 Resultados de capacidad portante de losa cimentación (C-1) y (C-2) ( $Df = 2m$ )..              | 180 |
| Tabla 105 Resultados de capacidad portante de losa cimentación (C-1) y (C-2) ( $Df = 3m$ )..              | 180 |
| Tabla 106 Resultados capacidad portante zapata continua la más crítica (C-1)<br>( $Df = 2m$ y $3m$ )..... | 181 |
| Tabla 107 Resultados de capacidad portante de SPT calicata (C-1).....                                     | 181 |
| Tabla 108 Resultados capacidad portante zapata continua la más crítica (C-2)<br>( $Df = 2m$ y $3m$ )..... | 182 |
| Tabla 109 Resultados de capacidad portante de SPT calicata (C-2).....                                     | 182 |
| Tabla 110 Resultados de asentamiento elástico de las calicatas (C-1) y (C-2) ( $Df = 2m$ ).....           | 183 |
| Tabla 111 Resultados de asentamiento elástico de las calicatas (C-1) y (C-2) ( $Df = 3m$ ).....           | 183 |
| Tabla 112 Resultados de asentamiento elástico de las calicatas (C-1) ( $Df = 2m$ y $3m$ )... 184          |     |
| Tabla 113 Resultados de asentamiento elástico de las calicatas (C-2) ( $Df = 2m$ y $3m$ )... 185          |     |
| Tabla 114 Resultados de asentamiento elástico (C-1) ( $Df = 2m$ y $3m$ )..... 185                         |     |
| Tabla 115 Resultados de asentamiento elástico (C-2) ( $Df = 2m$ y $3m$ )..... 186                         |     |
| Tabla 116 Resultado de asentamiento elástico de (C-1) y (C-2) de ensayo SPT..... 186                      |     |



## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación departamental de la región Cusco .....                                    | 2  |
| Figura 2. Ubicación provincial y distrital.....   | 2  |
| Figura 3. Ubicación del sector de Tambocancha .....   | 3  |
| Figura 4. Plano de zonificación de la ciudad de Chinchero .....                               | 4  |
| Figura 5. Zonificación del área de estudio .....  | 4  |
| Figura 6. Influencia de la composición mineralógica en la plasticidad .....                   | 17 |
| Figura 7. Influencia de la mineralogía en la resistencia .....                                | 18 |
| Figura 8. Cambio de volumen en función de la composición .....                                | 18 |
| Figura 9. Influencia de la composición mineralógica en la compresibilidad.....                | 19 |
| Figura 10. (a) elemento de suelo en estado natural, (b) tres fases del elemento de suelo..... | 20 |
| Figura 11. Curva de distribución de tamaño de partículas .....                                | 24 |
| Figura 12. Curva de distribución de tamaño de partícula por tamiz e hidrómetro.....           | 25 |
| Figura 13. Límites de Atterberg .....   | 26 |
| Figura 14. Prueba de límite líquido .....   | 27 |
| Figura 15. Curva de flujo para del límite líquido de arcilla limosa .....                     | 28 |
| Figura 16. Carta de plasticidad.....  | 30 |
| Figura 17. Rango de límite líquido e índice de plasticidad.....                               | 33 |
| Figura 18. Carta de Plasticidad de Casagrande .....   | 35 |
| Figura 19. Sistema de Clasificación SUCS .....  | 35 |
| Figura 20. Diagrama de arreglo de prueba de corte directo .....                               | 37 |
| Figura 21. Envolvente de rotura y parámetros de resistencia al corte.....                     | 38 |
| Figura 22. Curvas de ensayo de arcillas de alta plasticidad .....                             | 39 |
| Figura 23. Esquema de la rotura por punzonamiento del suelo e=cuña en estado elástico .....   | 41 |
| Figura 24. Naturaleza de la falla por capacidad de carga del suelo .....                      | 42 |
| Figura 25. Falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua. ..  | 44 |
| Figura 26. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático .....      | 49 |
| Figura 27. Cimentación superficial con base rugosa.....                                       | 50 |
| Figura 28. Interacción suelo-cimiento para las ecuaciones de capacidad portante .....         | 50 |
| Figura 29. Campos de líneas de deslizamiento para fundación continua rugosa.....              | 51 |
| Figura 30. Carga aplicada inclinada y excéntrica .....  | 55 |
| Figura 31. Cimentación directa o superficial, reparto en horizontal .....                     | 62 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 32. Definiciones de presiones .....   | 65  |
| Figura 33. Zapata cuadrada .....   | 66  |
| Figura 34. Zapata rectangular.....   | 67  |
| Figura 35. Zapata circular .....   | 67  |
| Figura 36. Zapata continua.....  | 68  |
| Figura 37. Losa de cimentación .....   | 69  |
| Figura 38. Equipo SPT .....  | 70  |
| Figura 39. Valores de la resistencia a compresión simple a partir de NSPT para suelos<br>cohesivos de distinta plasticidad ..... | 72  |
| Figura 40. Presión neta que se aplica a la cimentación.....  | 73  |
| Figura 41. Valores de A1 y A2 para el cálculo del asentamiento elástico .....  | 74  |
| Figura 42. Diagrama de diseño de ingeniería.....   | 80  |
| Figura 43. Equipo de corte directo .....   | 91  |
| Figura 44. Serie de tamices .....  | 91  |
| Figura 45. Agitador mecánico de tamices .....  | 92  |
| Figura 46. Equipo SPT .....  | 92  |
| Figura 47. Cuchara de Casagrande.....  | 93  |
| Figura 48. Horno eléctrico .....   | 94  |
| Figura 49. Balanza electrónica .....   | 94  |
| Figura 50. Probeta graduada.....   | 95  |
| Figura 51. Vidrio esmerilado .....   | 95  |
| Figura 52. Muestra de suelo embalada.....  | 97  |
| Figura 53. Excavación de calicatas con retroexcavadora.....  | 97  |
| Figura 54. Calicata excavada .....   | 98  |
| Figura 55. Peso de muestra de suelo humedo .....   | 99  |
| Figura 56. Muestras de suelo antes de llevarlas al horno.....  | 99  |
| Figura 57. Muestras de suelo puestas en el horno.....  | 99  |
| Figura 58. Peso de muestra se suelo seca.....  | 100 |
| Figura 59. Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido.....  | 102 |
| Figura 60. Preparación de la muestra de suelo para determinar el límite líquido .....  | 103 |
| Figura 61. Muestra de suelo lista para el ensayo de límite líquido .....   | 103 |
| Figura 62. Cierre del surco en la cuchara de Casagrande para el ensayo de límite líquido ...                                     | 104 |
| Figura 63. Muestra de suelo para contenido de humedad en el ensayo de límite líquido.....  | 104 |
| Figura 64. Equipo para el ensayo de límite plástico .....  | 107 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 65. Muestra de suelo amasada sobre el vidrio esmerilado.....                                    | 108 |
| Figura 66. Rollos de muestra de suelo que alcanza un diámetro de 3.2 mm .....                          | 108 |
| Figura 67. Peso de rollitos de muestra de suelo para contenido de humedad .....                        | 108 |
| Figura 68. Materiales y herramientas para el ensayo del peso volumétrico del suelo .....               | 111 |
| Figura 69. Pizeta graduada para el ensayo del peso volumétrico del suelo .....                         | 111 |
| Figura 70. Muestras de suelo talladas para el ensayo del peso volumétrico del suelo.....               | 112 |
| Figura 71. Parafina derretida para el ensayo del peso volumétrico del suelo .....                      | 112 |
| Figura 72. Muestras de suelo sumergidas en parafina .....  | 112 |
| Figura 73. Muestras de suelo secadas para el ensayo del peso volumétrico del suelo.....                | 113 |
| Figura 74. Determinación del volumen desplazado de la muestra de suelo con parafina.....               | 113 |
| Figura 75. Lavado de material a través del tamiz N° 200 .....  | 118 |
| Figura 76. Suelo retenido a través del tamiz N° 200.....   | 118 |
| Figura 77. Tamizado de la muestra de suelo seca .....  | 119 |
| Figura 78. Tallado de la muestra de suelo cohesivo .....   | 122 |
| Figura 79. Procedimiento de ensayo de corte directo mediante el equipo de corte .....                  | 123 |
| Figura 80. Equipo de SPT antes de armar .....  | 130 |
| Figura 81. Armado del equipo de SPT .....  | 130 |
| Figura 82. Instalacion del muestreador de 2” .....   | 131 |
| Figura 83. Martillo de 63.5 Kg de peso.....  | 131 |
| Figura 84. Inicio del ensayo de SPT .....  | 132 |
| Figura 85. Muestra de suelo del ensayo SPT .....   | 132 |
| Figura 86. Diagrama de la deformación con respecto al esfuerzo cortante para la calicata N° 1<br>..... | 158 |
| Figura 87. Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal para la calicata N° 1.....                 | 159 |
| Figura 88. Diagrama de la deformación con respecto al esfuerzo cortante para la calicata N° 2<br>..... | 163 |
| Figura 89. Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal para la calicata N° 2.....                 | 164 |



## 1. Capítulo I: Planteamiento del problema

### 1.1. Ámbito de influencia de la tesis

#### 1.1.1. Ubicación geográfica

La tesis denominada “Análisis comparativo en la estimación de la capacidad portante de un suelo cohesivo para diferentes tipos de cimentaciones superficiales, usando ecuaciones de cálculo y ensayo SPT según las características físico mecánicas del sector Tambocancha - Chinchero”, está ubicado en el sector de Tambocancha del distrito de Chinchero.

Tabla 1  
*Cuadro de ubicación de la tesis de investigación*

|                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| Región          | Cusco                       |
| Provincia       | Urubamba                    |
| Distrito        | Chinchero                   |
| Sector          | Tambocancha                 |
| Altitud         | 3754 m.s.n.m.               |
| Coordenadas UTM | N: 1439053.7<br>E: 174541.3 |

La tesis de investigación se encuentra dentro de la región Cusco al sur del territorio peruano en la provincia de Urubamba, departamento del Cusco, región Cusco como se muestran en las siguientes figuras.

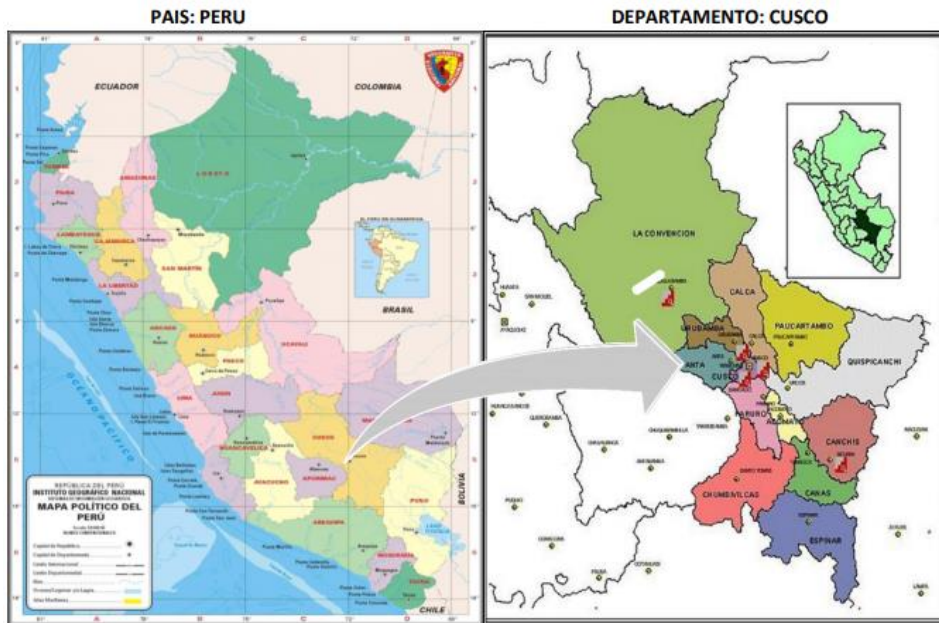


Figura 1. Ubicación departamental de la región Cusco  
Fuente: Instituto Geográfico Nacional

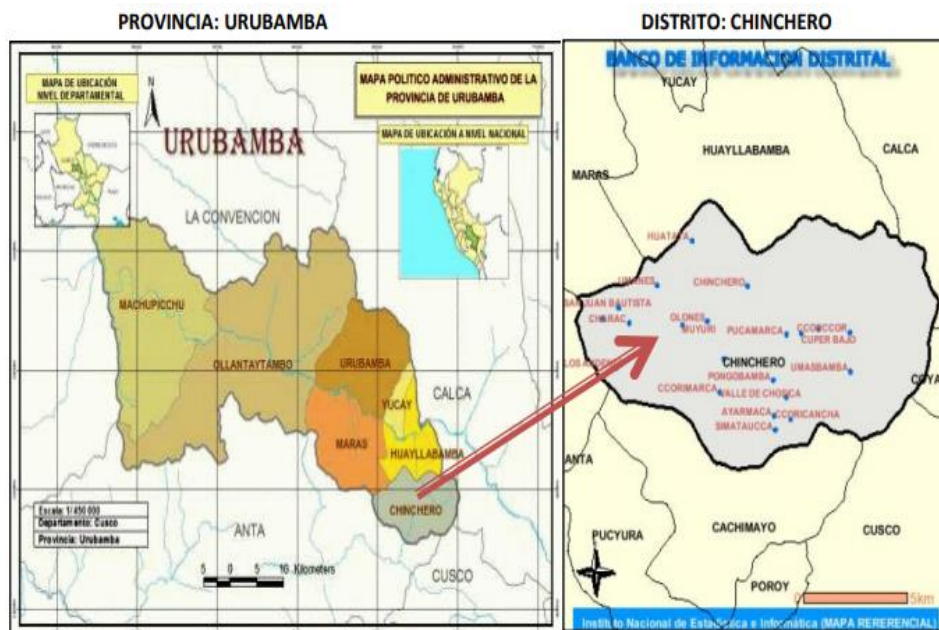


Figura 2. Ubicación provincial y distrital  
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática

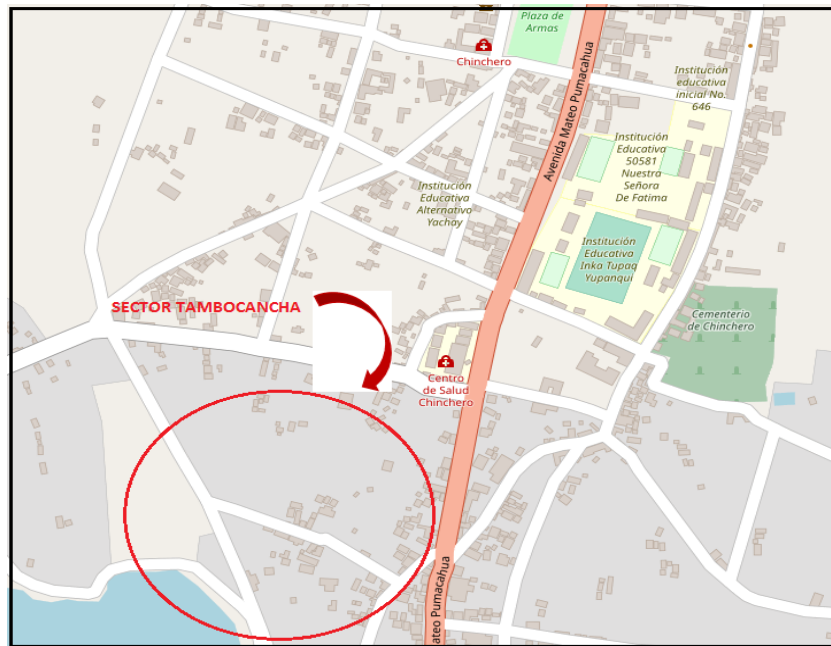


Figura 3. Ubicación del sector de Tambocancha  
Fuente: Google maps

### 1.1.2. Zonificación del área de estudio

El sector de Tambocancha - Chinchero, donde se desarrolló el estudio, está dentro de dos zonas según, el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Chinchero 2015-2025 provincia de Urubamba-departamento de Cusco, con convenio de cooperación interinstitucional N° 153-2015 vivienda, dentro de la cual el sector de Tambocancha está dentro de la zona denominada como residencial densidad media RDM, que según su definición estas zonas están destinadas a la ejecución y/o uso de vivienda unifamiliar, bifamiliar y multifamiliar, que tiene como usos permitidos el de vivienda y comercio, así como la zona denominada ZRT zona de recreación turística.

Dentro del Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Chinchero 2015-2025 provincia de Urubamba-departamento de Cusco, se indica también los parámetros urbanísticos a emplearse en dicho sector la cual se encuentra en el volumen III, del documento mencionado anteriormente.

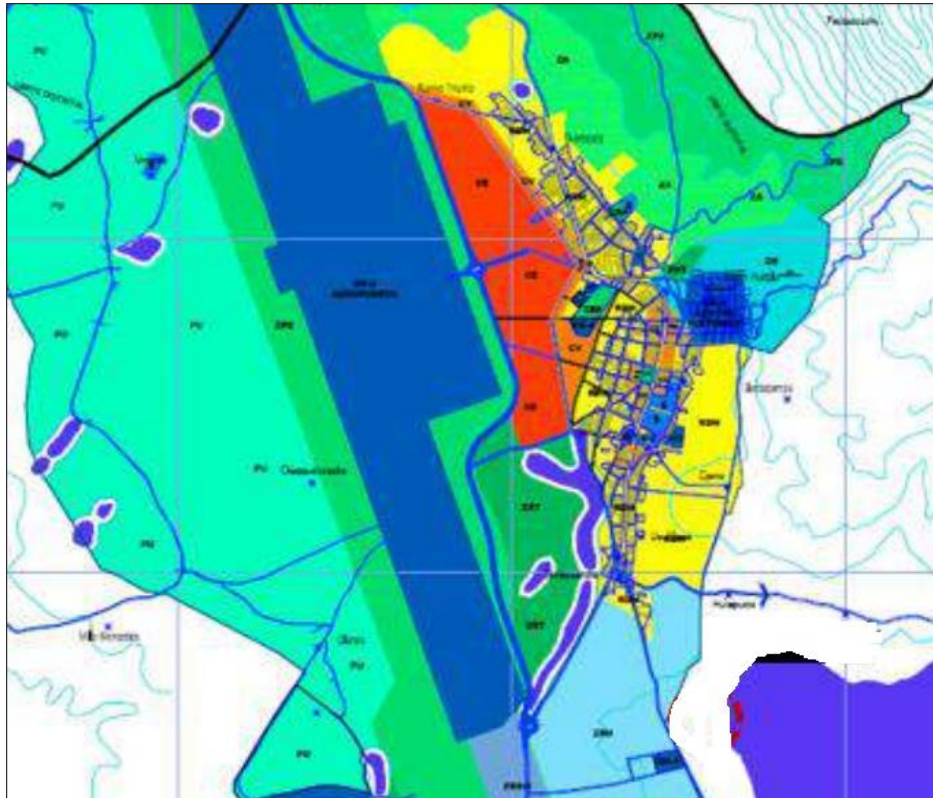


Figura 4. Plano de zonificación de la ciudad de Chinchero  
Fuente: Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Chinchero 2015-2025

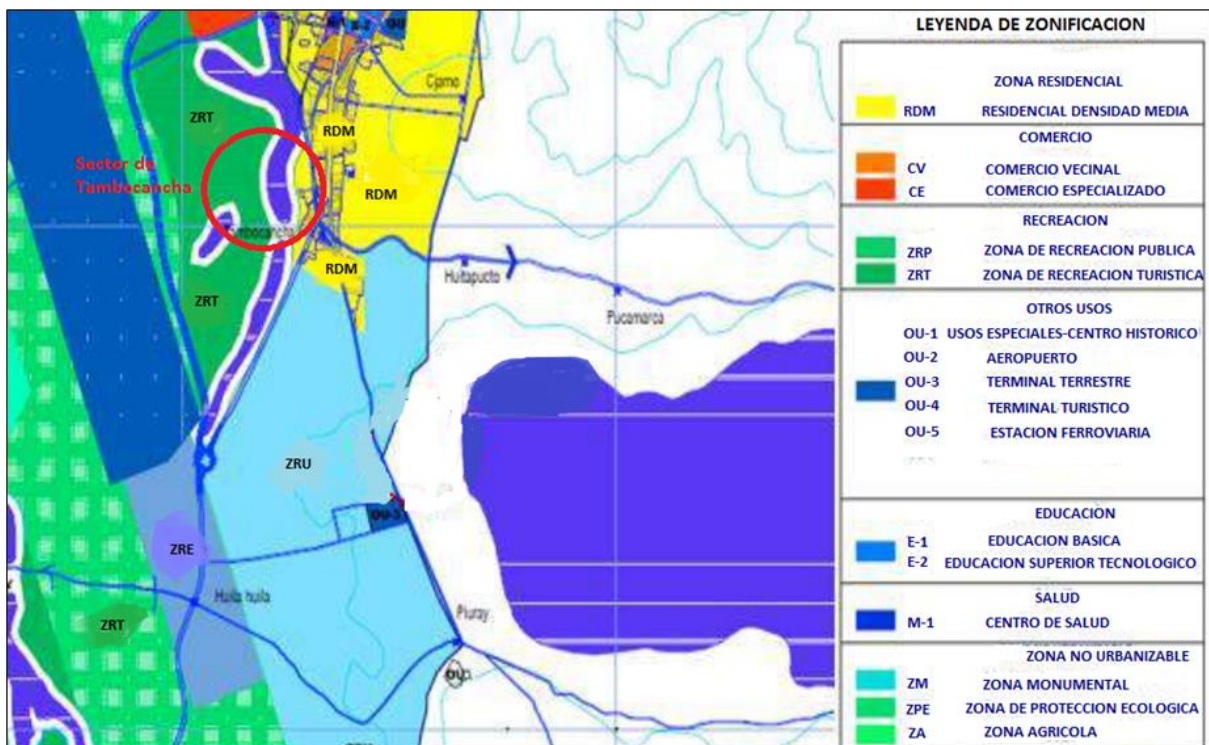


Figura 5. Zonificación del área de estudio  
Fuente: Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Chinchero 2015-2025





El área urbana en proceso de expansión y consolidación, se encuentra conformada por la Av. Mateo Pumacahua Calle Garcilaso (que corresponden al Centro Poblado), Cuper Pueblo, Querapata, Nueva Victoria, **Tambocancha**, Nuevo Triunfo y Kjamu.

Tabla 2  
*Distribución de la población del distrito de Chinchero*

| N°                                 | Nombre de la comunidad o sector |                | Población   |
|------------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Área urbana</b>                 |                                 |                |             |
| 1                                  | Mateo Pumacahua                 | Centro poblado | 970         |
| 2                                  | Calle Garcilaso                 | Centro poblado | 622         |
| 3                                  | Cuper pueblo                    | Sector         | 546         |
| 4                                  | Queropata                       | Sector         | 955         |
| 5                                  | Nueva Victoria                  | Sector         | 589         |
| <b>6</b>                           | <b>Tambocancha</b>              | <b>Sector</b>  | <b>322</b>  |
| 7                                  | Nuevo Triunfo                   | Sector         | 219         |
| 8                                  | Kjamu                           | Sector         | 108         |
| <b>Total población área urbana</b> |                                 |                | <b>4331</b> |

Fuente: Oficina de OMSABAR-Chinchero

## 1.2. Dimensiones propuestas para los diferentes tipos de cimentación

Con fines de investigación para la presente tesis se plantea una dimensión uniforme en ancho (B) y largo (L) para los cinco tipos de zapatas salvo para el tipo de cimentación de losa de cimentación que se plantea un dimensionamiento mayor.



Tabla 3

*Cuadro de dimensionamiento de los diferentes tipos de cimentaciones utilizados en la tesis, para las profundidades de 2m y 3m*

| <b>Tipo de cimentación</b> | <b>Ancho (B) de la cimentación en (m)</b> | <b>Largo (L) de la cimentación en (m)</b> |
|----------------------------|---|---|
| Zapata cuadrada            | 1   | 1   |
| Zapata rectangular         | 1   | 1   |
| Zapata continua            | 1   | 10  |
| Zapata circular*           | 1   | --  |
| Losa cimentación           | 10  | 15  |

\*Para la zapata circular se considera un radio  $R=B=1\text{m}$

### **1.3. Consideraciones para determinar la profundidad de cimentación**

Con respecto a la profundidad de cimentación se consideró realizar a la profundidad de 2m debido a que en la estratigrafía se tiene de manera similar para las calicatas (C- 1) y (C -2) en el primer estrato de 0.00 a -0.35m se tiene un tipo de suelo SM-ML (limo arenoso con presencia de arcilla y material orgánico), en el segundo tramo de -0.35 a -1.30m se tiene un tipo de suelo ML-CL (limo arcilloso con presencia de material orgánico) y del estrato de -1.30 a -5.00m se tiene un tipo de suelo CH (arcilla de alta plasticidad de color rojizo), ya que a los 2 m de profundidad se garantiza un tipo de material homogéneo sin presencia de material orgánico y también no tiene influencia del nivel freático que se encuentra a -2.65m. Para la profundidad de 3m de cimentación se consideró que a esa profundidad de mantiene un tipo de suelo cohesivo CH y en este caso si está bajo la influencia del nivel freático, el cual nos interesa saber el comportamiento que se tiene bajo estas condiciones para la tesis de investigación.

### **1.4. Identificación del problema**

#### **1.4.1. Descripción del problema**

La necesidad de la población de Tambocancha en Chinchero, sector próximo al aeropuerto internacional de Chinchero, de contar con viviendas así como también para actividades comerciales, hace que estas edificaciones se construyan sin ningún tipo de consideración técnica, haciendo que estas puedan tener fallas en las cimentaciones, conllevando a posibles



fallas en las estructuras de las viviendas, perjudicando social y económicamente a la población ante cualquier desastre natural que se pudiera presentar en el futuro.

Por consiguiente, es importante contar con la información del tipo de suelo, así como la capacidad admisible que puede soportar el suelo de esta zona, de manera que se pueda preverse en la etapa de cimentación en la construcción de las viviendas.

## **1.4.2. Formulación interrogativa del problema**

### **1.4.2.1. Formulación interrogativa del problema general**

¿Cuál de los métodos, ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic) tendrán un valor mayor de capacidad portante, respecto a los resultados del ensayo de penetración estática (SPT); para el diseño de cimentaciones superficiales y si la cimentación denominada losa de cimentación será la más adecuada para el uso en un suelo cohesivo para una falla por punzonamiento en función de su capacidad portante y de asentamiento?

### **1.4.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos**

1. ¿En cuánto influirá los parámetros de corrección de forma y profundidad en los cálculos de la capacidad portante mediante las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic) aplicadas a las cimentaciones superficiales?
2. ¿Existirá una relación entre las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic), si están basadas en una ecuación general estructurada en función de cohesión ( $c$ ), ángulo de fricción interna ( $q_0$ ) y peso específico ( $\gamma$ )?
3. ¿Cuál será la influencia del nivel freático si aumentaran los resultados de la capacidad portante de las ecuaciones de cálculo para un tipo de suelo cohesivo?
4. ¿Cuál será la profundidad a la que disminuya el asentamiento elástico primario, según la profundidad de cimentación?
5. ¿Existirá una relación directa entre las formas de tipos de cimentaciones con los resultados de sus respectivas capacidades portante?



## **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

### **1.5.1. Justificación técnica**

La presente investigación se centra en el estudio del análisis y comparación de la capacidad portante entre dos métodos, usando ecuaciones de cálculo y el ensayo SPT, para un tipo de suelo cohesivo y para diferentes tipos de cimentaciones, en la que se realizara un análisis de los resultados obtenidos para luego determinar la cimentación más adecuada según el tipo de suelo, la importancia de la definición de una buena cimentación es de suma importancia dentro de la construcción de una edificación ya que brindaran mayor seguridad ante eventos sísmicos y definirá de mejor manera la interacción entre la presión que pueda aplicarse a la cimentación.

### **1.5.2. Justificación social**

Dentro del aspecto social la tesis de investigación tiene la finalidad de brindar una ayuda técnica con respecto a una adecuada construcción de sus viviendas, desde la etapa de la cimentación, para poder determinar el tipo de cimentación más adecuado para un tipo de suelo cohesivo y la mejor alternativa entre las ecuaciones de cálculo y el ensayo SPT, que podrán ayudar a la construcción de las edificaciones para la población de Tambocancha en chinchero.

### **1.5.3. Justificación por viabilidad**

Desde el punto de vista de la viabilidad, la investigación es muy factible de realizar ya que para su elaboración en la etapa de toma de muestras es de fácil acceso dentro de la comunidad de Tambocancha, para la elaboración de los ensayos en laboratorio de las propiedades físico mecánicas del suelo se cuentan con los equipos necesarios para su elaboración, así como para el ensayo de SPT, y se cuenta con bibliografía para la elaboración de la investigación de tesis.



#### **1.5.4. Justificación por relevancia**

El sector de Tambocancha en Chinchero está muy próxima a lo que será en el futuro aeropuerto internacional de Chinchero, por lo que esta zona estará dentro del ámbito de influencia del aeropuerto, por tanto, la comunidad de Tambocancha tiene la necesidad de construir sus viviendas y también destinar edificaciones para el sector comercial que tendrá directa influencia por parte de lo que será el aeropuerto internacional, para lo cual se necesita de una investigación en este sector para brindarles edificaciones adecuadas y seguras a esta población.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

La presente investigación se realizó en la población de Tambocancha en el distrito de Chinchero en la provincia de Urubamba en la región Cusco. El tiempo de la investigación está determinado por el periodo de ensayos a realizar y el periodo de procesamiento de los datos obtenidos en las pruebas y ensayos realizados, así como dentro de los recursos, la investigación está restringido al financiamiento de los investigadores de esta tesis.

Dentro de las limitaciones, se considera que el área del terreno es plana, por tanto, no se consideran los factores de inclinación, factores de terreno (base en talud) y factores de carga excéntrica, para las ecuaciones de Meyerhof, Hansen y Vesic.

#### **1.7. Objetivo de la investigación**

##### **1.7.1. Objetivo general**

“Determinar si las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic) tendrán un valor mayor de capacidad portante, respecto a los resultados del ensayo de penetración estática (SPT); para el diseño de cimentaciones superficiales, la cimentación denominada losa de cimentación será la más adecuada para el uso en un suelo cohesivo para una falla por punzonamiento en función de su capacidad portante y de asentamiento”



### 1.7.2. Objetivos específicos

1. Determinar la influencia de los parámetros de corrección de forma y profundidad en los cálculos de la capacidad portante mediante las ecuaciones de cálculo aplicadas a las cimentaciones superficiales.
2. Determinar si las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic), están basadas en una ecuación general estructurada en función de cohesión ( $c$ ), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y peso específico ( $\gamma$ ).
3. Determinar si la presencia del nivel freático aumentara la capacidad portante en el resultado de las ecuaciones de cálculo halladas para un tipo de suelo cohesivo
4. Determinar si el asentamiento elástico primario disminuye según profundidades de cimentación.
5. Determinar la relación directa entre formas de los tipos de cimentación con los resultados de sus respectivas capacidades portantes.



## 2 Capítulo II: Marco teórico

### 2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

##### 2.1.1.1. Antecedente N° 1:

Título: “Análisis comparativo de las teorías de capacidad portante por corte de cimentaciones superficiales”.

Autor: José Alfredo Medina Seminario.

Centros de Estudios: Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil, Lima  
- Perú

Año: 2012

#### **Resumen:**

Un cimiento es la base de soporte de una estructura, constituye la interface a través de la cual se transmiten cargas al subsuelo y deben ser diseñadas de acuerdo a criterios de servicíabilidad y resistencia.

Históricamente los sistemas empleados para el diseño de la cimentación estuvieron basados en la experiencia de condiciones similares. La práctica durante siglos fue: "si funcionó antes deberá funcionar de nuevo; si se cayera, hacer la próxima cimentación más ancha o más profunda". Desafortunadamente, no se puede tomar tal actitud, tan literalmente en el clima político y económico de hoy, ya que en la actualidad los edificios son mucho más grandes y más sofisticados, cuya construcción está lejos de ser económica. De esto se concluye que se debe evitar la falla de la cimentación, pero al mismo tiempo no llegar a sobredimensionarla. La experiencia juega un papel muy importante en la ingeniería del suelo.

La mayoría de ingenieros pueden realizar una estimación razonable de los probables tipos de cimentación, en base a una inspección inicial del lugar y los resultados cuantitativos de unas cuantas perforaciones. Sin embargo, dichas estimaciones deben ser sustentadas por análisis más detallados.

El problema en cuestión, se resume a responder la pregunta ¿Cuál es la máxima presión que el suelo puede resistir dada una cimentación, antes que falle?, a la cual denominamos "capacidad portante" del suelo.



En la actualidad, existen diversas metodologías y aproximaciones teóricas para la estimación de la capacidad portante basados en la teoría de mecánica de suelos para obtener la relación entre los esfuerzos en falla, las propiedades relevantes del suelo y la geometría de la cimentación. Esta compleja relación solo se puede resolver haciendo un número de hipótesis simplificadoras. En consecuencia, la importancia de cualquier método analítico está gobernada por la magnitud en que estas suposiciones sean concordantes con la situación en estudio. ¿Qué hipótesis pueden ser aceptables en un caso y no aceptables en otro? Por eso se debe tener cuidado en la selección del método analítico para una situación en particular. La práctica de la ingeniería moderna requiere una estimación razonable de los tipos de cimentación y costos mucho antes que la construcción tome lugar; por esta razón, las aproximaciones comúnmente halladas, se basan en métodos analíticos teóricos.

Los métodos más empleados que vamos a tratar, tema de la presente tesis, son las teorías de Terzaghi, Meyerhof, Hansen y Vesic, las cuales establecen una ecuación general deducida de la falla por corte del suelo, dependiendo de las propiedades mecánicas del suelo y de las características físicas de la zapata.

Se trata entonces, de dilucidar el panorama actual, exponiendo los alcances y restricciones de los métodos mencionados, dando las recomendaciones necesarias para la elección del método adecuado de acuerdo a las condiciones del lugar en estudio.

El cálculo de la capacidad de carga, constituye pues, el marco básico del diseño, es así que, en todo proyecto de cimentación, el paso más importante es, sin duda, determinar la máxima carga que se puede aplicar al suelo, sin perder la estabilidad del conjunto, es decir que se produzca la rotura del suelo o un asentamiento excesivo.

#### **2.1.1.2. Antecedente N° 2:**

Título: “Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno, para cimentaciones superficiales”.

Autor: Samuel Laura Huanca.

Centro de Estudios: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Puno - Perú

Año: 2016





## Resumen:

En la bahía de Puno encontramos suelos finos cohesivos lacustres, formados principalmente por la sedimentación de suelos finos transportados, y la creciente necesidad de vivienda y espacios para construir diversas obras ha traído consigo problemas del comportamiento del suelo frente a las cargas que imponen las nuevas estructuras. Para construir las estructuras sobre el terreno de la bahía de Puno se requiere que los ingenieros tengan un amplio conocimiento sobre el comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la zona. El comportamiento mecánico del suelo, para el proyecto y construcción de cimentaciones superficiales, tiene el objetivo de determinar la carga máxima admisible, expresada mediante la capacidad portante del suelo, que no cause ningún problema de rotura o deformación excesiva del suelo que afecte el normal y adecuado funcionamiento en servicio de estructuras. Objetivo: El objetivo de esta tesis fue evaluar la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno para cimentaciones superficiales, mediante la aplicación de procedimientos y métodos disponibles. Método: Se realizó una revisión bibliográfica sobre los principios de mecánica de suelos para caracterizar y reconocer un suelo lacustre blando compresible, procedimientos y métodos de cálculo de la capacidad portante, tradicionalmente utilizados para el diseño de las cimentaciones superficiales. Igualmente, se ejecutaron ensayos de laboratorio para caracterizar y determinar las propiedades de los suelos lacustres de la bahía de Puno. A partir de los resultados de laboratorio se realizaron cálculos teóricos de la capacidad portante de los suelos lacustres de la bahía de Puno. Asimismo, se realizaron ensayos sobre modelos a escala real con zapatas apoyadas sobre el suelo lacustre de la bahía de Puno. Resultados: Los resultados de laboratorio nos mostraron la existencia de los suelos lacustres de la bahía de Puno, con contenidos de materia orgánica, que tiene baja resistencia al cortante y son compresibles, produciendo asentamiento perjudicial para las edificaciones que puedan proyectarse en la zona. Así mismo se observó que tanto los resultados teóricos como los ensayos a escala real que el criterio predominante para la determinación de la capacidad portante es el de la de formabilidad del suelo.

Adicionalmente, se determinó que las edificaciones con zapatas cuadradas de 1.00 m pueden soportar 1 piso en elevación y las edificaciones con zapatas cuadradas de 1.50 m soportarán 2 pisos. Igualmente, se determinó que se pueden usar los métodos por resistencia con una reducción del valor calculado y que el método más recomendable para calcular la capacidad portante es el de la consolidación unidimensional (edométrico).



## 2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

### 2.1.2.1. Antecedente N° 3:

Título: “Análisis de la capacidad soporte del suelo de cimentación del edificio de laboratorio de ingeniería”

Autor: Hilario Alexander Espinoza.

Centro de Estudios: UCA Universidad Centroamericana – Nicaragua.

Año: 2014.

#### **Resumen:**

En Nicaragua, en la práctica común, los estudios de suelo además de la clasificación del suelo de fundación incluyen una propuesta de la capacidad de carga que este tiene, basado en la aplicación de un solo método. Sin embargo, se ha sugerido (Bowls et,al.) que para hacer una propuesta confiable y razonable lo más recomendable es hacer una propuesta de cimentación basado en la aplicación de varios métodos tomando el promedio de este como el valor de capacidad de carga permisible. Es de esperarse que el uso de un valor de capacidad de carga permisible obtenido del promedio de varios métodos presente diferencias significativas en el caso que se usara un único método, esto por consiguiente podría tener implicaciones en la seguridad y en la economía del proyecto.

El presente trabajo investigativo pretende realizar un análisis de la capacidad de soporte del suelo de cimentación, con ayuda de estudios y pruebas realizados en el sitio, lo cual sería usado para estimar la capacidad de carga del suelo de cimentación a partir de la aplicación de 4 métodos que son: Terzaghi, Hansen, Meyerhof y Vesic. Las cargas actuantes en la estructura de cimentación son aproximadas según la tipología y configuración de la estructura.

El análisis de capacidad de carga se hace para condiciones estáticas y condiciones dinámicas para luego evaluar las diferencias en el tamaño de fundaciones requeridas

## 2.2. Aspectos teóricos pertinentes

### 2.2.1. Tamaño de partícula de suelo

“Independientemente de su origen, los tamaños de partículas que conforman el suelo pueden



variar en un amplio intervalo. Los suelos son generalmente llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo” (Braja, 2015, pág. 28).

Las arcillas se definen generalmente como partículas menores de 0.002 mm. En algunos casos las partículas de tamaño entre 0.002 y 0.005 mm también. Las partículas se clasifican como arcilla sobre la base de su tamaño, ya que no pueden contener necesariamente minerales de arcilla. Las arcillas se definen como aquellas partículas. (La plasticidad es la propiedad de las arcillas, parecida a la masilla, cuando contienen una cierta cantidad de agua.) Suelos no arcillosos pueden contener partículas de cuarzo, feldespato, mica o son lo suficientemente pequeños como para estar dentro de la clasificación de tamaño de arcilla. Por lo tanto, esto es apropiado para partículas de suelo más pequeñas que 2m o de 5m, como se ha definido bajo diferentes sistemas, a las que se llamará partículas de tamaño de arcilla en lugar de arcilla. Las partículas de arcilla son en la mayoría de su intervalo de tamaño coloidal ( $<1\mu$ ), y  $2\mu$  parece ser el límite superior. (Braja, 2015, pág. 28).

Tabla 4  
*Límites de separación de tamaño de suelo*

| Nombre de la organización  | Tamaño de grano (mm) |              |  |         |
|--|----------------------|--------------|--|---------|
|  | Grava                | Arena        | Limo   | Arcilla |
| Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)   | >2                   | 2 a 0.06     | 0.06 a 0.002                                 | <0.002  |
| Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)   | >2                   | 2 a 0.05     | 0.05 a 0.002                                 | <0.002  |
| Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)   | 76.2 a 2             | 2 a 0.075    | 0.075 a 0.002                                | <0.002  |
| Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) | 76.2 a 4.75          | 4.75 a 0.075 | Finos<br>(p.ej., linos y arcillas)<br><0.075 |         |

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)



“Los suelos finos son plásticos, y la resistencia depende tanto del rozamiento interno entre las partículas sólidas, como de las fuerzas de cohesión existentes entre las mismas, por lo que también se les denomina suelos cohesivos” (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 90).

### **2.2.2. Propiedades geotécnicas de las arcillas**

Las arcillas son materiales geotécnicamente problemáticos al depender su comportamiento de la composición mineralógica y de las condiciones geoquímicas y ambientales del medio. Estos factores con frecuencia sufren alteraciones, por ejemplo, si se modifica la composición química de las aguas pueden tener lugar reacciones dentro de la estructura mineral y cambios en las propiedades geotécnicas de los suelos. La composición mineralógica de las arcillas es el factor que mayor influencia ejerce sobre las propiedades geotécnicas, como la plasticidad, resistencia, compresibilidad, cambio de volumen, etc. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

La cantidad de agua adsorbida por los minerales de la arcilla depende de la capacidad de cambio catiónico y de la superficie específica. Las moléculas de agua se unen a la superficie de las partículas por enlaces dipolares que favorecen la agrupación de las partículas rodeándolas de una película de agua. La debilidad de los enlaces dipolares permite el desplazamiento de las partículas cuando se aplica una presión. En la figura se muestra la posición de distintos tipos de arcilla en la carta de plasticidad de Casagrande. Las plasticidades más bajas corresponden a las caolinitas y las más altas a las esmectitas, siendo las montmorillonitas sódicas las más elevadas dentro de este grupo. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

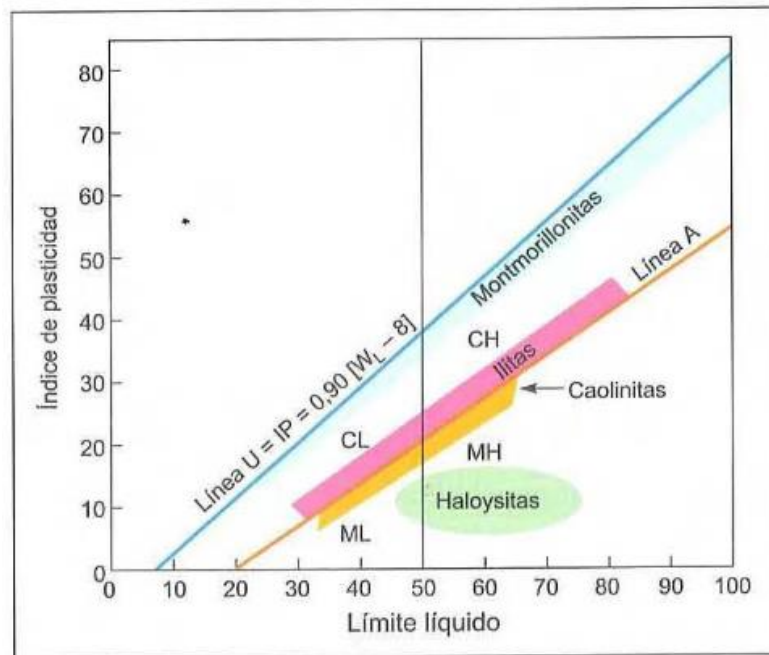
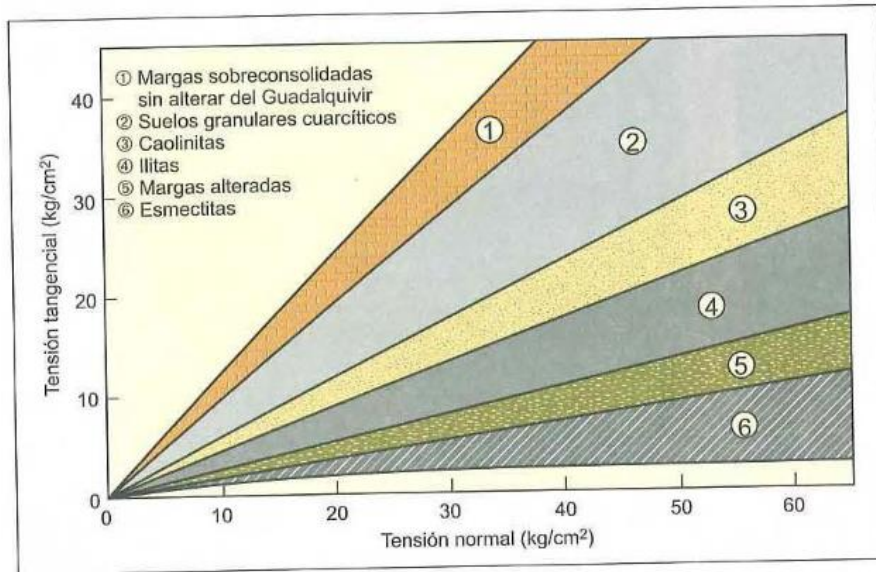


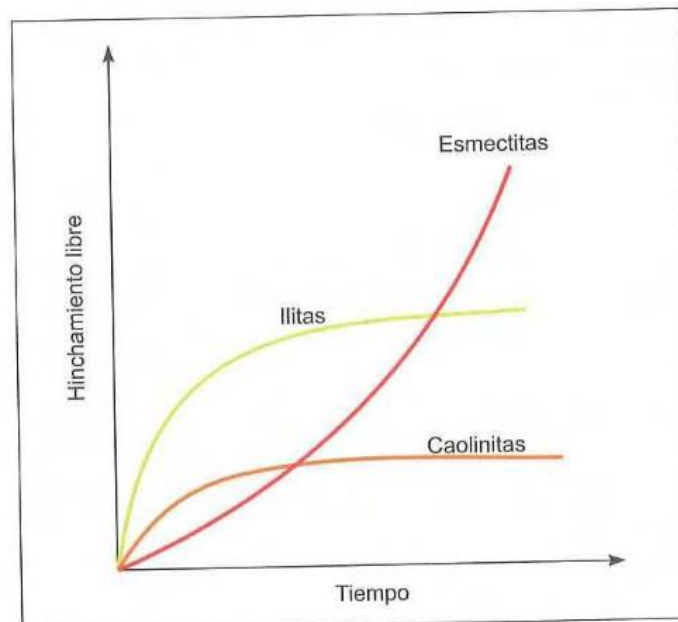
Figura 6. Influencia de la composición mineralógica en la plasticidad  
Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

- La actividad se define como la relación entre el índice de plasticidad y la fracción de arcilla y es un indicador de la composición mineralógica de las arcillas. Las arcillas se clasifican según su actividad en:
  - Activas: con un índice de actividad superior a 1.25
  - Normales: con una actividad comprendida entre 1.25 y 0.75
  - Inactivas: con una actividad inferior a 0.75 (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 94)
- “En la resistencia de los suelos arcillosos influye tanto el contenido en arcilla, como el tipo de mineral predominante. La resistencia al corte disminuye a medida que aumenta el contenido en arcilla, como se muestra en la figura”. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 94)



*Figura 7.* Influencia de la mineralogía en la resistencia  
Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

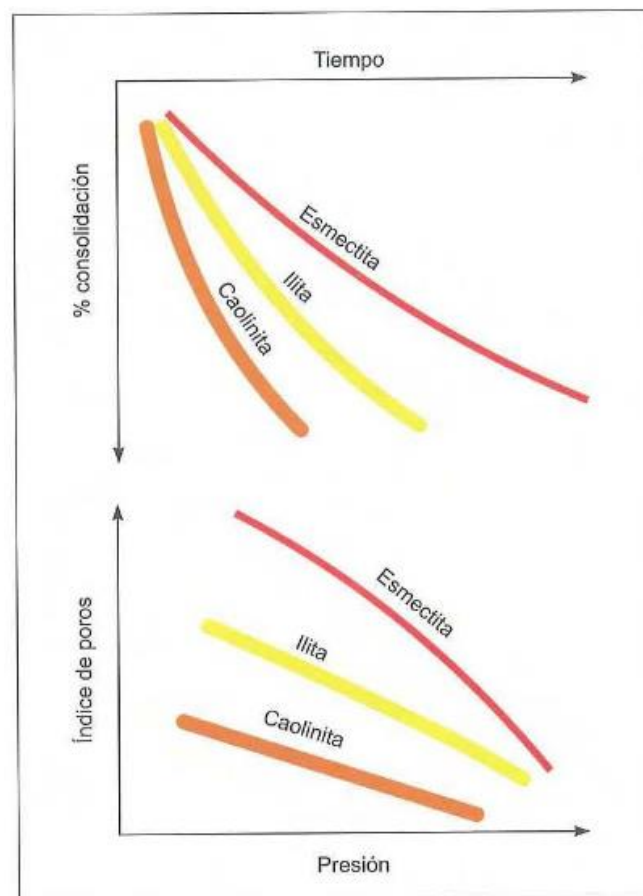
- “La capacidad de adsorción de agua en los bordes laminares y zonas interlaminares da lugar a los cambios de volumen en las arcillas en la figura se indican las tendencias más características para algunos minerales representativos”. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 94)



*Figura 8.* Cambio de volumen en función de la composición  
Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)



- La expansibilidad en los minerales de arcilla por adsorción de agua se debe a los siguientes factores; adsorción en superficie de moléculas de agua, hidratadas de los cationes de cambio (expansión osmótica, carga interlaminar de las montmorillonitas sódicas y presión en los bordes de las esmectitas magnetitas saponitas). (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 94)
- “La composición mineralógica también influye en el grado de compresibilidad de las arcillas. En la figura se indica las tendencias más significativas, siendo las más compresibles las esmectitas y las menos las caolinitas”. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 94)



*Figura 9.* Influencia de la composición mineralógica en la compresibilidad  
Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

### 2.2.3. Relaciones peso volumen

La figura muestra un elemento de suelo de volumen  $V$  y el peso  $W$ , ya que existiría en un estado natural. Para desarrollar las relaciones de peso-volumen, separamos las tres fases,

es decir, sólido, agua y aire, como se muestra en la figura 3.1b. Por lo tanto, el volumen total de una muestra de suelo dado puede ser expresado como. (Braja, 2015, pág. 49)

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Donde:

$V$  = volumen total de la muestra de suelo ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V_s$  = volumen de sólidos del suelo ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V_v$  = volumen de vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V_w$  = volumen de agua en los vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V_a$  = volumen de aire en los vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

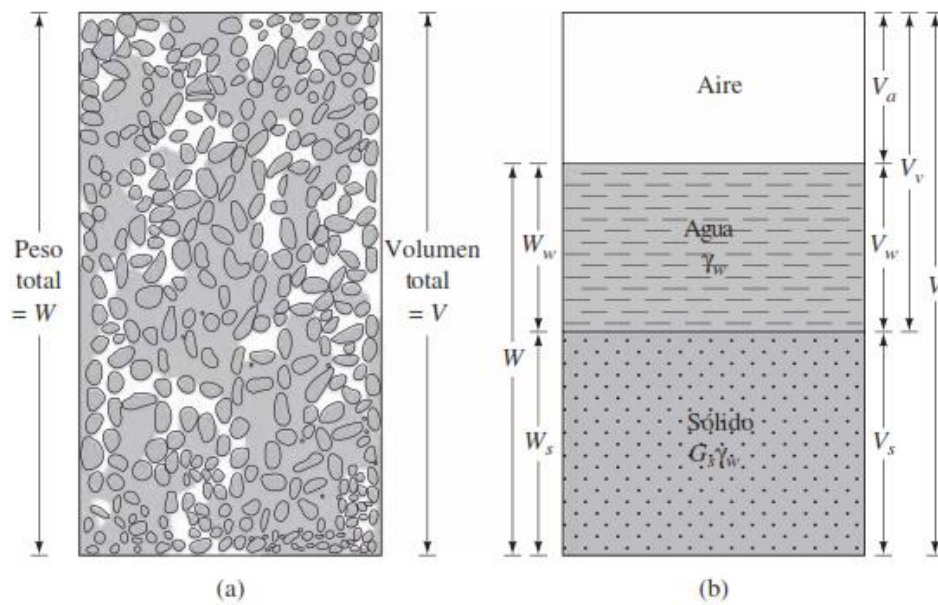


Figura 10. (a) elemento de suelo en estado natural, (b) tres fases del elemento de suelo  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja, 2015)

Suponiendo que el peso del aire es insignificante, podemos dar el peso total de la muestra como:

$$W = W_s + W_w$$

Donde:

$W$  = peso total de la muestra de suelo (kg, g, etc.)

$W_s$  = peso de sólidos del suelo (kg, g, etc.)

$W_w$  = peso del agua (kg, g, etc.)





### 2.2.3.1. Relaciones de volumen

Las relaciones de volumen de uso común para las tres fases en un elemento de suelo son la relación de vacíos, la porosidad y el grado de saturación. La relación de vacíos ( $e$ ) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen de sólidos, o (Braja, 2015, pág. 50)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde:

$e$  = relación de vacíos (adimensional)

$V_v$  = volumen de vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V_s$  = volumen de sólidos del suelo ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

La porosidad ( $n$ ) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen total, o

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Donde:

$n$  = porosidad (adimensional)

$V_v$  = volumen de vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V$  = volumen total de una muestra de suelo ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

El grado de saturación ( $S$ ) se define como la razón del volumen de agua al volumen de vacíos, o

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Donde:

$S$  = grado de saturación (adimensional)

$V_v$  = volumen de vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

$V_w$  = volumen de agua en los vacíos ( $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.)

### 2.2.3.2. Relación de peso

Las relaciones de peso comunes son el contenido de humedad y el peso unitario. El contenido de humedad ( $w$ ) también se conoce como contenido de agua y se define como la



razón del peso de agua al peso de los sólidos en un volumen dado de suelo, o (Braja, 2015, pág. 51)

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Donde:

$w$  = contenido de humedad (%)

$W_s$  = peso de sólidos del suelo (kg, g, etc.)

$W_w$  = peso del agua (kg, g, etc.)

El peso unitario ( $\gamma$ ) es el peso del suelo por unidad de volumen:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Donde:

$\gamma$  = peso unitario del suelo (kg/cm<sup>3</sup>)

$W$  = peso del suelo (kg, g, etc.)

$V$  = volumen total de una muestra de suelo (m<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, etc.)

El peso unitario también se puede expresar en términos del peso de sólidos del suelo, contenido de humedad y el volumen total.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[ 1 + \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \right]}{V} = \frac{W_s(1 + w)}{V}$$

Donde:

$\gamma$  = peso unitario del suelo (kg/cm<sup>3</sup>)

$W$  = peso del suelo (kg, g, etc.)

$V$  = volumen total de una muestra de suelo (m<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, etc.)

$W_s$  = peso de sólidos del suelo (kg, g, etc.)

$W_w$  = peso del agua (kg, g, etc.)

$w$  = contenido de humedad (%)

En ocasiones es necesario conocer el peso por unidad de volumen de suelo excluyendo el agua. Esto se conoce como peso unitario ( $\gamma_d$ ) por lo tanto.



Donde:

$\gamma_d$  = peso unitario seco ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$W_s$  = peso de sólidos del suelo (kg, g, etc.)

$V$  = volumen total de una muestra de suelo ( $\text{m}^3$ ,  $\text{cm}^3$ , etc.)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Se puede obtener la relación entre peso unitario, peso unitario seco y contenido de humedad.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso unitario seco ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$\gamma$  = peso unitario del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$w$  = contenido de humedad (%)

#### 2.2.4. Análisis mecánico de suelos

El análisis mecánico es la determinación de la gama de tamaños de partículas presentes en un suelo, expresados como un porcentaje del peso seco total (o masa). Generalmente se utilizan dos métodos para encontrar la distribución de tamaño de partícula de suelo: (1) análisis de tamiz para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro, y (2) análisis de hidrómetro para tamaños de partículas más pequeñas que 0.075 mm de diámetro. Los principios básicos del análisis de tamiz y el análisis de hidrómetro se describen a continuación. (Braja, 2015, pág. 33).

##### 2.2.4.1. Análisis de tamiz

El análisis de tamiz consiste en agitar la muestra de suelo a través de un conjunto de tamices que tienen aberturas más pequeñas progresivamente. Los números estándar de tamiz y los tamaños de las aberturas se dan en la siguiente tabla. (Braja, 2015, pág. 34).



Tabla 5  
*Tamaños estándar de tamices*

| Tamiz Núm. | Abertura (mm) |
|------------|---------------|
| 4          | 4.750         |
| 6          | 3.350         |
| 8          | 2.360         |
| 10         | 2.000         |
| 16         | 1.180         |
| 20         | 0.850         |
| 30         | 0.600         |
| 40         | 0.425         |
| 50         | 0.300         |
| 60         | 0.250         |
| 80         | 0.180         |
| 100        | 0.150         |
| 140        | 0.106         |
| 170        | 0.088         |
| 200        | 0.075         |

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

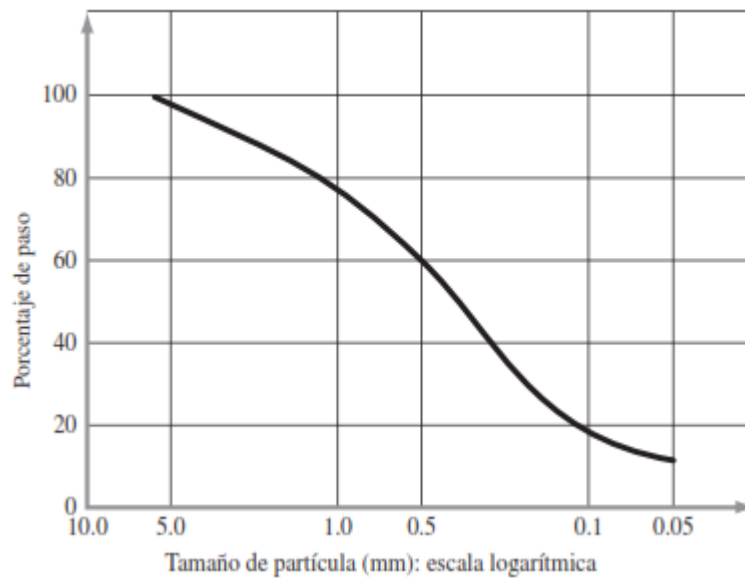


Figura 11. Curva de distribución de tamaño de partículas  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

En muchos casos los resultados del análisis de tamiz y del análisis de hidrómetro para las fracciones más finas de un suelo dado se combinan en un gráfico. Cuando se combinan estos resultados generalmente se produce una discontinuidad en el intervalo donde se superponen. Esta discontinuidad se debe a que las partículas del suelo son generalmente de forma irregular. El análisis de tamiz da las dimensiones intermedias de una partícula; el análisis de hidrómetro da el diámetro de una esfera equivalente que pueda depositarse al mismo ritmo que la partícula del suelo. (Braja, 2015, pág. 39)

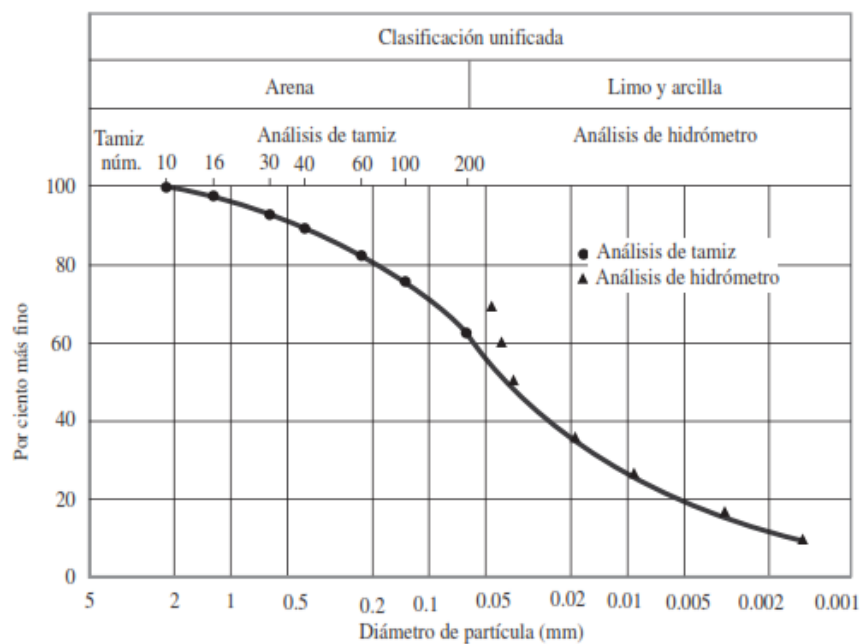
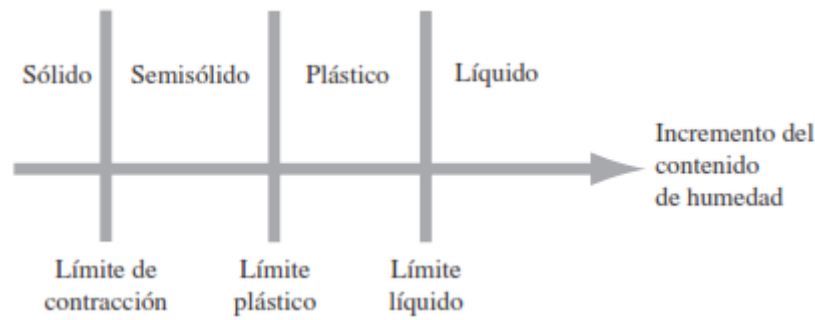


Figura 12. Curva de distribución de tamaño de partícula por tamiz e hidrómetro  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

#### 2.2.4.2. Consistencia del suelo

Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, como se muestra en la figura. (Braja, 2015, pág. 64).



*Figura 13.* Límites de Atterberg

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

#### 2.2.4.2.1. Plasticidad

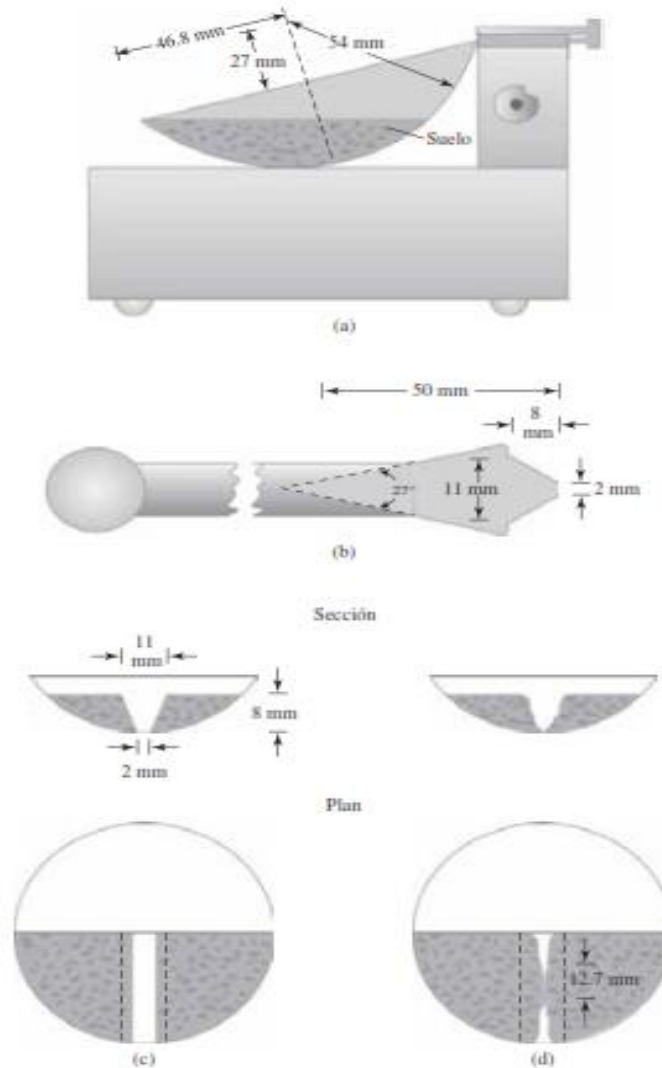
La granulometría proporciona una primera aproximación a la identificación del suelo, pero a veces queda poco claro (arena limo-arcilla, por ejemplo), por lo que se utilizan unos índices, derivados de la agronomía, que definen la consistencia del suelo en función del contenido de agua, a través de la determinación de la humedad: peso del suelo dividido por el peso del suelo seco (el peso del agua se determina por diferencia entre el peso de la muestra de suelo antes y después de secarlo en estufa el tiempo necesario para que se evapore esa agua). (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 23).

A este respecto, Atterberg definió tres límites: el de retracción o consistencia que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el límite plástico que separa el estado semisólido del plástico y el estado líquido que separa el plástico del semilíquido; estos dos últimos límites (los más usados en la práctica) se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40 ASTM (0.1 mm). (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 23).

#### 2.2.4.2.2. Límite líquido

En la figura se muestra el diagrama esquemático (vista lateral) de un dispositivo de límite líquido. Este dispositivo consiste en una copa de latón y una base de goma dura. La copa de latón se puede soltar sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba de límite líquido, se coloca una pasta de suelo en la copa y se hace un corte en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de ranurado estándar. Entonces la copa se eleva con la leva accionada por la manivela y se deja caer desde una altura de 10 mm. El

contenido de humedad, en porcentaje, necesario para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo de la parte inferior de la ranura después de 25 golpes se define como el límite líquido. (Braja, 2015, pág. 65)



*Figura 14.* Prueba de límite líquido  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

El procedimiento para la prueba de límite líquido dada en ASTM es la Designación ASTM D-4318. Es difícil ajustar el contenido de humedad en el suelo para satisfacer el cierre requerido de 12.7 mm de la ranura en la pasta de suelo con 25 golpes. Por lo tanto, al menos se realizan cuatro pruebas para el mismo suelo con un contenido variable de humedad para determinar el número de golpes  $N$ , que varía entre 15 y 35, necesario para lograr el cierre. El contenido de humedad del suelo en porcentaje y el correspondiente



número de golpes se representan gráficamente en papel cuadrículado semilogarítmico. La relación entre el contenido de humedad y  $\log N$  es casi como una línea recta. Esto se conoce como curva de flujo. El contenido de humedad correspondiente a  $N = 25$ , determinado a partir de la curva de flujo, da el límite líquido del suelo. (Braja, 2015, pág. 65)

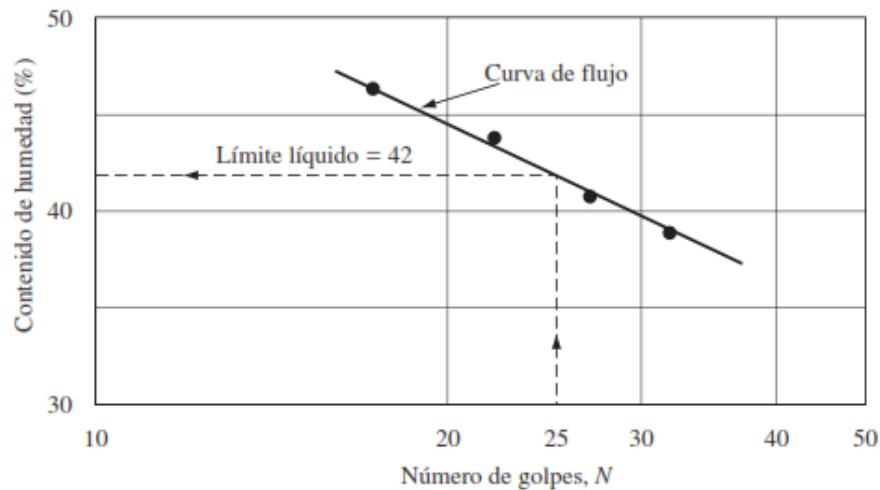


Figura 15. Curva de flujo para del límite líquido de arcilla limosa  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

### 2.2.4.2.3. Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba es simple y se realiza mediante rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado. (Braja, 2015, pág. 65)

“El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. El procedimiento para la prueba de límite plástico se da en la norma ASTM, Designación ASTM D-4318” (Braja, 2015, pág. 65)

$$PI = LL - PL$$

Donde:

$PI$  = índice de plasticidad (%)

$LL$  = límite líquido (%)

$PL$  = límite plástico (%)





### 2.2.4.3. Carta de plasticidad

Los límites líquido y plástico se determinan por pruebas de laboratorio relativamente sencillas que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas han sido utilizadas ampliamente por los ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudió la razón del índice de plasticidad con el límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Sobre la base de los resultados de la prueba, se propuso una carta de plasticidad como la que se muestra. La característica importante de este cuadro es la línea A empírica que está dada por la ecuación  $PI = 0.73(LL - 20)$ . La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos de arcillas inorgánicas se encuentran por encima de la línea A, y las de limos inorgánicos se encuentran por debajo de esta línea. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (por debajo de la línea A y con LL que va de 30 a 50), como los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas parcela se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (por debajo de la línea A y LL mayor de 50). La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema de Clasificación Unificado de Suelos. (Braja, 2015, pág. 73)

Considere que una línea llamada U se encuentra por encima de la línea A. La línea U es de aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad al límite de líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación de la línea U se puede dar como  $PI = 0.9(LL - 8)$ . (Braja, 2015, pág. 73)

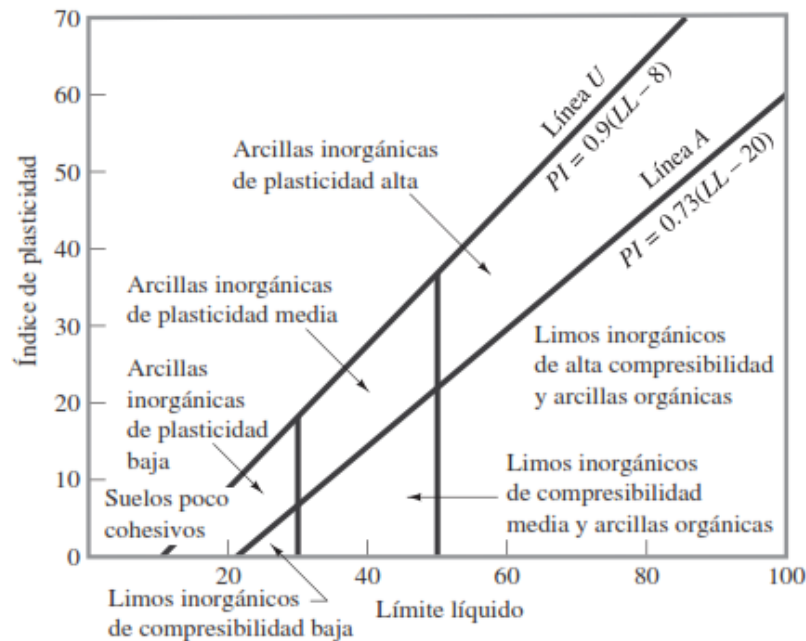


Figura 16. Carta de plasticidad  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

## 2.2.5. Clasificación de suelos

### 2.2.5.1. Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha sido objeto de varias revisiones, con la actual versión propuesta por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145). (Braja, 2015, pág. 79).

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos son principalmente limo y materiales del tipo de arcilla. El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios: (Braja, 2015, pág. 80).

#### 1. Tamaño de grano

Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz núm. 10 (2 mm).



Arena: fracción que pasa el tamiz núm. 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm).

Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz núm. 200

2. *Plasticidad*: el término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.
3. Si se encuentran *cantos* y guijarros (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material.

Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta.

La figura muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo. (Braja, 2015, pág. 80)



Tabla 6  
Clasificación de materiales de carreteras subrasante AASHTO

| Clasificación general                                     | Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200) |         |            |                                |         |         |         |
|---|--|---------|------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
|   | A-1  |         |            | A-2                            |         |         |         |
| Grupo de clasificación                                    | A-1-a  | A-1-b   | A-3        | A-2-4                          | A-2-5   | A-2-6   | A-2-7   |
| Análisis de tamiz (porcentaje de paso)                    |  |         |            |                                |         |         |         |
| Núm. 10   | 50 máx.  |         |            |                                |         |         |         |
| Núm. 40   | 30 máx.  | 50 máx. | 51 mín.    |                                |         |         |         |
| Núm. 200  | 15 máx.  | 25 máx. | 10 máx.    | 35 máx.                        | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. |
| Características de la fracción de paso núm. 40            |  |         |            |                                |         |         |         |
| Límite líquido  |  |         |            | 40 máx.                        | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de plasticidad                                     | 6 máx.   |         | NP         | 10 máx.                        | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Tipos comunes de materiales significativos constituyentes |  |         |            |                                |         |         |         |
|   | Fragmentos de roca, grava y arena  |         | Arena fina | Limo o grava arcillosa y arena |         |         |         |
| Clasificación general de la subrasante                    |  |         |            | Excelente a bueno              |         |         |         |

| Clasificación general                                     | Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200) |         |                   |                         |
|---|--|---------|-------------------|-------------------------|
|   | A-4  | A-5     | A-6               | A-7                     |
| Grupo de clasificación                                    |  |         |                   | A-7<br>A-7-5*<br>A-7-6† |
| Análisis de tamiz (porcentaje de paso)                    |  |         |                   |                         |
| Núm. 10   |  |         |                   |                         |
| Núm. 40   |  |         |                   |                         |
| Núm. 200  | 36 mín.  | 36 mín. | 36 mín.           | 36 mín.                 |
| Características de la fracción de paso núm. 40            |  |         |                   |                         |
| Límite líquido  | 40 máx.  | 41 mín. | 40 máx.           | 41 mín.                 |
| Índice de plasticidad                                     | 10 máx.  | 10 máx. | 11 mín.           | 11 mín.                 |
| Tipos comunes de materiales significativos constituyentes |  |         |                   |                         |
|   | Suelos limosos   |         | Suelos arcillosos |                         |
| Clasificación general de la subrasante                    |  |         | Regular a malo    |                         |

\*Para A-7-5,  $PI \leq LL - 30$   
†Para A-7-6,  $PI > LL - 30$

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

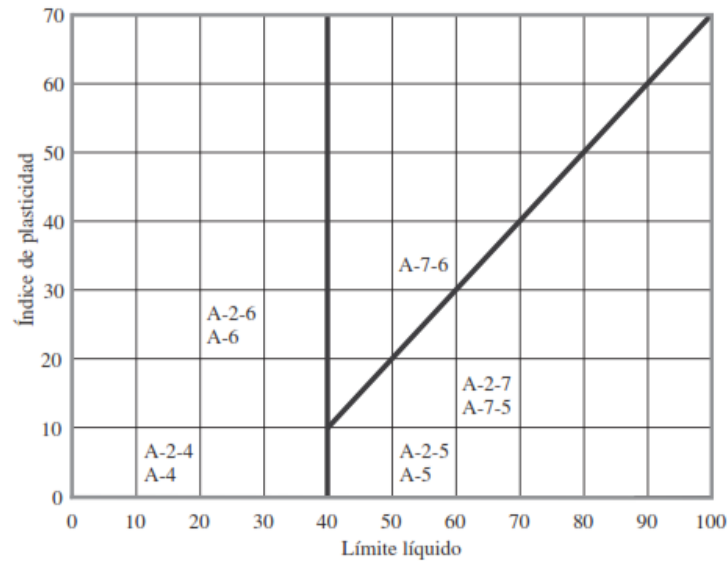


Figura 17. Rango de límite líquido e índice de plasticidad  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, (Braja, 2015)

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Donde:

$F$  = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

$LL$  = límite líquido (%)

$PI$  = índice de plasticidad (%)

El primer término de la ecuación, es decir  $(F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)]$ , es el índice de grupo parcial determinado por el límite líquido. El segundo término,  $0.01 (F - 15) (PI - 10)$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. A continuación, se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

1. Si la ecuación da un valor negativo para  $IG$ , se toma como 0.
2. El índice de grupo calculado a partir de la ecuación se redondea al número entero más próximo (por ejemplo,  $IG = 3.4$  se redondea a 3;  $IG = 3.5$  se redondea a 4).
3. No hay límite superior para el índice de grupo.
4. El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A- 1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
5. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para PI, o

$$IG = 0.01(F - 15)(PI - 10)$$



En general, la calidad del rendimiento de un suelo como material de subrasante es inversamente proporcional al índice de grupo. (Braja, 2015, pág. 81)

#### 2.2.5.2. Sistema de clasificación SUCS

Determinados  $W_L$  y  $W_P$  se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo en la carta de plasticidad de Casagrande, representa tanto la relación de límite líquido  $W_L$  con el índice de plasticidad  $I_P$ , ( $I_P = W_L - W_P$ , representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido). A partir de diversos estudios prácticos, Casagrande definió que los suelos con  $W_L > 50$  son de alta plasticidad (admiten mucha agua, pueden experimentar deformaciones plásticas grandes, etc.); por debajo de este valor los suelos se consideran de baja plasticidad. También definió una línea A que resulta paralela a la dirección con que, en esa carta, se ordenan las muestras de un mismo terreno. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 23).

Utilizando la línea A y el criterio de baja y alta plasticidad, en la carta de Casagrande se definen varias zonas, representadas en la figura según los estudios del citado autor los suelos limosos y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido a semilíquido, situándose por debajo de la línea A, mientras que las arcillas están por encima de dicha línea. Se define así, varios tipos de suelos: arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH), limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL), limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH). En la práctica se representa el punto correspondiente a los valores determinados de  $W_L$  e  $I_P$  y se obtiene una clasificación que sirve para completar la identificación de un suelo, con lo que se puede conocer el predominio de la ración arcillosa o limosa. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 23).

“Casagrande completo este sistema de identificación con datos de granulometría y definió el sistema unificado de clasificación de suelos, muy usado en la práctica” (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 23).

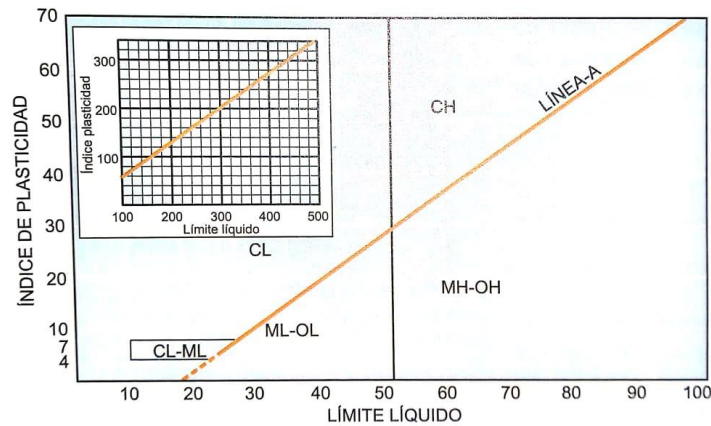


Figura 18. Carta de Plasticidad de Casagrande

Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

| Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm y basando las fracciones en pesos estimados) |   | Símbolo del grupo   | Nombres típicos   |  |   |   |
|--|---|---|---|--|---|---|
| Suelos de grano grueso más de la mitad del material es referido por el tamiz N.º 200                                 | Gravas más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4 | Gravas limpias (Con pocos finos o sin ellos)  | Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios          | <b>GW</b>                                      | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos |   |
|  |   | Gravas limpias (Con pocos finos o sin ellos)  | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | <b>GP</b>                                      | Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos  |   |
|  |   | Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)   | Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo <b>ML</b> más abajo)       | <b>GM</b>                                      | Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo                |   |
|  |   | Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)   | Finos plásticos (para la identificación ver el grupo <b>CL</b> más abajo)                 | <b>GC</b>                                      | Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla          |   |
|  | Arenas más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4        | Arenas limpias (Con pocos finos o sin ellos)  | Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios          | <b>SW</b>                                      | Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos         |   |
|  |   |   | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | <b>SP</b>                                      | Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos          |   |
|  |   | Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)   | Finos no plásticos (para identificación ver el grupo <b>ML</b> más abajo)                 | <b>SM</b>                                      | Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas                       |   |
|  |   |   | Finos plásticos (para identificación ver el grupo <b>CL</b> más abajo)                    | <b>SC</b>                                      | Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arena arcillosas                 |   |
|  |   | Métodos de identificación para la fracción que pasa el tamiz N.º 40   |   |  |   |   |
|  |   | Suelos de grano fino más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista) | Limos y arcillas con límite líquido menor de 50   | Resistencia en estado seco (a la disgregación) | Distancia (reacción a la agitación)   | Tenacidad (consistencia)  |
| Nula a ligera  | Rápida a lenta  |   |   | Nula   | <b>ML</b>   | Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad |
| Media a alta   | Nula a muy lenta  |   |   | Media  | <b>CL</b>   | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas     |
| Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50  | Ligera a media  |   | Lenta   | Ligera   | <b>OL</b>   | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad  |
|  | Ligera a media  |   | Lenta a nula  | Ligera a media                                 | <b>MH</b>   | Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos                   |
|  | Alta a muy alta   |   | Nula  | Alta   | <b>CH</b>   | Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas  |
|  | Media a alta  | Nula a muy lenta  | Ligera a media  | <b>OH</b>                                      | Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta                              |   |
| Suelos altamente orgánicos   |   | Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa   |   | <b>Pt</b>                                      | Turba y otros suelos altamente orgánicos                                    |   |

Figura 19. Sistema de Clasificación SUCS

Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)



### 2.2.5.3. Ensayo de corte directo

Las muestras de suelo pueden ser cuadradas o circulares. El tamaño de las muestras utilizadas generalmente es alrededor de 20 a 25 cm<sup>2</sup> de sección transversal y de 25 a 30 mm de altura. La caja se divide horizontalmente en dos mitades. La fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre las muestras puede ser tan grande como 1000 kN/m. La fuerza cortante se aplica moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra para provocar una falla en la muestra de suelo. (Braja, 2015, pág. 233).

Dependiendo del equipo, la prueba de corte puede ser de esfuerzo controlado o deformación controlada. En las pruebas de esfuerzo controlado, la fuerza de corte es aplicada en incrementos iguales hasta que la muestra falla y ésta ocurre a lo largo del plano de división de la caja de corte. Después de la aplicación de cada carga incremental, el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja se mide con un indicador horizontal. El cambio en la altura de la muestra (y por lo tanto el cambio de volumen) durante la prueba se puede obtener a partir de las lecturas de un indicador que mide el movimiento vertical de la placa superior de carga. (Braja, 2015, pág. 233).

En las pruebas de deformación controlada, por medio de un motor que actúa a través de engranajes se aplica una velocidad constante de desplazamiento de cizalladura a una mitad de la caja. La constante de velocidad de desplazamiento de corte se mide mediante un indicador de cuadrante horizontal. La fuerza de resistencia cortante del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento de cizalladura se puede medir por un anillo de prueba horizontal o celda de carga. El cambio de volumen de la muestra durante la prueba se obtiene de una manera similar a las pruebas de esfuerzo controlado. (Braja, 2015, pág. 233).



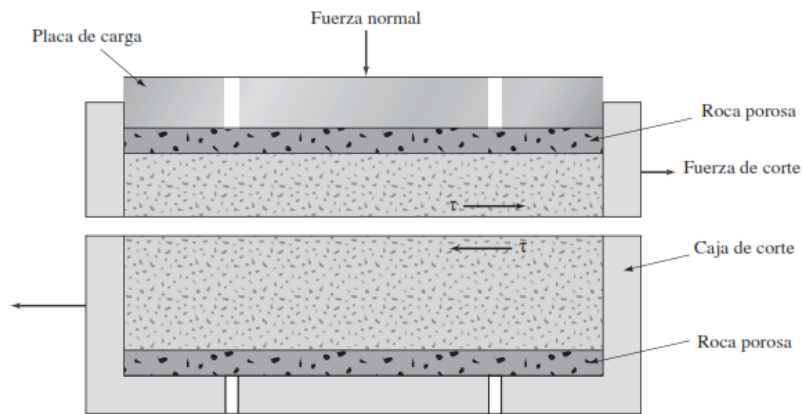


Figura 20. Diagrama de arreglo de prueba de corte directo  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja, 2015)

En las pruebas de esfuerzo controlado sólo la resistencia máxima al corte puede ser observada y graficada. Tenga en cuenta que la resistencia máxima al esfuerzo cortante en las pruebas de esfuerzo controlado sólo puede ser aproximada. Esto es debido a que la falla se produce a un nivel de esfuerzo en algún lugar entre el incremento de carga de prefalla y el incremento de la carga de falla. Sin embargo, las pruebas de esfuerzo controlado probablemente simulan situaciones reales de campo mejor que las pruebas de deformación controlada. (Braja, 2015, pág. 234).

Para una prueba determinada en suelo seco, el esfuerzo normal se puede calcular como

$$\sigma = \sigma' = \text{esfuerzo normal} = \frac{\text{fuerza normal}}{\text{área de la sección transversal de la muestra}}$$

La resistencia al esfuerzo cortante para cualquier desplazamiento de cizalladura se puede calcular como

$$\tau = \text{esfuerzo cortante} = \frac{\text{resistencia al esfuerzo de corte}}{\text{área de la sección transversal de la muestra}}$$

Con relación a la movilización de resistencia al corte, se muestra cualitativamente los resultados de un ensayo de un ensayo drenado completo con el descrito. En abscisas se representa el desplazamiento horizontal ( $\Delta x$ ) de la parte inferior de la caja de corte y en ordenadas la tensión tangencial ( $\tau$ ) medida para cada valor de dicho desplazamiento. Se pueden observar los siguientes aspectos de interés. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 77)



- Sea cual sea la tensión efectiva normal aplicada, la tensión tangencial movilizada aumenta progresivamente a medida que progresa el desplazamiento de la caja de corte hasta que se alcanza un máximo ( $\tau_f$ ).
- Cuando mayor es la tensión efectiva normal inicial, mayor es la tensión tangencial máxima alcanzada.
- La pendiente inicial de la curva tensión tangencial-desplazamiento horizontal es más pronunciada cuanto mayor es la tensión efectiva normal inicial, lo que indica que el suelo aumenta la rigidez con el nivel de tensiones. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 77)

En la figura se muestra las tensiones tangenciales máximas de las curvas anteriores junto con las tensiones efectivas normales iniciales. Como puede apreciarse, los puntos los puntos representativos ( $\sigma'_n, \tau_f$ ) de los tres ensayos se puede unir de forma bastante aproximada con una recta, que sería la línea de resistencia intrínseca o envolvente de rotura de la que se pueden fácilmente obtener los parámetros ( $c'$ ,  $\phi'$ ). (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 77).

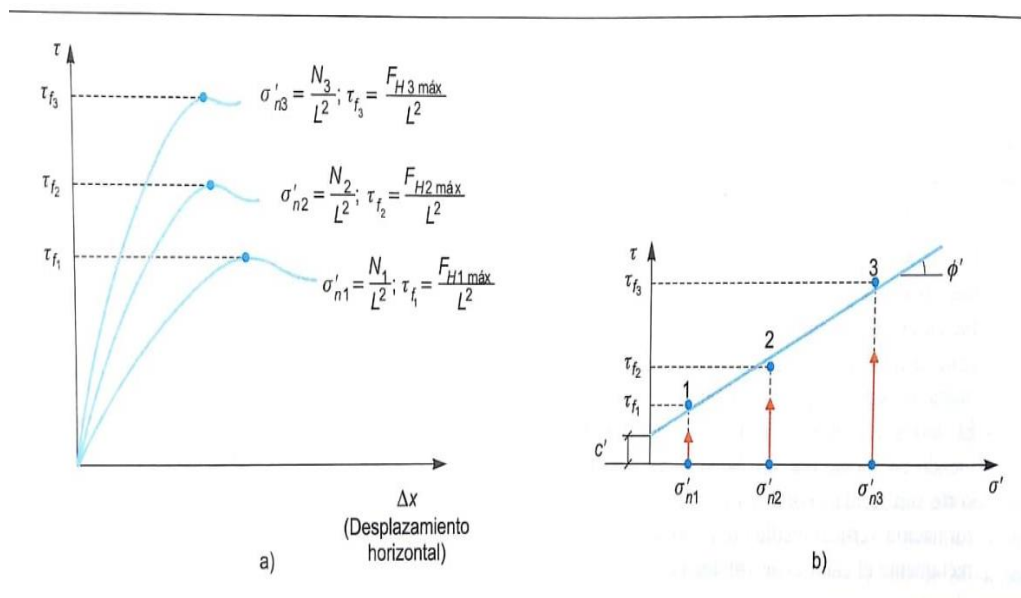


Figura 21. Envolvente de rotura y parámetros de resistencia al corte  
Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

#### 2.2.5.4. Arcillas de alta plasticidad

En el caso de los suelos de alto contenido en arcilla, la resistencia movilizada puede disminuir de forma muy marcada a medida que se acumulan las deformaciones, llegando a desarrollar una envolvente de resistencia netamente por debajo de la proporcionada por  $c' = 0, \phi'_{NC}$ . Esta resistencia se llama resistencia residual, y viene definido por los parámetros de resistencia residual por  $c'_r = 0, \phi'_r < \phi'_{NC}$ .

El mecanismo que explica la disminución de resistencia hasta condiciones residuales proviene de la forma laminar de las partículas que constituyen los minerales de arcilla. Así, a medida que aumenta el nivel de deformación de corte, las partículas se reorientan progresivamente, terminando por disponerse en paralelo, disposición esta más débil que la original. La reorientación de partículas se concentra habitualmente en una banda de delgado espesor, en donde se desencadena la rotura. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 82).

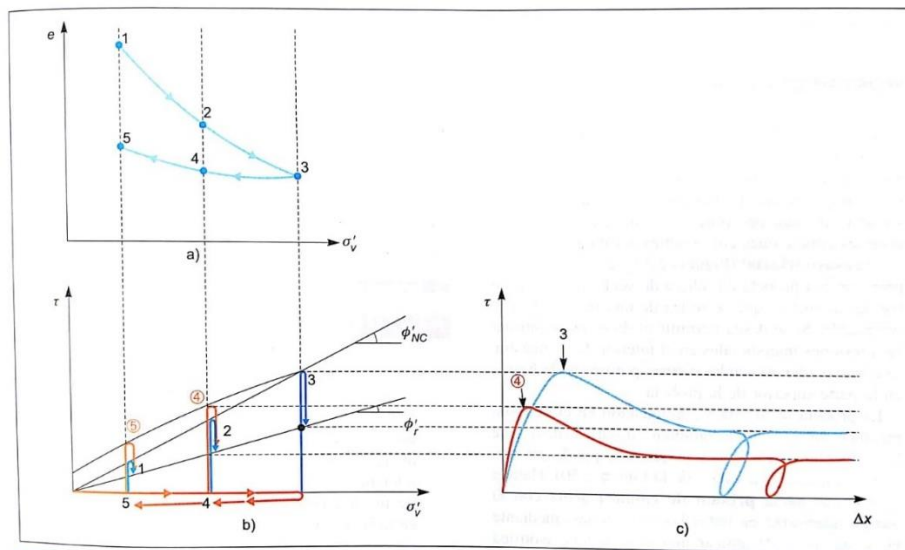


Figura 22. Curvas de ensayo de arcillas de alta plasticidad  
Fuente: Ingeniería Geotécnica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

#### 2.2.6. Cimentaciones superficiales

Generalmente se denomina cimentación a la parte más baja de una estructura. Su función es transferir la carga de la estructura al suelo sobre el que está descansando. Una cimentación diseñada adecuadamente es una que transfiere la carga a lo largo del suelo sin



sobrecargarlo. Sobre esforzar el suelo puede resultar en asentamiento excesivo o falla de corte del mismo, ambos causando daño a la estructura. Por lo tanto, los ingenieros geotécnicos y estructurales que diseñan cimentaciones deben evaluar la capacidad de carga o portante de los suelos. (Braja, 2015, pág. 478).

La forma y las dimensiones de esos apoyos son función de las cargas y de la naturaleza del terreno. Cuando este lo permite se suele acudir a cimentaciones directas, que reparten las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal. Habitualmente, pero no siempre, este tipo de cimentación se construye a poca profundidad debajo de la superficie, por lo que también son llamadas cimentaciones superficiales. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 394).

### **A. Falla general por corte**

Se considera una cimentación corrida con un ancho  $B$  que se apoya sobre la superficie de una arena densa o suelo cohesivo rígido, como se muestra en la figura 3.1a. Ahora, si se aplica una carga gradualmente a la cimentación, el asentamiento se incrementará. La variación de la carga por área unitaria ( $q$ ) sobre la cimentación con el asentamiento de la cimentación también se muestra en la figura 3.1a. En cierto punto, cuando la carga por área unitaria es igual a  $q_u$ , ocurrirá una falla repentina en el suelo que soporta la cimentación y la superficie de falla en el suelo se extenderá hasta la superficie del terreno. A esta carga por área unitaria,  $q_u$ , suele referírsele como capacidad de carga última de la cimentación. (Das, 2012, pág. 133).

### **B. Falla local por corte**

Si la cimentación en consideración se apoya sobre un suelo de arena o arcillosos de compactación media (figura b), un incremento en la carga sobre la cimentación también se acompañará por un incremento en el asentamiento. Sin embargo, en este caso la superficie de falla en el suelo se extenderá gradualmente hacia fuera desde la cimentación, como se muestra por las líneas continuas en la figura 3.1b. Cuando la carga por área unitaria sobre la cimentación es igual a  $q_u(1)$ , el movimiento de la cimentación se acompañará por sacudidas repentinas. Entonces se requiere de un movimiento considerable de la cimentación para que la superficie de falla en el suelo se extienda hasta la superficie del terreno (como se muestra por las líneas discontinuas en la figura). La carga por área unitaria a la que esto sucede es la capacidad de carga última,  $q_u(1)$ . Más allá de este punto, un



incremento en la carga se acompaña por un gran incremento en el asentamiento de la cimentación. A la carga por área unitaria de la cimentación,  $q$ , se le refiere como primera carga de falla (Vesic, 1963). Observe que un valor pico de  $q$  no se presenta en este tipo de falla, lo que se denomina falla local por corte en el suelo. (Das, 2012, pág. 134).

### C. Falla de corte por punzonamiento

Si la cimentación está soportada por un suelo muy suelto, la gráfica carga-asentamiento será como la de la figura c. En este caso, la superficie de falla en el suelo no se extenderá hasta la superficie del terreno. Más allá de la carga última de falla,  $q$ , la gráfica carga-asentamiento será muy pronunciada y prácticamente lineal. Este tipo de falla en el suelo se denomina falla de corte por punzonamiento. (Das, 2012, pág. 134).

La cimentación se hunde cortando el terreno de su periferia, afectando poco al terreno adyacente. No se presentan superficies de rotura definidas, concentrándose la fisuración alrededor del perímetro de la zapata. (Olmos Martinez, 2007)

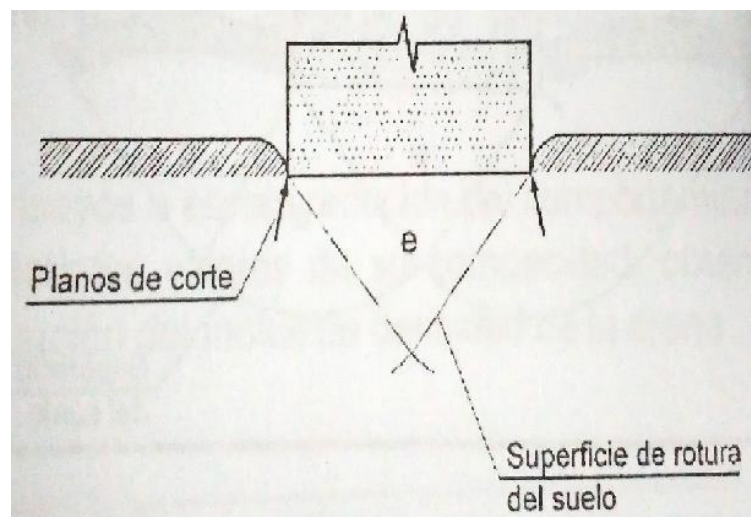


Figura 23. Esquema de la rotura por punzonamiento del suelo e=cuña en estado elástico  
Fuente: Cimentaciones Superficiales Diseño de Zapatas (Olmos Martinez, 2007)

Este tipo de rotura es típico de las arenas muy flojas y de las arcillas muy blandas. También se da en zapatas cimentadas en estratos duros o compactos de poco espesor, apoyadas sobre estratos blandos o flojos. (Olmos Martinez, 2007)

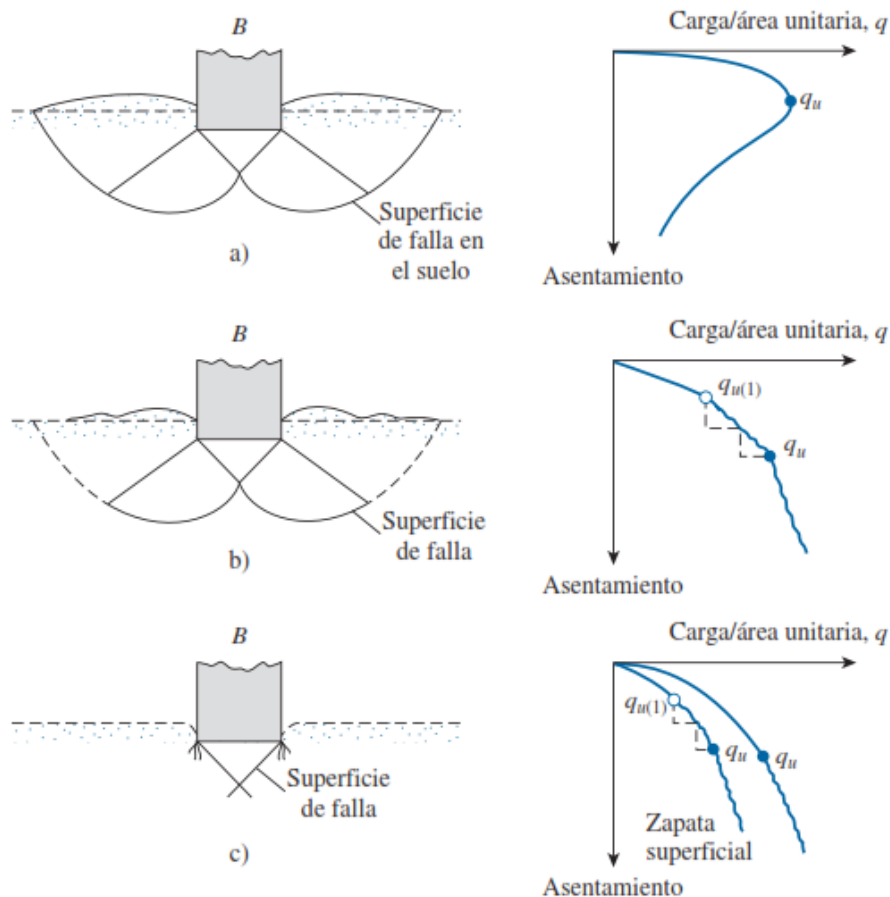


Figura 24. Naturaleza de la falla por capacidad de carga del suelo  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012)

### 2.2.6.1. Cimentaciones superficiales

Se conoce como fundación superficial o directa cuando el plano de asiento de las fundaciones se encuentra a poca profundidad. Entendiendo por poca profundidad aquella que puede ser alcanzada con la excavación corriente de bajo costo y poca dificultad, sea por medios mecánicos o manuales (0.5 m. a 4 m).

Este tipo de fundaciones está limitado para edificaciones que transmiten al suelo cargas bajas, además supone una condición del suelo en contacto con el concreto de muy buena capacidad resistente de apoyo.

En resumen, para un diseño satisfactorio, las fundaciones superficiales deben tener algunas características principales como ser:

La fundación tiene que ser segura contra una falla por corte del suelo que la soporta. La fundación no debe presentar desplazamientos excesivos, es decir asentamientos excesivos.



(El término “excesivo” es relativo, porque el grado de asentamiento disponible para una estructura depende de varias consideraciones).

Deberá tener la geometría de concreto y refuerzo de acero apropiado para transmitir los esfuerzos provenientes de las columnas hacia el suelo, sin involucrar falla estructural de la fundación.

En conclusión, el problema de diseño de fundaciones requiere tener un conocimiento cabal del suelo soportante, de la naturaleza y requerimientos de la superestructura, o iteración suelo – estructura

### 2.2.7. Metodologías de cálculo de cimentaciones superficiales

#### 2.2.7.1. Criterios para la elección de ecuaciones:

Para la adecuada determinación de la capacidad última de carga Para la elección de ecuaciones tomar en cuenta el criterio escrito en la siguiente tabla, sin embargo, por lo general, es buena práctica usar al menos dos métodos y comparar los resultados obtenidos con cada método. Si los valores obtenidos son muy diferentes se aconseja utilizar un tercer método. Otra buena práctica es utilizar un valor promedio de los valores obtenidos. (Peck, R & Reed, W., 1993)

Tabla 7  
*Criterios para la elección de ecuaciones*

| <b>Ecuación</b>                 | <b>Mejor para</b>  |
|---------------------------------|--|
| <b>Terzaghi</b>                 | Suelos muy cohesivos donde $D_f/B \leq 1$ sobre todo cuando se quiere una estimación rápida $q_u$ . No debe ser usada para casos que se presenten las zapatas sometidas a momentos o fuerzas horizontales, o para zapatas fundadas en bases inclinadas o en superficies de un talud. |
| <b>Hansen, Meyerhof y Vesic</b> | Pueden ser usadas en cualquier situación dependiendo de la familiaridad que tenga el usuario con cualquiera de los métodos.  |
| <b>Hansen, Vesic</b>            | Cuando la zapata es fundada en una base inclinada o en la superficie de un talud o cuando $D_f/B > 1$  |

Fuente: Geotechnical Engineering Handbook (Braja M., 2010)

### 2.2.7.1.1. Teoría de Terzaghi

Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría completa para evaluar la capacidad de carga última en cimentaciones aproximadamente superficiales. De acuerdo con su teoría, una cimentación es superficial si su profundidad,  $D_f$  figura, es menor que o igual a su ancho. Sin embargo, investigadores posteriores sugirieron que las cimentaciones con  $D_f$  igual a tres o cuatro veces su ancho se podían definir como cimentaciones superficiales. (Das, 2012, pág. 136)

Terzaghi sugirió que para una cimentación continua o corrida (es decir, cuando su relación ancha a longitud tiende a cero), la superficie de falla en el suelo ante carga última se puede suponer similar a la que se muestra en la figura (Observe que este es el caso de falla general por corte según se define en la figura). El efecto del suelo arriba del fondo de la cimentación también se puede suponer que se reemplaza por una sobrecarga equivalente,  $q = \gamma D_f$  (donde  $\gamma$  es el peso específico del suelo). La zona de falla bajo la cimentación se puede separar en tres partes (consulte la figura). (Das, 2012, pág. 136)

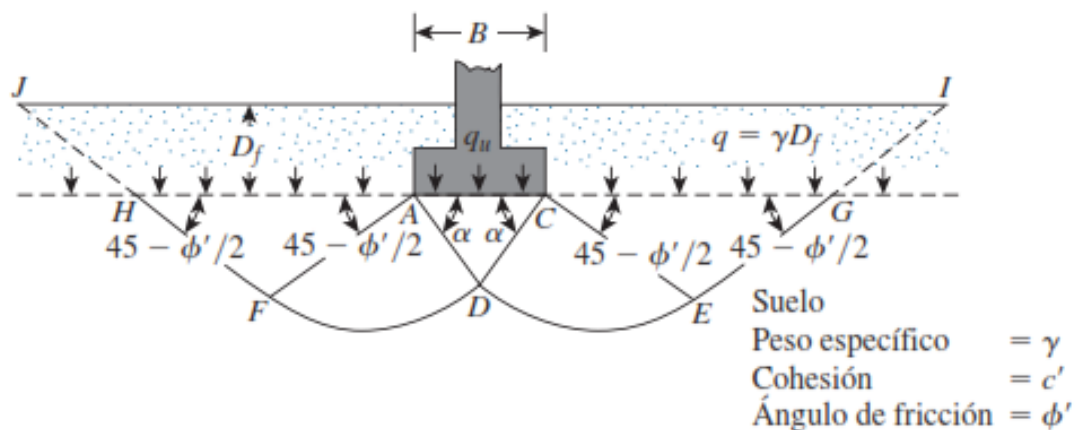


Figura 25. Falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida continua.  
Fuente: Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012)

1. La zona triangular ACD inmediatamente abajo de la cimentación.
2. Las zonas de radiales de corte ADF y CDE, con las curvas DE y DF como arcos de una espiral logarítmica.
3. Dos zonas triangulares pasivas de Rankine FH y CEG.





Los ángulos CAD y ACD se suponen iguales al ángulo de fricción del suelo  $\phi'$ . Observe que, con el reemplazo del suelo arriba del fondo de la cimentación por una sobrecarga equivalente  $q$ , se ignoró la resistencia cortante del suelo a lo largo de las superficies de falla GI y HJ. Aplicando un análisis de equilibrio, Terzaghi expresó la capacidad de carga última en la forma. (Das, 2012, pág. 138).

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Donde:

$c'$  = cohesión del suelo ( $\text{kg/cm}^2$ )

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$q = \gamma D_f$  (carga por área unitaria sobre la cimentación) ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\gamma$  = peso específico del suelo ( $\text{kg/cm}^3$ )

$D_f$  = profundidad de la cimentación (m, cm, etc.)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

Los factores de capacidad de carga  $N_c, N_q, N_\gamma$  se definen mediante las expresiones.

$$N_c = \cot\phi' \left[ \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right)\tan\phi'}}{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}\right)} - 1 \right] = \cot\phi'(N_q - 1)$$

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right)\tan\phi'}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)}$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1 \right) \tan\phi'$$

Donde:

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo (adimensional)

$K_{p\gamma}$  = coeficiente de presión pasiva (adimensional)

$\pi$  = constante matemática fundamental  $\approx 3,141592$

$e$  = número irracional cuyo valor aproximado es 2,71828



Donde  $K_{p\gamma}$  = coeficiente de presión pasiva.

$$K_{p\gamma} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

Donde:

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$K_{p\gamma}$  = coeficiente de presión pasiva (adimensional)

Para cimentaciones que presentan el modo de falla local por corte en suelos Terzaghi sugirió las modificaciones siguientes para las ecuaciones:

$$q_u = \frac{2}{3}c'N'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma \quad (\text{cimentación continua})$$

$$q_u = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma \quad (\text{cimentación cuadrada})$$

$$q_u = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.3\gamma BN'_\gamma \quad (\text{cimentación circular})$$

$N'_c, N'_q$  y  $N'_\gamma$ , los factores de capacidad de carga modificados, se pueden calcular utilizando las ecuaciones de los factores de capacidad de carga (para  $N'_c, N'_q$  y  $N'_\gamma$ , respectivamente) reemplazando  $\phi$  por  $\tan\phi' = 2/3\tan\phi$  y  $c' = 2/3c$ . La variación de  $N'_c, N'_q$  y  $N'_\gamma$  con el ángulo de fricción del suelo  $\phi'$  se da en la siguiente tabla. (Das, 2012, pág. 139)



Tabla 8  
*Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi*

| $\phi'$ | $N'_c$ | $N'_q$ | $N'_\gamma$ | $\phi'$ | $N'_c$ | $N'_q$ | $N'_\gamma$ |
|---------|--------|--------|-------------|---------|--------|--------|-------------|
| 0       | 5.70   | 1.00   | 0.00        | 26      | 15.53  | 6.05   | 2.59        |
| 1       | 5.90   | 1.07   | 0.005       | 27      | 16.30  | 6.54   | 2.88        |
| 2       | 6.10   | 1.14   | 0.02        | 28      | 17.13  | 7.07   | 3.29        |
| 3       | 6.30   | 1.22   | 0.04        | 29      | 18.03  | 7.66   | 3.76        |
| 4       | 6.51   | 1.30   | 0.055       | 30      | 18.99  | 8.31   | 4.39        |
| 5       | 6.74   | 1.39   | 0.074       | 31      | 20.03  | 9.03   | 4.83        |
| 6       | 6.97   | 1.49   | 0.10        | 32      | 21.16  | 9.82   | 5.51        |
| 7       | 7.22   | 1.59   | 0.128       | 33      | 22.39  | 10.69  | 6.32        |
| 8       | 7.47   | 1.70   | 0.16        | 34      | 23.72  | 11.67  | 7.22        |
| 9       | 7.74   | 1.70   | 0.16        | 35      | 25.18  | 12.75  | 8.35        |
| 10      | 8.02   | 1.94   | 0.24        | 36      | 26.77  | 13.97  | 9.41        |
| 11      | 8.32   | 2.08   | 0.30        | 37      | 28.51  | 15.32  | 10.90       |
| 12      | 8.63   | 2.22   | 0.35        | 38      | 30.43  | 16.85  | 12.75       |
| 13      | 8.96   | 2.38   | 0.42        | 39      | 32.53  | 18.56  | 14.71       |
| 14      | 9.31   | 2.55   | 0.48        | 40      | 34.87  | 20.50  | 17.22       |
| 15      | 9.67   | 2.73   | 0.57        | 41      | 37.45  | 22.70  | 19.75       |
| 16      | 10.06  | 2.92   | 0.67        | 42      | 40.33  | 25.21  | 22.50       |
| 17      | 10.47  | 3.13   | 0.76        | 43      | 43.54  | 28.06  | 26.25       |
| 18      | 10.90  | 3.36   | 0.88        | 44      | 47.13  | 31.34  | 30.40       |
| 19      | 11.36  | 3.61   | 1.03        | 45      | 51.17  | 35.11  | 36.00       |
| 20      | 11.85  | 3.88   | 1.12        | 46      | 55.73  | 39.48  | 41.70       |

Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012)

**a) Factor de seguridad**

“El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones superficiales requiere aplicar un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última bruta, o” (Das, 2012, pág. 140).



$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS}$$

Donde:

$q_{perm}$  = capacidad de carga permisible (kg/cm<sup>2</sup>)

$q_u$  = capacidad de carga última (kg/cm<sup>2</sup>)

FS = factor de seguridad (adimensional)

El factor de seguridad debe de ser de al menos 3 en cada caso.

#### b) Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático

Las ecuaciones de capacidad de carga última, se basa en la suposición de que el nivel freático se ubica muy por debajo de la cimentación. Sin embargo, si el nivel freático está cerca de la cimentación, serán necesarias algunas modificaciones de las ecuaciones de capacidad de carga. (Das, 2012, pág. 142).

##### Caso I

Si el nivel freático se ubica tal que  $0 \leq D_l \leq D_f$ , el factor q en las ecuaciones de capacidad de carga toma la forma.

$$q = \text{sobrecarga efectiva} = D_1\gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

Donde:

$\gamma_{sat}$  = peso específico saturado del suelo (kg/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = peso específico del agua (kg/cm<sup>3</sup>)

$\gamma$  = peso específico del suelo (kg/cm<sup>3</sup>)

$D_1$  = distancia de la superficie del suelo al nivel freático (m, cm)

$D_2$  = distancia del nivel freático a la profundidad de cimentación (m, cm)

Además, el valor de  $\gamma$  en el último término de las ecuaciones se tiene que reemplazar por

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

##### Caso II

Para un nivel freático ubicado tal que  $0 \leq d \leq B$ .

$$q = \gamma D_f$$



En este caso, el factor  $\gamma$  en el último término de las ecuaciones de capacidad de carga se debe reemplazar por el factor

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma')$$

Las modificaciones anteriores se basan en la suposición de que no existe una fuerza de filtración en el suelo.

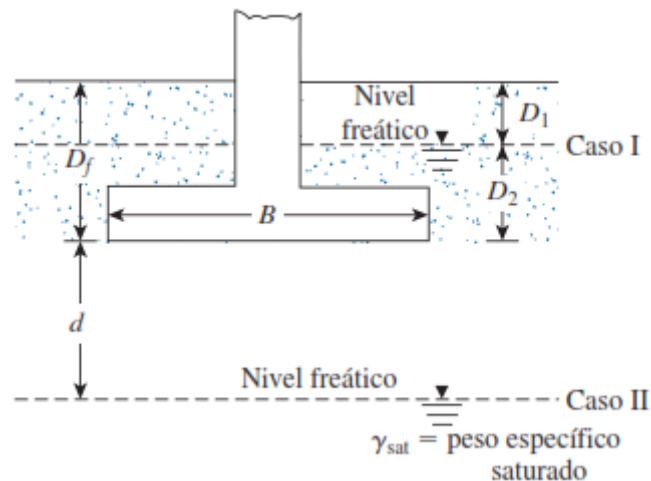


Figura 26. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático  
Fuente: Fundamento de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012)

### Caso III

Cuando el nivel freático se ubica tal que  $d \geq B$ , el agua no tendrá efecto sobre la capacidad de carga última.

#### 2.2.7.1.2. Teoría de Meyerhof

las ecuaciones descritas anteriormente “no toman en cuenta la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla en el suelo arriba del fondo de la cimentación. Además, la carga sobre la cimentación puede estar inclinada. Para tomar en cuenta todos estos factores” (Das, 2012, pág. 143).

Dentro de las diferencias entre las teorías de Terzaghi y Meyerhof es que este último considera la resistencia al corte del suelo sobre el nivel de desplante de la cimentación, mientras que el primero lo ignora Meyerhof permite que las zonas de falla se extiendan

hasta la superficie del terreno (Meyerhof, 1951). La superficie de falla asumida por Meyerhof se muestra en la figura.

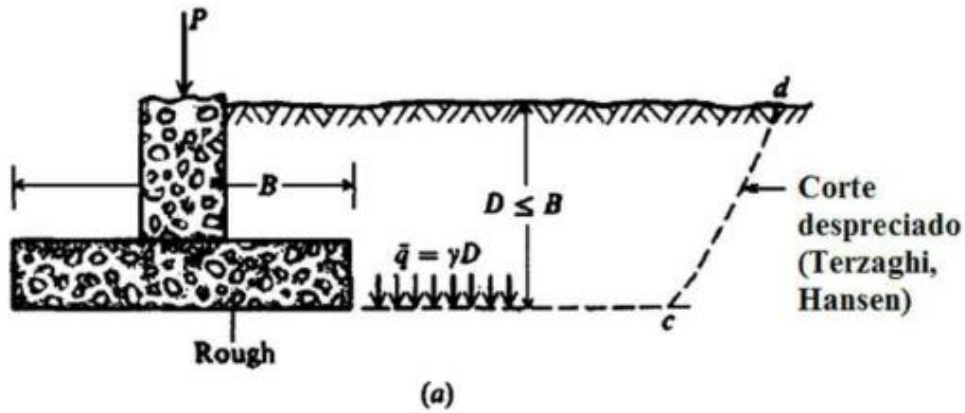


Figura 27. Cimentación superficial con base rugosa  
Fuente: The Ultimate Bearing Capacity of Foundations (Meyerhof, 1951)

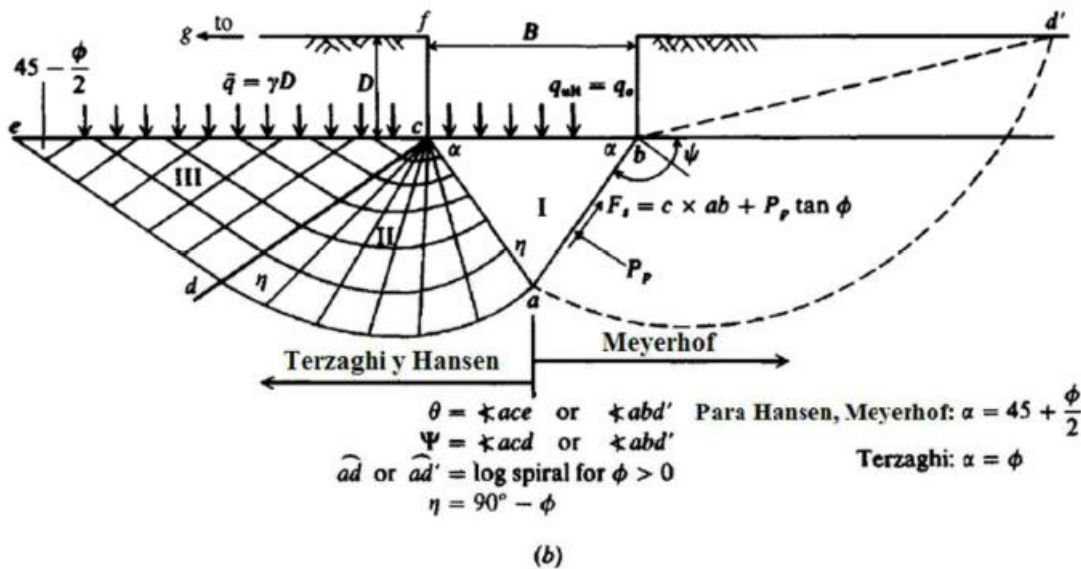


Figura 28. Interacción suelo-cimiento para las ecuaciones de capacidad portante  
Fuente: The Ultimate Bearing Capacity of Foundations (Meyerhof, 1951)

El mecanismo de falla de una cimentación a poca profundidad está dividido en tres zonas como muestra la siguiente figura, la primera *abc* es una cuña elástica de esfuerzos uniformes que se puede considerar en estado activo de Rankine; la segunda *bcd* es una cuña limitada por una curva de espiral logarítmica *cd* y es una zona de esfuerzo cortante radial; la tercera *bde* es una zona de corte mixta donde el cortante varía entre los límites del corte radial y

del corte plano, dependiendo de la rugosidad y profundidad de la cimentación y se considera que está en estado pasivo de Rankine. El plano  $be$  es la denominada superficie libre equivalente o superficie de Meyerhof y en esta superficie actúan los esfuerzos normales  $P_0$  y los tangenciales  $S_0$  productos del peso del suelo por encima de  $be$ .

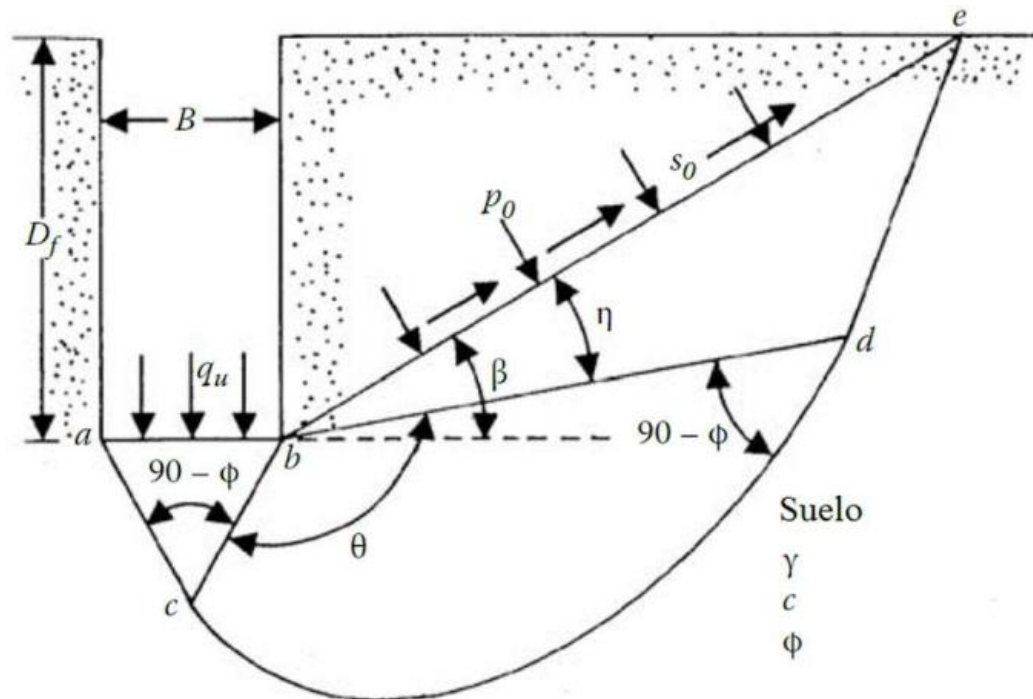


Figura 29. Campos de líneas de deslizamiento para fundación continua rugosa  
Fuente: Fundamento de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2009)

Usando el método de superposición de efectos, finalmente la ecuación de capacidad portante última de Meyerhof es una expresión matemática completamente similar a la de Terzaghi:

$$q_u = cN_c + p_o N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Donde:

$c$  = cohesión del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$\gamma$  = peso específico del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$q = \gamma D_f$  (sobre carga efectiva) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.



Considerando que  $p_o = \gamma D_f = q$  se tiene la siguiente expresión general para capacidad portante última de (Meyerhof, 1951).

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Donde:

$c$  = cohesión del suelo (kg/cm<sup>2</sup>)

$N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$s_c \cdot s_q \cdot s_\gamma$  = factores de forma (adimensional)

$d_c \cdot d_q \cdot d_\gamma$  = factores de profundidad (adimensional)

$i_c \cdot i_q \cdot i_\gamma$  = factores de inclinación de la carga (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$\gamma$  = Peso específico del suelo (kg/cm<sup>3</sup>)

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación (kg/cm<sup>2</sup>)

Con las expresiones establecidas por (Meyerhof, 1951) los factores de capacidad de portante para una cimentación superficial corrida y horizontal sometida a carga vertical son:

$$N_c = \cot\phi' (N_q - 1)$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) e^{\pi \tan\phi'}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan\phi'$$

$$k_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

Donde:

$N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$k_p$  = coeficiente de la presión pasiva de tierra de Rankine (adimensional)

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$\pi$  = constante matemática fundamental  $\approx 3,141592$

$e$  = número irracional cuyo valor aproximado es 2,71828

Factores de forma de origen empírico que son:





$$s_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 \quad \text{Si: } \phi' = 0^\circ$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B}{L} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad \text{Si: } \phi' > 10^\circ$$

Donde:

$s_c, s_q, s_\gamma$  = factores de forma (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$L$  = largo de cimentación (m, cm, etc.)

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

Para factores de profundidad Meyerhof propone las siguientes expresiones:

$$d_c = 1 + 0.2 \frac{D_f}{B} \sqrt{K_p}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{Si: } \phi' = 0^\circ$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D_f}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{Si: } \phi' > 10^\circ$$

Donde:

$d_c, d_q, d_\gamma$  = factores de profundidad (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$D_f$  = profundidad de cimentación medida desde la superficie del terreno (m, cm)

$k_p$  = coeficiente de la presión pasiva de tierra de Rankine (adimensional)

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

Los factores de inclinación de la carga que reducen la capacidad portante están dados por:

Para una inclinación de la carga sobre la cimentación respecto de la vertical  $\beta = 0^\circ$

$$i_c = i_q = \left( 1 - \frac{\beta}{90^\circ} \right)^2$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{\beta}{\phi'} \right)^2$$

Donde:

$i_c, i_q, i_\gamma$  = factores de inclinación de la carga (adimensional)

$\beta$  = ángulo de inclinación de la carga sobre la cimentación respecto de la vertical (grados sexagesimales)



### 2.2.7.1.3. Teoría de B. Hansen

(Hansen, 1970) propuso una ecuación general de capacidad última de carga. La ecuación de Hansen es una extensión al trabajo de Meyerhoff, siendo la principal diferencia con las ecuaciones anteriores lo siguiente: Fuente: (Braja M., 2010)

Además, se toma en cuenta el factor  $g_i$  que considera el caso en que la fundación está siendo soportada por la superficie de un talud que se encuentra formando un ángulo  $\beta$  con la horizontal.

Al igual que la ecuación de Meyerhof, la ecuación de Hansen puede ser utilizada tanto para fundaciones superficiales como profundas, ya que está incluido un factor de profundidad

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c b_c g_c + qN_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

Donde:

$c$  = cohesión del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$s_c \cdot s_q \cdot s_\gamma$  = factores de forma (adimensional)

$d_c \cdot d_q \cdot d_\gamma$  = factores de profundidad (adimensional)

$i_c \cdot i_q \cdot i_\gamma$  = factores de inclinación de la carga (adimensional)

$b_c \cdot b_q \cdot b_\gamma$  = factores de inclinación de la base del cimiento (adimensional)

$g_c \cdot g_q \cdot g_\gamma$  = factores de inclinación de la superficie del terreno (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$\gamma$  = Peso específico del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

(Notación:  $s$  – forma;  $d$  – profundidad;  $i$  – inclinación de la carga;  $b$  – inclinación de la base del cimiento;  $g$  – inclinación de la superficie del terreno)

Para una cimentación sobre el suelo cohesivo (donde  $\phi' = 0$  por lo que  $N_\gamma = 0$  y una falla no drenada Hansen dice que teóricamente es más correcto escribir la ecuación de la siguiente forma.

$$q_u = (\pi + 2)c_u[1 + s_c^a + d_c^a + i_c^a + b_c^a + g_c^a]$$

Los factores de capacidad portante dos de ellos idénticos a los usados por Meyerhof.



$$N_c = \cot\phi'(N_q - 1)$$

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) e^{\pi \tan\phi'}$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi'$$

Para los factores de inclinación de la carga Hansen recomienda las siguientes fórmulas:

$$i_c^a = 0.5 + 0.5 \sqrt{1 + \frac{H}{Aa}}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0.5H}{V + Aa \cot\phi'}\right]^5$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{0.7H}{V + Aa \cot\phi'}\right]^5$$

Donde:

$$H = Q \operatorname{sen}\alpha$$

$$V = Q \operatorname{cota}$$

$$A = B'L'$$

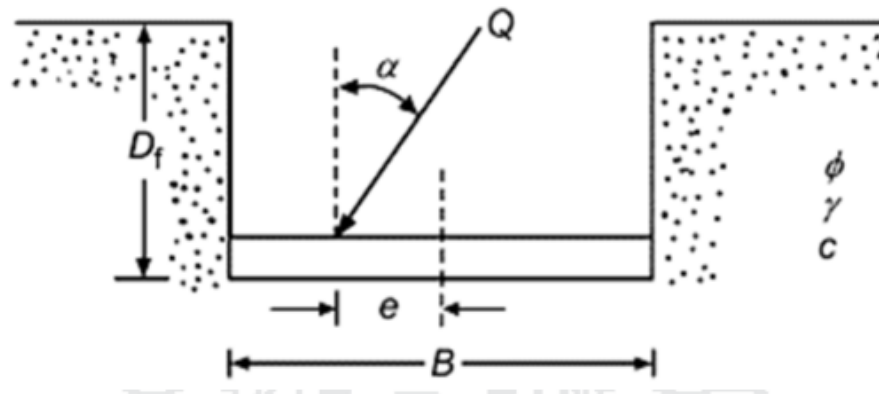


Figura 30. Carga aplicada inclinada y excéntrica

Fuente: A Revised and Extended F6rmula for Bearing Capacity (Hansen, 1970)

(Hansen, 1970) estableci6 las siguientes expresiones para los factores de inclinaci6n de la base del cimiento.

$$b_c^a = \frac{2\eta}{\pi + 2} \text{ (radianes) } \text{ 6 } \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \text{ (grados) (soluci6n exacta)}$$



$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_c = e^{-2\eta \tan\phi} \text{ (solución exacta)}$$

$$b_c = e^{-2.7\eta \tan\phi} \text{ (expresión empírica)}$$

En caso de inclinación de la base del cimiento ( $\eta > 0^\circ$ ) el coeficiente  $i_\gamma$  se modifica para garantizar la continuidad de las soluciones:

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{(0.7 - \frac{\eta^\circ}{450^\circ})H}{V + A \operatorname{acot}\phi'} \right]^5$$

Donde:

$H$  = carga horizontal inclinada paralela a la base de cimentación (kg/cm<sup>2</sup>)

$\eta^\circ$  = ángulo de inclinación de la base del cimiento (grados sexagesimales)

$A$  = área efectiva de la cimentación (m<sup>2</sup>, cm<sup>2</sup>, etc.)

$V$  = carga vertical perpendicular a la base de cimentación (kg/cm<sup>2</sup>)

Para los factores de inclinación del terreno, Hansen sugiere utilizar las siguientes expresiones.

$$g_c^a = \frac{2\beta}{\pi + 2} = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_c = (1 - 0.5 \tan\beta)^5 = g_\gamma$$

Donde:

$g_c^a = g_c = g_\gamma$  = factores de inclinación de terreno (adimensional)

$\beta^\circ = \beta$  = ángulo de inclinación de la base del cimiento (grados sexagesimales)

$D_f$  = profundidad de cimentación medida desde la superficie del terreno (m, cm)

Los factores de forma adoptados por (Hansen, 1970) para describir el efecto de la forma del cimiento para cimentaciones rectangulares ( $\beta < L$ ) y cuadradas (de lado  $B$ ). bajo cargas verticales son:

$$s_c^a = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q B}{N_c L}$$



$$s_q = 1 + \operatorname{sen}\phi \frac{B}{L}$$
$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \geq 0.6$$

Donde:

$s_c^a = s_c = s_q = s_\gamma$  = factores de forma del cimiento (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$L$  = largo de cimentación (m, cm, etc.)

$\phi$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$N_c, N_q$  = factores de capacidad de carga (adimensional)

Para los factores de profundidad (Hansen, 1970) sugieren las siguientes fórmulas aproximadas:

Para  $D \leq B$

$$d_c^a = 0.4 \frac{D}{B}$$
$$d_c = 1 + 0.4 \frac{D}{B}$$
$$d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \operatorname{sen}\phi)^2 \frac{D}{B}$$
$$d_\gamma = 1$$

Para  $D \geq B$

$$d_c^a = 0.4 \arctan\left(\frac{D}{B}\right)$$
$$d_c = 1 + 0.4 \arctan\left(\frac{D}{B}\right)$$
$$d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \operatorname{sen}\phi)^2 \arctan\left(\frac{D}{B}\right)$$
$$d_\gamma = 1$$

Donde:

$d_c^a = d_c = d_q = d_\gamma$  = factores de profundidad (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$D$  = profundidad de cimentación (m, cm, etc.)

$\phi$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)



#### 2.2.7.1.4. Teoría de Vesic

Las ecuaciones propuestas por (Vesic, 1973) son esencialmente igual a la propuesta por el método de Hansen (1961), salvo la introducción de algunos cambios que se especifica a continuación:

El término  $N_\gamma$  tiene una ecuación ligeramente diferente.

Los factores de inclinación de carga  $i_i$ , inclinación de la superficie de fundaciones  $b_i$ , y el factor de fundación emplazada sobre un talud  $g_i$  son calculados de manera diferente. (Braja M., 2010)

Ecuación general de Vesic:

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c b_c g_c + qN_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

Donde:

$c$  = cohesión del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$s_c \cdot s_q \cdot s_\gamma$  = factores de forma (adimensional)

$d_c \cdot d_q \cdot d_\gamma$  = factores de profundidad (adimensional)

$i_c \cdot i_q \cdot i_\gamma$  = factores de inclinación de la carga (adimensional)

$b_c \cdot b_q \cdot b_\gamma$  = factores de inclinación de la base del cimiento (adimensional)

$g_c \cdot g_q \cdot g_\gamma$  = factores de inclinación de la superficie del terreno (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$\gamma$  = Peso específico del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Los factores de capacidad portante usados por Vesic.

$$N_c = \cot\phi' (N_q - 1)$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) e^{\pi \tan\phi'}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi'$$

Donde:

$N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)



$\pi$  = constante matemática fundamental  $\approx 3,141592$

$e$  = número irracional cuyo valor aproximado es 2,71828

Tabla 9  
*Factores de forma del cimientto usados por Vesic*

| Forma de base       | $s_c$                                   | $s_q$                             | $s_\gamma$                       |
|---------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| Corrida             | 1.00                                    | 1.00                              | 1.00                             |
| Rectangular         | $s_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}$ | $s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi'$ | $s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$ |
| Circular y Cuadrada | $s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}$             | $s_q = 1 + \tan\phi'$             | 0.60                             |

Fuente: Capacidad de carga geotécnica de fundaciones (MSc Douglas M. A. Bittencourt)

Factores de profundidad propuestos por Vesic:

Para:  $\frac{D}{B} \leq 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \text{sen}\phi)^2 \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

Para  $\frac{D}{B} > 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left( \frac{D}{B} \right)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan\phi' (1 - \text{sen}\phi')^2 \tan^{-1} \left( \frac{D}{B} \right)$$

$$d_\gamma = 1$$

Donde:

$d_c^a = d_c = d_q = d_\gamma$  = factores de profundidad (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$D$  = profundidad de cimentación (m, cm, etc.)

$\phi$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

Factores de inclinación:

$$i'_c = \frac{mH_i}{A_f c_a N_c} \quad (\phi = 0)$$



$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\phi > 0)$$

$$i_q = \left[ 1.0 - \frac{H_i}{V + A_f c_a \cot \phi'} \right]^m$$

$$i_\gamma = \left[ 1.0 - \frac{H_i}{V + A_f c_a \cot \phi'} \right]^{m+1}$$

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

Donde:

$i'_c \cdot i_c \cdot i_q \cdot i_\gamma$  = factores de inclinación (adimensional)

$N_c \cdot N_q$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo.

$H_i$  = carga inclinada paralela a la base de cimentación (kg/cm<sup>2</sup>)

$c_a$  = coeficiente de adhesión a la base de la cimentación (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_f$  = área efectiva de la cimentación

$V$  = carga vertical perpendicular a la base de cimentación (kg/cm<sup>2</sup>)

$\phi'$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$m = m_B$  = fuerza horizontal paralela a la base B (adimensional)

$m = m_L$  = fuerza horizontal paralela a lo largo L (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

$L$  = largo de cimentación (m, cm, etc.)

Factores de terreno:

$$g'_c = \frac{\beta^\circ}{5.14} \quad \beta \text{ en radianes}$$

$$g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \tan \phi} \quad (\phi > 0)$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan \beta)^2$$





Donde:

$i_q$  = factor de inclinación (adimensional)

$g'_c \cdot g_c \cdot g_q \cdot g_\gamma$  = factores de terreno (adimensional)

$\phi$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$\beta^\circ = \beta$  = ángulo de inclinación de la base del cimiento (grados sexagesimales)

Factores de inclinación de base:

$$b'_c = g'_c \quad (\phi = 0)$$

$$b_c = 1 - \frac{2\beta}{5.14 \tan\phi}$$

$$b_q = b_\gamma = (1.0 - \eta \tan\phi)^2$$

Donde:

$b'_c \cdot g_c \cdot b_q \cdot b_\gamma$  = factores de inclinación de la base (adimensional)

$\phi$  = ángulo de fricción del suelo (grados sexagesimales)

$\beta^\circ = \beta$  = ángulo de inclinación de la base del cimiento (grados sexagesimales)

$\eta$  = ángulo de inclinación del talud (grados sexagesimales)

### 2.2.7.2. Cimentaciones

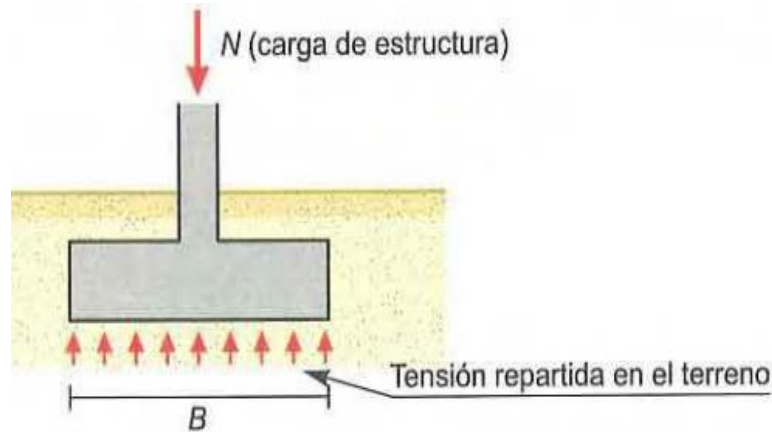
Toda estructura ha de apoyarse necesariamente en el terreno, que puede considerarse un material más de los que la conforman. Sin embargo, en comparación con el resto de los materiales estructurales, como el hormigón o el acero el suelo es menos resistente y más deformable. Por consiguiente, no puede resistir las mismas tensiones y resulta preciso dotar a la estructura de unos apoyos o cimentaciones que repartan y transmitan al terreno unas presiones que sean compatibles con su resistencia y con su deformabilidad. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 394).

### 2.2.7.3. Cimentaciones superficiales

La cimentación de una estructura se define como aquella parte de la edificación que está en contacto directo con el terreno y que transmite la carga de la estructura al suelo. (Tomlinson, 2017, pág. 57).



La forma y las dimensiones de esos apoyos son función de las cargas y de la naturaleza del terreno. Cuando este lo permite se suele acudir a cimentaciones directas o superficiales, que reparten las caras de las estructuras en un plano de apoyo horizontal. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 394).



*Figura 31.* Cimentación directa o superficial, reparto en horizontal  
Fuente: Ingeniería Geológica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

(Terzaghi, 1948) definió una cimentación superficial como aquella en que su ancho  $B$  es igual o mayor que la distancia vertical  $D_f$  entre la superficie del terreno y la base del cimiento ( $D_f \leq B$  o  $D_f/B \leq 1$ ). Este límite representa el límite de su fórmula de capacidad de carga límite.

Cimentación superficial, si cumple:  $\frac{D_f}{B} < 4 - 5$

Cimentación semiprofunda, si cumple:  $4 - 5 \leq \frac{D_f}{B} \leq 8 - 10$

Cimentación semiprofunda, si cumple:  $\frac{D_f}{B} > 8 - 10$

(Murthy, 2007) (Gonzales Caballero, 2001)

Dependiendo de las necesidades de la fundación y de las características del suelo puede diseñarse diferentes tipos de fundaciones superficiales como se detallará a continuación. (Harmsen, 2005).

### 2.2.7.3.1. Criterios generales de diseño

Según (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 394) Para que el diseño de una cimentación sea adecuado se requiere:



1. Que sea estable, es decir, que el coeficiente de seguridad disponible (relación entre la carga que producirá el agotamiento de la resistencia del terreno y el hundimiento de la cimentación), sea adecuado.
2. Que sus deformaciones sean admisibles, o que los movimientos (asientos, desplazamientos horizontales, giros) causados por la deformación del terreno sometido a las tensiones transmitidas por la cimentación, sean tolerables por la estructura.
3. Que no afecte a **construcciones cercanas**, en el sentido de que los efectos originados en el terreno por una cimentación no se hagan notar más allá de los límites estrictos de la estructura a construir. Por lo tanto, hay que asegurar que no afecte negativamente a construcciones vecinas.
4. Que sea **perdurable**, o que las premisas anteriores se mantengan durante toda la vida útil de la estructura, lo que hace necesario considerar la posible evolución de las condiciones iniciales debido a:
  - Cambios de volumen espontáneos, como en el caso del colapso de rellenos mal compactados o suelos naturalmente colapsables (loess, algunos limos yesíferos, etc.).
  - Cambios de volumen debidos a modificaciones en el estado de humedad de terrenos arcillosos potencialmente expansivos.
  - Socavación de los cauces y orillas de los ríos.
  - Erosión interna del terreno por rotura de colectores u otras conducciones de agua.
  - Deterioro de los hormigones de los cimientos en contacto con terrenos o aguas subálveas agresivas.
  - Oscilación del nivel del agua que pueda dar a lugar a cambios en los niveles de tensiones efectivas o a alteraciones de la resistencia y la deformabilidad del suelo.
  - Deslizamientos si la estructura se situar en una ladera inestable.

#### 2.2.7.3.2. Definiciones básicas

1. **Presión Total Bruta ( $q_b$ ):** Es la presión vertical total que actúa en la base de la cimentación (cociente entre la carga total y el área de la cimentación); incluye todas



las componentes verticales: sobrecargas, peso de la estructura, peso del propio cimiento, etc.

2. **Presión total neta ( $q_{neta}$ ):** Es la diferencia entre ( $q_b$ ) y la presión vertical total del terreno ( $q_o$ ) al nivel de la base de cimentación (sobre carga de tierras); usualmente  $q_{neta}$  es el incremento de tensión vertical total a dicho nivel.
3. **Presión efectiva bruta ( $q'_b$ ):** Es la diferencia entre la presión total bruta y la presión intersticial ( $U$ ) al nivel de la cimentación.
4. **Presión efectiva neta ( $q'_{neta}$ ):** Es la diferencia entre  $q'_b$  y la presión efectiva vertical ( $q'_o$ ) debida a la sobre carga de tierras al nivel de la cimentación (obsérvese  $q_{neta} = q'_{neta}$ )  
$$q'_{neta} = q'_b - q'_o = (q_b - u) - (q_o - u) = q_b - q_o = q_{neta}$$
5. **Presión de hundimiento ( $q_h, q'_h$ ):** Es la presión vertical para la cual el terreno agota su resistencia al corte; puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas.
6. **Presiones admisibles frente al hundimiento ( $q_{ad}, q'_{ad}$ ):** Es la presión vertical para la cual se cuenta con un coeficiente de seguridad adecuado frente al hundimiento; puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas. Esta presión no tiene por qué ser la finalmente seleccionada como admisible para la estructura; así, aunque cuente con suficiente seguridad frente al hundimiento, no incluye ninguna limitación especial frente a los asientos, de forma que la estructura podría deformarse en exceso, aunque no se hunda.
7. **Presión admisible de trabajo ( $q_{adt}, q'_{adt}$ ):** Es la presión vertical admisible para una determinada estructura teniendo en cuenta no solo la seguridad frente al hundimiento, sino también su tolerancia a los asientos; obviamente será igual o menor que  $q_{ad}$  puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas.

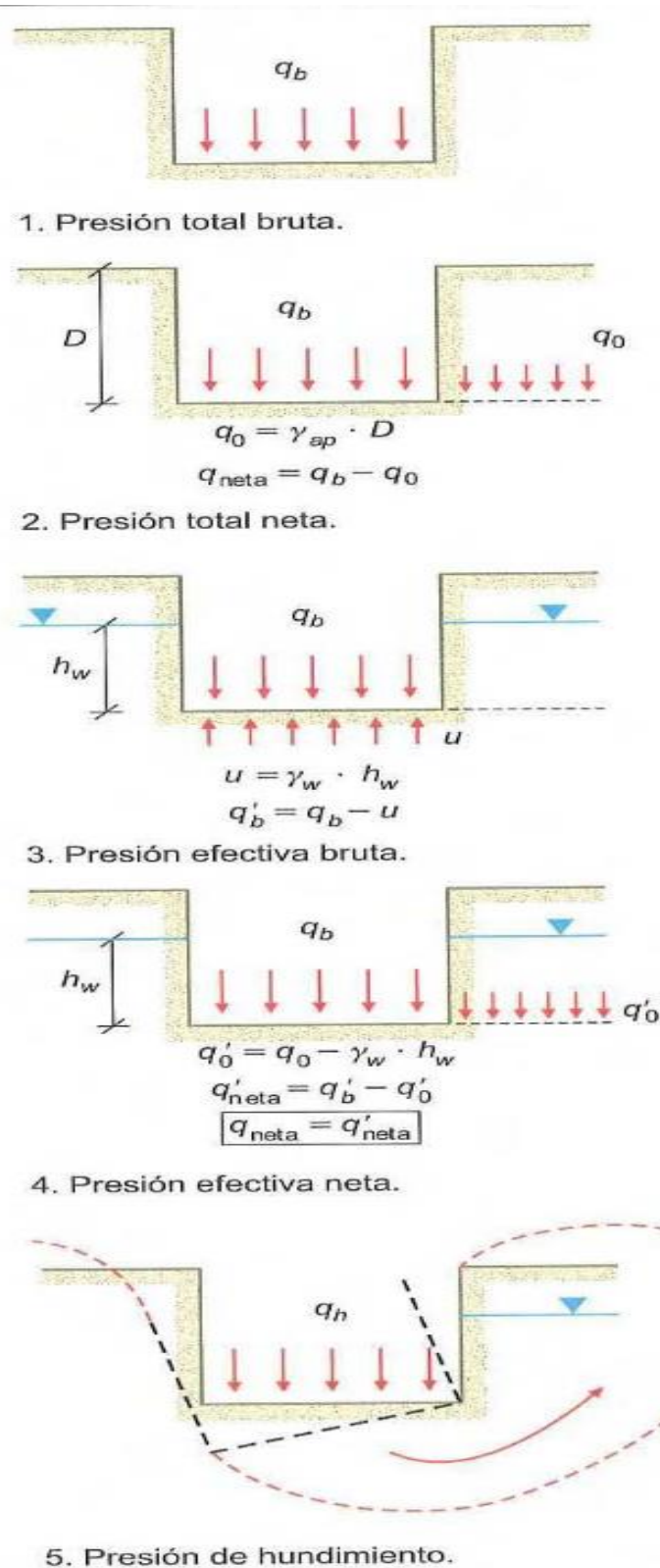


Figura 32. Definiciones de presiones

Fuente: Ingeniería Geológica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

### 2.2.7.3.3. Zapatas de cimentación

#### A. Zapatas aisladas

(Tomlinson, 2017) Señala que las cimentaciones con base en zapatas aisladas se utilizan comúnmente para dar soporte a columnas estructurales. Pueden consistir en una sola pieza cuadrada, rectangular o circular, de grosor uniforme, o estar escalonados o en pirámide para distribuir la carga de una columna pesada.

(Harmsen, 2005) indica que transmiten la carga de una sola columna al suelo. Este tipo de zapatas puede ser de diversas formas geométricas de acuerdo a las necesidades, su uso es indicado para casos en los que la carga es pequeña como edificaciones menores a cinco plantas y/o a suelo que tenga buena resistencia. Constituyen el tipo más usual por razones de economía, estas zapatas pueden ser céntricas o excéntricas dependiendo de la excentricidad de la carga o de los momentos actuantes.

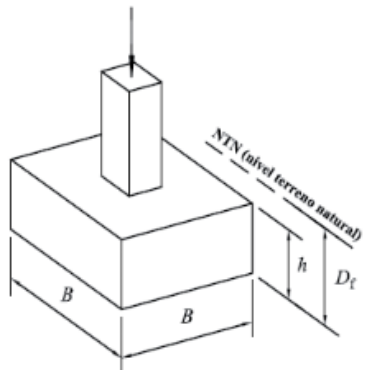
| Zapata   | Dimensiones | Forma  |
|----------|-------------|--|
| Cuadrada | $L = B$     |  |

Figura 33. Zapata cuadrada

Fuente: Norma técnica (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

| Zapata      | Dimensiones   | Forma |
|-------------|---------------|-------|
| Rectangular | $L \leq 10 B$ |       |

Figura 34. Zapata rectangular

Fuente: Norma técnica (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

|          |              |  |
|----------|--------------|--|
| Circular | Diámetro = B |  |
|----------|--------------|--|

Figura 35. Zapata circular

Fuente: Norma técnica (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

## B. Zapatas corridas o continuas

(Tomlinson, 2017) indica que las zapatas corridas se utilizan normalmente para muros de carga y para filas de columnas espaciadas, tan cerca una de la otra, que las cimentaciones con zapatas aisladas casi se tocarían unas a otras. Las cimentaciones con base en zapatas corridas son necesarias cuando la capacidad de carga del suelo es considerablemente baja para necesitar una zapata corrida con el ancho suficiente para que ocurra una flexión transversal en las porciones que se proyectan en la viga de cimentación y que requieren un refuerzo para prevenir el agrietamiento.

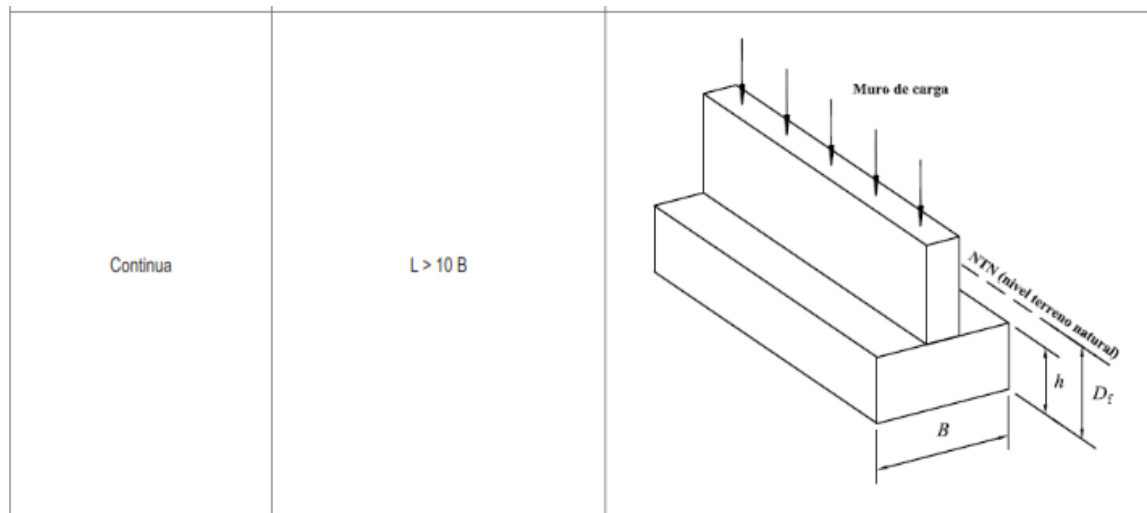


Figura 36. Zapata continua

Fuente: Norma técnica (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018)

### C. Losa de fundación o cimentación

(Tomlinson, 2017) indica que las cimentaciones con base en losa se requieren en suelos de baja capacidad de carga están tan cercanos en ambas direcciones que las cimentaciones basadas en zapatas aisladas se tocarían unas a otras, estas cimentaciones son de mucha utilidad para reducir asentamientos diferenciales en suelos variables o donde haya una variación considerable de carga entre columnas adyacentes u otras cargas aplicadas.

Son necesarias cuando el área de soporte requerida es mayor al 50 % de la planta del edificio, generalmente abarca toda la superficie de la estructura, y soporta varias columnas. Este tipo de fundación se utiliza generalmente para edificios mayores a ocho plantas o cuando se tiene la presencia de un sótano o semisótano. (Harmsen, 2005)



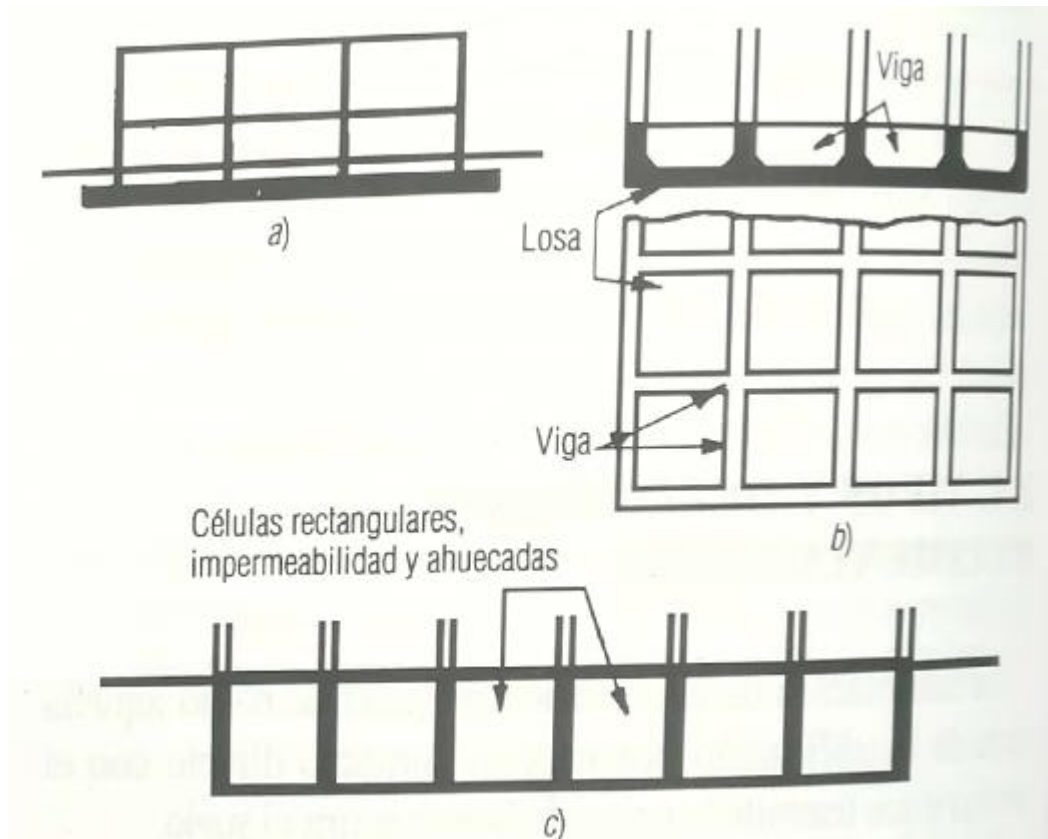


Figura 37. Losa de cimentación

Fuente: Cimentaciones Diseño y Construcción (Tomlinson, 2017)

### 2.2.8. Ensayo de penetración estándar (SPT)

Según indica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002) este ensayo de penetración dinámica se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor  $N$  de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y los asentamientos en los suelos granulares. En el ensayo también se obtiene una muestra alterada, para realizar ensayos de identificación de laboratorio.

El ensayo SPT puede ejecutarse prácticamente en todo tipo de suelos, incluso en roca muy alterada, aunque es en los suelos granulares donde se realiza preferentemente: la dificultad de obtener muestras inalteradas en este tipo de suelos añade relevancia al SPT.

La frecuencia habitual para la realización del SPT a lo largo del sondeo es de un ensayo cada 2 a 5 m o incluso mayor, en función de las características del terreno.



El procedimiento a seguir consiste en limpiar cuidadosamente la perforación al llegar a la cota deseada para el ensayo, tanto las paredes como el fondo, retirando la batería de perforación e instalando en su lugar un tomamuestras de dimensiones estándar. El tomamuestras consta de tres elementos: zapata, tubo bipartido y cabeza de acoplamiento con el varillaje (Figura 6.58). Este se debe hincar en el terreno 60 cm, contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm. El golpeo para la hincada se realiza con una maza de 63,5 kg cayendo libremente desde una altura de 76 cm sobre una cabeza de golpeo o yunque (Figura 6.59). La lectura del golpeo del primero y último tramo no se debe tener en cuenta, por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo en el primer caso, y por posible sobrecompactación en el segundo. La suma de los valores de golpeo de los dos tramos centrales de 15 cm es el valor N, denominado también resistencia a la penetración estándar. En ocasiones dada la alta resistencia del terreno, no se consigue el avance del tomamuestras. En estos casos, el ensayo se suspende cuando se exceden 100 golpes para avanzar un tramo de 15 cm, y se considera rechazo. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)



*Figura 38.* Equipo SPT

Fuente: Ingeniería Geológica (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Según (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002) el resultado de los ensayos SPT puede verse afectado por factores como:

Preparación y calidad del sondeo: limpieza y estabilidad de las paredes de la perforación.

Longitud del varillaje y diámetro del sondeo: condicionan el peso del elemento a hincar y la fricción con las paredes del sondeo.



Dispositivo de golpeo: puede ser manual o automático, existiendo diferencias notables entre los resultados de ambos. Deben emplearse dispositivos automáticos, pues garantizan la aplicación de la misma energía de impacto en todos los casos.

Cuando el ensayo se realiza por debajo del nivel freático se utiliza la siguiente corrección (Terzaghi y Peck, 1948), aplicable a suelos poco permeables (limos y arenas finas):

$$N = 15 + [(N' - 15)/2]$$

Donde:

$N$  = resistencia a la penetración estándar (adimensional)

$N'$  = resistencia a la penetración estándar corregido (adimensional)

Válida para  $N > 15$ , siendo  $N'$  el valor corregido y  $N$  el valor medido

Según indica (Devincenzi & Frank, 2004) el extendido uso del SPT ha permitido establecer una serie de correlaciones con diferentes parámetros geotécnicos:

$C_w$  y  $C_D$  son los factores de nivel freático y de empotramiento, respectivamente.

$$C_w = 2 - \left[ \frac{D_w}{2B} \right] \leq 2$$

El factor  $C_D$  se define como:

$$C_D = 1 - 0.25 \left[ \frac{D_f}{B} \right]$$

Donde:

$C_w$  = factor de nivel freático (adimensional)

$C_D$  = factor de empotramiento (adimensional)

$B$  = ancho de cimentación (m, cm, etc.)

indican, en la siguiente tabla se presentan también correlaciones entre el golpeo  $N_{SPT}$ , la densidad saturada y la resistencia a la compresión simple según la adaptación de Hunt (1984) a los trabajos de Terzaghi y Peck (1948).

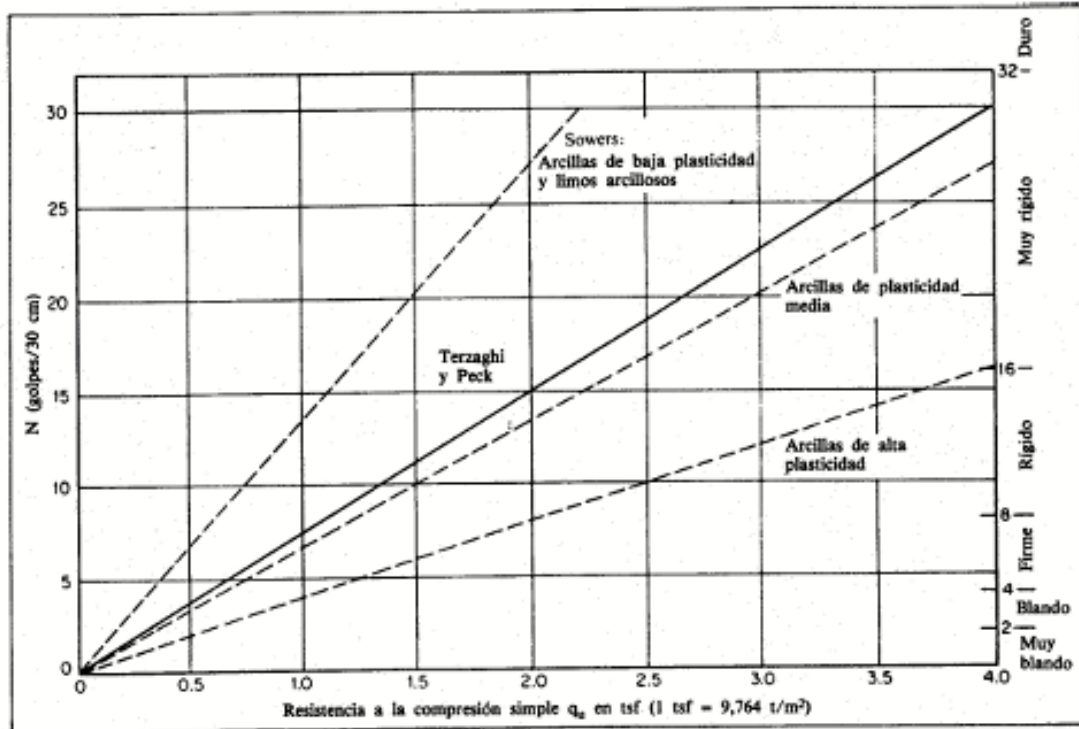


Figura 39. Valores de la resistencia a compresión simple a partir de NSPT para suelos cohesivos de distinta plasticidad

Fuente: Ensayos geotécnicos in situ su ejecución e interpretación (Devincenzi & Frank, 2004)

Tabla 10  
Tabla propiedades de suelos arcillosos

| Consistencia | N   | Identificación manual            | $\gamma_{sat}$ g/cm3 | $q_u$ (Kg/cm2) |
|--------------|-----|----------------------------------|----------------------|----------------|
| Dura         | >30 | Se marca difícilmente            | >2.0                 | >4.0           |
| Muy rígida   | 15  | Se marca con la                  | 2.08                 | 2.0-4.0        |
|              | 30  | uña del pulgar                   | 2.24                 |                |
| Rígida       | 8   | Se marca con el                  | 1.92                 | 1.0-2.0        |
|              | 15  | pulgar                           | 2.08                 |                |
| Media        | 4-8 | Moldeable bajo presiones fuertes | 1.76                 | 0.5-1.0        |
|              |     |                                  | 1.92                 |                |
| Blanda       | 2-4 | Moldeable bajo presiones débiles | 1.60                 | 0.25-0.5       |
|              |     |                                  | 1.76                 |                |
| Muy blanda   | <2  | Se deshace entre los dedos       | 1.44                 | 0-0.5          |
|              |     |                                  | 1.60                 |                |

Fuente: Ensayos geotécnicos in situ su ejecución e interpretación (Devincenzi & Frank, 2004)



### 2.2.9. Asentamiento elástico de cimentaciones sobre arcilla saturada

Janbu y colaboradores (1956) propusieron una ecuación para evaluar el asentamiento promedio de cimentaciones flexibles sobre suelos de arcilla saturada (relación de Poisson,  $\mu_s = 0.5$ ). Para la notación utilizada en la siguiente figura, esta ecuación es. (Braja, 2015, pág. 243).

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_o B}{E_s}$$

Donde:

$S_e$  = asentamiento elástico (cm, mm, etc.)

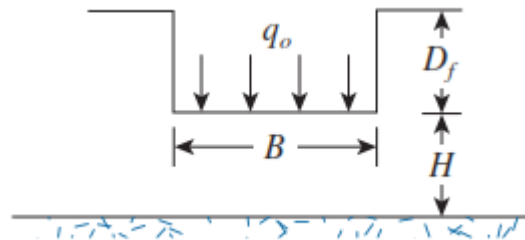
$A_1$  = es una función de  $H/B$  y  $L/B$  (adimensional)

$A_2$  = es una función de  $D_f/B$  (adimensional)

$q_o$  = presión neta aplicada sobre la cimentación ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$B$  = ancho de la cimentación (m, cm, etc.)

$E_s$  = módulo de elasticidad del suelo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )



*Figura 40.* Presión neta que se aplica a la cimentación  
Fuente: Fundamento de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012)

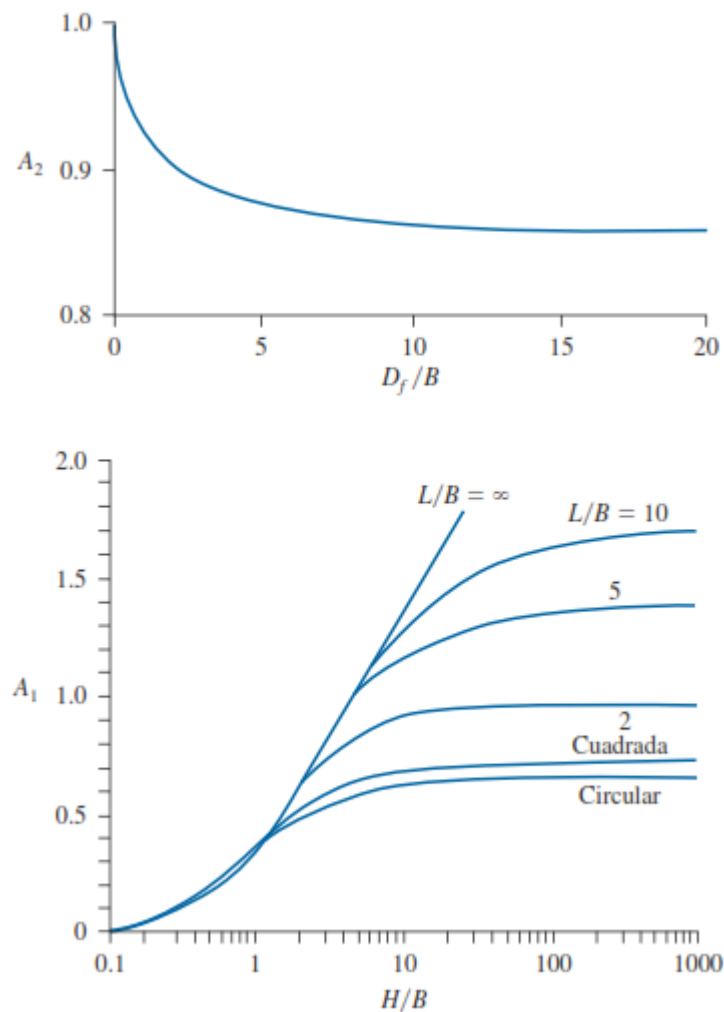


Figura 41. Valores de  $A_1$  y  $A_2$  para el cálculo del asentamiento elástico  
Fuente: Fundamento de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012)

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

“Las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic) tendrán un valor mayor de capacidad portante, respecto a los resultados del ensayo de penetración estática (SPT), para el diseño de cimentaciones superficiales, la cimentación denominada losa de cimentación será la más adecuada para el uso en un suelo cohesivo para una falla por punzonamiento en función de su capacidad portante y de asentamiento”



### 2.3.2. Sub hipótesis

1. Los parámetros de corrección de forma, y profundidad influyen en el resultado final de la capacidad admisible para los distintos tipos de fórmulas de las ecuaciones de cálculo aplicadas a las cimentaciones superficiales.
2. Las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic), están basadas en una ecuación general estructurada en función de cohesión ( $c$ ), ángulo de fricción interna ( $q_0$ ) y peso específico ( $\gamma$ ).
3. La presencia del nivel freático aumentará la capacidad portante en el resultado de las ecuaciones de cálculo halladas para un tipo de suelo cohesivo.
4. El asentamiento elástico primario disminuye según profundidades de cimentación.
5. Existe una relación directa entre las formas de tipos de cimentaciones con los resultados de sus respectivas capacidades portantes.

## 2.4. Definición de variables

### 2.4.1. Variables independientes

#### 2.4.1.1. Tipo de suelo

“Para estudiar un material complejo como el suelo (con diferente tamaño de partículas y composición química) se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría, gravas, arenas, limos y arcillas”. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 20).

#### 2.4.1.2. Angulo de fricción interna

“El ángulo que la envolvente de falla del esfuerzo total forma con el eje del esfuerzo normal, también conocido como ángulo de resistencia cortante”. (Braja, 2015, pág. 252).

#### 2.4.1.3. Coeficiente de cohesión

“La cohesión  $c$  es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman el suelo” (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 158).



## **2.4.2. Variables dependientes**

### **2.4.2.1. Capacidad de carga ultima**

“La capacidad neta última de carga se define como la presión máxima por unidad de área de la cimentación que puede ser soportada por el suelo debida al exceso de presión causada por el suelo circundante al nivel de la cimentación”. (Braja, 2015, pág. 486)

### **2.4.2.2. Capacidad admisible**

“El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones poco profundas requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad última de carga bruta”. (Braja, 2015, pág. 487)

### **2.4.2.3. Ensayo SPT**

Este ensayo de penetración dinámica se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 341).





### 2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 11  
Cuadro de operacionalización de variables

| Tipo de variable                  | Definición de la variable  | Nivel  | Indicador  | Instrumento   | Fuente   |
|-----------------------------------|--|--|--|---|--|
| <b>Independiente</b>              |  |  |  |   |  |
| X1:<br>Tipo de suelo              | Para estudiar un material complejo como el suelo (con diferente tamaño de partículas y composición química) se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría, gravas, arenas, limos y arcillas.  | - Suelos no cohesivos.<br><br>- Suelos cohesivos<br><br>- Suelos orgánicos | - Granulometría<br>- Contenido de humedad<br>- Límite Líquido<br>- Límite Plástico<br>- Peso específico<br>- Peso específico saturado<br>- Peso específico drenado | - Ensayos de laboratorio.                               | - Libros especializados<br><br><br>Docentes de la Especialidad |
| X2:<br>Angulo de fricción Interna | ángulo que la envolvente de falla del esfuerzo total forma con el eje del esfuerzo normal, también conocido como ángulo de resistencia cortante.   | - $\phi = 0$<br><br>- $\phi \neq 0$  | - $\phi$ (Angulo de fricción interna del suelo)  | - Ensayo de corte directo.                              |  |
| X3:<br>Coeficiente de cohesión    | La cohesión $c$ es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman el suelo   | - $c = 0$<br><br>- $c \neq 0$  | - $c$ (Coeficiente de cohesión del suelo)  | - Ensayo de corte directo.                              |  |
| <b>Dependiente</b>                |  |  |  |   |  |
| Y1:<br>Capacidad de carga ultima  | La capacidad neta última de carga es la presión máxima por unidad de área de la cimentación que puede ser soportada por el suelo debida al exceso de presión causada por el suelo circundante al nivel de la cimentación.  | - Alto<br><br>- Medio<br><br>- Bajo  | - $q_{ULTM}$   | - Ecuaciones racionales.                                |  |
| Y2:<br>Capacidad Admisible        | El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones poco profundas requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad última de carga bruta.   | - Alto<br><br>- Medio<br><br>- Bajo  | - $q_{ADM}$  | - Capacidad de carga ultima --<br>- factor de seguridad |  |
| Y3:<br>Ensayo SPT                 | Este ensayo de penetración dinámica se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor $N$ de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible | Carga admisible  | - $q_{ADM}$  | Ensayo SPT  |  |



### 3. Capítulo III: Metodología

#### 3.1. Metodología de la investigación

##### 3.1.1. Enfoque de la investigación

###### 3.1.1.1. Investigación cuantitativa

“El enfoque cuantitativo. Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías”. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014, pág. 4)

De acuerdo al enfoque descrito anteriormente, el tipo de investigación será del tipo Cuantitativa, debido a que se demostraran hipótesis mediante la medición de los valores y el análisis del suelo de Tambocancha - Chinchero.

Asimismo, también desde el punto de vista de la finalidad, se ceñirá al tipo Aplicativo, ya que utiliza un conjunto de conocimientos para obtener un resultado dentro de una ciencia.

##### 3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

###### 3.1.2.1. Nivel descriptivo

“Estudios descriptivos Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población”. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014, pág. 92)

De acuerdo con las definiciones expuestas anteriormente, la investigación que se desarrollara será de un nivel de investigación descriptiva, en la que se recolectaran y medirán las propiedades mecánicas del suelo de Tambocancha – Chinchero, mediante el uso de ecuaciones de cálculo y el método SPT las que serán evaluadas y comparadas para el cálculo de la capacidad portante en un suelo cohesivo para diferentes tipos de cimentaciones.



### **3.1.3. Método de investigación**

#### **3.1.3.1. Método hipotético – deductivo**

“Consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos”. (Bernal, 2010, pág. 60)

Se emplea el método Hipotético – Deductivo. Para lo cual se han planteado la hipótesis siguiente: Las ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic) tendrán un valor mayor de capacidad admisible, que el ensayo (SPT) en el diseño de cimentaciones superficiales, la cimentación de tipo corrida será la más adecuada para el uso en un suelo cohesivo para una falla local, según las características del suelo del sector comercial de Tambocancha – chinchero.

### **3.2. Diseño de la investigación**

#### **3.2.1. Diseño metodológico**

El tipo de diseño de la presente tesis es de investigación no experimental. Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos”. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014, pág. 152).



### 3.2.2. Diseño de ingeniería

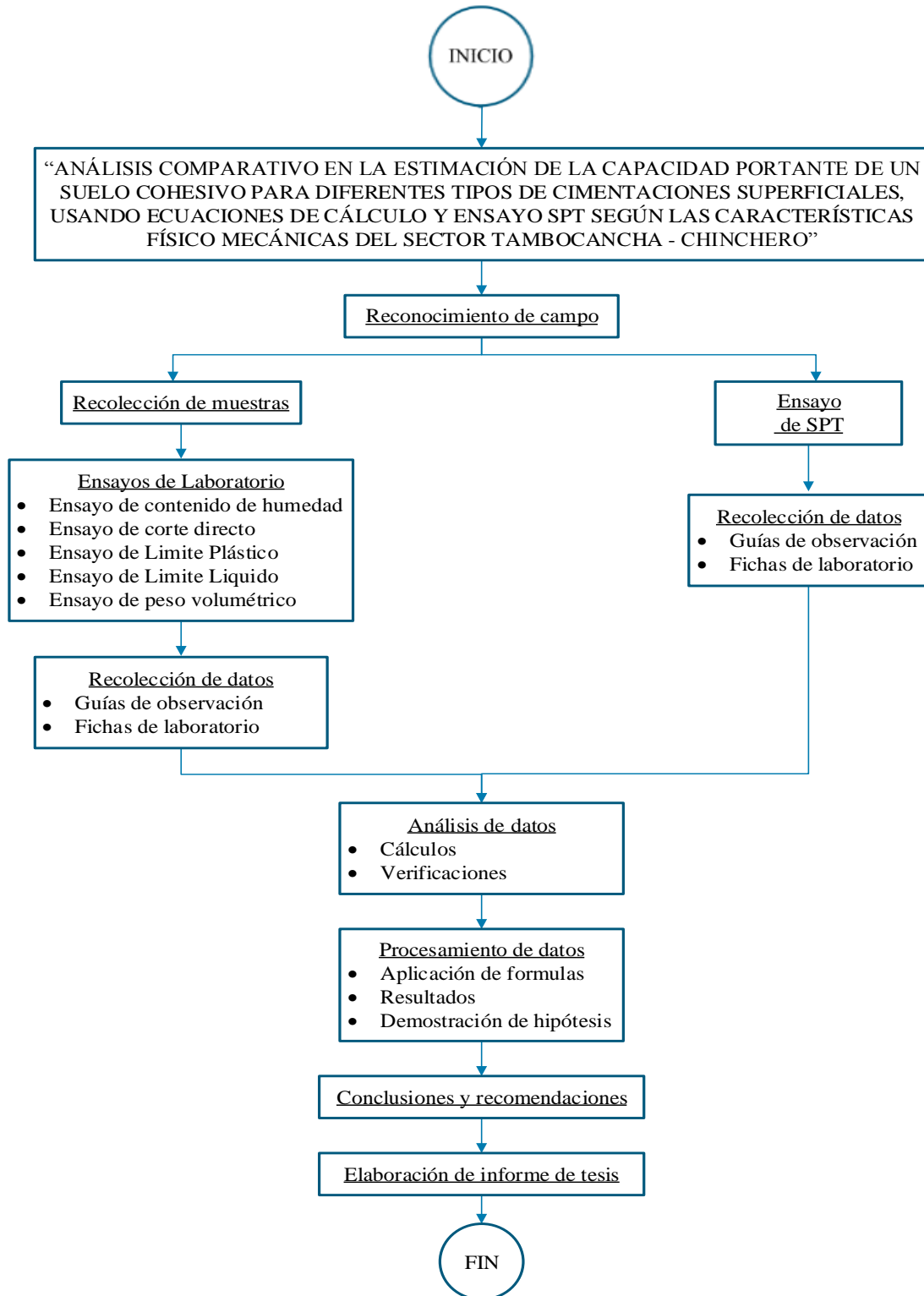


Figura 42. Diagrama de diseño de ingeniería



### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

##### **3.3.1.1. Descripción de la población**

Para la elaboración de la presente tesis, la población está constituida por los suelos de la comunidad de Tambocancha en el distrito de Chinchero provincia de Urubamba región Cusco.

##### **3.3.1.2. Cuantificación de la población**

La población para la presente tesis de investigación está representada por un área de 600m<sup>2</sup> en el sector de Tambocancha en el distrito de Chinchero provincia de Urubamba región Cusco.

#### **3.3.2. Muestra**

##### **3.3.2.1. Descripción de la muestra**

Para la tesis de investigación la muestra está constituido por los suelos del sector de Tambocancha Chinchero, por lo tanto, la muestra es igual a la población para esta tesis.

##### **3.3.2.2. Cuantificación de la muestra**

La cuantificación de la muestra está representada por un área de 600m<sup>2</sup> del sector de Tambocancha Chinchero, los puntos de investigación son dos calicatas, la cual está establecida en el Reglamento Nacional de Edificaciones E 050 suelos y cimentaciones, como se muestra en la siguiente tabla.



Tabla 12  
*Tipo de edificación para determinar el número de puntos de exploración*

| TIPO DE EDIFICACION   |   |   |       |                    |      |
|---|---|---|-------|--------------------|------|
| CLASE DE ESTRUCTURA   | DISTANCIA<br>MAYOR ENTRE<br>APOYOS' (m) | NUMERO DE PISOS<br>(Incluido los sótanos) |       |                    |      |
|   |   | <3  | 4 a 8 | 9 a 12             | > 12 |
|   |   | APORTICADA DE ACERO                       | < 12  | C                  | C    |
| PÓRTICOS Y/O MUROS<br>DE CONCRETO   | < 10                                    | C   | C     | B                  | A    |
| MUROS PORTANTES DE<br>ALBAÑILERÍA   | < 12                                    | B   | A     | --                 | --   |
| BASES DE MÁQUINAS Y<br>SIMILARES  | Cualquiera                              | A   | --    | --                 | --   |
| ESTRUCTURAS<br>ESPECIALES   | Cualquiera                              | A   | A     | A                  | A    |
| OTRAS ESTRUCTURAS   | Cualquiera                              | B   | A     | A                  | A    |
| * Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior. |   |   |       |                    |      |
| TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES  |   | ≤ 9 m<br>de altura                        |       | > 9 m de<br>altura |      |
|   |   | B   |       | A                  |      |

Fuente: E.050 Suelos y Cimentaciones

Como se muestra en el cuadro anterior para una edificación con un tipo de estructura de pórticos o muros de concreto, para un número de pisos entre 4 a 8 se tiene un tipo de investigación C, como se indica en la tabla siguiente.



Tabla 13  
*Número de puntos de exploración*

| NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACION |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Tipo de investigación             | Número de puntos de investigación (n) |
| A                                 | 1 cada 225 m <sup>2</sup>             |
| B                                 | 1 cada 450 m <sup>2</sup>             |
| C                                 | 1 cada 800 m <sup>2</sup>             |

Urbanizaciones para viviendas 3 por cada a. de terreno habilitado Unifamiliares de hasta 3 pisos.

(n) nunca será menor de 3, excepto en los casos indicados en el artículo 3 (3.2).

Fuente: E.050 Suelos y Cimentaciones

Por consiguiente, el número de puntos de investigación (n) (calicatas) será de 1 cada 800 m<sup>2</sup> teniendo en cuenta que la muestra de investigación es de 600 m<sup>2</sup> se consideró 2 calicatas como puntos de investigación para la presente tesis.

#### **3.3.2.3. Método de muestreo**

El método de muestreo plantado en la investigación es no probabilístico, (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) afirma “Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización. Se utilizan en diversas investigaciones cuantitativas y cualitativas” (pág. 189).

#### **3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra**

La selección del número de puntos de investigación (calicatas) están basadas en la Norma E 050 suelos y cimentaciones, en el capítulo 2, donde se detalla el número de puntos de investigación que está en función del tipo de edificación y del área de la superficie que ocupa.



### 3.3.3. Criterio de inclusión

- El tipo de suelo que se presenta en la investigación es una arcilla inorgánica de alta plasticidad, que dentro de la clasificación SUCS es de tipo CH.
- La tesis de investigación plantea un análisis comparativo de la capacidad portante en un suelo cohesivo usando ecuaciones de cálculo (Hansen, Meyerhof, Terzaghi y Vesic) y el ensayo SPT, para diferentes tipos de cimentaciones.
- Dentro de los ensayos de laboratorio a realizar se tiene el ensayo de Corte Directo el cual será del tipo no consolidado y no drenado.
- La prueba del SPT se realizó en campo con el equipo y personal especializado que requiere la prueba para obtener mayor confiabilidad en los resultados.
- Con los datos obtenidos se procederá a la evaluación de los diferentes tipos de cimentaciones y se establecerá el más conveniente para el tipo de suelo mediante el cálculo de la capacidad portante obtenido.

### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos está dado por Fichas de laboratorio donde nos permite la recolección de datos de forma sistemática y ordenada de los pruebas o ensayos realizados.





3.4.1.1. Contenido de humedad

Tabla 14

Formato para la recolección de datos del ensayo de contenido de humedad

|   |   |           |           |           |  |   |
|---|---|-----------|-----------|-----------|--|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |           |  |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |           |           |           |  |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |           |           |           |  |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Contenido de Humedad</b>   |           |           |           |  |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |           |  |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |           |  |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |           |  |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |           |           |           |  |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |  |   |
| 1   | W.Tarro + W.suelo Humedo (gr)   |           |           |           | $\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100$ |   |
| 2   | W.Tarro + W.Suelo Seco (gr)   |           |           |           |  |   |
| 3   | (W $\omega$ ).peso Agua (1-2) (gr)  |           |           |           |  |   |
| 4   | W.Tarro (gr)  |           |           |           |  |   |
| 5   | (W $s$ ).peso suelo Seco (2-4) (gr)   |           |           |           |  |   |
| 6   | ( $\omega$ ) Contenido de Humedad (3/5x100) (%)   |           |           |           |  |   |
| 7   | Promedio (%)  |           |           |           |  |   |



3.4.1.2. Límite líquido

Tabla 15  
Formato para la recolección de datos del ensayo de límite líquido

|                        |   |  |  |  |        |  |
|------------------------|---|--|--|--|--------|--|
|                        | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |  |  |        |  |
|                        | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |  |  |        |  |
| <b>Ensayo:</b>         | <b>Límite Líquido</b>   |  |  |  |        |  |
| <b>Tesis de Grado:</b> | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |  |  |        |  |
| <b>Ubicación:</b>      | Tambocancha - Chinchero   |  |  |  |        |  |
| <b>Fecha:</b>          |   |  |  |  |        |  |
| <b>Calicata N°</b>     | <b>1</b>  |  |  |  |        |  |
| <b>Muestras</b>        |   |  |  |  |        |  |
| <b>N° de Golpes</b>    |   |  |  |  |        |  |
| 1                      | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   |  |  |  |        |  |
| 2                      | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   |  |  |  |        |  |
| 3                      | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  |  |  |  |        |  |
| 4                      | Peso del Tarro (gr)   |  |  |  |        |  |
| 5                      | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  |  |  |  |        |  |
| 6                      | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  |  |  |  |        |  |
|                        | Limite Líquido (%)  |  |  |  |        |  |
|                        | $PI = (LL - LP)$  |  |  |  |        |  |
|                        | $PI$  |  |  |  | -25.66 |  |

**Diagrama de Fluidez**



3.4.1.3. Límite plástico



Tabla 16  
*Formato para la recolección de datos del ensayo de límite plástico*

|   |   |   |   |  |   |
|---|---|---|---|--|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |   |   |  |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |   |   |  |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |   |   |  |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Límite Plástico</b>  |   |   |  |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |   |   |  |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |   |   |  |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |   |   |  |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |   |   |  |   |
|   | Muestras  | 1 | 2 |  |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   |   |   |  |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   |   |   |  |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  |   |   |  |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)   |   |   |  |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  |   |   |  |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  |   |   |  |   |
|   | Límite Plástico (%)   |   |   |  |   |
|   |   |   |   |  |   |
|   |   |   |   |  |   |



3.4.1.4. **Peso específico**



Tabla 17  
*Formato para la recolección de datos del ensayo de peso específico*

|   |   |           |   |
|---|---|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico</b>  |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   |           |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   |           |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   |           |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |   |
| 9   | Promedio  |           |   |



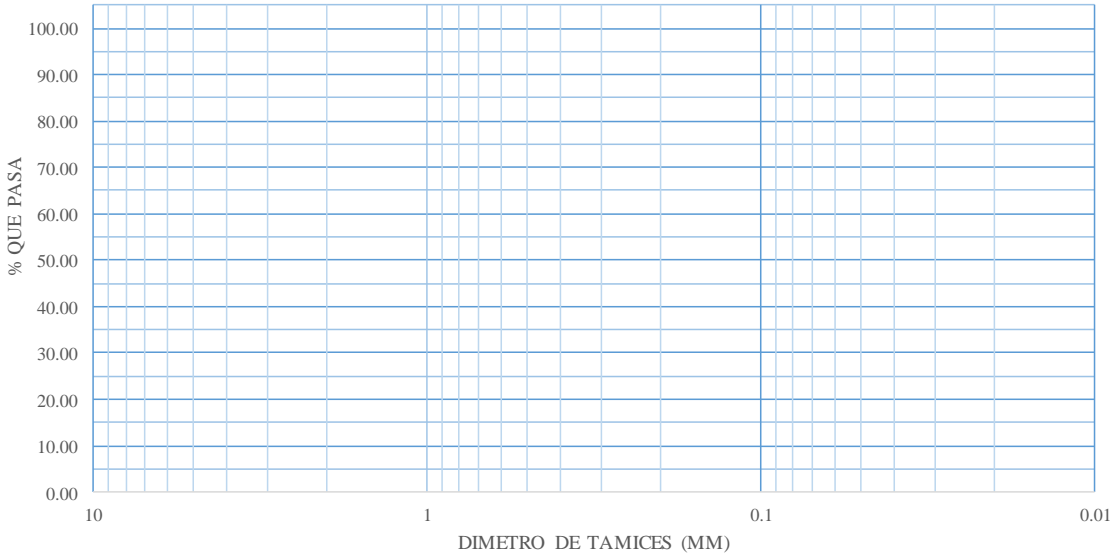
3.4.1.5. Granulometría

Tabla 18  
Formato para la recolección de datos del ensayo de granulometría

|   |   |   |                       |                       |                         |               |
|---|---|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |  |                       |                       |                         |               |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Granulometría</b>  |   |                       |                       |                         |               |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |   |                       |                       |                         |               |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |   |                       |                       |                         |               |
| <b>Fecha:</b>   |   |   |                       |                       |                         |               |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |   |                       |                       |                         |               |
| Peso de la muestra seca (gr)  |   |   |                       |                       |                         |               |
| Peso de la muestra lavada (gr)  |   |   |                       |                       |                         |               |
| Diferencia (gr)   |   |   |                       |                       |                         |               |
|   | Tamaño<br>Malla ASTM  | Diametro<br>(mm)  | Peso<br>Retenido (gr) | % Retenido<br>Parcial | % Retenido<br>Acumulado | % Que<br>Pasa |
| 1   | N° 4  | 4.75  |                       |                       |                         |               |
| 2   | N° 8  | 2.36  |                       |                       |                         |               |
| 3   | N° 16   | 1.18  |                       |                       |                         |               |
| 4   | N° 30   | 0.6   |                       |                       |                         |               |
| 5   | N° 50   | 0.3   |                       |                       |                         |               |
| 6   | N° 100  | 0.15  |                       |                       |                         |               |
| 7   | N° 200  | 0.075   |                       |                       |                         |               |
|   | Fondo   |   |                       |                       |                         |               |
|   | Total   |   |                       |                       |                         |               |
|   | % Perdida   |   |                       |                       |                         |               |

### Curva Granulométrica







### 3.4.1.6. Corte directo

Tabla 19

*Formato para la recolección de datos del ensayo de corte directo*

|   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
|---|---|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |                                |                              |                                 |                                       |                   |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Corte Directo</b>  |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| Caja de Corte   | 1a  |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| Largo (cm)  |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| Ancho (cm)  |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| Area (cm <sup>2</sup> )   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
|   | Deformímetro Horizontal (0.01*div)  | Deformación Horizontal AH (mm) | Lectura de la carga del dial | Fuerza de Corte Horizontal (kg) | Fuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> )   |
| 1   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 2   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 3   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 4   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 5   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 6   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 7   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 8   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 9   |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 10  |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 11  |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |
| 12  |   |                                |                              |                                 |                                       |                   |   |

### 3.4.2. Instrumentos de ingeniería

#### 3.4.2.1. Aparato de corte directo

El aparato o equipo de corte directo se usa para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo, por el método no consolidado no drenado, el ensayo consiste en colocar la muestra inalterada previamente tallada a las dimensiones establecidas por el equipo, aplicar una carga normal, así como la aplicación de fuerza de corte para hacer fallar la muestra.



*Figura 43.* Equipo de corte directo

#### **3.4.2.2. Tamices ASTM**

Para el ensayo de granulometría se necesita de una serie de tamices normalizados, mediante la cual se podrá tamizar la muestra de suelo para su posterior clasificación, la serie de tamices están enumerados de la siguiente forma N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y fondo, el tamiz N° 200 es el más pequeño en la práctica.



*Figura 44.* Serie de tamices

#### **3.4.2.3. Agitador mecánico de tamices**

El agitador mecánico nos permitirá realizar de forma más adecuada el tamizado de una muestra de suelo, el agitador mecánico genera un movimiento vertical de forma de que las partículas de suelo más pequeñas pasen al siguiente tamiz.



*Figura 45. Agitador mecánico de tamices*

#### 3.4.2.4. Equipo SPT

El ensayo de SPT (Standard Penetration Test) es uno de los más usados gracias a que es sencillo y económico, en la exploración de suelos, mide la resistencia a la penetración del terreno mediante la hincada dinámica de un sacamuestras de forma cónica normalizada la perforación se procede mediante golpes de una maza de 63.5 Kg que cae desde una altura de 76 cm.  $N_{SPT}$  es un número entero adimensional igual a la cantidad de golpes necesarios para que el sacamuestras penetre en el terreno los últimos 30 cm.



*Figura 46. Equipo SPT*





#### 3.4.2.5. Cuchara de Casagrande

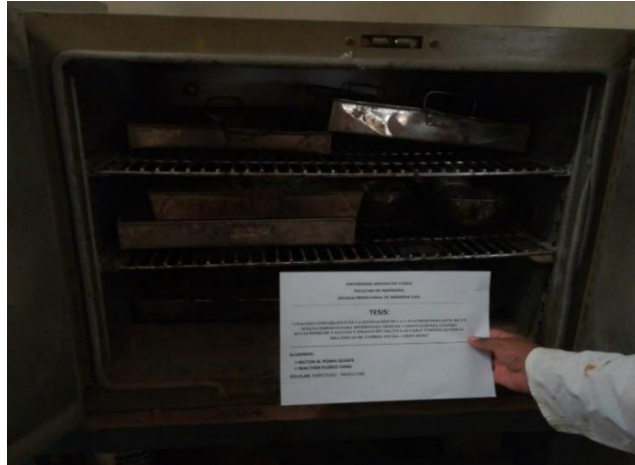
Instrumento mecánico cuyas dimensiones y composición están normalizados, se utiliza para la determinación del límite líquido, que consiste en un recipiente de bronce está diseñado para controlar su caída desde una altura de 1 cm. Tiene la finalidad de encontrar una relación de golpes con respecto al contenido de humedad.



*Figura 47.* Cuchara de Casagrande

#### 3.4.2.6. Horno o estufa eléctrica

El horno es un instrumento que tiene la finalidad de eliminar la humedad mediante la evaporación del agua presente en la muestra de suelo. El horno debe de tener una temperatura constante de entre  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con la finalidad de no alterar la composición de la muestra de suelo.



*Figura 48.* Horno eléctrico

#### **3.4.2.7. Balanza electrónica**

La balanza nos permite conocer el peso de la muestra de suelo u otro material que requerimos conocer, la balanza debe tener una sensibilidad de 0.1 g.



*Figura 49.* Balanza electrónica

#### **3.4.2.8. Probeta graduada**

Es un instrumento de uso en laboratorio para contener o medir volúmenes de líquido de una forma más exacta, las probetas son graduadas o escaladas para una mayor precisión.



*Figura 50.* Probeta graduada

#### **3.4.2.9. Vidrio esmerilado**

El vidrio esmerilado se utiliza para absorber la humedad excedente contenida en una muestra de suelo durante el ensayo de límite plástico, se usa hasta que la muestra de suelo alcance un diámetro cilíndrico aproximado de 3 mm, y el material presente grietas en su superficie.



*Figura 51.* Vidrio esmerilado



### **3.5. Procedimientos de recolección de datos**

#### **3.5.1. Programa de investigación**

Según Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, (2006, art. 11) un programa de investigación de campo y laboratorio se define mediante:

- a) Condiciones de frontera.
- b) Numero n de puntos a investigar.
- c) Profundidad p a alcanzar en cada punto.
- d) Distribución de los puntos en la superficie del terreno.
- e) Número y tipo de muestras a extraer.
- f) Ensayos a realizar in situ y en el laboratorio.

“Un EMS puede plantearse inicialmente con un PIM (programa de investigación mínimo), debiendo aumentarse los alcances del programa en cualquiera de sus partes si las condiciones encontradas así lo exigieran” (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018).

##### **3.5.1.1. Toma de muestras**

###### **3.5.1.1.1. Instrumentos utilizados**

- Retroexcavadora
- Pico
- Pala
- Escalera

###### **3.5.1.1.2. Procedimiento**

Para la toma de muestras de suelo se procedió a realizar calicatas en el terreno de estudio, procediéndose a realizar calicatas de 2x2 m, para la determinación de la profundidad se tomó como referencia lo indicado en la Norma E0.50 “En ningún caso p (profundidad) será menor de 3 m, excepto si se encontrase roca antes de alcanzar la profundidad p, en cuyo caso el PR (profesional responsable) deberá llevar a cabo una verificación de su calidad por un método adecuado” (Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, 2018). Por consiguiente, la profundidad de investigación establecida es de 3m, sin presencia de material rocoso. Las excavaciones de calicatas se realizaron con el uso de una retroexcavadora.



Las muestras de suelo inalteradas fueron obtenidas a 2.4m de profundidad, las que fueron talladas en bloques las que fueron convenientemente embaladas para su transporte.



*Figura 52.* Muestra de suelo embalada



*Figura 53.* Excavación de calicatas con retroexcavadora



*Figura 54. Calicata excavada*

### **3.5.1.2. Ensayo para determinar el contenido de humedad**

#### **3.5.1.2.1. Instrumentos utilizados**

- Horno de secado que pueda mantener la temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanza de precisión 0.1 g
- Taras metálicas
- Espátula

#### **3.5.1.2.2. Procedimiento**

Se pesa el recipiente metálico o tara vacía, se registra el peso, se toma una muestra del suelo húmedo en la tara y se pesa en la balanza se toma nota, se procede a etiquetar los recipientes que contiene las muestras para su fácil identificación y procesamiento de los datos obtenidos, se lleva al horno para el secado a una temperatura de secado de entre  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante 12 horas como mínimo.

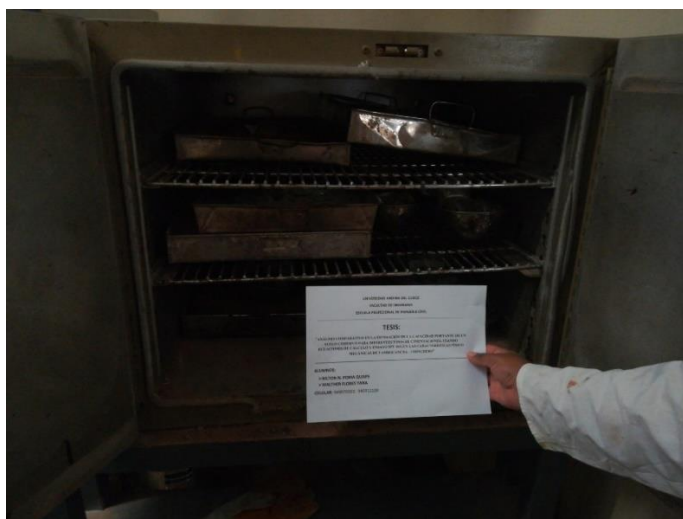
Pasado el tiempo de secado se procede a retirar las muestras de suelo del horno, se deja enfriar las muestras durante un periodo de tiempo corto, se pesa las muestras de suelo seco en la balanza y se apunta ese peso para el cálculo correspondiente del contenido de humedad del suelo que se estudia.



*Figura 55.* Peso de muestra de suelo humedo



*Figura 56.* Muestras de suelo antes de llevarlas al horno



*Figura 57.* Muestras de suelo puestas en el horno



Figura 58. Peso de muestra se suelo seca

3.5.1.2.3. Toma de datos

Tabla 20



Datos obtenidos de la calicata N° 1 para contenido de humedad

|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> |           |           |  |
|--|---|---|-----------|-----------|--|
|  |   | <b>Ensayo: Contenido de Humedad</b>   |           |           |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>   | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |   |           |           |  |
| <b>Ubicación:</b>  | Tambocancha - Chinchero   |   |           |           |  |
| <b>Fecha:</b>  |   |   |           |           |  |
| <b>Calicata N°</b>   | <b>1</b>  |   |           |           |  |
|  |   | Muestra 1   | Muestra 2 | Muestra 3 |  |
| 1  | W.Tarro + W.suelo Humedo (gr)   | 80.60   | 78.30     | 82.60     | $\omega = \frac{W\omega}{W_s} \times 100$  |
| 2  | W.Tarro + W.Suelo Seco (gr)   |   |           |           |  |
| 3  | (W $\omega$ ).peso Agua (1-2) (gr)  |   |           |           |  |
| 4  | W.Tarro (gr)  | 37.10   | 37.20     | 36.80     |  |
| 5  | (W $_s$ ).peso suelo Seco (2-4) (gr)  |   |           |           |  |
| 6  | ( $\omega$ ) Contenido de Humedad (3/5x100) (%)   |   |           |           |  |
| 7  | Promedio (%)  |   |           |           |  |





Tabla 21  
Datos obtenidos de la calicata N° 2 para contenido de humedad

|   |   |           |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |           |           |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |           |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Contenido de Humedad</b>   |           |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |           |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  |           |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |   |
| 1   | W.Tarro + W.suelo Humedo (gr)   | 74.90     | 88.20     | 92.00     |   |
| 2   | W.Tarro + W.Suelo Seco (gr)   |           |           |           | $\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100$  |
| 3   | (W $\omega$ ).peso Agua (1-2) (gr)  |           |           |           |   |
| 4   | W.Tarro (gr)  | 36.70     | 36.90     | 36.40     |   |
| 5   | (W $s$ ).peso suelo Seco (2-4) (gr)   |           |           |           |   |
| 6   | ( $\omega$ ) Contenido de Humedad (3/5x100) (%)   |           |           |           |   |
| 7   | Promedio (%)  |           |           |           |   |
|   |   |           |           |           |   |

### 3.5.1.3. Ensayo para determinar el límite líquido

#### 3.5.1.3.1. Instrumentos utilizados

- Cuchara de Casagrande
- Espátula
- Acanalador
- Mortero
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanza de precisión 0.1 g
- Taras metálicas
- Pizeta



### 3.5.1.3.2. Procedimiento

Se saca una muestra de suelo y se coloca en el mortero, se mezcla agregándole agua agitándola y amasándola con una espátula para obtener una masa homogénea, una vez preparada la pasta de suelo, se coloca una porción de muestra de suelo en la cuchara del equipo de Casagrande, alisando la superficie a una aproximada de 1 cm haciendo uso de la espátula, se usa el acanalador para separar el suelo en dos mitades iguales, luego se gira la manivela de manera uniforme a una velocidad aproximada de 2 revoluciones/segundo, se continua hasta que el surco generado por el acanalador se cierre en  $\frac{1}{2}$ " de longitud en medio de la cuchara del equipo, luego se anota el número de golpes, el ensayo se repite para los intervalos de 40 a 30 golpes, 25 a 30 golpes, 20 a 25 golpes y 20 a 15 golpes, una vez realizado las pruebas se extrae una muestra de suelo de la cuchara de Casagrande, para cada intervalo y esta muestra es pesada luego se lleva al horno para eliminar humedad existente, para luego pesar la muestra de suelo seco y se calcula el porcentaje de contenido de humedad.



Figura 59. Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido



*Figura 60.* Preparación de la muestra de suelo para determinar el límite líquido

Para la graficar de la curva de fluidez se representa la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica, para el cálculo del límite líquido se toma el contenido de humedad que corresponde a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo analizado.



*Figura 61.* Muestra de suelo lista para el ensayo de límite líquido



Figura 62. Cierre del surco en la cuchara de Casagrande para el ensayo de límite líquido





Figura 63. Muestra de suelo para contenido de humedad en el ensayo de límite líquido



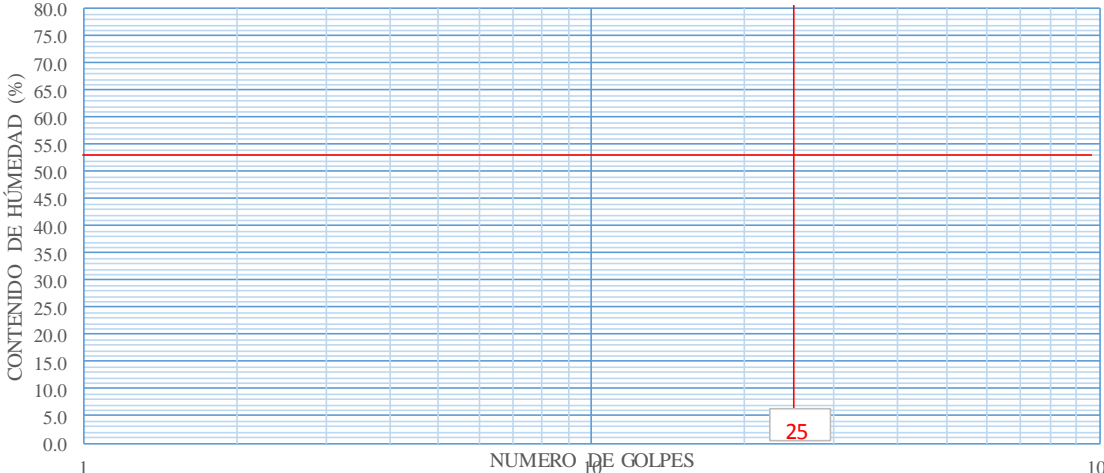
3.5.1.3.3. Toma de datos

Tabla 22  
Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de límite líquido

|  |   | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO   |      |      |      |  |
|---|---|--|------|------|------|---|
|   |   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |      |      |      |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Límite Líquido</b>   |  |      |      |      |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |      |      |      |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |      |      |      |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |      |      |      |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |  |      |      |      |   |
| Muestras  | 1   | 2  | 3    | 4    |      |   |
| N° de Golpes  | 17  | 25   | 28   | 33   |      |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   | 24.8   | 24.1 | 24.1 | 23.5 |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   |  |      |      |      |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  |  |      |      |      |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)   | 16.1   | 16.2 | 16   | 15.8 |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  |  |      |      |      |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  |  |      |      |      |   |
| Limite Liquido (%)  |   |  |      |      |      |   |
| $PI = (LL - LP)$  |   |  |      |      |      |   |
| $PI =$  |   |  |      |      |      | %   |


### Diagrama de Fluidez



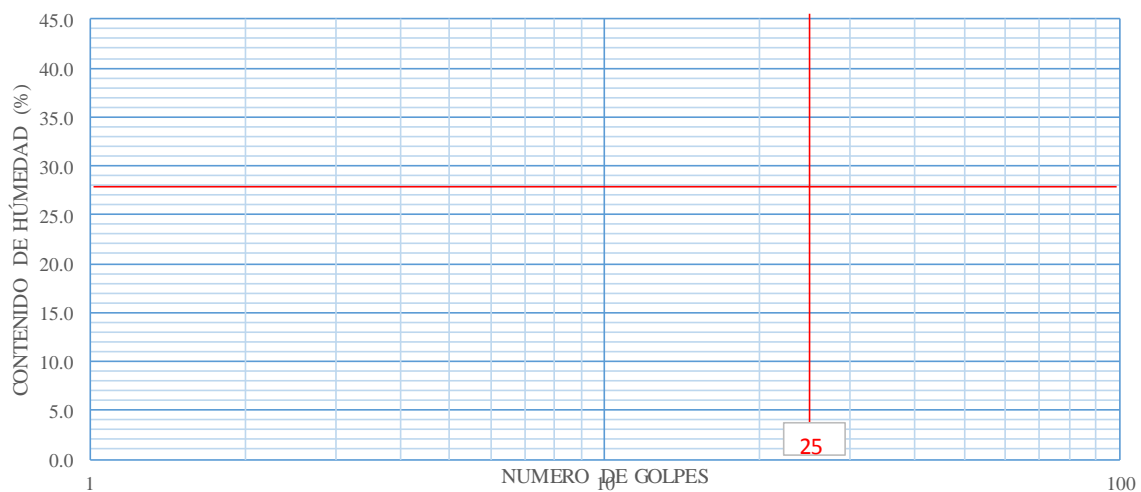
El diagrama de fluidez muestra un gráfico con el eje vertical etiquetado como 'CONTENIDO DE HUMEDAD (%)' que varía de 0.0 a 80.0 en incrementos de 5.0. El eje horizontal está etiquetado como 'NUMERO DE GOLPES' y varía de 1 a 100. Una línea horizontal roja se traza a un nivel de 53.0% de humedad. Una línea vertical roja se traza a un nivel de 25 golpes. El punto de intersección de estas líneas cae dentro de la zona de fluidez (zona superior izquierda del gráfico).



Tabla 23  
Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de límite líquido

|   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
|---|------------------------------------|--|------|------|------|---|--|--|--|
|  |                                    | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |      |      |      | <br><b>UAC</b> |  |  |  |
|   |                                    | <b>Ensayo: Límite Líquido</b>  |      |      |      |   |  |  |  |
|   |                                    | <b>Tesis de Grado:</b> Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |      |      |      |   |  |  |  |
| <b>Ubicación:</b> Tambocancha - Chinchero   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| <b>Fecha:</b>   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| <b>Calicata N° 2</b>  |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| Muestras  |                                    | 1  | 2    | 3    | 4    |   |  |  |  |
| N° de Golpes  |                                    | 14   | 24   | 27   | 38   |   |  |  |  |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)  | 27   | 25.8 | 24.9 | 23.9 |   |  |  |  |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)         |  |      |      |      |   |  |  |  |
| 4   | Peso del Tarro (gr)                | 15.7   | 15.8 | 15.9 | 15.8 |   |  |  |  |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)       |  |      |      |      |   |  |  |  |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%) |  |      |      |      |   |  |  |  |
| Limite Liquido (%)  |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| $PI = (LL - LP)$  |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| $PI =$  |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
|   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |

### Diagrama de Fluidez





### 3.5.1.4. Ensayo para determinar el límite plástico

#### 3.5.1.4.1. Instrumentos utilizados

- Placa de vidrio esmerilado
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanza de precisión 0.1 g
- Taras metálicas
- Varilla de 3 mm

#### 3.5.1.4.2. Procedimiento

Se hace uso del material utilizado en el ensayo de límite líquido, se toma una porción de muestra de suelo y se amasa sobre el vidrio esmerilado para que pierda humedad, se va enrollando hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm ( $1/8''$ ), la prueba continua hasta que el rodillo amasado empieza a rajarse y pueda desmoronarse.

Una vez alcanzado esta condición se coloca el rodillo en una tara o recipiente metálico con peso conocido, para luego pesar el rodillo húmedo y se lleva al horno para eliminar la humedad que contiene y obtener la muestra seca y poder calcular el límite plástico.

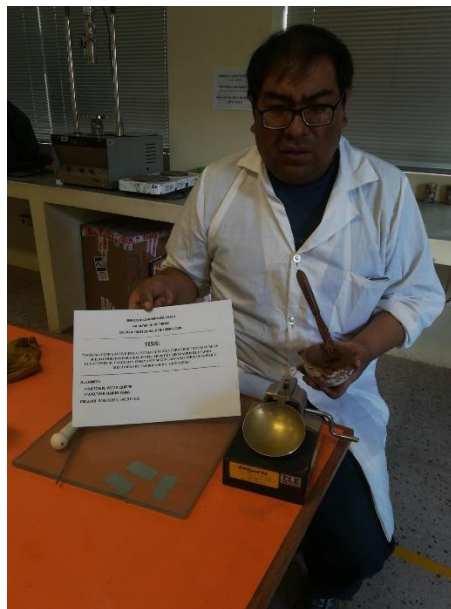


Figura 64. Equipo para el ensayo de límite plástico



*Figura 65.* Muestra de suelo amasada sobre el vidrio esmerilado



*Figura 66.* Rollos de muestra de suelo que alcanza un diámetro de 3.2 mm



*Figura 67.* Peso de rollitos de muestra de suelo para contenido de humedad





3.5.1.4.3. Toma de datos

Tabla 24

*Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de límite plástico*

|   |   |      |      |   |
|---|---|------|------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |      |      |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |      |      |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |      |      |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Límite Plástico</b>  |      |      |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |      |      |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |      |      |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |      |      |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |      |      |   |
|   | Muestras  | 1    | 2    |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   | 18.6 | 18.7 |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   |      |      |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  |      |      |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)   | 16.3 | 16.2 |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  |      |      |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  |      |      |   |
|   | Límite Plástico (%)   |      |      |   |



Tabla 25  
Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de límite plástico

|   |   |      |      |   |
|---|---|------|------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |      |      |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |      |      |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |      |      |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Límite Plástico</b>  |      |      |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |      |      |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |      |      |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |      |      |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  |      |      |   |
|   | Muestras  | 1    | 2    |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   | 18.8 | 18.5 |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   |      |      |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  |      |      |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)   | 16   | 15.9 |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  |      |      |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  |      |      |   |
|   | Límite Plástico (%)   |      |      |   |

### 3.5.1.5. Ensayo de peso volumétrico de suelo

#### 3.5.1.5.1. Equipos utilizados

- Probeta graduada de 250 ml
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$
- Balanza de precisión 0.1 g
- Pizeta
- Espátula
- Cocina eléctrica



### 3.5.1.5.2. Procedimiento

Como materiales se requieren parafina y la muestra de suelo, se procede a derretir la parafina en un bol y mediante una cocina eléctrica, se talla la muestra de suelo con un tamaño tal, que pueda introducirse dentro de la probeta, se pesa la muestra de suelo tallada para luego sumergirlo dentro de la parafina derretida, la parafina debe de cubrir la totalidad de la muestra de suelo, se deja enfriar la muestra de suelo y se registra el peso obtenido, se afora la probeta hasta un volumen conocido, se introduce la muestra de suelo cubierta con parafina en la probeta, la cual producirá un aumento de volumen dentro de la probeta el cual se anota para el cálculo del peso volumétrico del suelo.



Figura 68. Materiales y herramientas para el ensayo del peso volumétrico del suelo



Figura 69. Pizeta graduada para el ensayo del peso volumétrico del suelo



*Figura 70.* Muestras de suelo talladas para el ensayo del peso volumétrico del suelo



*Figura 71.* Parafina derretida para el ensayo del peso volumétrico del suelo



*Figura 72.* Muestras de suelo sumergidas en parafina



Figura 73. Muestras de suelo secadas para el ensayo del peso volumétrico del suelo



Figura 74. Determinación del volumen desplazado de la muestra de suelo con parafina



3.5.1.5.3. Toma de datos

Tabla 26

*Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de peso específico de suelo con humedad natural*



|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |           |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo con Humedad Natural</b>  |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 23.4      | 22.5      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 26.0      | 26.0      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   | 15.0      | 16.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |           |   |
| 9   | Promedio  |           |           |   |
|   |   |           |           |   |



Tabla 27

Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de peso específico de suelo con humedad natural



|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |           |           |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo con Humedad Natural</b>  |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N° 2</b>  |   |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 27.3      | 20.8      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 31.3      | 23.8      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   | 19.0      | 15.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |           |   |
| 9   | Promedio  |           |           |   |

Tabla 28

Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de peso específico de suelo saturado



|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |           |           |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Saturada</b>   |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 20.1      | 22.1      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 22.7      | 25.7      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   | 14.0      | 14.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |           |   |
| 9   | Promedio  |           |           |   |



Tabla 29

Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de peso específico de suelo saturado



|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |           |           |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Saturada</b>   |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N° 2</b>  |   |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 16.8      | 21.6      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 23.1      | 26.2      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   | 16.0      | 16.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |           |   |
| 9   | Promedio  |           |           |   |

Tabla 30

Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de peso específico de suelo seco





|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |           |           |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Seco</b>   |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 19.3      | 21.9      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 23.1      | 25.6      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   | 15.0      | 16.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |           |   |
| 9   | Promedio  |           |           |   |





Tabla 31

Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de peso específico de suelo seco

|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |           |           |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Seco</b>   |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 21.2      | 18.9      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 25.1      | 22.3      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |           |           |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm3)   | 16.0      | 14.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm3)   |           |           |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm3)   |           |           |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm3)   |           |           |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm3)  |           |           |   |
| 9   | Promedio  |           |           |   |

### 3.5.1.6. Ensayo de granulometría

#### 3.5.1.6.1. Instrumentos utilizados

- Tamices N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200
- Balanza electrónica
- Agitador mecánico
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

#### 3.5.1.6.2. Procedimiento

Se toma una muestra de suelo cohesivo y se procede a pesar en una balanza electrónica se anota el peso y luego se procede a lavar la muestra de suelo vertiendo la muestra lavada a través del tamiz N° 200, para poder recuperar el suelo que no pasa la malla N° 200.



*Figura 75.* Lavado de material a través del tamiz N° 200

Una vez culminado con el lavado, toda la muestra que fue retenida en el tamiz N° 200 es secada en el horno por 24 horas.



*Figura 76.* Suelo retenido a través del tamiz N° 200

Para luego proceder al tamizado mediante los tamices N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y el fondo o cazuela haciendo uso del tamizador mecánico y pesar el material retenido en cada tamiz.



Figura 77. Tamizado de la muestra de suelo seca



3.5.1.6.3. Toma de datos

Tabla 32  
Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de granulometría



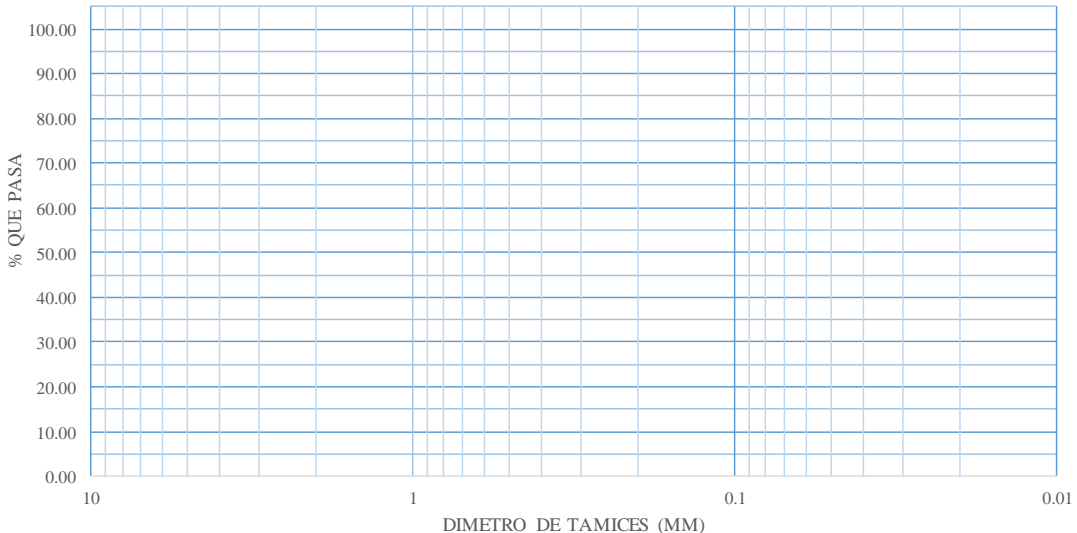
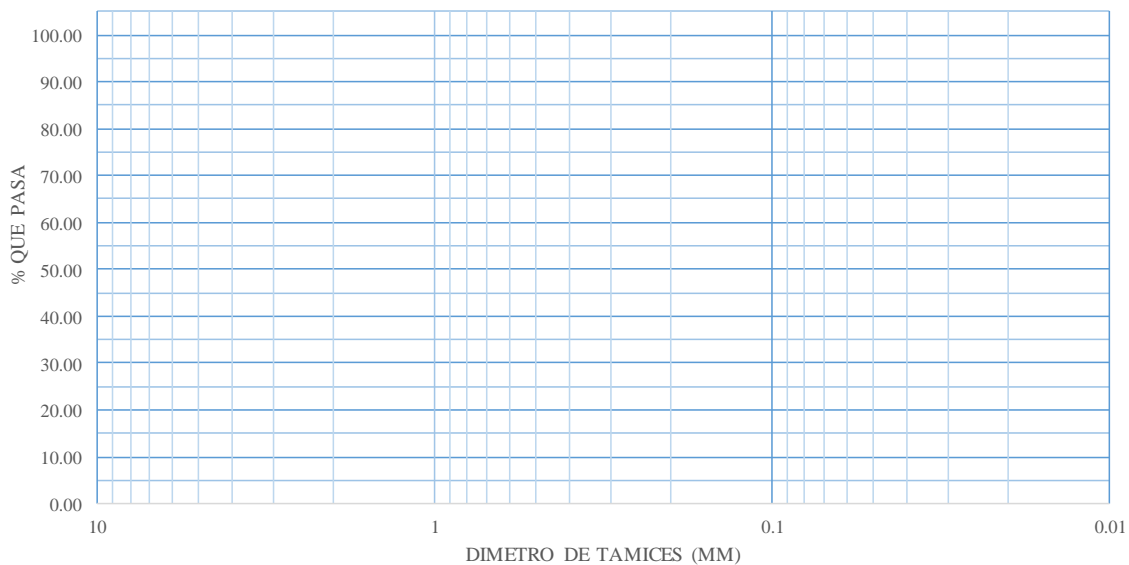
|  |   |          |               |            |            |       |   |
|--|---|----------|---------------|------------|------------|-------|---|
|     | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |          |               |            |            |       |  |
|  | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |          |               |            |            |       |   |
| <b>Ensayo:</b>   | <b>Granulometria</b>  |          |               |            |            |       |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>   | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |          |               |            |            |       |   |
| <b>Ubicación:</b>  | Tambocancha - Chinchero   |          |               |            |            |       |   |
| <b>Fecha:</b>  |   |          |               |            |            |       |   |
| <b>Calicata N°</b>   | <b>1</b>  |          |               |            |            |       |   |
| Peso de la muestra seca (gr)   | 630.50  |          |               |            |            |       |   |
| Peso de la muestra lavada (gr)   | 488.60  |          |               |            |            |       |   |
| Diferencia (gr)  | 141.90  |          |               |            |            |       |   |
|  | Tamaño  | Diametro | Peso          | % Retenido | % Retenido | % Que |   |
|  | Malla ASTM  | (mm)     | Retenido (gr) | Parcial    | Acumulado  | Pasa  |   |
| 1  | N° 4  | 4.75     | 0.00          |            |            |       |   |
| 2  | N° 8  | 2.36     | 0.00          |            |            |       |   |
| 3  | N° 16   | 1.18     | 10.60         |            |            |       |   |
| 4  | N° 30   | 0.6      | 8.50          |            |            |       |   |
| 5  | N° 50   | 0.3      | 9.70          |            |            |       |   |
| 6  | N° 100  | 0.15     | 11.20         |            |            |       |   |
| 7  | N° 200  | 0.075    | 10.30         |            |            |       |   |
|  | Fondo   |          | 0.00          |            |            |       |   |
|  | Total   |          | 630.50        |            |            |       |   |
|  | % Perdida   |          | 22.51         |            |            |       |   |
| <b>Curva Granulométrica</b>  |   |          |               |            |            |       |   |
|  |   |          |               |            |            |       |   |



Tabla 33  
Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de granulometría

|   |   |          |               |            |            |       |   |
|---|---|----------|---------------|------------|------------|-------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |          |               |            |            |       |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |          |               |            |            |       |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |          |               |            |            |       |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Granulometria</b>  |          |               |            |            |       |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |          |               |            |            |       |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |          |               |            |            |       |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |          |               |            |            |       |   |
| <b>Calicata N° 2</b>  |   |          |               |            |            |       |   |
| Peso de la muestra seca (gr)  | 564.20  |          |               |            |            |       |   |
| Peso de la muestra lavada (gr)  | 496.10  |          |               |            |            |       |   |
| Diferencia (gr)   | 68.10   |          |               |            |            |       |   |
|   | Tamaño  | Diametro | Peso          | % Retenido | % Retenido | % Que |   |
|   | Malla ASTM  | (mm)     | Retenido (gr) | Parcial    | Acumulado  | Pasa  |   |
| 1   | N° 4  | 4.75     | 0.00          |            |            |       |   |
| 2   | N° 8  | 2.36     | 0.00          |            |            |       |   |
| 3   | N° 16   | 1.18     | 8.90          |            |            |       |   |
| 4   | N° 30   | 0.6      | 9.40          |            |            |       |   |
| 5   | N° 50   | 0.3      | 10.60         |            |            |       |   |
| 6   | N° 100  | 0.15     | 11.90         |            |            |       |   |
| 7   | N° 200  | 0.075    | 9.20          |            |            |       |   |
|   | Fondo   |          | 0.00          |            |            |       |   |
|   | Total   |          | 564.20        |            |            |       |   |
|   | % Perdida   |          | 12.07         |            |            |       |   |

Curva Granulométrica





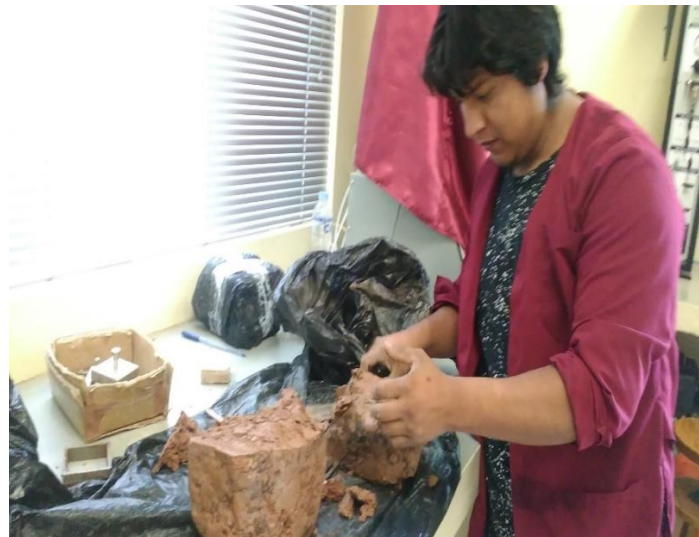
### 3.5.1.7. Ensayo de corte directo

#### 3.5.1.7.1. Instrumentos utilizados

- Equipo de corte directo
- Balanza electrónica
- Tallador
- Arco de sierra
- Espátula

#### 3.5.1.7.2. Procedimiento

Se trabaja con las muestras de suelo inalteradas, las cuales se proceden a tallar colocando en la parte superior de la muestra el tallador, para luego tallar los bordes de la muestra de suelo con la espátula, para que la muestra de suelo pueda introducirse en el tallador en su totalidad.



*Figura 78.* Tallado de la muestra de suelo cohesivo

Una vez que el tallador a ingresado a la muestra de suelo, se procede a realizar el ensayo de corte directo haciendo uso del equipo de corte de directo para lo cual se coloca en la parte inferior de la celda de corte la base ranurada, piedra porosa y papel filtro, se cubre con papel filtro metal poroso y se retira el tallador, luego se procede a poner en marca el equipo y se toma las lecturas de los deformímetros hasta que el suelo falle y se muestre este fallo en los deformímetros.



*Figura 79.* Procedimiento de ensayo de corte directo mediante el equipo de corte



3.5.1.7.3. Toma de datos

Tabla 34

Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de corte directo muestra 1



|  |                                | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                 |                            |                   |                          |  |
|---|--------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|---|
|   |                                | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |                                 |                            |                   |                          |   |
|   |                                | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                                 |                            |                   |                          |   |
| <b>Ensayo:</b>  |                                | <b>Corte Directo</b>  |                                 |                            |                   |                          |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                                | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |                            |                   |                          |   |
| <b>Ubicación:</b>   |                                | Tambocancha - Chinchero   |                                 |                            |                   |                          |   |
| <b>Fecha:</b>   |                                |   |                                 |                            |                   |                          |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |                                | <b>M-1</b>  |                                 |                            |                   |                          |   |
| Caja de Corte   | 1a                             |   |                                 |                            |                   |                          |   |
| Largo (cm)  | 6.00                           |   |                                 |                            |                   |                          |   |
| Ancho (cm)  | 6.00                           | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(\text{diviciones})+2.242843)x0.453592</math></b>  |                                 |                            |                   |                          |   |
| Area (cm2)  | 36.00                          |   |                                 |                            |                   |                          |   |
| Deformimetro Horizontal (0.01*div)  | Deformación Horizontal AH (mm) | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm2) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm2) |   |
| 1   | 0                              | 0   |                                 |                            |                   |                          |   |
| 2   | 25                             | 8   |                                 |                            |                   |                          |   |
| 3   | 50                             | 17  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 4   | 75                             | 25  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 5   | 100                            | 32  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 6   | 125                            | 38  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 7   | 150                            | 42  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 8   | 175                            | 45  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 9   | 200                            | 47  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 10  | 225                            | 48  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 11  | 250                            | 49  |                                 |                            |                   |                          |   |
| 12  | 275                            | 49  |                                 |                            |                   |                          |   |





Tabla 35

Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de corte directo muestra 2

|                                    |   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
|------------------------------------|---|--|---------------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|--|
|                                    | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
|                                    | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |  |                                 |   |                   |                                       |  |
|                                    | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |                                 |   |                   |                                       |  |
|                                    |   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| <b>Ensayo:</b>                     | <b>Corte Directo</b>  |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>             | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| <b>Ubicación:</b>                  | Tambocancha - Chinchero   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| <b>Fecha:</b>                      |   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| <b>Calicata N°</b>                 | <b>1</b>  | <b>M-2</b>   |                                 |   |                   |                                       |  |
| Caja de Corte                      | 1a  |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| Largo (cm)                         | 6   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| Ancho (cm)                         | 6   | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(\text{divisiones})+2.242843)x0.453592</math></b> |                                 |   |                   |                                       |  |
| Area (cm <sup>2</sup> )            | 36  |  |                                 |   |                   |                                       |  |
| Deformimetro Horizontal (0.01*div) | Deformación Horizontal AH (mm)  | Lectura de la carga del dial   | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ) |  |
| 1                                  | 0   | 0  |                                 |   |                   |                                       |  |
| 2                                  | 25  | 12   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 3                                  | 50  | 22   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 4                                  | 75  | 30   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 5                                  | 100   | 36   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 6                                  | 125   | 41   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 7                                  | 150   | 45   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 8                                  | 175   | 48   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 9                                  | 200   | 50   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 10                                 | 225   | 52   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 11                                 | 250   | 53   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 12                                 | 275   | 54   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 13                                 | 300   | 55   |                                 |   |                   |                                       |  |
| 14                                 | 325   | 55   |                                 |   |                   |                                       |  |



Tabla 36

Datos obtenidos de la calicata N° 1 para ensayo de corte directo muestra 3



|   |   |  |                                 |   |                   |                                       |   |
|---|---|--|---------------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |                                 |   |                   |                                       |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |  |                                 |   |                   |                                       |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |                                 |   |                   |                                       |   |
|   |   |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Corte Directo</b>  |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  | <b>M-3</b>   |                                 |   |                   |                                       |   |
| Caja de Corte   | 1a  |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| Largo (cm)  | 6.00  |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| Ancho (cm)  | 6.00  | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(\text{divisiones})+2.242843)x0.453592</math></b> |                                 |   |                   |                                       |   |
| Area (cm <sup>2</sup> )   | 36.00   |  |                                 |   |                   |                                       |   |
| Deformimetro Horizontal (0.01*div)  | Deformación Horizontal AH (mm)  | Lectura de la carga del dial   | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ) |   |
| 1   | 0   | 0  |                                 |   |                   |                                       |   |
| 2   | 25  | 16   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 3   | 50  | 27   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 4   | 75  | 36   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 5   | 100   | 42   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 6   | 125   | 47   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 7   | 150   | 51   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 8   | 175   | 54   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 9   | 200   | 56   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 10  | 225   | 58   |                                 |   |                   |                                       |   |
| 11  | 250   | 58   |                                 |   |                   |                                       |   |



Tabla 37

Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de corte directo muestra 1



|   |   |  |                              |                                 |   |                   |   |
|---|---|--|------------------------------|---------------------------------|---|-------------------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |                              |                                 |   |                   |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |  |                              |                                 |   |                   |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |  |                              |                                 |   |                   |   |
|   |   |  |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Corte Directo</b>  |  |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  | <b>M-1</b>   |                              |                                 |   |                   |   |
| Caja de Corte   | 1a  |  |                              |                                 |   |                   |   |
| Largo (cm)  | 6.00  |  |                              |                                 |   |                   |   |
| Ancho (cm)  | 6.00  | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(\text{divisiones})+2.242843)x0.453592</math></b> |                              |                                 |   |                   |   |
| Area (cm <sup>2</sup> )   | 36.00   |  |                              |                                 |   |                   |   |
|   | Deformimetro Horizontal   | Deformación Horizontal   | Lectura de la carga del dial | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal   |
| 1   | 0   |  | 0                            |                                 |   |                   |   |
| 2   | 25  |  | 18                           |                                 |   |                   |   |
| 3   | 50  |  | 31                           |                                 |   |                   |   |
| 4   | 75  |  | 40                           |                                 |   |                   |   |
| 5   | 100   |  | 44                           |                                 |   |                   |   |
| 6   | 125   |  | 45                           |                                 |   |                   |   |
| 7   | 150   |  | 46                           |                                 |   |                   |   |
| 8   | 175   |  | 47                           |                                 |   |                   |   |
| 9   | 200   |  | 48                           |                                 |   |                   |   |
| 10  | 225   |  | 49                           |                                 |   |                   |   |
| 11  | 250   |  | 50                           |                                 |   |                   |   |
| 12  | 275   |  | 50                           |                                 |   |                   |   |



Tabla 38

Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de corte directo muestra 2





|   |   |   |                              |                                 |   |                   |   |
|---|---|---|------------------------------|---------------------------------|---|-------------------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |   |                              |                                 |   |                   |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |   |                              |                                 |   |                   |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |   |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Corte Directo</b>  |   |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |   |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |   |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |   |                              |                                 |   |                   |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  | <b>M-2</b>  |                              |                                 |   |                   |   |
| Caja de Corte   | 1a  |   |                              |                                 |   |                   |   |
| Largo (cm)  | 6   |   |                              |                                 |   |                   |   |
| Ancho (cm)  | 6   | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(divisiones)+2.242843)x0.453592</math></b> |                              |                                 |   |                   |   |
| Area (cm <sup>2</sup> )   | 36  |   |                              |                                 |   |                   |   |
|   | Deformimetro Horizontal   | Deformación Horizontal  | Lectura de la carga del dial | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal   |
| 1   | 0   |   | 0                            |                                 |   |                   |   |
| 2   | 25  |   | 22                           |                                 |   |                   |   |
| 3   | 50  |   | 35                           |                                 |   |                   |   |
| 4   | 75  |   | 43                           |                                 |   |                   |   |
| 5   | 100   |   | 47                           |                                 |   |                   |   |
| 6   | 125   |   | 49                           |                                 |   |                   |   |
| 7   | 150   |   | 50                           |                                 |   |                   |   |
| 8   | 175   |   | 51                           |                                 |   |                   |   |
| 9   | 200   |   | 52                           |                                 |   |                   |   |
| 10  | 225   |   | 53                           |                                 |   |                   |   |
| 11  | 250   |   | 54                           |                                 |   |                   |   |
| 12  | 275   |   | 54                           |                                 |   |                   |   |



Tabla 39

Datos obtenidos de la calicata N° 2 para ensayo de corte directo muestra 3

|   |   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
|---|---|--|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |                              |                                 |                            |                   |  |
|   | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
|   | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
|   |   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Corte Directo</b>  |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  | <b>M-3</b>   |                              |                                 |                            |                   |   |
| Caja de Corte   | 1a  |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| Largo (cm)  | 6.00  |  |                              |                                 |                            |                   |   |
| Ancho (cm)  | 6.00  | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(\text{divisiones})+2.242843)x0.453592</math></b> |                              |                                 |                            |                   |   |
| Area (cm2)  | 36.00   |  |                              |                                 |                            |                   |   |
|   | Deformimetro Horizontal   | Deformación Horizontal   | Lectura de la carga del dial | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm2) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal   |
| 1   | 0   |  | 0                            |                                 |                            |                   |   |
| 2   | 25  |  | 26                           |                                 |                            |                   |   |
| 3   | 50  |  | 39                           |                                 |                            |                   |   |
| 4   | 75  |  | 47                           |                                 |                            |                   |   |
| 5   | 100   |  | 52                           |                                 |                            |                   |   |
| 6   | 125   |  | 54                           |                                 |                            |                   |   |
| 7   | 150   |  | 55                           |                                 |                            |                   |   |
| 8   | 175   |  | 56                           |                                 |                            |                   |   |
| 9   | 200   |  | 57                           |                                 |                            |                   |   |
| 10  | 225   |  | 58                           |                                 |                            |                   |   |
| 11  | 250   |  | 58                           |                                 |                            |                   |   |
| 12  | 275   |  | 58                           |                                 |                            |                   |   |

### 3.5.1.8. Ensayo de penetración estándar SPT

#### 3.5.1.8.1. Instrumentos utilizados

- Equipo de SPT
- Pico
- Pala

#### 3.5.1.8.2. Procedimiento

Dentro de las características del equipo SPT se tiene un martillo o masa de 63.5 Kg de peso, la cual debe de caer una altura de 76 cm la cual impacta en una cabeza de golpeo, así como



está provisto de una saca muestras de 2" de diámetro y una barra de sondeo, el mecanismo que libera el martinete está provisto de un motor.



*Figura 80. Equipo de SPT antes de armar*



*Figura 81. Armado del equipo de SPT*



*Figura 82. Instalacion del muestreador de 2"*

Una vez armado el equipo el ensayo consiste en ingresar el muestreador de 2" una distancia de 45 cm en el suelo, se procede a marcar la tubería de perforación cada 15 cm para poder controlar el número de golpes que se requiere para penetrar los 15 cm, se deja caer el martillo de 63.5 Kg desde una altura de 76 cm, se cuentan el número de golpes para que el muestreador logre ingresar los 15 cm.



*Figura 83. Martillo de 63.5 Kg de peso*



*Figura 84.* Inicio del ensayo de SPT



*Figura 85.* Muestra de suelo del ensayo SPT





3.5.1.8.3. Toma de datos

Tabla 40

Numero de golpes de SPT cada 30 cm para calicata N° 1

| Profundidad |      | de 0 a 15cm | de 15 a 30cm | de 30 a 45cm | N | (N)spt | C <sub>D</sub><br>f.<br>empo | C <sub>w</sub><br>corr. De<br>NF | N <sub>%60</sub> corr | qu<br>kg/cm2 |
|-------------|------|-------------|--------------|--------------|---|--------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|
| 0           | 0.40 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 0.40        | 0.85 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 0.85        | 1.30 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 1.30        | 1.75 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 1.75        | 2.20 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 2.20        | 2.65 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 2.65        | 3.10 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 3.10        | 3.55 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 3.55        | 4.00 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |

Tabla 41

Numero de golpes de SPT cada 30 cm para calicata N° 2

| Profundidad |      | de 0 a 15cm | de 15 a 30cm | de 30 a 45cm | N | (N)spt | C <sub>D</sub><br>f.<br>empo | C <sub>w</sub><br>corr. De<br>NF | N <sub>%60</sub> corr | qu<br>kg/cm2 |
|-------------|------|-------------|--------------|--------------|---|--------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|
| 0           | 0.40 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 0.40        | 0.85 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 0.85        | 1.30 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 1.30        | 1.75 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 1.75        | 2.20 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 2.20        | 2.65 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 2.65        | 3.10 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 3.10        | 3.55 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |
| 3.55        | 4.00 |             |              |              |   |        |                              |                                  |                       |              |



### 3.6. Procedimientos de análisis de datos

#### 3.6.1. Ensayo para determinar el contenido de humedad

##### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para el cálculo del contenido de humedad de la muestra de suelo de la presente investigación se utiliza la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100$$

Donde:

$\omega$ : contenido de humedad en %

$W_{\omega}$ : peso de agua (kg, g, etc.)

$W_s$ : peso de suelo seco (kg, g, etc.)

Los cálculos del contenido de humedad de las calicatas para la tesis de investigación se resumen en los siguientes cuadros con los cálculos correspondientes y resultados obtenidos.



Tabla 42  
Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de contenido de humedad




|   |   |           |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |           |           |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |           |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Contenido de Humedad</b>   |           |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |           |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |           |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |   |
| 1   | W.Tarro + W.suelo Humedo (gr)   | 80.60     | 78.30     | 82.60     |   |
| 2   | W.Tarro + W.Suelo Seco (gr)   | 69.60     | 67.80     | 71.10     | $\omega = \frac{W\omega}{W_s} \times 100$   |
| 3   | (W $\omega$ ).peso Agua (1-2) (gr)  | 11.00     | 10.50     | 11.50     |   |
| 4   | W.Tarro (gr)  | 37.10     | 37.20     | 36.80     |   |
| 5   | (W $s$ ).peso suelo Seco (2-4) (gr)   | 32.50     | 30.60     | 34.30     |   |
| 6   | ( $\omega$ ) Contenido de Humedad (3/5x100) (%)   | 33.85     | 34.31     | 33.53     |   |
| 7   | Promedio (%)  | 33.90     |           |           |   |
|   |   |           |           |           |   |



Tabla 43  
Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de contenido de humedad

|   |   |   |           |           |   |
|---|---|---|-----------|-----------|---|
|  |   | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |           |           |    |
|   |   | <b>Contenido de Humedad</b>   |           |           |   |
|   |   | <b>Ensayo:</b>  |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |   | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   |   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N° 2</b>  |   |   |           |           |   |
|   |   | Muestra 1   | Muestra 2 | Muestra 3 |   |
| 1   | W.Tarro + W.suelo Humedo (gr)                   | 74.90   | 88.20     | 92.00     | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <math display="block">\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100</math> </div> |
| 2   | W.Tarro + W.Suelo Seco (gr)                     | 67.70   | 79.50     | 82.70     |   |
| 3   | (W $\omega$ ).peso Agua (1-2) (gr)              | 7.20  | 8.70      | 9.30      |   |
| 4   | W.Tarro (gr)                                    | 36.70   | 36.90     | 36.40     |   |
| 5   | (W $s$ ).peso suelo Seco (2-4) (gr)             | 31.00   | 42.60     | 46.30     |   |
| 6   | ( $\omega$ ) Contenido de Humedad (3/5x100) (%) | 23.23   | 20.42     | 20.09     |   |
| 7   | Promedio (%)                                    | 21.24   |           |           |   |

**b) Análisis de la prueba**

Los resultados obtenidos para el ensayo de contenido de humedad para las dos calicatas difieren en los resultados por la proximidad del nivel freático en las calicatas.

Tabla 44  
Contenido de humedad en % para calicatas N° 1 y 2

| Calicata | Contenido de humedad $\omega$ (%) |
|----------|-----------------------------------|
| 1        | 33.90                             |
| 2        | 21.24                             |



### 3.6.2. Ensayo para determinar el límite plástico

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

El límite plástico se calcula a partir de la humedad en la cual el suelo se cuarteo y quiebra cuando se forman cilindros pequeños, el procedimiento de esta prueba es similar al anterior ítem con la siguiente fórmula.

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100$$

Donde:

$\omega$ : contenido de humedad en %

$W_{\omega}$ : peso de agua (kg, g, etc.)

$W_s$ : peso de suelo seco (kg, g, etc.)

Los resultados obtenidos para este ensayo se resumen en los siguientes cuadros.



Tabla 45

Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de contenido de límite plástico





|   |   |       |       |   |
|---|---|-------|-------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |       |       |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |       |       |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |       |       |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Límite Plástico</b>  |       |       |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |       |       |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |       |       |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |       |       |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>1</b>  |       |       |   |
|   | Muestras  | 1     | 2     |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   | 18.6  | 18.7  |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   | 18    | 18.1  |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  | 0.6   | 0.6   |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)   | 16.3  | 16.2  |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  | 1.7   | 1.9   |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  | 35.29 | 31.58 |   |
|   | Límite Plástico (%)   | 33.44 |       |   |



Tabla 46

Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de contenido de límite plástico

|   |   |       |       |   |
|---|---|-------|-------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |       |       |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |       |       |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |       |       |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Límite Plástico</b>  |       |       |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |       |       |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |       |       |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |       |       |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  |       |       |   |
|   | Muestras  | 1     | 2     |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)   | 18.8  | 18.5  |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)   | 18.1  | 17.8  |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)  | 0.7   | 0.7   |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)   | 16    | 15.9  |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)  | 2.1   | 1.9   |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%)  | 33.33 | 36.84 |   |
|   | Límite Plástico (%)   | 35.09 |       |   |

**b) Análisis de la prueba**

Los resultados que se obtiene de ambas calicatas tiene un valor muy próximo.

Tabla 47

Límite plástico en % para las calicatas N° 1 y 2

| Calicata | Límite Plástico (%) |
|----------|---------------------|
| 1        | 33.44               |
| 2        | 35.09               |



### 3.6.3. Ensayo para determinar el límite líquido

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para el cálculo del ensayo del límite líquido el procedimiento es similar al de contenido de humedad y se calcula con la siguiente fórmula.

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100$$

Donde:

$\omega$ : contenido de humedad en %

$W_{\omega}$ : peso de agua (kg, g, etc.)

$W_s$ : peso de suelo seco (kg, g, etc.)

Para hallar el límite líquido se utiliza una gráfica con el número de golpes en el eje de las abscisas y el contenido de humedad en el eje de las ordenadas como se muestra en los cuadros, se traza una recta en la intersección hacia el eje de las ordenadas y se lee el límite líquido en la gráfica del diagrama de fluidez.

El cálculo del índice de plasticidad se obtiene con la siguiente fórmula:

$$PI = (LL - LP)$$

Donde:

$PI$ : Índice de plasticidad (%)

$LL$ : Límite líquido (%)

$LP$ : Límite plástico (%)



Los resultados obtenidos para este ensayo se resumen en los siguientes cuadros.





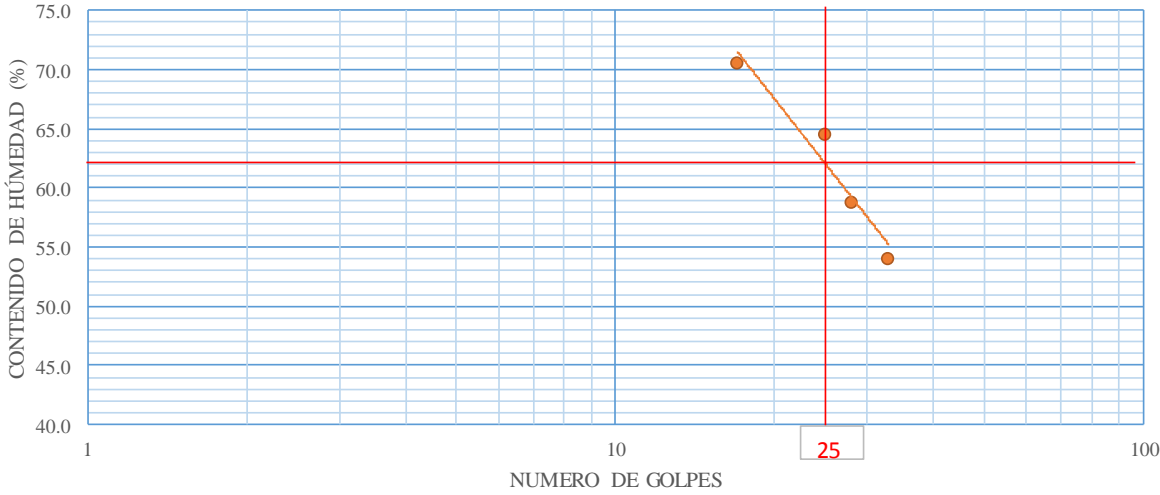
Tabla 48

Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de contenido de límite líquido

|  |                                    | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |      |      |      |  |
|---|------------------------------------|---|------|------|------|---|
|   |                                    | <b>Límite Líquido</b>   |      |      |      |   |
| <b>Ensayo:</b>  |                                    |   |      |      |      |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                                    | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |      |      |      |   |
| <b>Ubicación:</b>   |                                    | Tambocancha - Chinchero   |      |      |      |   |
| <b>Fecha:</b>   |                                    |   |      |      |      |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |                                    |   |      |      |      |   |
| Muestras  |                                    | 1   | 2    | 3    | 4    |   |
| N° de Golpes  |                                    | 17  | 25   | 28   | 33   |   |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)  | 24.8  | 24.1 | 24.1 | 23.5 |   |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)    | 21.2  | 21   | 21.1 | 20.8 |   |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)         | 3.6   | 3.1  | 3.0  | 2.7  |   |
| 4   | Peso del Tarro (gr)                | 16.1  | 16.2 | 16   | 15.8 |   |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)       | 5.1   | 4.8  | 5.1  | 5    |   |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%) | 70.6  | 64.6 | 58.8 | 54.0 |   |
| Limite Liquido (%)  |                                    | 62  |      |      |      |   |
| $PI = (LL - LP)$  |                                    |   |      |      |      |   |
| $PI =$  |                                    | 28.56   | %    |      |      |   |

### Diagrama de Fluidez



El diagrama de fluidez muestra la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes para cinco muestras. La línea horizontal roja indica el límite líquido (LL) en 62%. El punto de intersección de la línea de tendencia con esta línea horizontal indica el límite líquido líquido (LL) de 62%.



Tabla 49

Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de contenido de límite líquido



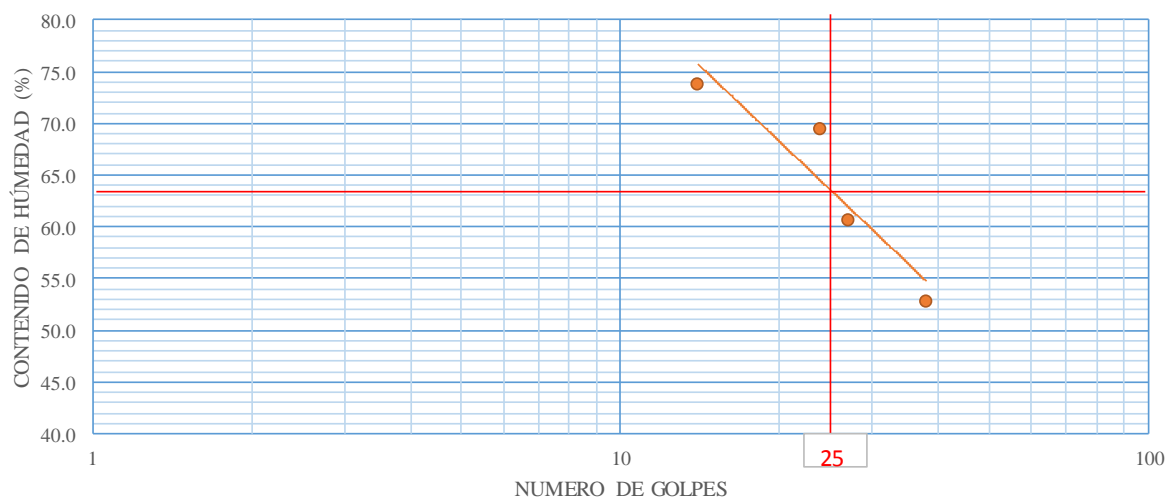
|   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
|---|------------------------------------|--|------|------|------|---|--|--|--|
|  |                                    | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |      |      |      | <br><b>UAC</b> |  |  |  |
|   |                                    | <b>Ensayo: Límite Líquido</b>  |      |      |      |   |  |  |  |
|   |                                    | <b>Tesis de Grado:</b> Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |      |      |      |   |  |  |  |
| <b>Ubicación:</b> Tambocancha - Chinchero   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| <b>Fecha:</b>   |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| <b>Calicata N° 2</b>  |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| Muestras  |                                    | 1  | 2    | 3    | 4    |   |  |  |  |
| N° de Golpes  |                                    | 14   | 24   | 27   | 38   |   |  |  |  |
| 1   | Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)  | 27   | 25.8 | 24.9 | 23.9 |   |  |  |  |
| 2   | Peso de tarro + Suelo Seco (gr)    | 22.2   | 21.7 | 21.5 | 21.1 |   |  |  |  |
| 3   | Peso del Agua (1 - 2) (gr)         | 4.8  | 4.1  | 3.4  | 2.8  |   |  |  |  |
| 4   | Peso del Tarro (gr)                | 15.7   | 15.8 | 15.9 | 15.8 |   |  |  |  |
| 5   | Peso suelo seco (2 - 4) (gr)       | 6.5  | 5.9  | 5.6  | 5.3  |   |  |  |  |
| 6   | Contenido de Humedad (3/5x100) (%) | 73.8   | 69.5 | 60.7 | 52.8 |   |  |  |  |
| Limite Liquido (%)  |                                    | 63.2   |      |      |      |   |  |  |  |
| $PI = (LL - LP)$  |                                    |  |      |      |      |   |  |  |  |
| $PI =$  |                                    | 28.11  | %    |      |      |   |  |  |  |

Diagrama de Fluidez





## b) Análisis de la prueba

Los resultados que se obtiene de ambas calicatas tiene un valor muy próximo entre los dos resultados.

Tabla 50

*Resultados de límite líquido e índice plasticidad para las calicatas N° 1 y 2*

| Calicata | Límite Líquido (%) | Índice de Plasticidad (IP) |
|----------|--------------------|----------------------------|
| 1        | 62.00              | 28.56                      |
| 2        | 63.20              | 28.11                      |

### 3.6.4. Ensayo de peso volumétrico de suelo

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

El procesamiento de datos para el cálculo del peso volumétrico de suelo está desarrollado para el suelo con humedad natural, suelo saturado y suelo seco.

Volumen de la muestra:

$$W_{\text{suelo}} = \text{Peso de suelo}$$

$$\Delta V = V_f - V_i \text{ (volumen final - volumen inicial)}$$

$$\Delta V = V_{\text{suelo+parafina}}$$

$$V_{\text{suelo}} = V_{\text{suelo+parafina}} - V_{\text{parafina}}$$

Donde:

$$W_{\text{suelo}} = \text{peso de suelo (kg, g, etc.)}$$

$$\Delta V = \text{diferencia de volúmenes (m}^3, \text{cm}^3, \text{etc.)}$$

$$V_f = \text{volumen final (m}^3, \text{cm}^3, \text{etc.)}$$

$$V_i = \text{volumen inicial (m}^3, \text{cm}^3, \text{etc.)}$$

$$V_{\text{suelo+parafina}} = \text{volumen de suelo más parafina (m}^3, \text{cm}^3, \text{etc.)}$$

$$V_{\text{suelo}} = \text{volumen suelo (m}^3, \text{cm}^3, \text{etc.)}$$

$$V_{\text{parafina}} = \text{volumen de parafina (m}^3, \text{cm}^3, \text{etc.)}$$



Volumen de parafina utilizada:

$$V_{parafina} = \frac{W_{parafina}}{\gamma_{parafina}}$$

$$W_{parafina} = W_{suelo+parafina} - W_{suelo}$$

Donde:

$V_{parafina}$  = volumen de parafina (m<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, etc.)

$W_{parafina}$  = peso de parafina (kg, g, etc.)

$\gamma_{parafina}$  = peso específico de la parafina (kg/cm<sup>3</sup>)

$W_{suelo+parafina}$  = peso de suelo más parafina (kg, g, etc.)

$W_{suelo}$  = peso de suelo (kg, g, etc.)

Reemplazando en la fórmula:

$$P.V = \frac{W_{suelo}}{\Delta V - V_{parafina}}$$

Donde:

P.V = peso volumétrico del suelo (kg/cm<sup>3</sup>)

$W_{suelo}$  = peso de suelo (kg, g, etc.)

$V_{parafina}$  = volumen de parafina (m<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, etc.)

$\Delta V$  = diferencia de volúmenes (m<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, etc.)

Los resultados obtenidos se reemplazan en la fórmula de peso volumétrico, para muestra de suelo de humedad natural, suelo saturado y suelo seco, para este ensayo se resumen en los cálculos en los siguientes cuadros.





Tabla 52

*Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de peso específico con humedad natural*



|   |   |  |           |           |   |
|---|---|--|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |           |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |  |           |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo con Humedad Natural</b>  |  |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |           |           |   |
| <b>Calicata N° 2</b>  |   |  |           |           |   |
|   |   |  | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   |  | 27.3      | 20.8      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   |  | 31.3      | 23.8      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |  | 4.0       | 3.0       |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> )  |  | 19.0      | 15.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm <sup>3</sup> )  |  | 0.9       | 0.9       |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )  |  | 4.4       | 3.3       |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm <sup>3</sup> )  |  | 14.6      | 11.7      |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm <sup>3</sup> )   |  | 1.9       | 1.8       |   |
| 9   | Promedio  |  | 1.8       |           |   |

Tabla 53

*Resultado de peso específico de suelo con humedad natural*

| Calicata | Peso Específico de suelo con Humedad Natural (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|--|
| 1        | 1.9  |
| 2        | 1.8  |



3.6.4.2. **Peso específico de suelo saturado**

Tabla 54

*Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de peso específico con suelo saturado*



|   |   |  |           |   |
|---|---|--|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |  |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Saturada</b>   |  |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |           |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |  |           |   |
|   |   |  | Muestra 1 | Muestra 2   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   |  | 20.1      | 22.1  |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   |  | 22.7      | 25.7  |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |  | 2.6       | 3.6   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> )  |  | 14.0      | 14.0  |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm <sup>3</sup> )  |  | 0.9       | 0.9   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )  |  | 2.9       | 4.0   |
| 7   | Volumen del suelo (cm <sup>3</sup> )  |  | 19.8      | 21.7  |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm <sup>3</sup> )   |  | 1.8       | 2.2   |
| 9   | Promedio  |  | 2.0       |   |



Tabla 55

Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de peso específico con suelo saturado



|   |  |  |  |           |  |   |  |
|---|--|--|--|-----------|--|---|--|
|  |  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |           |  |  |  |
|   |  | <b>Ensayo: Peso Especifico Suelo Saturada</b>  |  |           |  |   |  |
|   |  | <b>Tesis de Grado:</b> Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |           |  |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |  | Tambocancha - Chinchero  |  |           |  |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |  |  |  |           |  |   |  |
| <b>Calicata N° 2</b>  |  |  |  |           |  |   |  |
|   |  | Muestra 1  |  | Muestra 2 |  |   |  |
| 1   | Peso del Suelo (gr)                            | 16.8   |  | 21.6      |  |   |  |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)                  | 23.1   |  | 26.2      |  |   |  |
| 3   | Peso de Parafina (gr)                          | 6.3  |  | 4.6       |  |   |  |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> ) | 16.0   |  | 16.0      |  |   |  |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm <sup>3</sup> )     | 0.9  |  | 0.9       |  |   |  |
| 6   | Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )         | 7.0  |  | 5.1       |  |   |  |
| 7   | Volumen del suelo (cm <sup>3</sup> )           | 9.0  |  | 10.9      |  |   |  |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.9  |  | 2.0       |  |   |  |
| 9   | Promedio                                       | 1.9  |  |           |  |   |  |

Tabla 56

Resultados de peso específico de suelo saturado

| Calicata | Peso Específico de suelo Saturado (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|---|
| 1        | 2.0   |
| 2        | 1.9   |





3.6.4.3. **Peso específico de suelo seco**

Tabla 57

*Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de peso específico con suelo seco*



|   |   |  |           |           |   |
|---|---|--|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |  |           |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |  |           |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |  |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Seco</b>   |  |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |  |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |  |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |  |           |           |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |  |           |           |   |
|   |   |  | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   |  | 19.3      | 21.9      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   |  | 23.1      | 25.6      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   |  | 3.8       | 3.7       |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> )  |  | 15.0      | 16.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm <sup>3</sup> )  |  | 0.9       | 0.9       |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )  |  | 4.2       | 4.1       |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm <sup>3</sup> )  |  | 18.9      | 21.5      |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm <sup>3</sup> )   |  | 1.8       | 1.8       |   |
| 9   | Promedio  |  | 1.8       |           |   |
|   |   |  |           |           |   |



Tabla 58

*Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de peso específico con suelo seco*



|   |   |           |           |   |
|---|---|-----------|-----------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |           |           |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |           |           |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |           |           |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Peso Especifico Suelo Seco</b>   |           |           |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |           |           |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |           |           |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |           |           |   |
| <b>Calicata N°</b>  | <b>2</b>  |           |           |   |
|   |   | Muestra 1 | Muestra 2 |   |
| 1   | Peso del Suelo (gr)   | 21.2      | 18.9      |   |
| 2   | Peso de suelo + Parafina (gr)   | 25.1      | 22.3      |   |
| 3   | Peso de Parafina (gr)   | 3.9       | 3.4       |   |
| 4   | Volumen de Suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> )  | 16.0      | 14.0      |   |
| 5   | Densidad de Parafina (gr/cm <sup>3</sup> )  | 0.9       | 0.9       |   |
| 6   | Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )  | 4.3       | 3.8       |   |
| 7   | Volumen del suelo (cm <sup>3</sup> )  | 11.7      | 10.2      |   |
| 8   | Peso Especifico Suelo (gr/cm <sup>3</sup> )   | 1.8       | 1.8       |   |
| 9   | Promedio  | 1.8       |           |   |

Tabla 59

*Resultados de peso específico de suelo seco*

| Calicata | Peso Especifico de suelo Seco (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|---|
| 1        | 1.8   |
| 2        | 1.8   |

### 3.6.5. Ensayo de análisis granulometría

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

El ensayo de análisis granulométrico permite determinar la distribución de tamaños de las partículas de la muestra de suelo ensayada.

Cálculos del ensayo granulométrico:



$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_{\text{malla}} * 100}{W_1}$$

Donde:

$W_{\text{malla}}$  = Peso retenido por la malla (kg, g, etc.)

$W_1$  = Peso de la muestra secada al horno (kg, g, etc.)

Con los resultados obtenidos del retenido, se calcula:



$$\% \text{ retenido acumulado} = \text{ret. parcial } (i) + \text{ret. parcial tamices abertura mayor}$$

Así como también se calcula el % que pasa:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

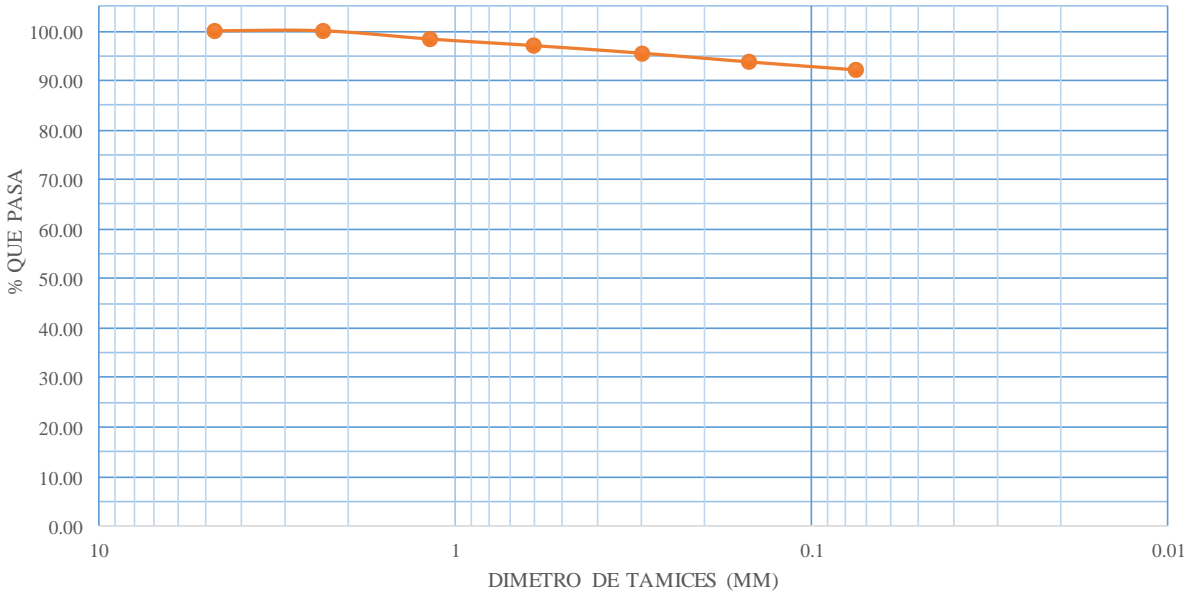


Tabla 60  
Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de granulometría

|   |   |               |                    |                    |                      |            |   |
|---|---|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |               |                    |                    |                      |            |  |
|   | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |               |                    |                    |                      |            |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |               |                    |                    |                      |            |   |
| <b>Ensayo:</b>  | <b>Granulometria</b>  |               |                    |                    |                      |            |   |
| <b>Tesis de Grado:</b>  | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |               |                    |                    |                      |            |   |
| <b>Ubicación:</b>   | Tambocancha - Chinchero   |               |                    |                    |                      |            |   |
| <b>Fecha:</b>   |   |               |                    |                    |                      |            |   |
| <b>Calicata N° 1</b>  |   |               |                    |                    |                      |            |   |
| Peso de la muestra seca (gr)  | 630.50  |               |                    |                    |                      |            |   |
| Peso de la muestra lavada (gr)  | 50.30   |               |                    |                    |                      |            |   |
| Diferencia (gr)   | 580.20  |               |                    |                    |                      |            |   |
|   | Tamaño Malla ASTM   | Diametro (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |   |
| 1   | N° 4  | 4.75          | 0.00               | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |   |
| 2   | N° 8  | 2.36          | 0.00               | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |   |
| 3   | N° 16   | 1.18          | 10.60              | 1.68               | 1.68                 | 98.32      |   |
| 4   | N° 30   | 0.6           | 8.50               | 1.35               | 3.03                 | 96.97      |   |
| 5   | N° 50   | 0.3           | 9.70               | 1.54               | 4.57                 | 95.43      |   |
| 6   | N° 100  | 0.15          | 11.20              | 1.78               | 6.34                 | 93.66      |   |
| 7   | N° 200  | 0.075         | 10.30              | 1.63               | 7.98                 | 92.02      |   |
|   | Fondo   |               | 580.20             | 92.02              | 100.00               | 0.00       |   |
|   | Total   |               | 630.50             | 100.00             |                      |            |   |
|   | % Perdida   |               | 92.02              |                    |                      |            |   |

### Curva Granulométrica



The graph plots the percentage of material passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve diameter in millimeters on a logarithmic scale from 10 to 0.01. The y-axis represents the percentage of material passing, ranging from 0.00 to 100.00. The data points are connected by a smooth curve, showing a gradual decrease in the percentage of material passing as the sieve size decreases.

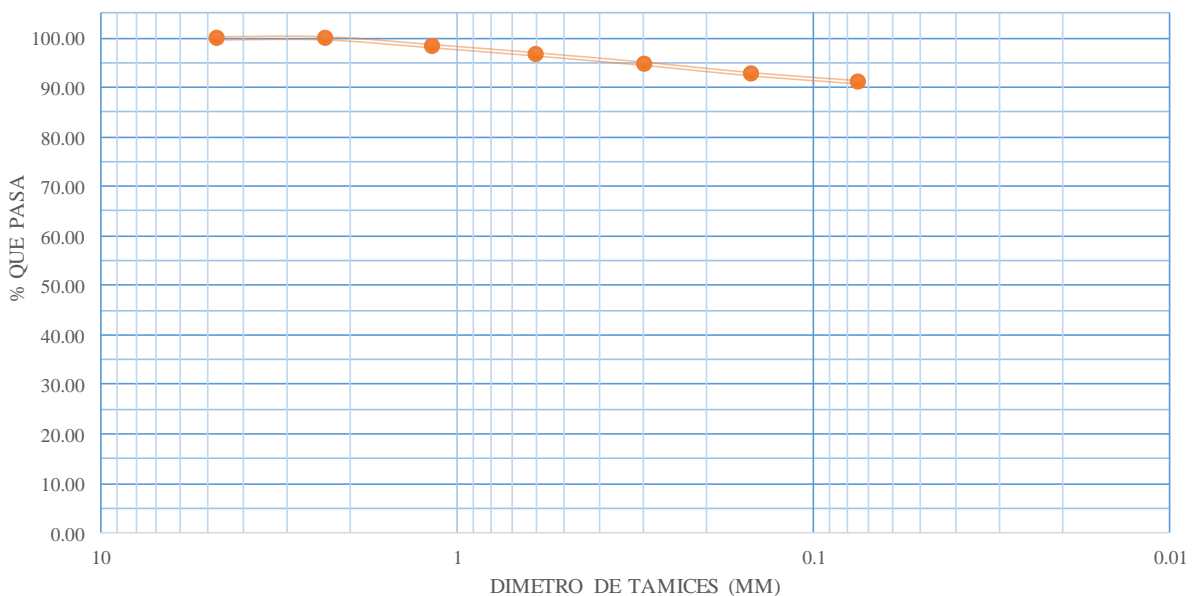
| Dimetro de Tamices (mm) | % Que Pasa |
|-------------------------|------------|
| 4.75                    | 100.00     |
| 2.36                    | 100.00     |
| 1.18                    | 98.32      |
| 0.6                     | 96.97      |
| 0.3                     | 95.43      |
| 0.15                    | 93.66      |
| 0.075                   | 92.02      |



Tabla 61  
Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de granulometría

|                                |   |                  |                       |                       |                         |               |  |
|--------------------------------|---|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|--|
|                                | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>   |                  |                       |                       |                         |               |  |
|                                | <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  |                  |                       |                       |                         |               |  |
|                                | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |                  |                       |                       |                         |               |  |
| <b>Ensayo:</b>                 | <b>Granulometria</b>  |                  |                       |                       |                         |               |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>         | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                  |                       |                       |                         |               |  |
| <b>Ubicación:</b>              | Tambocancha - Chinchero   |                  |                       |                       |                         |               |  |
| <b>Fecha:</b>                  |   |                  |                       |                       |                         |               |  |
| <b>Calicata N° 2</b>           |   |                  |                       |                       |                         |               |  |
| Peso de la muestra seca (gr)   | 564.20  |                  |                       |                       |                         |               |  |
| Peso de la muestra lavada (gr) | 50.00   |                  |                       |                       |                         |               |  |
| Diferencia (gr)                | 514.20  |                  |                       |                       |                         |               |  |
|                                | Tamaño<br>Malla ASTM  | Diametro<br>(mm) | Peso<br>Retenido (gr) | % Retenido<br>Parcial | % Retenido<br>Acumulado | % Que<br>Pasa |  |
| 1                              | N° 4  | 4.75             | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 100.00        |  |
| 2                              | N° 8  | 2.36             | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                    | 100.00        |  |
| 3                              | N° 16   | 1.18             | 8.90                  | 1.58                  | 1.58                    | 98.42         |  |
| 4                              | N° 30   | 0.6              | 9.40                  | 1.67                  | 3.24                    | 96.76         |  |
| 5                              | N° 50   | 0.3              | 10.60                 | 1.88                  | 5.12                    | 94.88         |  |
| 6                              | N° 100  | 0.15             | 11.90                 | 2.11                  | 7.23                    | 92.77         |  |
| 7                              | N° 200  | 0.075            | 9.20                  | 1.63                  | 8.86                    | 91.14         |  |
|                                | Fondo   |                  | 514.20                | 91.14                 | 100.00                  | 0.00          |  |
|                                | Total   |                  | 564.20                | 100.00                |                         |               |  |
|                                | % Perdida   |                  | 9.20                  | 1.63                  |                         |               |  |

Curva Granulométrica





### 3.6.6. Ensayo de corte directo

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Para el cálculo del corte directo se debe de determinar la fuerza de corte horizontal, esfuerzo normal y esfuerzo cortante, mediante las siguientes fórmulas:

Calculo de la fuerza de corte horizontal:

$$Y = (0.893874 * (\text{divisiones}) + 2.242843) * 453592$$

El esfuerzo normal se puede calcular como

$$\sigma = \sigma' = \text{esfuerzo normal} = \frac{\text{fuerza normal}}{\text{área de la sección transversal de la muestra}}$$

La resistencia al esfuerzo cortante para cualquier desplazamiento se puede calcular como

$$\tau = \text{esfuerzo cortante} = \frac{\text{resistencia al esuerzo de corte}}{\text{área de la sección transversal de la muestra}}$$

Los resultados obtenidos se resumen en los siguientes cuadros:



Tabla 62  
Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de corte directo muestra 1



|  |                                | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |                                 |   |                   |                                       |  |  |
|---|--------------------------------|---|---------------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|---|--|
| <b>Ensayo:</b>  |                                | <b>Corte Directo</b>  |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                                | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |                                | Tambocancha - Chinchero   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |                                |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Calicata N° 1</b>  |                                | <b>M-1</b>  |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Caja de Corte   | 1a                             |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Largo (cm)  | 6.00                           |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Ancho (cm)  | 6.00                           | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(divisiones)+2.242843)x0.453592</math></b>   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Area (cm <sup>2</sup> )   | 36.00                          |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Deformimetro Horizontal (0.01*div)  | Deformación Horizontal AH (mm) | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ) |   |  |
| 1   | 0                              | 0   | 1.017335642                     | 0.028259323                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 2   | 25                             | 0.25  | 4.260968405                     | 0.118360233                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 3   | 50                             | 0.5   | 7.910055264                     | 0.219723757                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 4   | 75                             | 0.75  | 11.15368803                     | 0.309824667                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 5   | 100                            | 1   | 13.9918667                      | 0.388662964                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 6   | 125                            | 1.25  | 16.42459127                     | 0.456238646                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 7   | 150                            | 1.5   | 18.04640765                     | 0.501289101                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 8   | 175                            | 1.75  | 19.26276994                     | 0.535076943                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 9   | 200                            | 2   | 20.07367813                     | 0.55760217                              | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 10  | 225                            | 2.25  | 20.47913222                     | 0.568864784                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 11  | 250                            | 2.5   | 20.88458632                     | 0.580127398                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |
| 12  | 275                            | 2.75  | 20.88458632                     | 0.580127398                             | 20                | 0.555555556                           |   |  |





Tabla 63  
Resultados de la calicata N°1 para el ensayo de corte directo muestra 2

|  |                                | <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b><br><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |                                 |   |                   |                                       |  |  |
|---|--------------------------------|---|---------------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|---|--|
| <b>Ensayo:</b>  |                                | <b>Corte Directo</b>  |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                                | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |                                | Tambocancha - Chinchero   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |                                |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Calicata N°</b>  |                                | <b>1</b>  |                                 | <b>M-2</b>                              |                   |                                       |   |  |
| Caja de Corte   | 1a                             |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Largo (cm)  | 6                              |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Ancho (cm)  | 6                              | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(divisiones)+2.242843)x0.453592</math></b>   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Area (cm <sup>2</sup> )   | 36                             |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Deformimetro Horizontal (0.01*div)  | Deformación Horizontal AH (mm) | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ) |   |  |
| 1   | 0                              | 0   | 1.017335642                     | 0.028259323                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 2   | 25                             | 0.25  | 5.882784787                     | 0.163410689                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 3   | 50                             | 0.5   | 9.937325741                     | 0.276036826                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 4   | 75                             | 0.75  | 13.1809585                      | 0.366137736                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 5   | 100                            | 1   | 15.61368308                     | 0.433713419                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 6   | 125                            | 1.25  | 17.64095355                     | 0.490026488                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 7   | 150                            | 1.5   | 19.26276994                     | 0.535076943                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 8   | 175                            | 1.75  | 20.47913222                     | 0.568864784                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 9   | 200                            | 2   | 21.29004041                     | 0.591390011                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 10  | 225                            | 2.25  | 22.1009486                      | 0.613915239                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 11  | 250                            | 2.5   | 22.5064027                      | 0.625177853                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 12  | 275                            | 2.75  | 22.91185679                     | 0.636440467                             | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 13  | 300                            | 3   | 23.31731089                     | 0.64770308                              | 40                | 1.111111                              |   |  |
| 14  | 325                            | 3.25  | 23.31731089                     | 0.64770308                              | 40                | 1.111111                              |   |  |





Tabla 64  
Resultados de la calicata N° 1 para el ensayo de corte directo muestra 3

|  |                                | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                 |   |                   |                                       |  |  |
|---|--------------------------------|---|---------------------------------|---|-------------------|---------------------------------------|---|--|
|   |                                | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
|   |                                | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Ensayo:</b>  |                                | <b>Corte Directo</b>  |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                                | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |                                | Tambocancha - Chinchero   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |                                |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| <b>Calicata N°</b>  |                                | <b>1</b>  |                                 | <b>M-3</b>                              |                   |                                       |   |  |
| Caja de Corte   | 1a                             |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Largo (cm)  | 6.00                           |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Ancho (cm)  | 6.00                           | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(divisiones)+2.242843)x0.453592</math></b>   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Area (cm <sup>2</sup> )   | 36.00                          |   |                                 |   |                   |                                       |   |  |
| Deformimetro Horizontal (0.01*div)  | Deformación Horizontal AH (mm) | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ) |   |  |
| 1   | 0                              | 0   | 1.017335642                     | 0.028259323                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 2   | 25                             | 0.25  | 7.504601169                     | 0.208461144                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 3   | 50                             | 0.5   | 11.96459622                     | 0.332349895                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 4   | 75                             | 0.75  | 15.61368308                     | 0.433713419                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 5   | 100                            | 1   | 18.04640765                     | 0.501289101                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 6   | 125                            | 1.25  | 20.07367813                     | 0.55760217                              | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 7   | 150                            | 1.5   | 21.69549451                     | 0.602652625                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 8   | 175                            | 1.75  | 22.91185679                     | 0.636440467                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 9   | 200                            | 2   | 23.72276498                     | 0.658965694                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 10  | 225                            | 2.25  | 24.53367318                     | 0.681490922                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |
| 11  | 250                            | 2.5   | 24.53367318                     | 0.681490922                             | 60                | 1.666666667                           |   |  |

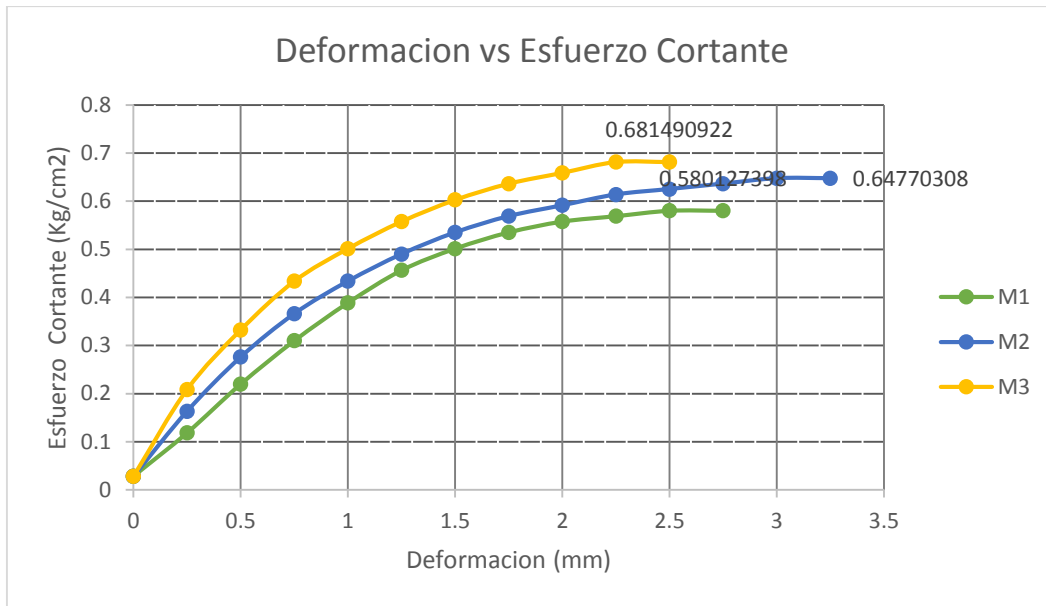


Figura 86. Diagrama de la deformación con respecto al esfuerzo cortante para la calicata N° 1

Tabla 65

Resultados de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para la calicata N° 1

| Calicata N° 1 Muestras | Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| M-1                    | 0.556                                 | 0.581                                   |
| M-2                    | 1.111                                 | 0.647                                   |
| M-3                    | 1.667                                 | 0.681                                   |

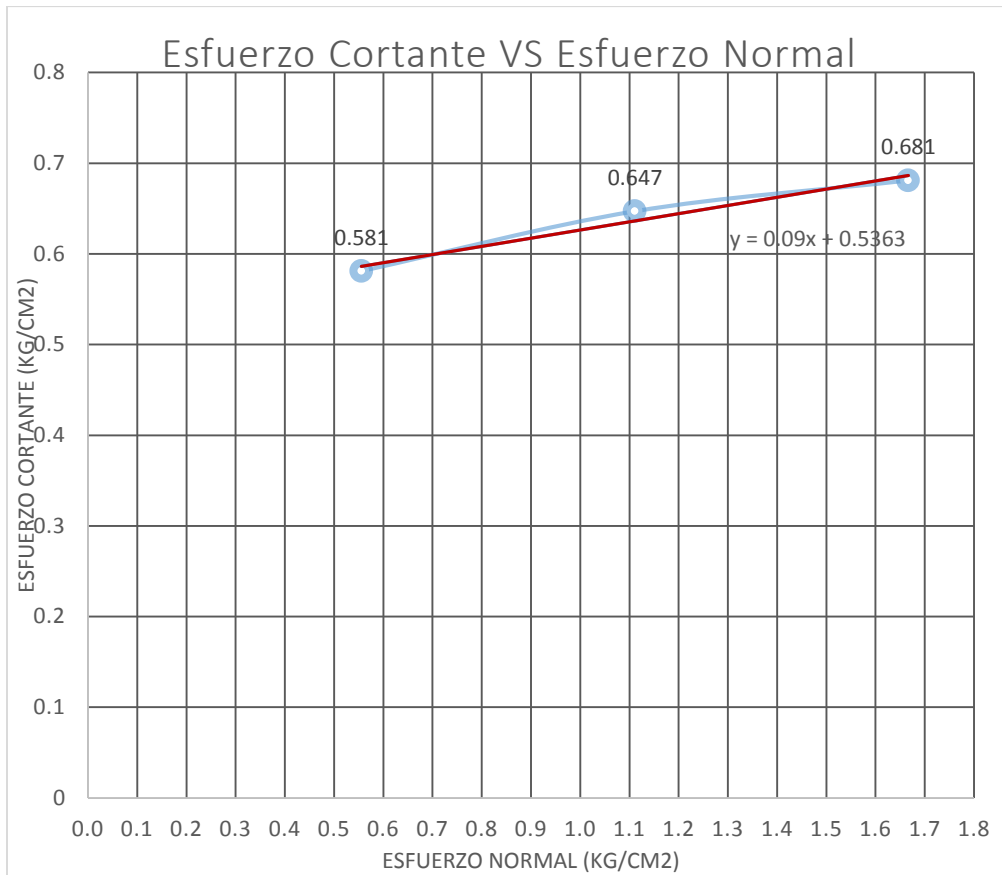


Figura 87. Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal para la calicata N° 1

Tabla 66

Angulo de fricción interna y cohesión para la calicata N° 1

| Angulo de fricción<br>Interna ( $\phi$ ) | Cohesión c<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|-------------------------------------|
| 4.12                                     | 0.54                                |



Tabla 67  
Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de corte directo muestra 1



|  |                        | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                 |                            |                   |                 |  |  |
|---|------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|---|--|
|   |                        | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
|   |                        | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Ensayo:</b>  |                        | <b>Corte Directo</b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                        | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |                        | Tambocancha - Chinchero   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |                        |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Calicata N° 2</b>  |                        | <b>M-1</b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Caja de Corte   | 1a                     |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Largo (cm)  | 6.00                   |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Ancho (cm)  | 6.00                   | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(divisiones)+2.242843)x0.453592</math></b>   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Area (cm2)  | 36.00                  |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Deformimetro Horizontal   | Deformación Horizontal | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm2) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal |   |  |
| 1   | 0                      | 0   | 1.017335642                     | 0.028259323                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 2   | 25                     | 0.25  | 8.315509359                     | 0.230986371                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 3   | 50                     | 0.5   | 13.5864126                      | 0.37740035                 | 20                | 0.555556        |   |  |
| 4   | 75                     | 0.75  | 17.23549946                     | 0.478763874                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 5   | 100                    | 1   | 18.85731584                     | 0.523814329                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 6   | 125                    | 1.25  | 19.26276994                     | 0.535076943                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 7   | 150                    | 1.5   | 19.66822403                     | 0.546339556                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 8   | 175                    | 1.75  | 20.07367813                     | 0.55760217                 | 20                | 0.555556        |   |  |
| 9   | 200                    | 2   | 20.47913222                     | 0.568864784                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 10  | 225                    | 2.25  | 20.88458632                     | 0.580127398                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 11  | 250                    | 2.5   | 21.29004041                     | 0.591390011                | 20                | 0.555556        |   |  |
| 12  | 275                    | 2.75  | 21.29004041                     | 0.591390011                | 20                | 0.555556        |   |  |



Tabla 68  
Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de corte directo muestra 2





|  |                        | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                 |                            |                   |                 |  |  |
|---|------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|---|--|
|   |                        | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
|   |                        | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Ensayo:</b>  |                        | <b>Corte Directo</b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                        | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |                        | Tambocancha - Chinchero   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |                        |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Calicata N° 2</b>  |                        | <b>M-2</b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Caja de Corte   | 1a                     |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Largo (cm)  | 6                      |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Ancho (cm)  | 6                      | $Y(Kg)=(0.893874x(divisiones)+2.242843)x0.453592$   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Area (cm2)  | 36                     |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Deformimetro Horizontal   | Deformación Horizontal | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm2) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal |   |  |
| 1   | 0                      | 0   | 1.017335642                     | 0.028259323                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 2   | 25                     | 0.25  | 9.937325741                     | 0.276036826                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 3   | 50                     | 0.5   | 15.20822898                     | 0.422450805                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 4   | 75                     | 0.75  | 18.45186174                     | 0.512551715                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 5   | 100                    | 1   | 20.07367813                     | 0.55760217                 | 40                | 1.111111        |   |  |
| 6   | 125                    | 1.25  | 20.88458632                     | 0.580127398                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 7   | 150                    | 1.5   | 21.29004041                     | 0.591390011                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 8   | 175                    | 1.75  | 21.69549451                     | 0.602652625                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 9   | 200                    | 2   | 22.1009486                      | 0.613915239                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 10  | 225                    | 2.25  | 22.5064027                      | 0.625177853                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 11  | 250                    | 2.5   | 22.91185679                     | 0.636440467                | 40                | 1.111111        |   |  |
| 12  | 275                    | 2.75  | 22.91185679                     | 0.636440467                | 40                | 1.111111        |   |  |



Tabla 69  
Resultados de la calicata N° 2 para el ensayo de corte directo muestra 3

|  |                        | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  |                                 |                            |                   |                 |  |  |
|---|------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|---|--|
|   |                        | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
|   |                        | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Ensayo:</b>  |                        | <b>Corte Directo</b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Tesis de Grado:</b>  |                        | Análisis Comparativo en la Estimación de la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo para Diferentes Tipos de Cimentaciones Superficiales, Usando Ecuaciones de Cálculo y Ensayo SPT Según las Características Físico Mecánicas de Tambocancha – Chinchero |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Ubicación:</b>   |                        | Tambocancha - Chinchero   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Fecha:</b>   |                        |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| <b>Calicata N° 2</b>  |                        | <b>M-3</b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Caja de Corte   | 1a                     |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Largo (cm)  | 6.00                   |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Ancho (cm)  | 6.00                   | <b><math>Y(Kg)=(0.893874x(\text{diviciones})+2.242843)x0.453592</math></b>  |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Area (cm2)  | 36.00                  |   |                                 |                            |                   |                 |   |  |
| Deformimetro Horizontal   | Deformación Horizontal | Lectura de la carga del dial  | Fuerza de corte horizontal (Kg) | Esfuerzo Cortante (kg/cm2) | Carga Normal (Kg) | Esfuerzo Normal |   |  |
| 1   | 0                      | 0   | 1.017335642                     | 0.028259323                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 2   | 25                     | 0.25  | 11.55914212                     | 0.321087281                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 3   | 50                     | 0.5   | 16.83004536                     | 0.46750126                 | 60                | 1.666667        |   |  |
| 4   | 75                     | 0.75  | 20.07367813                     | 0.55760217                 | 60                | 1.666667        |   |  |
| 5   | 100                    | 1   | 22.1009486                      | 0.613915239                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 6   | 125                    | 1.25  | 22.91185679                     | 0.636440467                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 7   | 150                    | 1.5   | 23.31731089                     | 0.64770308                 | 60                | 1.666667        |   |  |
| 8   | 175                    | 1.75  | 23.72276498                     | 0.658965694                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 9   | 200                    | 2   | 24.12821908                     | 0.670228308                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 10  | 225                    | 2.25  | 24.53367318                     | 0.681490922                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 11  | 250                    | 2.5   | 24.53367318                     | 0.681490922                | 60                | 1.666667        |   |  |
| 12  | 275                    | 2.75  | 24.53367318                     | 0.681490922                | 60                | 1.666667        |   |  |

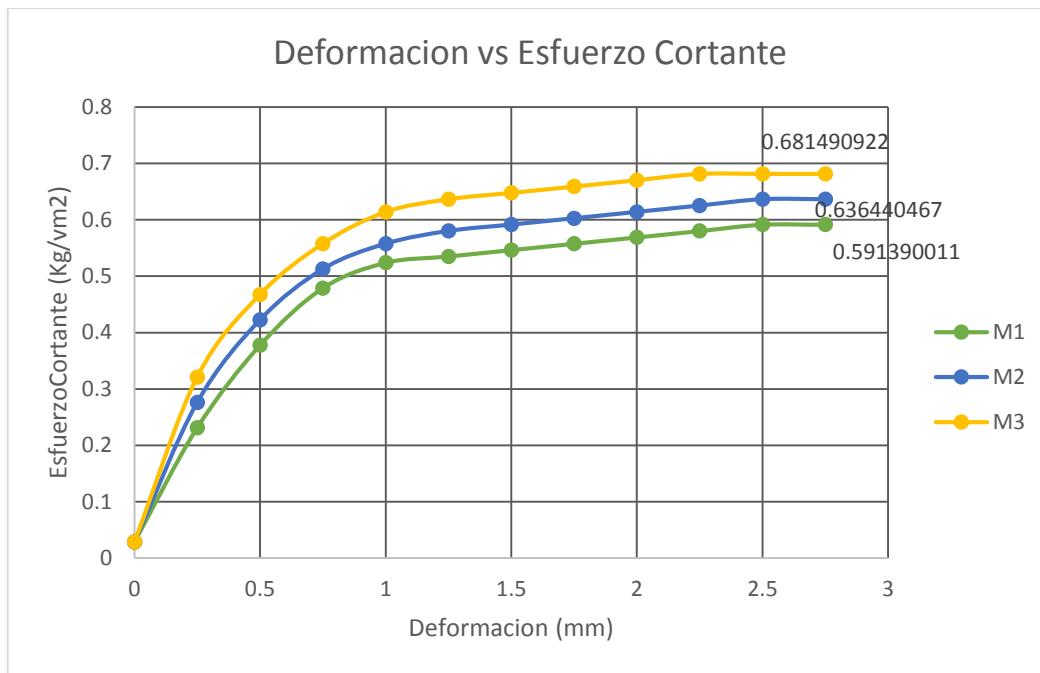


Figura 88. Diagrama de la deformación con respecto al esfuerzo cortante para la calicata N° 2

Tabla 70

Resultados de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para la calicata N° 2

| Calicata<br>N° 2<br>Muestras | Esfuerzo<br>Normal<br>(Kg/cm2) | Esfuerzo<br>Cortante<br>(Kg/cm2) |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| M-1                          | 0.556                          | 0.591                            |
| M-2                          | 1.111                          | 0.636                            |
| M-3                          | 1.667                          | 0.681                            |

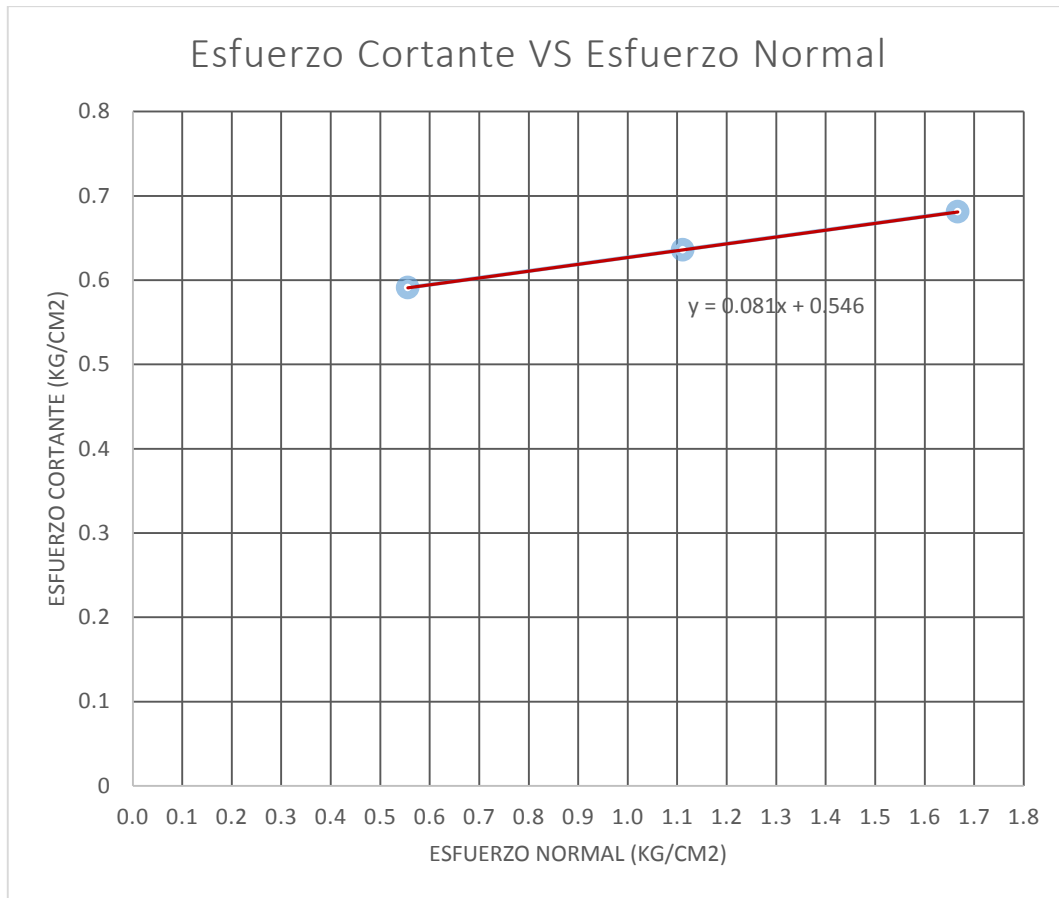


Figura 89. Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal para la calicata N° 2

Tabla 71

Angulo de fricción interna y cohesión para la calicata N° 2

| Angulo de fricción<br>Interna ( $\phi$ ) | Cohesión c<br>(Kg/cm²) |
|--|------------------------|
| 4.05                                     | 0.55                   |

### 3.6.7. Ensayo de SPT

#### a) Procesamiento o cálculos de la prueba

A continuación, se muestran los datos, las correcciones de nivel freático empotramiento y el cálculo de capacidad ultima, así como la capacidad admisible en el ensayo de SPT para el tipo de suelo cohesivo.





Tabla 72

Resultados de correcciones y capacidad ultima de ensayo SPT para la calicata N° 1

| Profundidad |      | de 0 a 15cm | de 15 a 30cm | de 30 a 45cm | N     | (N)spt | C <sub>D</sub> | C <sub>w</sub> | N <sub>%60</sub> corr | qu<br>kg/cm <sup>2</sup> |
|-------------|------|-------------|--------------|--------------|-------|--------|----------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
|             |      |             |              |              |       |        | f. empo        | corr. De NF    |                       |                          |
| 0           | 0.40 | 0           | 0            | 0            | 0.00  | 0.00   | 0.50           | 0.55           | 0.00                  | 0.00                     |
| 0.40        | 0.85 | 7           | 6            | 6            | 12.00 | 12.24  | 0.50           | 0.55           | 3.37                  | 1.42                     |
| 0.85        | 1.30 | 6           | 6            | 5            | 11.00 | 11.22  | 0.50           | 0.55           | 3.09                  |                          |
| 1.30        | 1.75 | 5           | 5            | 4            | 9.00  | 9.18   | 0.50           | 0.55           | 2.52                  | 1.27                     |
| 1.75        | 2.20 | 5           | 4            | 4            | 8.00  | 8.16   | 0.50           | 0.55           | 2.24                  |                          |
| 2.20        | 2.65 | 4           | 4            | 4            | 8.00  | 8.16   | 0.50           | 0.55           | 2.24                  | 1.22                     |
| 2.65        | 3.10 | 4           | 4            | 3            | 7.00  | 7.14   | 0.50           | 0.55           | 1.96                  |                          |
| 3.10        | 3.55 | 3           | 3            | 3            | 6.00  | 6.12   | 0.50           | 0.55           | 1.68                  | 1.07                     |
| 3.55        | 4.00 | 3           | 3            | 3            | 6.00  | 6.12   | 0.50           | 0.55           | 1.68                  |                          |

Tabla 73

Resultados de capacidad admisible para la Calicata N° 1

| Prof. | qu                 | f. de seguridad | qadm               |
|-------|--------------------|-----------------|--------------------|
|       | kg/cm <sup>2</sup> |                 | kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.40  | 1.42               | 3               | 0.47               |
| 0.70  |                    |                 |                    |
| 1.00  |                    |                 |                    |
| 1.30  |                    |                 |                    |
| 1.60  | 1.19               | 3               | 0.40               |
| 1.90  |                    |                 |                    |
| 2.20  |                    |                 |                    |
| 2.50  |                    |                 |                    |
| 2.80  |                    |                 |                    |
| 3.10  |                    |                 |                    |
| 3.40  |                    |                 |                    |
| 3.70  |                    |                 |                    |
| 4.00  |                    |                 |                    |



Tabla 74

Resultados de correcciones y capacidad ultima de ensayo SPT para la calicata N° 2

| Profundidad |      | de 0 a 15cm | de 15 a 30cm | de 30 a 45cm | N     | (N)spt | C <sub>D</sub> | C <sub>w</sub> | N <sub>%60</sub> corr | qu     |
|-------------|------|-------------|--------------|--------------|-------|--------|----------------|----------------|-----------------------|--------|
|             |      |             |              |              |       |        | f. empo        | corr. De NF    |                       | kg/cm2 |
| 0           | 0.40 | 0           | 0            | 0            | 0.00  | 0.00   | 0.50           | 0.70           | 0.00                  | 0.00   |
| 0.40        | 0.85 | 7           | 7            | 6            | 13.00 | 13.26  | 0.50           | 0.70           | 4.64                  | 1.90   |
| 0.85        | 1.30 | 6           | 5            | 5            | 10.00 | 10.20  | 0.50           | 0.70           | 3.57                  |        |
| 1.30        | 1.75 | 5           | 5            | 5            | 10.00 | 10.20  | 0.50           | 0.70           | 3.57                  | 1.51   |
| 1.75        | 2.20 | 5           | 4            | 4            | 8.00  | 8.16   | 0.50           | 0.70           | 2.86                  |        |
| 2.20        | 2.65 | 4           | 4            | 4            | 8.00  | 8.16   | 0.50           | 0.70           | 2.86                  | 1.32   |
| 2.65        | 3.10 | 4           | 3            | 3            | 6.00  | 6.12   | 0.50           | 0.70           | 2.14                  |        |
| 3.10        | 3.55 | 3           | 3            | 3            | 6.00  | 6.12   | 0.50           | 0.70           | 2.14                  | 1.07   |
| 3.55        | 4.00 | 3           | 3            | 3            | 6.00  | 6.12   | 0.50           | 0.70           | 2.14                  |        |

Tabla 75

Resultados de capacidad admisible para la Calicata N° 2

| Prof. | qu     | f. de seguridad | qadm   |
|-------|--------|-----------------|--------|
|       | kg/cm2 |                 | kg/cm2 |
| 0.40  | 1.90   | 3               | 0.63   |
| 0.70  |        |                 |        |
| 1.00  |        |                 |        |
| 1.30  |        |                 |        |
| 1.60  | 1.30   | 3               | 0.43   |
| 1.90  |        |                 |        |
| 2.20  |        |                 |        |
| 2.50  |        |                 |        |
| 2.80  |        |                 |        |
| 3.10  |        |                 |        |
| 3.40  |        |                 |        |
| 3.70  |        |                 |        |
| 4.00  |        |                 |        |



#### 4. Capítulo IV: Resultados

##### 4.1. Análisis de resultados de la calicata (C-1) y la calicata (C-2) para una profundidad de 2m.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata cuadrada, mediante el uso de ecuaciones de cálculo y una profundidad de cimentación de 2m, los resultados se muestran en los cuadros siguientes:

Tabla 76

*Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-1) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.52     | 4.12     | 4.23   | 4.24  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.84     | 1.37     | 1.41   | 1.41  |

Tabla 77

*Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-2) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.46     | 4.08     | 4.18   | 4.19  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.82     | 1.36     | 1.39   | 1.40  |

La capacidad portante para las calicatas (C-1) tiene un valor mayor que la capacidad portante de la calicata (C-2), que no es de mucha relevancia ya que estos valores están muy próximos habiendo una diferencia de 0.01 centésimas, el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.84 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.82 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el de Vesic, con valores de capacidad portante admisible de 1.41 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.40 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente en tanto que las ecuaciones de Hansen es muy cercana a la de Vesic, siendo de igual valor en la calicata 1.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata rectangular, haciendo uso de ecuaciones



de cálculo para una profundidad de cimentación de 2m, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 78

*Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-1) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.54            | 4.80            | 4.94          | 4.95         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.85            | 1.60            | 1.65          | 1.65         |

Tabla 79

*Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-2) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.55            | 4.84            | 4.98          | 4.98         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.85            | 1.61            | 1.66          | 1.66         |

Observando los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2), se puede apreciar que las capacidades portantes admisibles tienen valores muy similares para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.85 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.85 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo son de Hansen y Vesic con valores de capacidad portante admisible de 1.65 Kg/cm<sup>2</sup> para (C-1) y 1.66 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas para (C-2), cabe señalar que la capacidad admisible para zapatas rectangulares para las ecuaciones de Hansen y Vesic, tienen un valor mayor para la calicata (C-2), en tanto que la ecuación de Meyerhof es la más cercana en valores de capacidad de carga admisible a las ecuaciones de Hansen y Vesic.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata continua, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 2m, tiene los siguientes resultados:



Tabla 80

*Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-1) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.05     | 3.53     | 3.61   | 3.56  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.68     | 1.18     | 1.20   | 1.19  |

Tabla 81

*Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-2) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 1.98     | 3.49     | 3.56   | 3.50  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.66     | 1.16     | 1.19   | 1.17  |

Revisando los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2) en zapatas continuas, se puede apreciar que las capacidades portantes admisibles tienen valores muy similares para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.68 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.66 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el de Hansen con valores de capacidad portante admisible de 1.20 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.19 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) cabe señalar que la capacidad admisible para zapatas continuas la ecuación de Meyerhof y Vesic son muy similares para las calicatas (C-1) y (C-2), las capacidades portantes para la zapata continua tienen valores menores en comparación con las zapatas cuadrada y rectangular.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata circular, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 2m, tiene los siguientes resultados:

Tabla 82

*Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-1) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.52     | 4.12     | 4.23   | 4.24  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.84     | 1.37     | 1.41   | 1.41  |



Tabla 83

*Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-2) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.46            | 4.08            | 4.18          | 4.19         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.82            | 1.36            | 1.39          | 1.40         |

Analizando los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2) en zapatas circulares, se puede observar que las capacidades portantes admisibles tienen valores muy similares para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.84 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.82 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, los valores más altos de las ecuaciones de cálculo son las de Hansen y Vesic con valores de capacidad portante admisible de 1.41 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.41 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente para las calicata (C-1), 1.39 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.40 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente para las ecuaciones de Hansen y Vesic para las calicata (C-2) cabe señalar que la capacidad admisible para zapatas circulares son prácticamente las mismas que los resultados obtenidos en zapatas cuadradas, esto debido a que las ecuaciones de forma utilizadas para zapatas circulares y cuadradas son las mismas.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una losa de cimentación, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 2m, tiene los siguientes resultados:

Tabla 84

*Resultados de capacidad portante de losa de cimentación calicata (C-1) ( $D_f = 2m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.33            | 2.91            | 2.90          | 2.98         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.78            | 0.97            | 0.97          | 0.99         |



Tabla 85

Resultados de capacidad portante de losa de cimentación calicata (C-2) ( $D_f = 2m$ )

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.34     | 2.91     | 2.92   | 2.99  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.78     | 0.97     | 0.97   | 1.00  |

Revisando los resultados de los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2) en losa de cimentación se puede observar que las capacidades portantes admisibles son prácticamente iguales para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.78 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.78 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2), el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el de Vesic con valores de capacidad portante admisible de 0.99 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2), cabe señalar que la capacidad admisible para zapatas continuas son los más conservadores en comparación a las zapatas cuadradas, rectangulares, circulares y losa de cimentación.

#### 4.2. Análisis de resultados de la calicata (C-1) y la calicata (C-2) para una profundidad de 3m.

- Para el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata cuadrada, mediante el uso de ecuaciones de cálculo y una profundidad de cimentación de 3m, los resultados se muestran en los cuadros siguientes:

Tabla 86

Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-1) ( $D_f = 3m$ )

|                                 | Terzaghi | Meyerhof | Hansen | Vesic |
|---------------------------------|----------|----------|--------|-------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.83     | 4.91     | 4.67   | 4.67  |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.94     | 1.64     | 1.56   | 1.56  |



Tabla 87

*Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada calicata (C-2) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.74            | 4.91            | 4.66          | 4.67         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.91            | 1.64            | 1.55          | 1.56         |

La capacidad portante para las calicatas (C-1) y (C-2), los valores obtenidos son muy similares en los resultados obtenidos, el método o ecuación más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.94 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.91 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el Meyerhof con valores de capacidad portante admisible de 1.64 Kg/cm<sup>2</sup> para ambas calicatas (C-1) y (C-2) en tanto que las ecuaciones de Hansen y Vesic son similares para las dos calicatas.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata rectangular, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 3m, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 88

*Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-1) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.77            | 5.65            | 5.39          | 5.39         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.92            | 1.88            | 1.80          | 1.80         |

Tabla 89

*Resultados de capacidad portante de zapata rectangular calicata (C-2) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.69            | 5.62            | 5.33          | 5.33         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.90            | 1.87            | 1.78          | 1.78         |

Observando los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2), se puede apreciar que las capacidades portantes admisibles tienen valores muy similares para las cuatro ecuaciones para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos





calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad portante admisible de 0.92 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.90 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es de Meyerhof con valores de capacidad portante admisible de 1.88 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.87 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente cabe señalar que para las ecuaciones de Hansen y Vesic son los más cercanos o similares en valores de capacidad portante admisible.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata continua, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 3m, tiene los siguientes resultados:

Tabla 90

*Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-1) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.31            | 4.23            | 4.02          | 3.97         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.77            | 1.41            | 1.34          | 1.32         |

Tabla 91

*Resultados de capacidad portante de zapata continua calicata (C-2) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.26            | 4.22            | 4.00          | 3.94         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.75            | 1.41            | 1.33          | 1.31         |

Revisando los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2) en zapatas continuas, se puede apreciar que las capacidades portantes admisibles tienen valores muy similares para las calicatas (C-1) y (C-2), siendo el método más conservador para las dos calicatas el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.77 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.75 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el de Meyerhof con valores de capacidad portante admisible de 1.41 Kg/cm<sup>2</sup> para ambas calicatas (C-1) y (C-2) cabe señalar que la capacidad admisible para zapatas continuas la ecuación de Meyerhof, tiene un valor menor en comparación con las zapatas cuadrada y rectangular, en tanto que



las ecuaciones de Hansen y Vesic son los más cercanos o similares en valores de capacidad de carga admisible.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una zapata circular, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 3m, tiene los siguientes resultados:

Tabla 92

*Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-1) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.78            | 4.91            | 4.67          | 4.69         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.93            | 1.64            | 1.56          | 1.56         |

Tabla 93

*Resultados de capacidad portante de zapata circular calicata (C-2) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.74            | 4.91            | 4.66          | 4.67         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.91            | 1.64            | 1.55          | 1.56         |

Analizando los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2) en zapatas circulares, se puede observar que las capacidades portantes admisibles tienen valores muy similares para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad portante admisible de 0.93 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.91 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el de Meyerhof con valores de capacidad portante admisible de 1.64 Kg/cm<sup>2</sup> para las dos calicatas (C-1) y (C-2), cabe señalar que la capacidad admisible para zapatas circulares son prácticamente las mismas que los resultados obtenidos en zapatas cuadradas, esto debido a que las ecuaciones de forma utilizadas para zapatas circulares y cuadradas son las mismas.

- En el análisis de los resultados obtenidos para la capacidad portante para la calicata (C-1) y la calicata (C-2), para una losa de cimentación, haciendo uso de ecuaciones de cálculo para una profundidad de cimentación de 3m, tiene los siguientes resultados:



Tabla 94

*Resultados de capacidad portante de losa cimentación calicata (C-1) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.78            | 3.48            | 3.46          | 3.60         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.93            | 1.16            | 1.15          | 1.20         |

Tabla 95

*Resultados de capacidad portante de losa cimentación calicata (C-2) ( $D_f = 3m$ )*

|                                 | <b>Terzaghi</b> | <b>Meyerhof</b> | <b>Hansen</b> | <b>Vesic</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| <b>qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>   | 2.74            | 3.45            | 3.44          | 3.57         |
| <b>qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 0.91            | 1.15            | 1.15          | 1.19         |

Revisando los resultados de los dos cuadros anteriores para (C-1) y (C-2) en losa de cimentación se puede observar que las capacidades portantes admisibles son prácticamente iguales para las calicatas (C-1) y (C-2), el método más conservador para las dos calicatas es el de Terzaghi con valores de capacidad de carga admisible de 0.93 Kg/cm<sup>2</sup> y 0.91 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2), el valor más alto de las ecuaciones de cálculo es el de Vesic con valores de capacidad portante admisible de 1.20 Kg/cm<sup>2</sup> y 1.19 Kg/cm<sup>2</sup> para las calicatas (C-1) y (C-2), cabe señalar que la capacidad admisible para losa de cimentación son muy similares a las zapatas cuadradas, rectangulares, y circulares, en tanto que la zapata continua registra valores más conservadores que los otros tipos de cimentaciones.

#### **4.3. Análisis de resultados de la calicata (C-1), calicata (C-2) para una profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2) para 3m.**

- En el análisis de los resultados obtenidos de las calicatas (C-1) y (C-2) para la profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2), para 3m de profundidad, que se muestran a continuación, para zapatas cuadradas.



Tabla 96

Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada (C-1) y (C-2) ( $D_f = 2m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.84                                 | 0.82                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.37                                 | 1.36                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.41                                 | 1.39                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.41                                 | 1.40                                 |

Tabla 97

Resultados de capacidad portante de zapata cuadrada (C-1) y (C-2) ( $D_f = 3m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.94                                 | 0.91                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.64                                 | 1.64                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.56                                 | 1.55                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.56                                 | 1.56                                 |

Analizando los resultados de los cuadros anteriores para (C-1), (C-2) para una profundidad de 2m y (C-1), (C-2) para una profundidad de 3m en zapatas cuadradas se puede observar que las capacidades portantes admisibles más conservadoras son para las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m. Esto debido a que se tiene una influencia del nivel freático el cual está a una profundidad 2.9m y 2.6m para las calicatas (C-1) y (C-2) respectivamente, a la profundidad de cimentación de 3m las zapatas estarían por debajo del nivel freático el cual tiene una gran repercusión en la capacidad portante admisible las cuales son mayores a la profundidad de 2m.

- Para el análisis de los resultados obtenidos de las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2), para 3m de profundidad, se muestran a continuación para zapatas rectangulares.



Tabla 98

Resultados de capacidad portante de zapata rectangular (C-1) y (C-2) ( $D_f = 2m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.85                                 | 0.85                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.60                                 | 1.61                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.65                                 | 1.66                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.65                                 | 1.66                                 |

Tabla 99

Resultados de capacidad portante de zapata rectangular (C-1) y (C-2) ( $D_f = 3m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.92                                 | 0.90                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.88                                 | 1.87                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.80                                 | 1.78                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.80                                 | 1.78                                 |

Analizando los resultados de los cuadros anteriores para (C-1), (C-2) para una profundidad de 2m y (C-1), (C-2) para una profundidad de 3m en zapatas rectangulares, se puede observar que las capacidades portantes admisibles son más conservadoras para las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m. A mayor profundidad los valores de la ecuación de Terzaghi se dispersan, la ecuación de Meyerhof obtiene el valor más alto debido a la influencia del factor de profundidad que tiene gran relevancia en la ecuación de Meyerhof para la profundidad de 3m, en tanto que las ecuaciones de Hansen y Vesic sus valores de capacidad de carga son se comportan de manera similar para los dos casos.

- Para el análisis de los resultados obtenidos de las calicatas (C-1) y (C-2) para la profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2), para 3m de profundidad, se muestran a continuación para zapatas continuas.



Tabla 100

Resultados de capacidad portante de zapata continua (C-1) y (C-2) ( $D_f = 2m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Terzaghi              | 0.68                                 | 0.66                                 |
| Meyerhof              | 1.18                                 | 1.16                                 |
| Hansen                | 1.20                                 | 1.19                                 |
| Vesic                 | 1.19                                 | 1.17                                 |

Tabla 101

Resultados de capacidad portante de zapata continua (C-1) y (C-2) ( $D_f = 3m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Terzaghi              | 0.77                                 | 0.75                                 |
| Meyerhof              | 1.41                                 | 1.41                                 |
| Hansen                | 1.34                                 | 1.33                                 |
| Vesic                 | 1.32                                 | 1.31                                 |

Analizando los resultados de los cuadros anteriores para (C-1), (C-2) para una profundidad de 2m y (C-1), (C-2) para una profundidad de 3m en zapatas continuas se puede observar que las capacidades portantes admisibles son más conservadoras para las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m. Nuevamente se observa un valor más alto en la ecuación de Meyerhof para una profundidad de 3m debido a un valor del factor de profundidad más alto, los valores capacidad de carga de Hansen y Vesic se comportan de forma similar para ambas profundidades.

- Para el análisis de los resultados obtenidos de las calicatas (C-1) y (C-2) para la profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2), para 3m de profundidad, se muestran a continuación para zapatas circulares.



Tabla 102

Resultados de capacidad portante de zapata circular (C-1) y (C-2) ( $D_f = 2m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.84                                 | 0.82                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.37                                 | 1.36                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.41                                 | 1.39                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.41                                 | 1.40                                 |

Tabla 103

Resultados de capacidad portante de zapata circular (C-1) y (C-2) ( $D_f = 3m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.93                                 | 0.91                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.64                                 | 1.64                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.56                                 | 1.55                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.56                                 | 1.56                                 |

Analizando los resultados de los cuadros anteriores para (C-1), (C-2) para una profundidad de 2m y (C-1), (C-2) para una profundidad de 3m en zapatas circulares, se puede observar que las capacidades portantes admisibles son más conservadoras para las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m. A mayor profundidad los valores de la ecuación de Terzaghi se dispersan siguiendo la misma tendencia para una profundidad de 3m, la ecuación de Meyerhof para las 2 profundidades, obteniendo el valor más alto debido a la influencia del factor de profundidad en la ecuación de Meyerhof para 3m, en tanto que las ecuaciones de Hansen y Vesic sus valores de capacidad de carga se comportan de manera similar para los dos casos.

- Para el análisis de los resultados obtenidos de las calicatas (C-1) y (C-2) para la profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2), para 3m de profundidad, se muestran a continuación para loza de cimentación.



Tabla 104

Resultados de capacidad portante de losa cimentación (C-1) y (C-2) ( $D_f = 2m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.78                                 | 0.78                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 0.97                                 | 0.97                                 |
| <b>Hansen</b>         | 0.97                                 | 0.97                                 |
| <b>Vesic</b>          | 0.99                                 | 1.00                                 |

Tabla 105

Resultados de capacidad portante de losa cimentación (C-1) y (C-2) ( $D_f = 3m$ )

| Ecuaciones de cálculo | C-1<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | C-2<br>qadm<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Terzaghi</b>       | 0.93                                 | 0.91                                 |
| <b>Meyerhof</b>       | 1.16                                 | 1.15                                 |
| <b>Hansen</b>         | 1.15                                 | 1.15                                 |
| <b>Vesic</b>          | 1.20                                 | 1.19                                 |

Analizando los resultados de los cuadros anteriores para (C-1), (C-2) para una profundidad de 2m y (C-1), (C-2) para una profundidad de 3m en losa de cimentación, se puede observar que las capacidades portantes admisibles son más conservadoras para las calicatas (C-1) y (C-2) para una profundidad de 2m. A mayor profundidad los valores de la ecuación de Terzaghi se dispersan siguiendo la misma tendencia para una profundidad de 3m, la ecuación de Vesic para las 2 profundidades, obteniendo el valor más alto debido a la influencia del coeficiente de capacidad de carga que es mayor para 3m de profundidad, en tanto que las ecuaciones de Hansen y Meyerhof sus valores de capacidad de carga se comportan de manera similar para los dos casos.

- Para el análisis de los resultados obtenidos de las calicatas (C-1) y (C-2) para la profundidad de 2m y los resultados de las calicatas (C-1) y (C-2), para 3m de profundidad, tomando en consideración la forma de las cimentaciones superficiales se tiene.

Los factores de forma son iguales para cada tipo de cimentación superficial (cuadrada, rectangular, continua, circular y losa de cimentación) tanto para la