

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**TESIS**

Análisis y evaluación de los parámetros geotécnicos del suelo arcilloso para una propuesta de un tipo de cimentación de las edificaciones, en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

Presentado por:

**Bach: YOULD, JUÁREZ GUTIÉRREZ**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Abancay-Apurímac-Perú**

**2022**

**Tesis:**

Análisis y evaluación de los parámetros geotécnicos del suelo arcilloso para una propuesta de un tipo de cimentación de las edificaciones, en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

**Línea de investigación:**

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

**Asesor:**

Mag. Ing: Ángel Maldonado Mendivil



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO  
ARCILLOSO PARA UNA PROPUESTA DE UN TIPO DE CIMENTACIÓN DE LAS  
EDIFICACIONES, EN EL SECTOR DE AMANCAES, ABANCAY, APURÍMAC,  
2022.**

Presentado por el Bach: **YOULD JUÁREZ GUTIÉRREZ** para optar el título  
profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Sustentado y aprobado el 30 de diciembre del 2022 Ante el jurado

**Presidente** : PhD.Abbon Alex Vásquez  
Ramírez

**Primer Miembro** : Ing. Mauro Samuel, Altamirano  
Camacho

**Segundo Miembro** : Mag. Marco Antonio, Gálvez  
Quintana

**Asesor** : Mag. Ángel Maldonado Mendívil

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser fuente de vida y sabiduría y a mi madre Bertha por su apoyo y cariño incondicional para poder alcanzar mis objetivos de estudio y a mi padre Arístides que ya no se encuentra con nosotros, siempre tengo presente su esfuerzo y sacrificio para sacar adelante a nuestra familia y poder continuar con nuestra formación profesional, a mis hermanos por la ayuda y perseverancia en momentos de mucha dificultad a las personas que me brindaron su orientación y cariño durante la realización de la tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Tecnológica de los Andes, primera casa de estudios superiores del departamento de Apurímac, que con mucha dedicación tiene la incansable tarea de formar profesionales que estén al servicio de la sociedad, para contribuir con la investigación y el desarrollo de la región y el país.

A todos los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes dedicaron su tiempo y sacrificio en compartir sus conocimientos y experiencias para culminar nuestra formación profesional.

A mi asesor de tesis el MSc. Ing. Ángel MALDONADO MENDÍVIL, por su orientación y apoyo desde inicio de la elaboración del presente trabajo de investigación y todas las personas que con su cariño y afecto contribuyeron a motivarnos a seguir adelante.

Yould Juárez Gutiérrez

## **ACRÓNIMOS:**

- 1.- SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos.
- 2.- ASSTHO: La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte.
- 3.-R N E: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- 4.- ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Ensayos y Materiales
- 4.-NTP: Norma Técnica Peruana.
- 5.- UU: Triaxial no consolidado no drenado.
- 6.- CU: Triaxial consolidado no drenado.
- 7.- CD: Triaxial consolidado drenado.
- 8.- LL: Límite líquido
- 9.- LP: Límite plástico
- 10.- IP: Índice plástico

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |              |
|---|--------------|
| <b>PORTADA</b> .....                                | <b>i</b>     |
| <b>POS PORTADA</b> .....                            | <b>i</b>     |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                            | <b>iii</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                         | <b>iv</b>    |
| <b>ACRÓNIMOS:</b> .....                             | <b>v</b>     |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS:</b> .....                      | <b>xi</b>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS:</b> .....                     | <b>xiii</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....                                | <b>xvii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                               | <b>xviii</b> |
| <b>INTRODUCCION</b> .....                           | <b>xix</b>   |
| <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> ..... | <b>1</b>     |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática.....    | 1            |
| 1.2 Identificación y formulación del problema ..... | 2            |
| 1.2.1 Problema general .....                        | 2            |
| 1.2.2 Problemas específicos:.....                   | 2            |
| 1.3 Justificación de la investigación .....         | 3            |
| 1.4 Objetivos de la investigación .....             | 3            |
| 1.4.1 Objetivo general.....                         | 3            |
| 1.4.2 Objetivos específicos: .....                  | 3            |
| 1.5 Delimitación de la investigación .....          | 4            |
| 1.5.1 Delimitación espacial.....                    | 4            |
| 1.5.2 Delimitación temporal.....                    | 4            |
| 1.5.3 Delimitación social.....                      | 4            |
| 1.5.4 Delimitación conceptual.....                  | 4            |
| 1.6 Viabilidad de la investigación .....            | 5            |
| 1.7 Limitaciones de la investigación .....          | 5            |

|  |          |
|--|----------|
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>6</b> |
| 2.1 Antecedentes de la investigación .....   | 6        |
| 2.1.1 A nivel internacional.....   | 6        |
| 2.1.2 A nivel nacional.....  | 8        |
| 2.1.3 A nivel regional y local .....   | 10       |
| 2.2 Bases teóricas.....  | 11       |
| 2.2.1 Parámetros de Resistencia mecánica del suelo diagrama de ruptura de Mohr.....                    | 11       |
| 2.2.2 Suelo .....  | 12       |
| 2.2.3 Clasificación .....  | 13       |
| 2.2.4 Suelo arcilloso .....  | 13       |
| 2.2.5 Métodos de exploración del suelo arcilloso.....  | 14       |
| 2.2.6 Muestreo de suelos arcilloso.....  | 15       |
| 2.2.7 Resistencia al esfuerzo cortante en suelos arcillosos.....                                       | 16       |
| 2.2.8 Pruebas de laboratorio para determinar la resistencia al corte de los suelos arcillosos .....    | 16       |
| 2.2.9 Ensayo triaxial para determinar la resistencia al esfuerzo de corte .....                        | 16       |
| 2.2.10 Tipos de ensayos de compresión triaxial.....  | 18       |
| 2.2.11 Parámetro de deformación o asentamiento del suelo arcilloso.....                                | 23       |
| 2.2.12. Prueba de consolidación para determinar la deformación o asentamiento del suelo arcilloso..... | 24       |
| 2.2.13 Índice de compresión (Cc) y expansión (Cs). .....   | 26       |
| 2.2.14 Cálculo del asentamiento inmediato.....   | 27       |
| 2.2.15 Cálculo del asentamiento por consolidación (Qc).....  | 28       |
| 2.2.16 Calculo del asentamiento final.....   | 28       |
| 2.2.17 Parámetro de Permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso .....                                 | 29       |
| 2.2.18 Cimentaciones .....   | 31       |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.19 Tipos de cimentaciones .....  | 31        |
| 2.2.20 Tipos de falla en cimentaciones superficiales capacidad de carga última ..... | 33        |
| 2.2.21 Cálculo de la capacidad final de carga de cimentaciones.....                  | 34        |
| 2.2.22 Calculo de capacidad de carga de cimentaciones en suelos no cohesivos .....   | 38        |
| 2.2.23 Cálculo de capacidad de carga de cimentaciones en suelos cohesivos..          | 39        |
| 2.2.24 Calculo de la capacidad de carga ultima Meyerhof.....                         | 40        |
| 2.2.25 Factor de seguridad.....  | 42        |
| 2.2.26 Cimentaciones en arcilla .....  | 42        |
| 2.3 Marco conceptual .....   | 43        |
| Suelo arcilloso .....  | 43        |
| Cimentación .....  | 43        |
| Ángulo de fricción.....  | 44        |
| Cohesión .....   | 44        |
| Consolidación .....  | 44        |
| Permeabilidad.....   | 44        |
| Asentamiento.....  | 44        |
| Exploración del suelo .....  | 45        |
| Ensayo triaxial .....  | 45        |
| Triaxial tipo (CU).....  | 45        |
| Muestras inalteradas.....  | 45        |
| Tipos de falla en cimentaciones.....   | 45        |
| <b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>                              | <b>46</b> |
| 3.1 Hipótesis .....  | 46        |
| 3.1.1 Hipótesis general.....   | 46        |
| 3.1.2 Hipótesis específica:.....   | 46        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2 Método o enfoque de investigación.....   | 46        |
| 3.3 Tipo de investigación.....   | 47        |
| 3.4 Nivel o alcance de la investigación.....   | 47        |
| 3.5 Diseño de investigación .....  | 47        |
| 3.6 Operacionalización de variables.....   | 49        |
| 3.7 Población, muestra y muestreo .....  | 49        |
| 3.7.1 Población.....   | 49        |
| 3.7.2 Muestra.....   | 50        |
| 3.7.3 Muestreo .....   | 50        |
| 3.8 Técnicas e instrumentos .....  | 50        |
| 3.8.1 Técnicas.....  | 50        |
| 3.8.2 Instrumentos .....   | 51        |
| 3.9 Consideraciones éticas .....   | 51        |
| 3.10 Procesamiento estadístico .....   | 52        |
| <b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>  | <b>53</b> |
| 4.1 Resultados .....   | 53        |
| 4.1.1 Resultados del ensayo de clasificación SUCS.....                                   | 53        |
| 4.1.2 Resultados del ensayo de compresión triaxial tipo (CU). .....                      | 54        |
| 4.1.3 Resultados del análisis y evaluación del ensayo de consolidación.....              | 66        |
| 4.1.4 Resultados del análisis y evaluación de la permeabilidad del suelo arcilloso ..... | 88        |
| 4.1.5 Resultados del cuadro de cargas de la estructura.....                              | 92        |
| 4.1.6 Resultados del tipo de cimentación propuesta. ....                                 | 93        |
| 4.2 Discusión de resultados. ....  | 94        |
| 4.3 Prueba de hipótesis.....   | 95        |
| Conclusiones:.....   | 96        |
| Recomendaciones:.....  | 96        |

|  |            |
|--|------------|
| Referencias bibliográficas: .....                  | 98         |
| <b>CAPÍTULO V: ANEXOS .....</b>                    | <b>100</b> |
| Anexo 1: Matriz de consistencia.....               | 100        |
| Anexo 2: Modelado de la edificación.....           | 100        |
| Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos..... | 100        |
| Anexo 4: Fotografías.....                          | 100        |

## ÍNDICE DE TABLAS:

|   |    |
|---|----|
| tabla 1: operacionalización de variables.....   | 49 |
| tabla 2: número de puntos de investigación según R.N.E.....   | 50 |
| tabla 3: descripción de los ensayos de laboratorio según ntp y astm. ....   | 51 |
| tabla 4: datos del tipo de suelo arcilloso.....   | 53 |
| tabla 5: datos de la muestra en estado inicial. ....  | 54 |
| tabla 6: datos de la muestra en estado final.....   | 54 |
| tabla 7: resumen de resultados de deformación $\sigma_3=1.02$ kg/cm <sup>2</sup> .....  | 55 |
| tabla 8: resumen de resultados de deformación $\sigma_3=2.04$ kg/cm <sup>2</sup> .....  | 56 |
| tabla 9: resumen de resultados de deformación $\sigma_3= 4.08$ kg/cm <sup>2</sup> .....   | 57 |
| tabla 10: resumen de resultados de la deformación unitaria ( $\epsilon$ %) y el esfuerzo<br>desviador (kg/cm <sup>2</sup> ) ..... | 58 |
| tabla 11: cuadro de resultados de la deformación unitaria ( $\epsilon$ ) y la presión de poros<br>(u). ....                       | 60 |
| tabla 12: cuadro de resultados de la relación de tensiones.....   | 62 |
| tabla 13: esfuerzos de confinamiento.....   | 64 |
| tabla 14: capacidad admisible del suelo arcilloso para condiciones efectivas.....   | 65 |
| tabla 15: características de la muestra de suelo. ....  | 66 |
| tabla 16: propiedades iniciales y finales de la muestra de suelo arcilloso.....   | 66 |
| tabla 17: cuadro general de resultados del dial de deformación por la aplicación de<br>diferentes escalones de carga. ....        | 67 |
| tabla 18: muestra los resultados del dial de deformación carga 0.2 kg/cm <sup>2</sup> .....                                       | 68 |
| tabla 19: muestra el resultado del dial de deformación carga 0.4 kg/cm <sup>2</sup> .....   | 69 |
| tabla 20: muestra el resultado del dial de deformación carga 0.8 kg/cm <sup>2</sup> .....   | 70 |
| tabla 21: muestra el resultado del dial de deformación carga 1.6 kg/cm <sup>2</sup> .....   | 71 |
| tabla 22: muestra los resultados del dial de deformación carga 3.2 kg/cm <sup>2</sup> .....                                       | 72 |
| tabla 23: muestra los resultados del dial de deformación carga 6.4 kg/cm <sup>2</sup> .....                                       | 73 |
| tabla 24: muestra los resultados del dial de deformación descarga 3.2 kg/cm <sup>2</sup> .....                                    | 74 |
| tabla 25: muestra los resultados del dial de deformación descarga 1.6 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                   | 75 |
| tabla 26: muestra los resultados del dial de deformación descarga 1.6 kg/cm <sup>2</sup> . ....                                   | 76 |
| tabla 27: muestra los resultados de la relación de vacíos. ....   | 77 |
| tabla 28: muestra los resultados de la relación de vacíos. ....   | 81 |

|   |    |
|---|----|
| tabla 29: muestra el resultado general del ensayo de consolidación. ....  | 84 |
| tabla 30: muestra la variación de la relación de vacíos por la aplicación de los<br>diferentes escalones de carga. .... | 88 |
| tabla 31: muestra los valores del coeficiente de permeabilidad k. ....  | 90 |
| tabla 32: muestra los valores de del coeficiente de permeabilidad k. ....   | 91 |
| tabla 33:muestra los valores resumen de las cargas transmitidas por la estructura.                                      | 92 |

## ÍNDICE DE FIGURAS:

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1: ILUSTRAS LAS IMÁGENES DEL CÍRCULO DE MOHR Y ENVOLVENTE DE FALLA<br>UTILIZADO PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO.<br>..... | 12 |
| FIGURA 2: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DEL APARATO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL. ....  | 18 |
| FIGURA 3: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LAS FASES DE UN ENSAYO DE COMPRESIÓN<br>TRIAxIAL TIPO (UU). ....   | 19 |
| FIGURA 4: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DEL ESFUERZO CORTANTE Y EL<br>ESFUERZO NORMAL DESARROLLADOS DURANTE EL ENSAYO (UU). ....                  | 19 |
| FIGURA 5: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LAS DISTINTAS FASES DE UN ENSAYO DE<br>COMPRESIÓN TRIAXIAL TIPO (CU). ....   | 21 |
| FIGURA 6: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DEL ESFUERZO CORTANTE Y EL<br>ESFUERZO NORMAL DESARROLLADOS DURANTE EL ENSAYO (CU). ....                  | 21 |
| FIGURA 7: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DEL ESFUERZO CORTANTE Y EL<br>ESFUERZO NORMAL DESARROLLADOS DURANTE EL ENSAYO (CD). ....                  | 22 |
| FIGURA 8: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DEL GRÁFICO DE LA CARGA VS TIEMPO. ....   | 23 |
| FIGURA 9: LA FIGURA ILUSTRAS LA IMAGEN DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA<br>CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN. ....  | 24 |
| FIGURA 10: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LOS PRINCIPIOS DE LA CONSOLIDACIÓN. ....  | 25 |
| FIGURA 11: LA FIGURA ILUSTRAS LA IMAGEN DEL GRÁFICO E-LOG $\Sigma$ . PARA UNA ARCILLA SUAVE.<br>.....   | 25 |
| FIGURA 12: LA FIGURA ILUSTRAS LA IMAGEN DE LA CURVA VIRGEN DE COMPRESIÓN, PARA UNA<br>ARCILLA CONSOLIDADA. ....   | 26 |
| FIGURA 13: LA FIGURA ILUSTRAS LA IMAGEN DE LA CURVA DE CONSOLIDACIÓN DE CAMPO<br>PARA UNA ARCILLA SOBRE CONSOLIDADA. ....   | 26 |
| FIGURA 14: LA FIGURA ILUSTRAS LA IMAGEN EL GRÁFICO TENSION-DEFORMACION. ....  | 27 |
| FIGURA 15: DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN VERTICAL Y DE LAS TENSIONES EN ESTRATO<br>PROFUNDO DE ARCILLA. ....   | 28 |
| FIGURA 16: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DEL FLUJO UNIDIMENSIONAL EN EL SUELO. ....   | 30 |
| FIGURA 17: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE<br>CIMENTACIONES SUPERFICIALES EXISTENTES. ....   | 32 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 18: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LOS DOS TIPOS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS (PILOTAJES) POR FUSTE Y PUNTA. ....   | 33 |
| FIGURA 19: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LOS TRES TIPOS DE FALLA OBSERVADOS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES. ....  | 34 |
| FIGURA 20: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DEL ANÁLISIS DE LA FALLA DE UNA CIMENTACIÓN. ....   | 35 |
| FIGURA 21. LA FIGURA ILUSTRAS LA IMAGEN DE UNA CIMENTACIÓN PROFUNDA POR PILOTES DE FRICCIÓN. ....  | 37 |
| FIGURA 22: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DEL ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA TESIS. ....   | 48 |
| FIGURA 23: LA FIGURA MUESTRA EL RESULTADO DEL ENSAYO TRIAXIAL TIPO (CU), PROCESO DE APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CONFINAMIENTO $\Sigma_3= 1.02 \text{ KG/CM}^2$ . ....   | 55 |
| FIGURA 24: LA FIGURA MUESTRA EL RESULTADO DEL ENSAYO TRIAXIAL TIPO (CU) PROCESO DE APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CONFINAMIENTO $\Sigma_3=2.04 \text{ KG/CM}^2$ . ....   | 56 |
| FIGURA 25: MUESTRA EL RESULTADO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL TIPO (CU) PROCESO DE APLICACIÓN DEL ESFUERZO DE CONFINAMIENTO $\Sigma_3= 4.08 \text{ KG/CM}^2$ . ....  | 57 |
| FIGURA 26: LA FIGURA ILUSTRAS LOS RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DEL ESFUERZO DESVIADOR Y LA DEFORMACIÓN UNITARIA OBTENIDAS DURANTE EL ENSAYO TRIAXIAL TIPO (CU), PARA LAS TRES MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO. ....  | 59 |
| FIGURA 27: LA FIGURA MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA Y LA PRESIÓN DE POROS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL, PARA LAS TRES MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO. .... | 61 |
| FIGURA 28: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA RELACIÓN DE TENSIONES DESARROLLADAS DURANTE EL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL DE LAS TRES MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO. ....                                    | 63 |
| FIGURA 29: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LOS CÍRCULOS DE MOHR PARA CONDICIONES TOTALES Y EFECTIVAS Y ENVOLVENTE DE FALLA. ....  | 64 |
| FIGURA 30: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LOS CÍRCULOS DE MOHR PARA CONDICIONES TOTALES, EFECTIVAS Y ENVOLVENTES DE FALLA PARA EL ESFUERZO MÁXIMO DESVIADOR. ....  | 65 |
| FIGURA 31: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN PARA UNA CARGA DE CONSOLIDACIÓN DE $0.2 \text{ KG/CM}^2$ . ....  | 68 |
| FIGURA 32: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN PARA UNA CARGA DE CONSOLIDACIÓN DE $0.4 \text{ KG/CM}^2$ . ....  | 69 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 33: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA DE 0.8 KG/CM <sup>2</sup> . .....                                     | 70 |
| FIGURA 34: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA DE 1.6 KG/CM <sup>2</sup> . .....                                     | 71 |
| FIGURA 35: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA DE 3.20 KG/CM <sup>2</sup> . .....                                    | 72 |
| FIGURA 36: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA DE 6.4 KG/CM <sup>2</sup> . .....                                     | 73 |
| FIGURA 37: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE DESCARGA DE 3.2 KG/CM <sup>2</sup> .....                                    | 74 |
| FIGURA 38: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA DE 1.6 KG/CM <sup>2</sup> . .....                                     | 75 |
| FIGURA 39: MUESTRA EL RESULTADO DE LA GRÁFICA DEL TIEMPO CON LA DEFORMACIÓN POR LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE DESCARGA DE 0.8 KG/CM <sup>2</sup> .....                                    | 76 |
| FIGURA 40: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA 0.2 KG/CM <sup>2</sup> . .....           | 78 |
| FIGURA 41: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ESCALÓN DE CARGA 0.4 KG/CM <sup>2</sup> . .....           | 78 |
| FIGURA 42: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA 0.8 KG/CM <sup>2</sup> . .....                    | 79 |
| FIGURA 43: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA 1.6 KG/CM <sup>2</sup> . .....                    | 79 |
| FIGURA 44: LA FIGURA ILUSTRA LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN ESCALÓN DE CARGA 3.2 KG/CM <sup>2</sup> . ..... | 80 |
| FIGURA 45: MUESTRA LOS RESULTADOS DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN ESCALÓN DE CARGA 6.4 KG/CM <sup>2</sup> . .....         | 80 |
| FIGURA 46: LA FIGURA ILUSTRA LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA 3.2 KG/CM <sup>2</sup> . ....             | 82 |
| FIGURA 47: LA FIGURA ILUSTRA LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA 1.6 KG/CM <sup>2</sup> . ....             | 82 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 48: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL TIEMPO CON LA RELACIÓN DE VACÍOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ESCALÓN DE CARGA 0.8 KG/CM <sup>2</sup> . ..... | 83 |
| FIGURA 49: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DEL ESFUERZO EFECTIVO Y LA RELACIÓN DE VACÍOS. ....  | 85 |
| FIGURA 50: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DE LA PRESIÓN EFECTIVA $\Sigma'$ (KG/CM <sup>2</sup> ) Y LA PERMEABILIDAD K (CM/S).....                        | 90 |
| FIGURA 51: LA FIGURA ILUSTRAS LAS IMÁGENES DE LA GRÁFICA DE LOS VALORES DE LA PRESIÓN EFECTIVA $\Sigma'$ (KG/CM <sup>2</sup> ) Y LA PERMEABILIDAD K (CM/S).....                        | 91 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad evaluar la característica del suelo arcilloso presente en el sector de Amancaes que corresponde a una clasificación de suelo (CH) arcillas orgánicas de alta plasticidad con un porcentaje de fracción fina de 89 %, cuyas características naturales son evaluados para su uso como elemento de fundación.

Para alcanzar los objetivos de la investigación, primero es necesario realizar la recopilación de información general como estudio de suelo, e información bibliográfica necesaria , como segunda etapa realizar dos exploraciones a campo abierto calicatas de 1x1.3x3.00 y extraer muestras alteradas y inalteradas de suelo del fondo de la calicata, mediante la introducción completa de muestreadores de tubo de pared delgada shelby para suelos finos, como tercera etapa se continua con los ensayos correspondientes de laboratorio triaxial tipo (CU), consolidación y permeabilidad; con la finalidad de obtener parámetros de resistencia mecánica del suelo como la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ), el asentamiento por consolidación ( $Q_f$ ) y la constante de permeabilidad (k) del suelo arcilloso.

Para finalizar se realiza el análisis y evaluación de los resultados de los ensayos de laboratorio mediante medidas de dispersión estadística; también, se realiza el metrado de las cargas de la estructura de edificación con el programa de cálculo Etabs, de forma que las cargas impuestas no superen la capacidad admisible y asentamiento obtenidos mediante los cálculos correspondientes, con estos resultados determinar el tipo de cimentación mediante el programa de cimentaciones SAFE.

**Palabra clave:** suelo, cimentación.

## ABSTRACT

The purpose of this research work is to evaluate the characteristics of the clayey soil present in the Amancaes sector, which corresponds to a soil classification (CH) of high plasticity organic clays with a percentage of fine fraction of 89%, whose natural characteristics are evaluated. for use as a foundation element.

To achieve the objectives of the research, it is first necessary to collect general information such as a soil study, and necessary bibliographic information, as a second stage, carry out two explorations in the open field of 1x1.30x3.00 pits and extract disturbed and undisturbed samples of soil from the bottom of the pit, through the complete introduction of shelby thin-walled tube samplers for fine soils, as a third stage, the corresponding triaxial type (CU), consolidation and permeability laboratory tests continue; in order to obtain parameters of mechanical resistance of the soil such as cohesion (C) and the angle of internal friction ( $\Phi$ ), settlement by consolidation (Qf) and the permeability constant (k) of the clayey soil.

Finally, the analysis and evaluation of the results of the laboratory tests is carried out by means of statistical dispersion measures; Also, the measurement of the loads of the building structure is carried out with the Etabs calculation program, so that the imposed loads do not exceed the admissible capacity and settlement obtained through the corresponding calculations, with these results determine the type of foundation through the SAFE foundation program.

Key word: soil, foundation.

## INTRODUCCION

La construcción de edificaciones de vivienda en la ciudad de Abancay, viene en crecimiento continuo permanente y se viene extendiendo fuera de la periferia urbana de la ciudad en terrenos de suelo de formación arcillosa, estos suelos arcillosos tienen su origen por la descomposición química de las rocas existentes, la presencia de nivel freático contribuye al proceso químico que da lugar a la formación de estos tipos de arcillas en algunas zonas altas de la periferia urbana de la ciudad, en el sector de Amacaes de la ciudad de Abancay, se observa en una área extensa la existencia de estratos de suelo de formación arcillosa realizar exploración y muestreo de suelos es muy importante para conocer sus propiedades de resistencia más importantes.

Las propiedades de resistencia al corte para suelos finos como las arcillas, se obtiene mediante ensayos de compresión triaxial, que toma en cuenta ciertas condiciones de carga, saturación y drenaje del suelo que nos permite conocer parámetros como la cohesión (C), el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ), los ensayos de consolidación permiten conocer ciertos parámetros como el coeficiente de consolidación (CV), el coeficiente expansión (Cs) y el coeficiente de compresión (Cc) para determinar el asentamiento por consolidación primaria, estos parámetros dependen del tipo de muestra extraída; para esta investigación, se considera muestras inalteradas de suelo arcilloso extraídas mediante tubos Shelby, quienes tienen la propiedad de conservar la humedad y las propiedades naturales de la muestra de suelo.

Los ensayos de laboratorio se realizan conforme a la normativas internacionales (ASTM) y nacionales (NTP), todo con la finalidad de alcanzar los objetivos y resolver las hipótesis y realizar una aplicación directa en la capacidad de soporte que tendrá el suelo, el asentamiento que desarrollará la edificación ante las cargas transmitidas por la edificación al terreno de fundación y la permeabilidad del suelo arcilloso que influye en la velocidad del asentamiento por consolidación (CV) de la muestra de suelo arcilloso.

Como aporte de la investigación, es obtener un tipo de cimentación que sea técnica y económicamente más aceptable, para las condiciones del suelo arcilloso del sector de Amancaes. .

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

La construcción de edificaciones con fines de vivienda, en los últimos años, tiene un crecimiento significativo en la ciudad de Abancay, por la necesidad de las familias de contar con viviendas que sean seguras y económicas, la construcción es una actividad que se mantiene en cambio continuo tanto en el uso de materiales, herramientas y maquinaria para el desarrollo de edificaciones de gran magnitud que se desarrollen en suelos de fundación resistentes. Una de las tareas del ingeniero es ubicar estas zonas urbanas en lugares que no signifiquen un riesgo tanto para sus vidas y bienes materiales. Realizar trabajos de exploración calicatas abiertas y muestreo de suelos que consiste en extraer muestras en estado alterado y inalterado de suelo con la finalidad de determinar estas condiciones del tipo de suelo y características de resistencia mecánica son fundamentales para tener suelos que cumplan las condiciones adecuadas que sirvan como elemento de fundación.

En el sector de Amancaes de la ciudad de Abancay de la región Apurímac, se observa la presencia de un suelo de tipo arcilloso de baja resistencia al corte, alta deformación ante cargas impuestas baja permeabilidad, es importante analizar estas propiedades del suelo arcilloso para el desarrollo de elementos de fundación que cumplan con las características de seguridad, calidad técnica y economía y duración en el tiempo, actualmente la construcción de edificaciones en este tipo de suelo arcilloso presenta la posibilidad de mejora en los elementos de cimentación, mediante ensayos de laboratorio que simulen de forma casi real. Los esfuerzos que soporta el suelo ante las cargas impuestas por los columnas y muros hacia los elementos de cimentación y estos lo transmitan hacia el suelo de fundación, estos problemas

observados necesitan una evaluación y análisis tanto de las propiedades mecánicas de muestras inalteradas del suelo arcilloso de fundación como de la estructura de cimentación, para entender su comportamiento adecuado ante solicitaciones de cargas estáticas y dinámicas de la que pueda transmitir la edificación al suelo de fundación.

El ensayo de compresión triaxial es el ensayo más representativo que existe para determinar los parámetros de resistencia al corte de un suelo. Consiste básicamente en recrear las condiciones más reales a las que puede estar sometida una muestra de suelo arcilloso en el lugar. Se debe suponer que, para una partícula cualquiera del suelo, se ejerce una presión uniforme a su alrededor. Lo siguiente es simular la carga que proporcionaría cualquier estructura sobre el suelo y verificar la carga máxima de resistencia.

El ensayo de consolidación unidimensional nos muestra parámetros de deformación como el asentamiento por consolidación ( $A_s$ ), por la simulación de las cargas transmitidas, y el ensayo de permeabilidad nos indica la capacidad de drenaje de la muestra de suelo y nos muestra el parámetro de la constante de permeabilidad ( $K$ ).

## **1.2 I Identificación y formulación del problema**

El problema que presenta el suelo arcilloso del sector de Amancaes de la ciudad de Abancay, es la baja capacidad admisible, alta deformación ante cargas impuestas, baja permeabilidad que son parámetros de mucha importancia que influyen para poder contar con una estructura de cimentación que cumpla las condiciones de seguridad, calidad técnica y sean más económicas para la construcción de edificaciones.

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuáles son los parámetros geotécnicos más importantes del suelo arcilloso que influyen en el diseño de cimentación de las edificaciones en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022?

### **1.2.2 Problemas específicos:**

- a) ¿Cuáles son los parámetros de resistencia mecánica del suelo arcilloso que influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022?
- b) ¿Cuál es el parámetro de deformación del suelo arcilloso que influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022?

c) ¿Cuál es el parámetro de permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso que influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022?

### **1.3 Justificación de la investigación**

La necesidad de contar con una estructura de cimentación que cumplan con las condiciones de seguridad, calidad técnica y sean más económicas para las condiciones de suelo arcilloso existente en el sector de Amancaes de la ciudad de Abancay, para la construcción de edificaciones de vivienda, constituye la finalidad de realizar el presente trabajo de investigación, cuyos objetivos principales son realizar ensayos de laboratorio como ensayo de compresión triaxial tipo (CU), consolidación unidimensional y permeabilidad, en muestras inalteradas de suelo arcilloso para determinar parámetros de resistencia al corte como la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), el asentamiento por consolidación (Qf) y la constante de permeabilidad (k). Los trabajos que consisten en realizar calicatas abiertas y extracción de muestras de suelo constituyen actividades de mucha importancia en el estudio e investigación del terreno, porque de ello depende los resultados de los parámetros del suelo, que se obtengan en la etapa de ensayos de laboratorio, las operaciones de exploración obedecen a ciertas condiciones como la magnitud de la construcción y el tipo de terreno mientras que el muestreo consiste en obtener muestras representativas de los estratos donde se apoyara la estructura, se pueden obtener muestras en condiciones alteradas e inalteradas, las muestras inalteradas se obtienen mediante muestreadores de pared delgada shelby en suelos finos como las arcillas.

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar los parámetros geotécnicos más importantes del suelo arcilloso que influyen en el diseño de cimentación de las edificaciones en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

#### **1.4.2 Objetivos específicos:**

Determinar los parámetros de resistencia mecánica del suelo arcilloso que influyen en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

Determinar el parámetro de deformación del suelo arcilloso que influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

Determinar el parámetro de permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso que influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

## **1.5 Delimitación de la investigación**

### **1.5.1 Delimitación espacial**

El presente trabajo de investigación, por las características de suelo arcilloso, existente en el lugar considera para su desarrollo y proceso de ejecución como zona de estudio el sector Amancaes del distrito y provincia de Abancay, región Apurímac - Perú.

### **1.5.2 Delimitación temporal**

La presente investigación que consiste principalmente en búsqueda de información, ensayos de laboratorio, análisis evaluación de resultados, cálculo de los parámetros de diseño se desarrolló durante los meses de mayo a noviembre del año 2022.

### **1.5.3 Delimitación social**

El trabajo de investigación estará al alcance de todos quienes quieran contar con edificaciones de vivienda, en el sector de Amancaes del distrito y provincia de Abancay, región Apurímac-Perú. Al contar con la presente investigación, estarán en condiciones de tomar mejores decisiones al considerar el tipo de cimentación en base a los parámetros de resistencia mecánica del suelo arcilloso y considerar el tipo de proceso constructivo y mano de obra que sea más económico para las estructuras de cimentación.

### **1.5.4 Delimitación conceptual**

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realiza en el sector de Amancaes del distrito y provincia de Abancay. Tiene como objetivo principal determinar los parámetros geotécnicos más importantes del suelo arcilloso para la propuesta de un tipo de cimentación que cumpla con las condiciones de seguridad, calidad técnica y sea más económico.

## **1.6 Viabilidad de la investigación**

La presente investigación cumple con las condiciones para ser viable, por la ubicación de la zona urbana en proyección en un tipo de suelo arcilloso, por la existencia de laboratorios para realizar los ensayos correspondientes y el presupuesto económico.

**Viabilidad económica.** Para realizar el presente trabajo de investigación, es necesario contar con medios económicos necesarios como para realizar los trabajos de exploración, muestreo de suelos y ensayos de laboratorio y cubrir gastos de transporte y movilidad considerado viable en el aspecto económico.

**Viabilidad social.** En el aspecto social la investigación, es viable, por la necesidad de las familias de contar con edificaciones de vivienda en el sector de Amancaes del distrito y provincia de Abancay, en condiciones de estratos continuos de suelo arcilloso.

**Viabilidad técnica.** El trabajo de investigación tiene el objetivo de realizar ensayos de laboratorio en muestras inalteradas de suelo arcilloso, para determinar las propiedades de resistencia mecánica, asentamiento por consolidación y la constante de permeabilidad.

## **1.7 Limitaciones de la investigación**

La presente investigación dentro de las consideraciones establecidas en los objetivos del proyecto considera las siguientes limitaciones.

- a) Determinar las propiedades geotécnicas más importantes del suelo arcilloso como los parámetros de resistencia mecánica, asentamiento por consolidación y la constante de permeabilidad, mediante ensayos de laboratorio.
- b) Realizar el análisis, evaluación e interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio mediante procedimientos estadísticos de dispersión estadística.
- c) Realizar el diseño de un tipo de estructura de cimentación mediante el programa de cimentaciones SAFE y realizar una comparación de capacidad admisible, asentamiento y punzonamiento.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 A nivel internacional

Juárez, S. (2013). *“Análisis y diseño de cimentaciones: una comparación de prácticas”* (Tesis de pos grado) Universidad Nacional Autónoma de México, México. El objetivo principal de las cimentaciones es transmitir las cargas de las columnas, vigas, losas y muros a la estructura de cimiento y estos lo transmitan al terreno de fundación en forma estable y con asentamientos que no superen la propiedad de deformación del suelo. En la ciudad de México, la construcción de cimentaciones presenta dificultades superiores con respecto a las ciudades del mundo las causas principales son las siguientes: a) Características del suelo blando y compresible. b) Hundimiento regional. c) Alta sismicidad. El objetivo más importante del presente trabajo de investigación es realizar la descripción de la información necesaria que sean de aplicación práctica en el cálculo también para el diseño de cimentaciones superficiales y profundas, en para suelos de la ciudad de México.

Loyola, Adrián F. (2017) *“Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial tipo CU Y UU”* (Tesis de grado) Universidad Técnica Particular de Loja - Ecuador. El objetivo del presente trabajo de investigación consiste en evaluar el comportamiento mecánico de los suelos limosos por medio de ensayos de compresión triaxial tipo CU Y UU, se plantea determinar las propiedades de resistencia mecánica como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) considerados parámetros de resistencia mecánica y analizar

estos resultados para finalmente realizar una comparación de resultados entre los dos tipos de ensayo de compresión triaxial. Para, finalmente, establecer la variación de resultados en condiciones totales y efectivas.

Berrocal, José C. (2013). *Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo*. (Tesis de pos grado) Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú. El objetivo principal de la presente investigación es evaluar el proceso de interacción que existe entre dos elementos como el suelo y el concreto que posee diferentes propiedades mecánicas tener un conocimiento adecuado del fenómeno de interacción que existe entre los dos elementos cuando están sometido a diferentes solicitaciones de carga de edificación y poner en aplicación práctica, constituye un avance importante dentro del proceso de innovación dentro de la rama de la geotecnia, lo más importante conocer durante el proceso de interacción la determinación del coeficiente de balasto.

Gonzales, Mauricio y Ortiz, Daniela. (2017). *“Análisis del comportamiento de un suelo arcilloso de Bogotá sometido a carga y descarga parcial cíclica”*. (Tesis de grado) Universidad la Gran Colombia Bogotá, Colombia. El objetivo principal de la tesis es analizar mediante el equipo de prensa de carga el comportamiento de un suelo arcilloso de la ciudad de Bogota sometiendo la muestra a condiciones de carga y descarga parcial cíclica entre sus objetivos específicos está realizar ensayos de laboratorio: primero en identificar el tipo de suelo mediante ensayos de clasificación, características y propiedades físicas y mecánicas, segundo realizar una comparación de la magnitud de los módulos de elasticidad para diferentes estados de carga cíclica, tercero analizar la variación de la energía generada por la aplicación de los ciclos de carga y descarga cíclica al 50% y evaluar la relación energía deformación.

Lucero, Yesenia. (2017). *“Propiedades y modelos dinámicos para las arcillas del ex lago de Texcoco”* (Tesis de pos grado) Universidad Nacional Autónoma de México. El objetivo principal de la tesis es realizar el análisis y evaluación de las arcillas del ex lago de Texcoco que se encuentra sometida a diferentes grados de movimiento sísmico. Con los ensayos de campo se verificó y se realizó la correlación estadística para determinar  $Q_c$  y la velocidad de onda de corte  $V_s$ , medida en campo. Utilizando la técnica de onda suspendida. De los resultados de los diferentes ensayos con el equipo de laboratorio de columna resonante y triaxial cíclicas, pudo observar la variación del módulo de rigidez al cortante y la relación de amortiguamiento con respecto a la deformación angular. A Partir de los datos obtenidos de laboratorio, se pudo realizar

la correlación estadística entre el módulo de rigidez máximo y parámetros geotécnicos como la relación de vacíos, el contenido de agua, el índice de liquidez y el índice de vacíos.

### **2.1.2 A nivel nacional**

Percy, Ch. y Claudia, O. (2019). “*Estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en suelo arenoso en el proyecto condominio oasis, distrito de Pisco-Ica-Perú*” (Tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres Lima, Perú. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal realizar la investigación geotécnica y realizar la propuesta de un tipo de cimentación superficial en suelo arenoso del proyecto condominio oasis, del distrito de Paracas, Pisco-Ica-Perú. El estudio de suelo realizado determina que el tipo de suelo que existe en el área de estudio es arena pobremente graduada (SP), según la clasificación AASHTO el tipo de suelo es A2-4(0) cuya densidad promedio obtenido del ensayo de laboratorio es 1.68 gr/cm<sup>3</sup>. Los parámetros de resistencia al corte obtenido con los equipos de corte directo se pudo obtener un ángulo de fricción interna de 33.5° y cohesión 0.00 (kg/cm<sup>2</sup>) se pudo observar la existencia de nivel freático a una profundidad de 1,30 durante la exploración de campo abierto calicata, por lo que las cotas de fundación no están al mismo nivel de la capa freática, cuya capacidad de carga admisible de 16.67 ton/m<sup>2</sup>. Las tres propuestas de cimentaciones superficiales realizadas cumplen por capacidad de resistencia al corte y por asentamiento impuestos por la cargas transmitidas, pero el cumple con las características técnicas de seguridad es la losa de cimentación presentando una capacidad de carga de 8.15 ton/m<sup>2</sup> y asentamiento de 2.03mm.

Roa, Renzo O. y Vidal, Óscar. (2019). “*Evaluación técnico-económica de cimentaciones en terreno con baja capacidad portante, caso: Edificio Marañón de Huamachuco, la Perla, Callao*”, (Tesis de grado). Universidad Ricardo Palma Lima, Perú. El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de realizar la propuesta de un tipo de estructura de cimiento, que sea más económica y segura para el tipo de suelo existente donde se construirá el, edificio multifamiliar Marañón de Huamachuco, localizado en La Perla - Callao, el cual se encuentra ubicado sobre un tipo de suelo que presenta baja capacidad de admisible de (1.00 kg/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a los requerimientos mínimos que exige la norma E.030-2018, la primera propuesta realizada de cimentación consiste en emplear zapatas aisladas

,combinadas y losa de cimentación conectadas mediante vigas de conexión. Con la finalidad de determinar las dimensiones de cada opción de cimentación, se analizó el comportamiento estructural de cada alternativa de cimentación propuesta en el software de cimentación SAFE 2016 v16.0.2, con el análisis realizado se pudo determinar las dimensiones para las propuestas de cimentaciones para cumplir con las solicitaciones de carga y realizar las comprobaciones exigidas por la Norma E.030 y E.70, para verificar esta condición se realiza el presupuesto de ambas opciones de cimentación estructurales, obteniéndose como resultado solo con una diferencia de 5.16%, encontrándose que la losa de cimentación es la más económica para estas condiciones cumpliendo con las condiciones técnicas y económicas más favorables.

Arévalo, Stefani L. y Villegas, Piero A. (2019). “*Análisis de suelos arcillosos para el diseño de cimentaciones piloteadas en Malecón San José, Laguna Yarinacocha, Ucayali - 2020*”, (Tesis de grado). Universidad César Vallejo Lima, Perú. El presente trabajo de tesis tiene la finalidad de realizar sondajes profundos tipo Estándar Penetración Tes (SPT) para determinar la resistencia que muestra el suelo por cada 15 centímetros de profundidad que ingrese el barreno por los golpes del martillo, cuyos resultados de carga y profundidad observados fueron empleados para determinar el tipo de cimentación más adecuado y la profundidad de desplante de los mismos. Para realizar el diseño de cimentación mediante pilotes, se utilizó el método de Decourt y Quaresma cuyos resultados del ensayo realizado determinaron una profundidad mayor a los 12 metros, para lo cual se considera la elaboración de los pilotes en el lugar de la obra. El ensayo de penetración estándar SPT, fue realizado en el área de investigación propuesta para la tesis, de donde se tomaron todos los datos y resultados de campo necesarios para el diseño de los pilotes, que fueron calculados de acuerdo al método de Decourt y Quaresma, los suelos que existen en la ribera de la laguna Yarinacocha, son estratos de suelo donde predominan suelos arcillosos, los cuales en su gran mayoría presentan el fenómeno de expansión, por lo que desarrollan cambios importantes de volumen con determinado contenido de humedad.

Sosa, Édward H. (2021). “*Análisis geotécnico aplicado al diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en la zona alta del centro poblado de Jancao del distrito de amarilis, Huánuco 2020*”, (tesis de grado). Universidad de Huánuco, Perú. El presente trabajo de investigación tiene como objetivos principales realizar

los siguientes trabajos, inicialmente realizar la exploración de campo abierto del área de estudio que consiste en realizar cuatro puntos de exploración calicatas abiertas ubicadas estratégicamente a una profundidad de 3.00m. Que cumpla con las condiciones para realizar un buen estudio de campo, posteriormente, se realiza los trabajos de muestreo que consiste en la extracción de muestras representativas de suelo, para poder realizar los correspondientes ensayos en el laboratorio, mediante el cual se obtendrá las propiedades físicas y mecánicas y poder calcular la capacidad admisible que pueda soportar el estrato considerado, siendo este último importante para el diseño correcto de la estructura de cimentación, esto se realizan con la finalidad de proponer un tipo de cimentación modelo para el área de estudio. Se determinó en laboratorio que el suelo presente de la zona de estudio es arena arcillosa (SC) con una capacidad admisible de 2.37 Kg/cm<sup>2</sup>, realizando la propuesta de cimentación de zapatas aisladas, zapatas cuadradas de 1.50mx1.50m a una profundidad de 1.50m, el cual cumple con las verificaciones de diseño por capacidad de carga y por asentamiento, resultando estructuralmente segura.

Martin, Felix. (2019). *“Análisis del comportamiento Mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en la Merced-Junín, 2021”*, (tesis de grado). Universidad de Continental Merced, Junín – Perú. El objetivo principal de esta investigación es realizar la incorporación al suelo en investigación de fibras de polipropileno en los siguientes porcentajes de 0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%, como una propuesta para realizar la mejora de la capacidad de resistencia mecánica que pueda presentar el suelo en estudio, realizando la comparación de las proporciones de las mezcla realizadas, con el suelo en su estado natural. Para poder identificar las propiedades físicas que cambian con las combinaciones realizadas, se realizó el ensayo normalizado de granulometría y límites de consistencia y para identificar las propiedades de resistencia mecánica, se utilizó los ensayos de Proctor modificado y CBR. Estos ensayos de laboratorio se realizaron a las proporciones de mezclas propuestas incluyendo al suelo natural; para realizar la respectiva comparación, También los resultados mostraron que existe una mezcla óptima del 0.6% en comparación a las otras mezclas.

### **2.1.3 A nivel regional y local**

A nivel regional no existen investigaciones relacionadas con el tema de estudio.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Parámetros de Resistencia mecánica del suelo diagrama de ruptura de Mohr

Los parámetros de resistencia al esfuerzo de corte del suelo se determina principalmente a través de los siguientes ensayos de laboratorio, triaxial y corte directo los ensayos triaxiales están establecidos para suelos de grano finos como limos y las arcillas y los de corte directo para los de grano grueso como gravas y arenas, las arcillas son suelos de grano fino que se pueden encontrar en estados de normalmente consolidados y preconsolidados para poder determinar la resistencia al esfuerzo de corte de estos suelos y determinar los parámetros de resistencia mecánica como la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ), se pueden considerar uno de los tres tipos de pruebas triaxiales existentes (UU), (CU) y (CD), cada una de las cuales tiene diferentes procedimientos de ensayo, para definir el tipo de ensayo se toma en consideración las condiciones de las muestras de suelo como el estado de saturación y permeabilidad que determinan si estos se realizaran en condiciones drenadas y no drenadas y otro factor importante es como se aplica la velocidad de carga de deformación que influye de manera directa en la velocidad de asentamiento por consolidación (CV) o velocidad de consolidación, de la estructura del suelo de fundación por la velocidad de disipación de las presiones de poro, del suelo arcilloso. (Peck et, al,2009) si se realiza diferentes pruebas con distintos valores de esfuerzos de confinamiento  $P_3$  y se construye los círculos de esfuerzos de Mohr para cada una de las pruebas un punto en cada círculo puede representar los esfuerzos normales y de corte correspondientes a la falla.

$$s = A (\sigma') b$$

Donde:

- $s$  = Resistencia al cortante.
- $\sigma'$  = Esfuerzo normal efectivo.
- $A$  y  $b$  = Constantes

- $s = c' + \sigma' \tan \phi'$

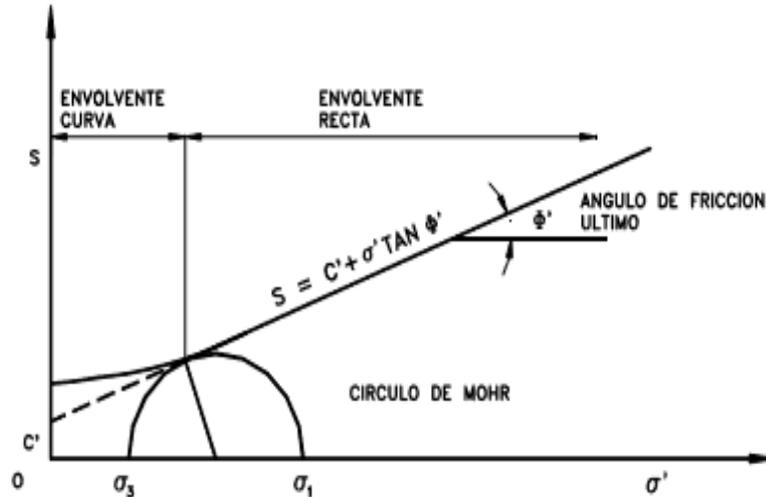


Figura 1: Ilustra las imágenes del círculo de Mohr y envolvente de falla utilizado para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo.

### 2.2.2 Suelo

Los suelos están clasificados de manera general como suelos de grano grueso y fino: los de granulometría gruesa se clasifican en gravas y arenas y los de granulometría fina se denominan a los limos y arcillas. Las arcillas dentro de su propia clasificación se diferencian por su índice de plasticidad (IP) y tipo de mineral arcilloso que poseen y por sus condiciones de expansión y retracción que desarrollan a una humedad determinada.

El principal agente que da origen a la fractura de los diferentes tipos de rocas en granos pequeños es el intemperismo mediante procesos mecánicos y químicos. Los suelos que permanecen en el mismo lugar de formación se denominan suelos residuales cubriendo la roca de que les dio origen. Los suelos que son transportados por medio de agentes externos a otros lugares dando origen a los depósitos de suelo son llamados suelos transportados o sedimentarios. Los agentes que originan el movimiento del suelo a un lugar diferente del lugar de formación se clasifican en aluviales o fluviales depositados por la acción del agua en movimiento, glaciales depositados por acción del movimiento de los glaciales, eólicos depositados por la acción del movimiento del viento. (Das,2011, P1)

El suelo está formado por una estructura de partículas en contacto entre ellos, que pueden contener aire o agua en su interior. La interacción que existe entre los granos del suelo y el agua determinan su comportamiento por la aplicación de las cargas de la cimentación. (Alva,

2009, P31). Los espacios vacíos o poros de la estructura del suelo se pueden encontrar en estados de total o parcialmente llenos de agua.

### **2.2.3 Clasificación**

Existen dos sistemas para realizar la clasificación de los suelos que existen actualmente el sistema (SUCS) y el sistema (AASHTO), que manejan un lenguaje adecuado para determinar las características naturales de los suelos que son muy variadas, tomando como principal consideración la distribución del tamaño de los granos y la plasticidad que poseen.

Realizar una buena clasificación del suelo es una tarea de mucha importancia para los trabajos de ingeniería, porque nos proporciona los datos iniciales para un reconocimiento del tipo de suelo que existe en el lugar. (Peck, Hanson, Thornburn et al,2009, P29) La importancia de realizar la identificación y clasificación de las rocas y suelos correctamente es importante para plantear cimentaciones que sean técnicamente seguras y económicas. La grava y la arena están considerados como suelos de grano grueso por que poseen propiedades de permeabilidad y resistencia mecánica por la configuración de la estructura de sus partículas. El suelo limoso es inestable por cuando contiene mucha humedad fluye en estado saturado y tiene una permeabilidad baja la compactación se realiza con dificultad es fácilmente erosionable y tubificable. (Lambe y Whitman,2009, P48) La permeabilidad de la arcilla es muy baja, realizar la compactación en estado húmedo es complicado, con determinados contenidos de humedad sufre cambios de expansión y retracción cuando.

### **2.2.4 Suelo arcilloso**

Los suelos arcillosos son partículas microscópicas y sub microscópicas, que tienen su origen por la descomposición química que sufren los componentes de las rocas. Cuando están en contacto con el agua. (Karl y. Peck,1976, p.6)

Se caracteriza por tener las siguientes propiedades como la cohesión (C) y la plasticidad. La plasticidad es una característica de la arcilla que se desarrolla con determinado contenido de humedad que se puede utilizar para realizar pruebas sencillas en campo como realizar cilindros largos y delgados con diámetros de aproximadamente de 3mm sin romperse. Un suelo que se compone de cantidades considerables de arcilla, puede moldearse en la palma de la mano sin desintegrarse. (Peck et al,2009) si puede moldearse una pequeña muestra de suelo húmeda entre las palmas de la mano y formar con ellos cilindros largos y delgados, indudablemente contiene cantidades considerables de arcilla. al disminuir la humedad deja de

ser plástica y se vuelve desmoronable. (Das,2011, p.3). Las arcillas están compuestas principalmente por partículas sub microscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos las partículas de arcillas se definen con diámetros menores a 0.002mm. en algunos casos, las partículas que se encuentran entre 0.002 y 0.005mm de tamaño también se denominan arcillas.

Las propiedades más importantes que poseen las arcillas y de importancia para uso en la ingeniería es la cohesión (C) y el Angulo de fricción interna ( $\phi$ ). La permeabilidad que presenta la arcilla es muy baja debido a la disposición de sus partículas finas, las arcillas puede desarrollar cambios de expansión y retracción con variaciones dentro de su contenido de humedad, las propiedades dependen no solo del tamaño y forma de las partículas laminadas y lajosas, también por el tipo de mineral arcilloso que presentan , en general, el mineral arcilloso montmorillonita tiene el mayor efecto sobre las propiedades siendo este efecto mínimo en el caso de la illita y la caolinita. (Lambe y Whitman.,2011, p.48)

### **2.2.5 Métodos de exploración del suelo arcilloso**

Para realizar la investigación del terreno con fines de cimiento, es necesario contar con un programa de exploración y muestreo del suelo, los trabajos de exploración consisten en realizar exploraciones de campo abierto como calicatas abiertas y sondeos en el caso de cimientos que requieran pilotes existe una variedad de métodos de sondeo cada una de las cuales para un propósito diferente.

El programa de exploración del terreno se realiza con la finalidad de verificar la naturaleza de los estratos naturales de suelo, verificar la potencia de los estratos y la posible existencia de niveles freáticos, la magnitud de la exploración depende de la importancia y envergadura de la construcción. Los métodos de exploración que se realiza en una variedad de condiciones consisten en realizar exploración abierta o calicatas y sondajes en el terreno para poder extraer muestras en condiciones alteradas e inalteradas de suelo para su identificación y pruebas de laboratorio, existen una variedad de métodos de sondeo cada una las cuales se realiza para determinar la naturaleza del depósito natural y la importancia y tipo de cimentación. El programa de exploración contiene información necesaria como la ubicación correcta y el número de puntos de exploración suficientes y necesarios para realizar una buena investigación de campo. (Peck et al,2009, P137).

Es de mucha importancia realizar de manera correcta los trabajos de exploración del suelo, donde se realizará la construcción de la edificación y muestreo del suelo ya que nos proporciona información necesaria para conocer sus propiedades naturales que sirven para determinar de manera correcta la capacidad admisible del suelo, el asentamiento que desarrollara ante las cargas de la edificación. Las máquinas de sondaje para realizar los trabajos de sondeo en el terreno, su uso adecuado en el terreno de baja capacidad de soporte, donde el terreno firme se encuentra a gran profundidad, la calidad de las muestras extraídas influye de manera importante durante los ensayos de laboratorio.

### **2.2.6 Muestreo de suelos arcilloso**

Existen dos tipos principales de muestras de suelo que pueden conseguirse por medio de sondeos o pozos de ensayo.

#### **2.2.6.1 Muestras alteradas**

Como su nombre indica son muestras tomadas de las herramientas de sondeo, pueden citarse las raspaduras de la perforadora, el contenido del muestreador de cuchara hendida en la prueba standard de penetración. Las muestras se ponen en recipientes o sacos herméticos con una etiqueta en la que se indica la localidad el número de la perforación la profundidad a que se han tomado las muestras y la fecha del muestreo. (M.J. Tomlinson,1963, P35)

#### **2.2.6.2 Muestras inalteradas**

Indican tan fielmente cómo es la verdadera estructura in situ y su contenido de humedad, el método más corriente para obtener muestras inalteradas consiste en realizar la introducción un tubo de pared delgada normalizada (shelby) en toda su extensión en el suelo y entonces retirarlo junto con su contenido. Es importante no hincar demasiado el muestreador a fin de no comprimir el contenido.es de reconocer que ninguna muestra obtenida por la introducción de un tubo en el suelo puede quedar realmente sin alterar. De hecho, en suelos blandos y sensibles la verdadera resistencia in situ al esfuerzo cortante tal como se ha determinado mediante ensayos con paletas ha resultado ser tres o cuatro veces la resistencia a la cizalladura determinadas por pruebas de libre compresión con muestras inalteradas tomadas en las perforaciones. El cuidado en el procedimiento de muestreo y la perforación del equipo dependen de la clase de trabajo que ha de llevarse a cabo de la importancia en la exactitud de los resultados según el proyecto que se trate. (M.J. Tomlinson,1963, P38)

### **2.2.7 Resistencia al esfuerzo cortante en suelos arcillosos**

Para las arcillas es necesario analizar ciertas condiciones del estado del suelo en el campo. Se obtiene en primer lugar una muestra inalterada de los trabajos de exploración realizados en el campo para luego someterla a una presión de confinamiento en la celda triaxial con esfuerzos efectivos que existían en su estado en el campo para luego aplicar el esfuerzo desviador axial para causar la falla de la muestra. (Peck et, al,2009, P130). Los depósitos arcillosos se pueden encontrarse en el campo en estados de normalmente consolidados y preconsolidados.

### **2.2.8 Pruebas de laboratorio para determinar la resistencia al corte de los suelos arcillosos**

Las pruebas triaxiales están consideradas como una de las pruebas más eficientes, para determinar parámetros de resistencia al esfuerzo de corte de suelos de grano fino como limos y las arcillas los diferentes tipos de ensayo de compresión triaxial para las muestras lo definen las condiciones de drenaje y saturación de las muestras de suelo arcilloso y la velocidad de aplicación de la carga da lugar a la falla de la muestra. Las condiciones de rapidez con la que se aplican los esfuerzos desviadores para generar la falla de la muestra están relacionadas con la capacidad de drenaje y saturación de la muestra. (Peck et, al,2009, P130). Los ensayos triaxiales constituyen los métodos más eficaces para determinar parámetros de resistencia al corte de los suelos de grano fino, por que muestra los procedimientos de ensayo que simulan las condiciones más reales en las que se encuentra el suelo en campo.

### **2.2.9 Ensayo triaxial para determinar la resistencia al esfuerzo de corte**

En una prueba triaxial se sujeta una probeta de suelo cilíndrica a una presión hidrostática de confinamiento y además a una presión axial que puede variarse independientemente de la presión de confinamiento para causar la falla del espécimen.

La superficie cilíndrica de la muestra se cubre con una membrana de hule unida herméticamente a un pedestal en el extremo inferior y a una tapa en el superior. El conjunto este contenido en una cámara que puede llenarse de agua a cualquier presión, esta presión actúa lateralmente en la superficie cilíndrica de la muestra a través de la membrana de hule, y verticalmente a través de la tapa superior. La carga axial adicional se aplica por medio de un pistón que pasa a través de la parte superior de la cámara. Se colocan piedras porosas en los extremos superior e inferior de la muestra, mismas que se conectan al exterior de la cámara

mediante drenes. Por medio de las conexiones, pueden medirse la presión del agua contenida en los poros de la muestra, sino se permite la expulsión del agua. Alternativamente, si se permite que el agua fluya a través de las conexiones puede medirse la cantidad que entra o sale de la muestra durante la prueba. Al aplicar las cargas, se mide la deformación vertical de la muestra con un micrómetro. La prueba se realiza usualmente manteniendo constante la presión de confinamiento y aumentando la presión vertical. Como el líquido no aplica esfuerzos cortantes en la periferia de la muestra, las presiones que obran en planos verticales del espécimen son esfuerzos verticales. Debido a la simetría, todas estas presiones son iguales y se designan como  $p_3$ . el esfuerzo vertical sobre planos horizontales es también un esfuerzo principal, que se designa por  $p_1$ . (Peck et, al,2009, P310).

El ensayo triaxial constituye una de las pruebas de laboratorio más eficientes para determinar las propiedades esfuerzo-deformación de los suelos de grano fino como los limos y las arcillas. Una muestra cilíndrica de suelo se somete primero a una presión hidrostática de confinamiento  $\sigma_3$  en todas las direcciones dentro de la cámara. Luego se aplican los esfuerzos desviadores hasta la falla del espécimen. Generándose dos esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  se tiene que someter en primer lugar a una presión de confinamiento  $\sigma_3$  en todas las direcciones de la muestra para realizar el proceso de consolidación. A continuación, se incrementa el esfuerzo axial o esfuerzo desviador  $\Delta\sigma$  para causar la falla de la muestra. Como no se desarrollan esfuerzos tangenciales sobre la superficie de la muestra cilíndrica, el esfuerzo axial es  $\sigma_c + \Delta\sigma$  y  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales mayor y menor y  $\Delta\sigma$  es  $\sigma_1 - \sigma_3$ , es el esfuerzo desviador. (Lambe y Whitman,2009, P132)

La prueba triaxial está considerada como uno de los ensayos más confiables para encontrar los parámetros de resistencia corte de los suelos de grano fino. Se usa ampliamente para propósitos de investigaciones como para pruebas convencionales de estudio de suelos. En el ensayo de corte triaxial se usa generalmente muestras de diferentes diámetros y longitudes. El espécimen se envuelve con una membrana delgada de hule con piedras porosas en la parte superior e inferior de la muestra y se coloca dentro de la cámara cilíndrica de plástico que se llena con agua o glicerina. La muestra de suelo está sometida a una determinada presión de confinamiento por la presión del fluido en la cámara. El aire es usado como medio para causar la presión del fluido en la cámara triaxial, para causar la falla por corte en la muestra de suelo, se aplica un esfuerzo axial a través de un émbolo vertical de carga, llamado a veces esfuerzo desviador . (Das,2011, p.218)

Las pruebas de compresión triaxial son considerados como uno de los ensayos más representativos para determinar los parámetros de resistencia al corte de los suelos, consiste básicamente en recrear las condiciones en las que se puede encontrar la muestra de suelo en el campo para efectuar el ensayo se considera primero tres esfuerzos de confinamiento, hasta la consolidación de la muestra el siguiente proceso consiste en aplicar el esfuerzo axial o esfuerzo desviador hasta la falla del espécimen.

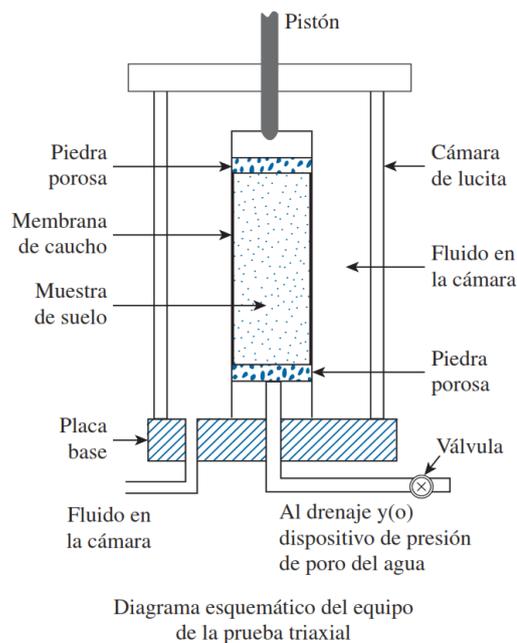


Figura 2: La figura ilustra las imágenes del aparato de compresión triaxial.

## 2.2.10 Tipos de ensayos de compresión triaxial

### 2.2.10.1 Ensayo triaxial (UU).

Este ensayo de compresión triaxial tipo (UU) se desarrolla para suelos de granulometría fina como los limos y arcillas tomando en consideración las condiciones no drenadas para las dos etapas del ensayo de confinamiento ( $\sigma_3$ ) y esfuerzo de corte de la muestra, los parámetros que nos proporciona este ensayo son totales y efectivos, su ejecución se desarrolla, de acuerdo NTP 339.166 y la normativa internacional ASTM D-2850 82.

El drenaje de la muestra de suelo se impide durante la etapa de aplicación de la presión de confinamiento  $\sigma_3$ . La muestra de suelo es llevada a la falla cuando se aplica el esfuerzo desviador  $\Delta\sigma_d$ , cerrando la válvula de drenaje. Se impide el drenaje en cada etapa del ensayo los parámetros mecánicos del suelo que se determinan son totales (Das,2011, p.232)

También llamado ensayo no consolidado -no drenado o ensayo (U). Este ensayo se hace con la válvula de drenaje cerrada para todas las etapas del ensayo El ensayo se comienza inmediatamente después de estabilizar la presión en la cámara. Para ensayos de grano fino y particularmente si S es diferente de 100%, debería haber muy poca diferencia si la válvula de drenaje se cierra o abre durante el ensayo. El experimento no puede utilizarse para un suelo cohesivo de  $s=100\%$ . (Bowles,1980, p.143)

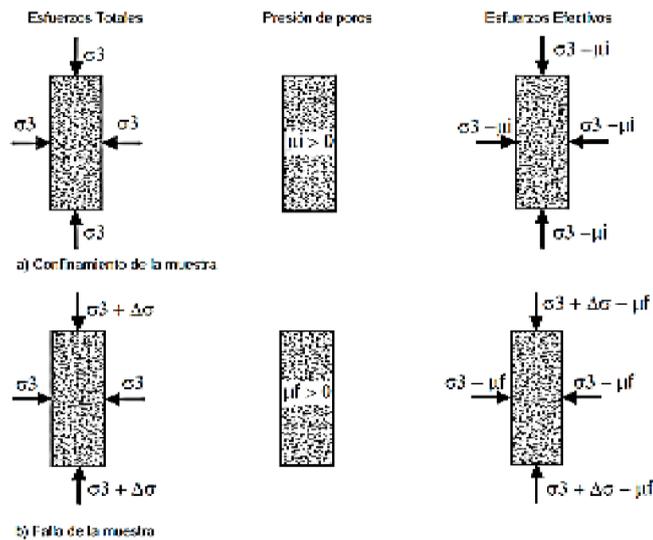


Figura 3: La figura ilustra las imágenes de las fases de un ensayo de compresión triaxial tipo (UU).

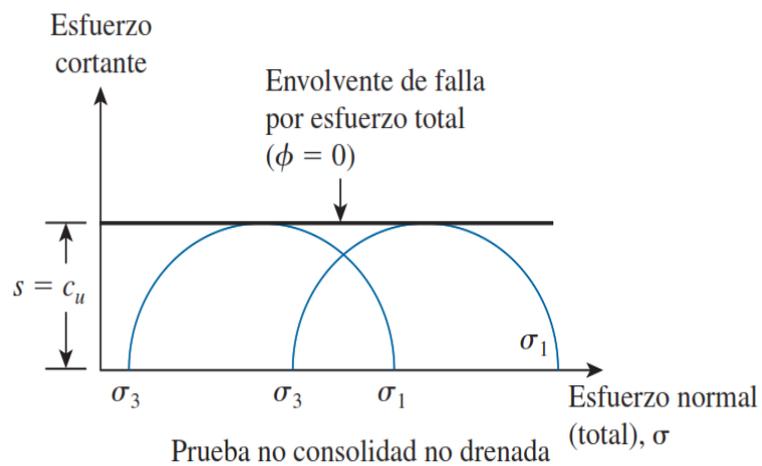


Figura 4: La figura ilustra las imágenes de la gráfica del esfuerzo cortante y el esfuerzo normal desarrollados durante el ensayo (UU).

### 2.2.10.2 Ensayo triaxial (CU)

Este ensayo de compresión triaxial tipo (CU) se desarrolla para suelos de grano fino como limos y arcillas, se permite el drenaje de la muestra durante la etapa de confinamiento primera etapa y se cierran las válvulas de drenaje durante la aplicación del esfuerzo desviador segunda etapa, los parámetros que nos proporciona este ensayo son totales y efectivos, su ejecución se desarrolla de acuerdo con la norma técnica peruana NTP 339.166 y la normativa internacional ASTM D-4767.

La prueba consolidada-no drenada (CU) es el tipo más común de las pruebas triaxiales. En este ensayo la muestra de suelo es primero saturado completamente para luego realizar la consolidado por una presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) en todas las direcciones de la muestra, por el fluido que actúa como medio de compresión en la cámara, y se impide el drenaje durante esta etapa. Después que la presión de poro del agua generada por la aplicación de la presión de confinamiento es completamente disipada, el esfuerzo desviador ( $\Delta\sigma_d$ ) sobre el espécimen se incrementa para causar la falla cortante. Durante esta fase, la línea de drenaje desde la muestra se mantiene cerrada. como el drenaje no se permite, la presión de poro del agua ( $\mu$ ) crecerá. (Das,2011, p.227)

También llamado ensayo consolidado-rápido o (CU). Este ensayo se realiza como primera etapa consolidando la muestra de suelo teniendo la válvula de drenaje abierta bajo una presión confinamiento constante en la cámara de ( $\sigma_3$ ). Como la etapa de consolidación toma un tiempo considerable en suelos arcillosos, se han desarrollado técnicas especiales tales como utilizar bandas de papel de filtro o de algodón espaciada alrededor del perímetro superficial de la muestra para acelerar el drenaje, cuando se completa la consolidación, se cierran las válvulas de drenaje y se le aplica el esfuerzo desviador ( $\Delta\sigma_d$ ) hasta la falla de la muestra. Esta última fase de ensayo es idéntica al ensayo U. (Bowles,1980, p.143)

El presente ensayo de laboratorio de compresión triaxial tipo (CU), consiste en realizar dos procedimientos principales como primera etapa el confinamiento o consolidación de la muestra de suelo por la presión generada por el fluido de la celda en toda la superficie de la muestra con un esfuerzo ( $\sigma_3$ ) hasta la disipación de las presiones de poro ( $\mu$ ) con la válvula de drenaje abierta en la segunda etapa que consiste en aplicar el esfuerzo desviador ( $\Delta\sigma_d$ ), hasta la rotura de la muestra de suelo con la válvula de drenaje cerrada.

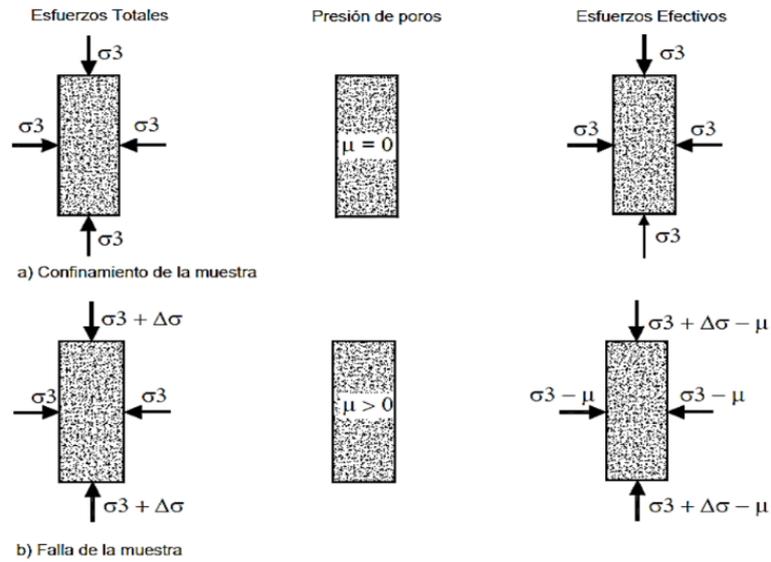


Figura 5: La figura ilustra las imágenes de las distintas fases de un ensayo de compresión triaxial tipo (CU).

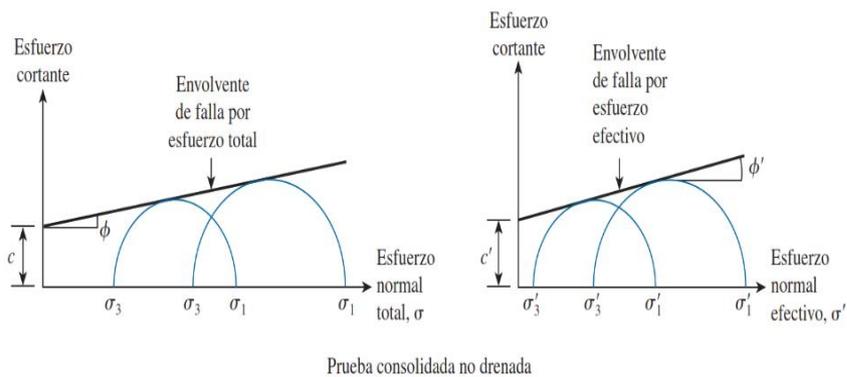


Figura 6: La figura ilustra las imágenes de la gráfica del esfuerzo cortante y el esfuerzo normal desarrollados durante el ensayo (CU).

### 2.2.10.3 Ensayo triaxial (CD)

Este ensayo de compresión triaxial tipo (CD) se desarrolla para suelos de granulometría fina como limos y arcillas, durante la aplicación del esfuerzo de confinamiento ( $\sigma_3$ ) primera etapa se permite el drenaje de la muestra y durante la segunda etapa que consiste en aplicar el esfuerzo desviador ( $\Delta\sigma$ ) hasta la rotura del espécimen, también se permite el drenaje de la muestra, su ejecución se desarrolla de acuerdo con NTP 339.166 y la normativa internacional ASTM D-7181.

En la prueba consolidada-drenada, la muestra de suelo se somete en una primera etapa a una presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) en toda la superficie de la muestra mediante presión del fluido de la cámara triaxial. Cuando se aplica la presión de confinamiento o consolidación  $\sigma_3$ , la presión del agua de los poros de la muestra también conocido como presión de poros se incrementa en la cantidad ( $\mu$ ), en la segunda etapa del ensayo se aplica el esfuerzo desviador  $\Delta\sigma$  hasta la falla del espécimen con la completa disipación de la presión de poro.  $\mu$  (Das,2011, p.219)

También, llamado ensayo consolidado lento o ensayo (CD), este ensayo se realiza manteniendo la válvula de drenaje abierta, se aplica la presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ), se controla la consolidación de la muestra y a continuación, mientras la válvula de drenaje se encuentra abierta, se aplica el esfuerzo desviador. El esfuerzo desviador debe aplicarse a una velocidad tan baja que las presiones de poro que se desarrollan durante el proceso de corte, sean suficientemente pequeñas para que los parámetros del suelo no sean afectados. Debido a la necesidad de hacer un control muy detallado del ensayo la cantidad de tiempo considerable es necesario. Este ensayo permite determinar parámetros de resistencia al corte del suelo casi reales del suelo en campo como la ( $\phi$  y  $c$ ). (Bowles,1980, p.143)

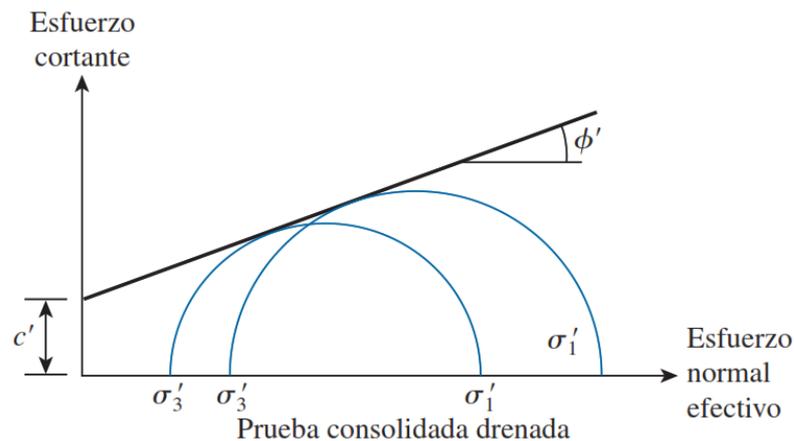


Figura 7: La figura ilustra las imágenes de la gráfica del esfuerzo cortante y el esfuerzo normal desarrollados durante el ensayo (CD).

### 2.2.11 Parámetro de deformación o asentamiento del suelo arcilloso.

El asentamiento debido a la consolidación del suelo de fundación debido a las cargas de cimentación es por regla general, el parámetro más importante para determinar el diseño de un tipo de cimentación que distribuya las cargas de la edificación de manera equivalente. Aun cuando se hayan tomado medidas contra el hundimiento del cimiento mediante la adopción del factor de seguridad arbitrario sobre la capacidad final de carga calculada. Es necesario investigar la posibilidad de asentamiento por consolidación, antes de que puedan fijarse las presiones de apoyo admisible. El asentamiento de una cimentación consta de dos partes. El asentamiento inmediato ( $Q_i$ ) tiene lugar durante la aplicación de la carga, como resultado de la deformación elástica del suelo, sin variación alguna en el contenido de agua. El asentamiento de consolidación ( $Q_c$ ) tiene lugar como consecuencia de la reducción del volumen del suelo causada por la expulsión de parte del agua contenida en los poros del suelo. El asentamiento final ( $Q_f$ ) es la suma de  $Q_i$  y  $Q_c$ . si se precisa de una excavación profunda para alcanzar el nivel de cimentación, se producirá un hinchamiento del suelo como consecuencia de la eliminación de la presión de sobrecarga. La magnitud del hinchamiento depende de la presión de la profundidad de la sobrecarga eliminada y del tiempo que los cimientos permanecen descargados (Tolimson, 2012, P133).

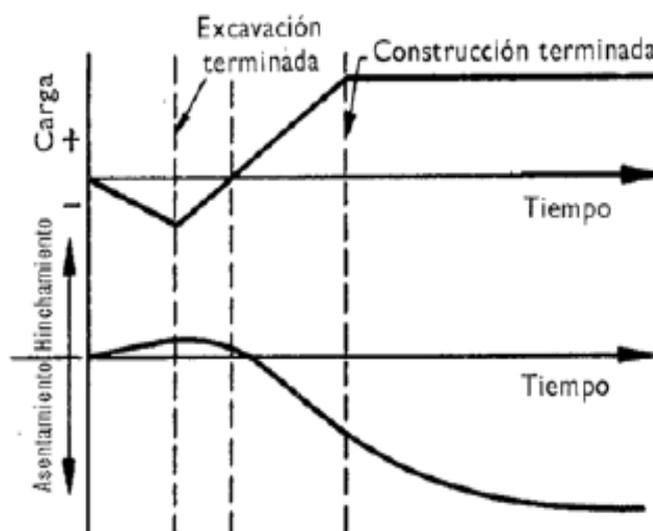


Figura 8: La figura ilustra las imágenes del gráfico de la carga vs tiempo.

### 2.2.12. Prueba de consolidación para determinar la deformación o asentamiento del suelo arcilloso

En la prueba de consolidación la muestra se coloca dentro de un anillo metálico con piedras porosas en la parte superior e inferior de la muestra, se aplica cada incremento de carga tiene una duración de 24 horas tomando lecturas de deformación, durante toda la prueba luego el incremento de carga se duplica, la muestra está completamente saturada.

El aspecto más importante durante la realización de la prueba odométrica es la fricción lateral por que se desarrollan fuerzas tangenciales a lo largo de la superficie cilíndrica de la muestra al producirse las deformaciones verticales de la muestra. Este efecto de fricción lateral dificulta el estado de deformación unidimensional impidiendo que parte de la fuerza axial aplicada alcance la parte inferior de la muestra. Para reducir en lo posible el efecto de esta fricción lateral, la relación altura diámetro de la muestra se hace lo más pequeña posible desde para realizar el ensayo correspondiente. (Lambe y Whitman,2009, P130)

(Das,2012, P32) a partir de la curva  $e-\log\sigma$  se pueden determinar tres parámetros necesarios para calcular el asentamiento en el campo estos son la presión de pre consolidación  $\sigma_c$ , el índice de compresión ( $C_c$ ) y el índice de expansión ( $C_s$ ).

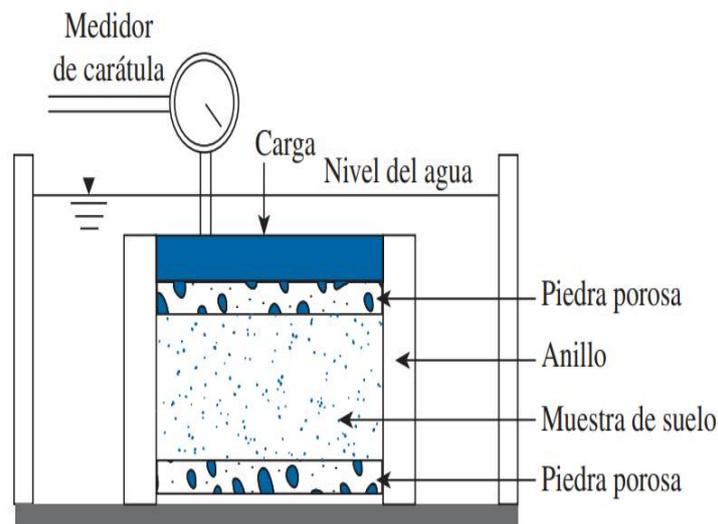


Figura 9: La figura ilustra la imagen del diagrama esquemático de la configuración de la prueba de consolidación.

La prueba de consolidación unidimensional, también llamada prueba de confinamiento se desarrolla en especímenes cilíndricos e inalterados y remodelados de suelo con este ensayo se puede determinar la deformación volumétrica de la muestra de suelo, ante el incremento de carga vertical este ensayo se desarrolla en condiciones completamente saturadas, que es la condición más crítica en la que se puede encontrar la muestra en el campo, se puede medir la variación de la relación de vacíos y la deformación axial de la muestra.

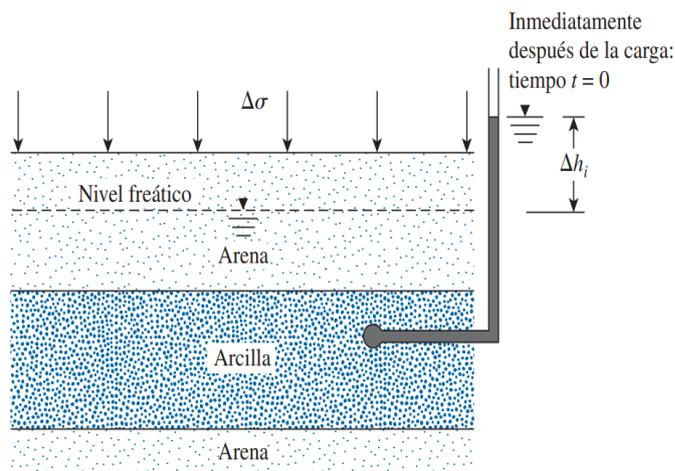


Figura 10: La figura ilustra las imágenes de los principios de la consolidación.

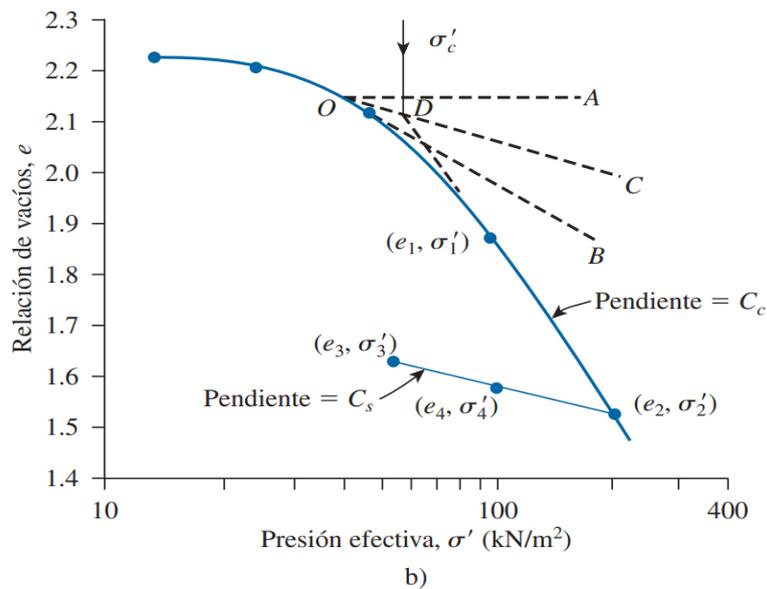


Figura 11: La figura ilustra la imagen del gráfico e-log $\sigma$ . para una arcilla suave.

### 2.2.13 Índice de compresión (Cc) y expansión (Cs).

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log(\sigma'_2 / \sigma'_1)}$$

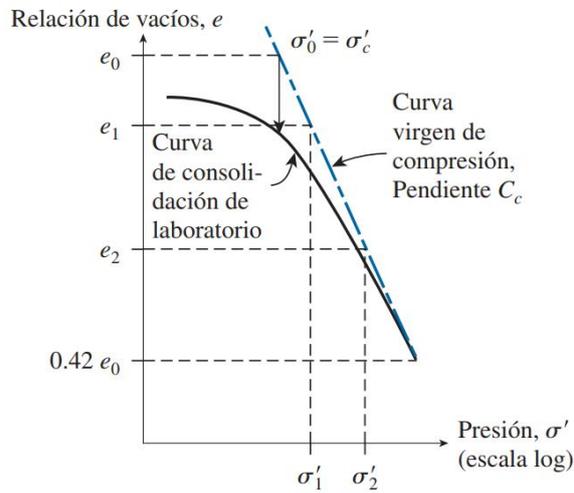


Figura 12: La figura ilustra la imagen de la curva virgen de compresión, para una arcilla consolidada.

$$C_s = \frac{e_3 - e_4}{\log(\sigma'_4 / \sigma'_3)}$$

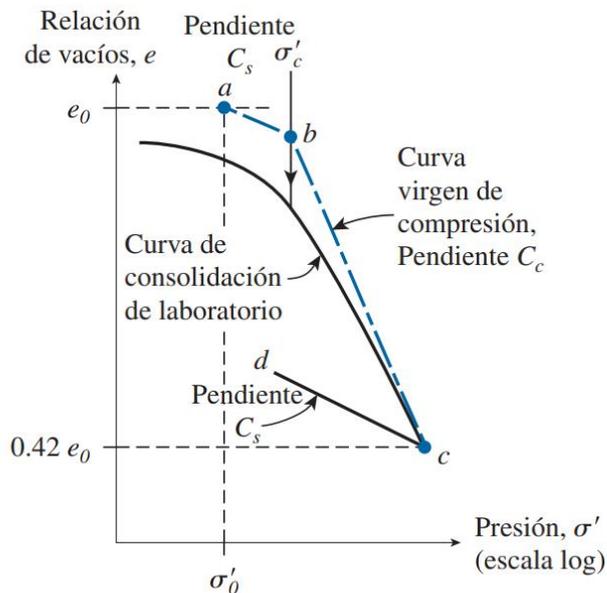


Figura 13: La figura ilustra la imagen de la curva de consolidación de campo para una arcilla sobre consolidada.

### 2.2.14 Cálculo del asentamiento inmediato.

El asentamiento neto inmediato ( $Q_i$ ), es decir el asentamiento elástico o flexible bajo un área cargada, se puede determinar mediante la ecuación:

$$q_n = q_n \times 2BX(1-\mu^2) / E \times I_p \text{ (m)}$$

- $B$ = Ancho de la cimentación (m)
- $E$ = Modulo de elasticidad de la arcilla (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $\mu$ = Coeficiente de poisson de la arcilla:0.5
- $q_n$ =Presion neta de cimentación (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $I_p$ =Factor de influencia

Los valores de  $E$  se toman de la curva tension-deformacion del ensayo de compresión triaxial con una presión lateral igual a la presión de carga.

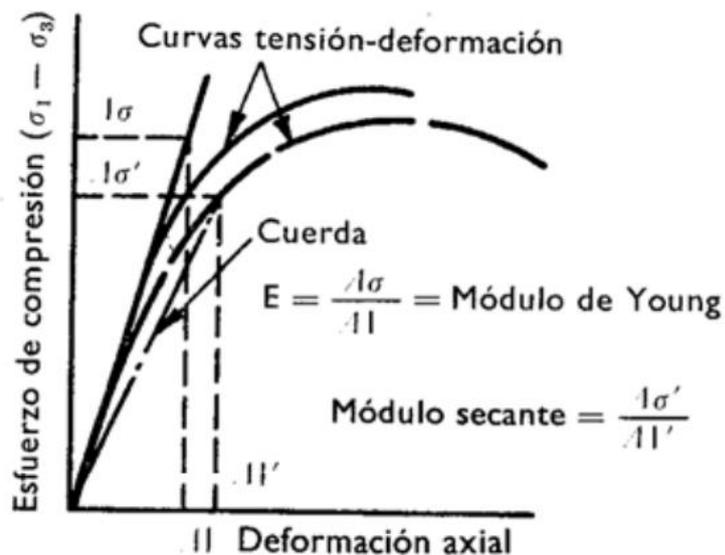


Figura 14: La figura ilustra la imagen el grafico tension-deformacion.

### 2.2.15 Cálculo del asentamiento por consolidación (Qc)

Si se conoce la variación de compresibilidad ( $m_v$ ) de un suelo a partir del resultado de un cierto número de ensayos con el odómetro o consolidómetro el asentamiento de consolidación ( $Q_c$ ) se calcula preferiblemente mediante los valores del coeficiente de compresibilidad de volumen ( $m_v$ ) determinado en los ensayos con el edómetro.

Si el asentamiento de un estrato de suelo se mide en centímetros por medio de un odómetro ( $Q_{ed}$ ) se puede emplear la fórmula siguiente:

$$Q_{ed} = m_v \times \sigma_z \times H$$

- $m_v$  = Coeficiente medio de la compresibilidad de volumen ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ ) obtenido para un incremento de presión en el estrato que se considere.
- $\sigma_z$  = Tensión media vertical efectiva ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) que soporta el estrato considerado, como resultado de la presión efectiva de cimentación  $q_c$
- $H$  = espesor (m) del estrato considerado.

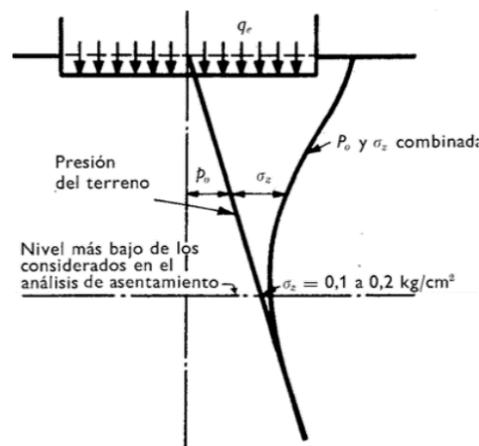


Figura 15: Distribución de la presión vertical y de las tensiones en estrato profundo de arcilla.

### 2.2.16 Cálculo del asentamiento final.

El cálculo del asentamiento final se puede determinar mediante la suma del asentamiento inmediato y el asentamiento por consolidación.

$$Q_F = Q_i + Q_C$$

### **2.2.17 Parámetro de Permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso**

El parámetro (k) de permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso es la propiedad que tienen los suelos de granulometría gruesa como las gravas y las arenas, por la facilidad que tienen para filtrar el agua por la estructura de sus espacios vacíos, mientras que los suelos de grano fino como los limos y las arcillas por la misma disposición de sus partículas tienen poca capacidad de drenaje.

La permeabilidad de un suelo puede determinarse en el laboratorio o en el terreno, se puede desarrollar ensayos en laboratorio o en el campo, debido a que la permeabilidad depende mucho de la estructura del suelo, tanto la microestructura o disposición de las partículas como la macroestructura, es recomendable utilizar muestras inalteradas de suelo. Sin embargo, las pruebas de laboratorio permiten estudiar la relación entre la permeabilidad y la relación de vacíos entre los métodos utilizados en laboratorio para la determinación de la permeabilidad están: 1) El permeámetro de carga variable. 2) Permeámetro de carga constante. 3) La medida directa o indirecta mediante una prueba odométrica. Como es necesaria una permeabilidad relativamente grande para obtener buena precisión en la prueba de carga variable esta se limita a suelos permeables mientras las pruebas de carga constante para suelos no permeables. (Lambe y Whitman, 2009, P299)

Las pruebas de laboratorio que se emplean para determinar las constantes de permeabilidad y la relación de vacíos son las siguientes la prueba de carga constante y las pruebas de carga variable las de carga variable se utilizan para suelos permeables como las gravas y las arenas. Este conocimiento es de mucha importancia para el diseño de presas de tierra, para determinar las obras de drenaje durante la construcción de cimentaciones en caso de existencia de nivel freático,

$$V=k.i$$

Donde:

- $V$ = Velocidad de flujo (unidad: cm/s).
- $K$ = Constante de flujo o coeficiente de permeabilidad (unidad: cm/s).
- $i$ = Gradiente hidráulico =  $\Delta H / \Delta L$

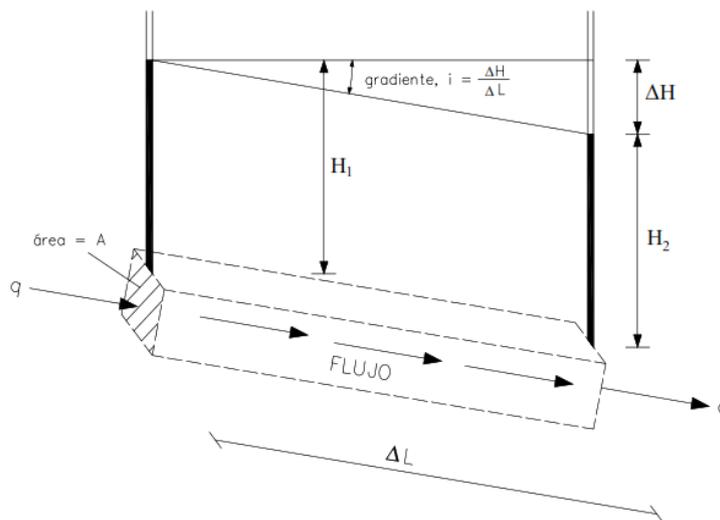


Figura 16: La figura ilustra las imágenes del flujo unidimensional en el suelo.

$$Q = A \cdot V = A K i$$

Donde:

- $Q$ = Cantidad de flujo de agua por unidad de tiempo.
- $A$ = Área a través de la cual se efectúa el flujo.
- $\Delta H$ =Diferencia de cargas de presión en un trayecto de flujo de longitud  $\Delta L$  por tanto, la cantidad de flujo.
- $\Delta L$ =Distancia entre las dos secciones de flujo.

### **2.2.18 Cimentaciones**

Las cimentaciones son estructuras que tienen la función de transmitir las cargas de los muros o columnas de la edificación al terreno de fundación, las dimensiones que se calculan para estas estructuras como la profundidad de desplante, tiene la finalidad de transmitir la carga a un estrato de suelo resistente que no supere la capacidad admisible del terreno.

Prácticamente, todas las estructuras de ingeniería civil, edificios, puentes, carreteras, túneles, muros, torres, canales o presas, tienen como elemento de fundación la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura sea segura debe tener una cimentación adecuada. La forma más adecuada para transmitir al suelo de fundación las cargas de los muros o pilares de un edificio es mediante las zapatas, un sistema de zapatas se denomina cimentación superficial, cuando el terreno firme no está próximo a la superficie, un sistema habitual para transmitir las cargas de una estructura al suelo de fundación es mediante elementos estructurales verticales como pilotes, cajones o pilas. (Lambe y Whitman,2009, P48)

Para proponer un tipo de cimentación que cumpla con las características del tipo de suelo de cada lugar, es necesario realizar un buen programa de exploración y muestreo para de esta manera determinar las variaciones de los diferentes estratos de suelo.

### **2.2.19 Tipos de cimentaciones**

Los tipos de cimentaciones se clasifican de acuerdo a las características de tipo de edificación y propiedades de resistencia mecánica.

#### *2.2.20.1 Cimentaciones superficiales*

(Lambe y Whitman,2009, P15). Cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma adecuada de transmitir las cargas de los muros o pilares de un edificio, es mediante zapatas aisladas, consideradas cimentaciones superficiales.

Las zapatas corridas y las losas de cimentación se denominan también cimentación superficial. Las cimentaciones superficiales son aquellas que tienen una razón de profundidad de empotramiento a ancho de aproximadamente menor que cuatro, cuando la razón de profundidad de empotramiento contra ancho es mayor la cimentación se clásica como profunda. (Das,2011, P390)

Las dimensiones de la estructura de estos tipos de cimentación, están en función de las cargas que se les transmite y las condiciones del tipo de suelo.

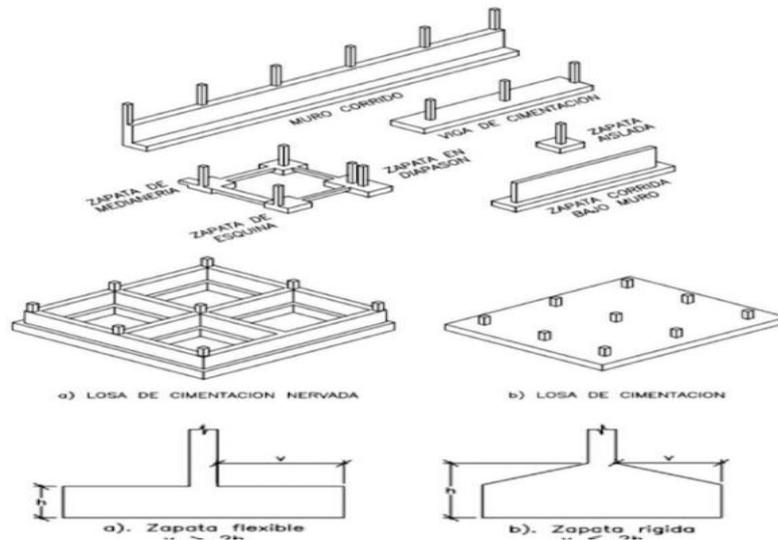


Figura 17: La figura ilustra las imágenes de los diferentes tipos de cimentaciones superficiales existentes.

### 2.2.20.2 Cimentaciones profundas

Las condiciones de la disposición de los estratos de suelo más resistentes se encuentran a gran profundidad, requiere del uso de cimientos profundos como pilotes, cajones o pilas cada una de las cuales tiene su uso dependiendo del tipo de obra de ingeniería. (Lambe y Whitman, 2009, P15). Las cargas de la edificación se transmiten por medio de suelos blandos a estratos resistentes.

Cuando el suelo que está ubicado en un nivel en que se plantea desplantar una zapata o una losa de cimentación, es demasiado débil o compresible para proporcionar un soporte adecuado, las cargas se transmiten a estratos de suelo más resistentes a mayor profundidad por medio de pilotes o pilas. La diferencia entre estos elementos es algo arbitraria. Los pilotes son elementos estructurales con área de sección transversal pequeña, comparada con su longitud, y usualmente se instalan utilizando una piloteadora que tiene un martinete o un vibrador. A menudo se hincan en grupos o en filas, conteniendo cada uno suficientes pilotes para soportar la carga de una sola columna o muro. Las pilas, por otra parte, tienen usualmente una sección

transversal mayor, siendo cada una de ellas capaz de transmitir toda la carga de una sola columna al estrato de apoyo. (Peck et al,2009, P239)

El desarrollo de la ingeniería en la construcción de edificaciones muy elevadas en lugares de terreno blando como limos y arcillas exige el uso de cimientos profundos construidos de concreto armado los cuales se proponen en diferentes formas estructurales por las condiciones de carga y el tipo de suelo de cimentación. (alva,2009, P96)

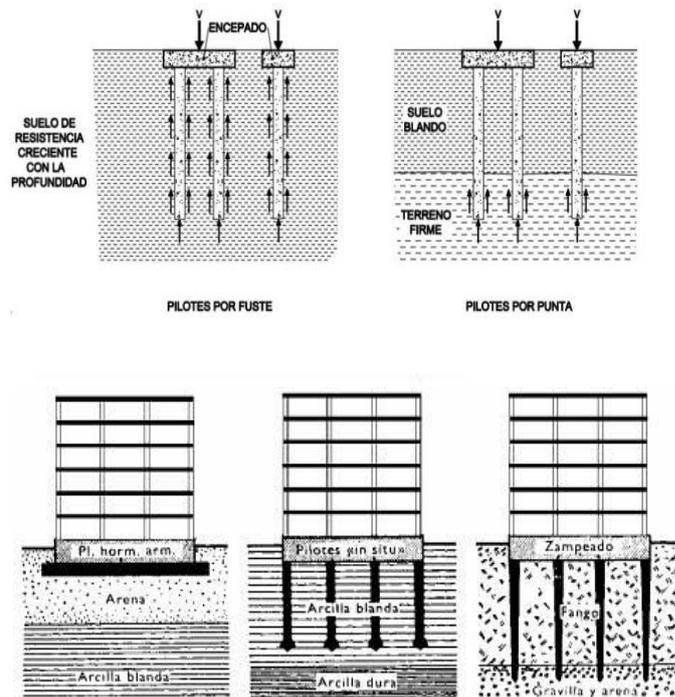


Figura 18: La figura ilustra las imágenes de los dos tipos de cimentaciones profundas (pilotajes) por fuste y punta.

### 2.2.20 Tipos de falla en cimentaciones superficiales capacidad de carga última

Los tipos de falla que se generan en los estratos de suelo, donde se apoya la estructura de cimentación se puede clasificar en tres formas principales falla por corte local, falla por punzonamiento y falla por corte general cada uno de los cuales se genera por las diferentes magnitudes de carga que actúa en el terreno de fundación superando así la capacidad última admisible.

Si la cimentación esta soportada por un suelo muy suelto, la superficie de falla en el suelo no se extenderá hasta la superficie del terreno. Más allá de la carga última de falla, que

la gráfica carga-asentamiento será muy pronunciada y prácticamente lineal. Este tipo de falla en el suelo se denomina falla de corte por punzonamiento como muestra la figura (c). (Das,2012, P134)

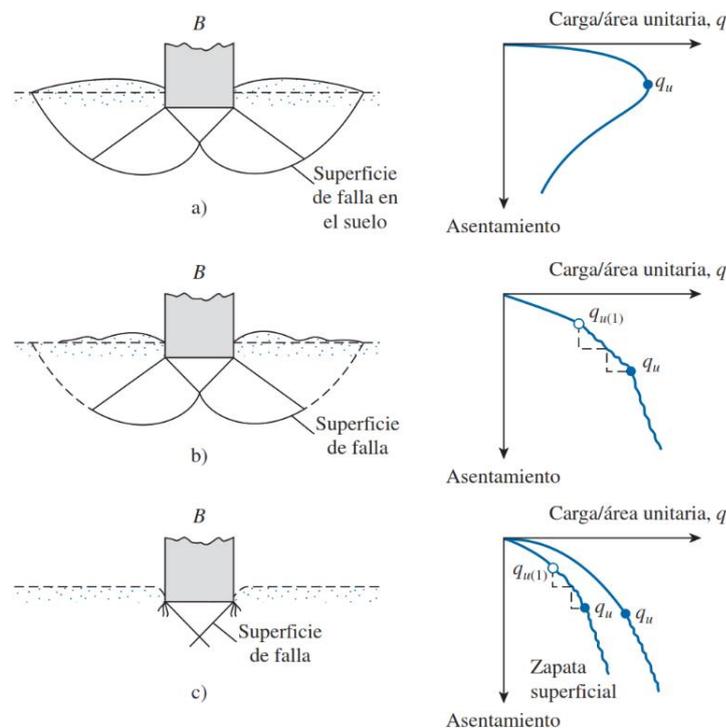


Figura 19: La figura ilustra las imágenes de los tres tipos de falla observados en cimentaciones superficiales.

### 2.2.21 Cálculo de la capacidad final de carga de cimentaciones

Cuando se aplica una carga a una cimentación, el asentamiento tendrá lugar en la forma indicada por la curva carga-asentamiento, a partir de un cierto punto, el asentamiento de la cimentación será comparativamente pequeña y principalmente elástico. Al incrementar la carga, el asentamiento se incrementará de manera desproporcionada hasta que finalmente el asentamiento crecerá rápidamente sin necesidad de aumentar la carga. En este punto, se habrá alcanzado la capacidad final de carga ( $q_f$ ) del suelo y la cimentación se hundirá e inclinará acompañada por un levantamiento del suelo circundante. El hundimiento e inclinación de la cimentación proseguirá hasta que la estructura vuelque o hasta alcanzar un estado de equilibrio cuando la cimentación encuentra un estrato en el que la capacidad de carga es suficientemente elevada para impedir futuros movimientos. La inclinación ocurre casi siempre en casos de fallo de la cimentación debido a que la inevitable variación de la resistencia al corte y

compresibilidad del suelo de un punto a otro, causa un mayor aflojamiento en un lado u otro de la cimentación. Esto traslada el centro de gravedad de la carga hacia el lado en que ha tenido lugar el aflojamiento, incrementando, por consiguiente, la intensidad de presión en este lado y produciendo una mayor inclinación. (M.J. Tomlinson,1963, P113)

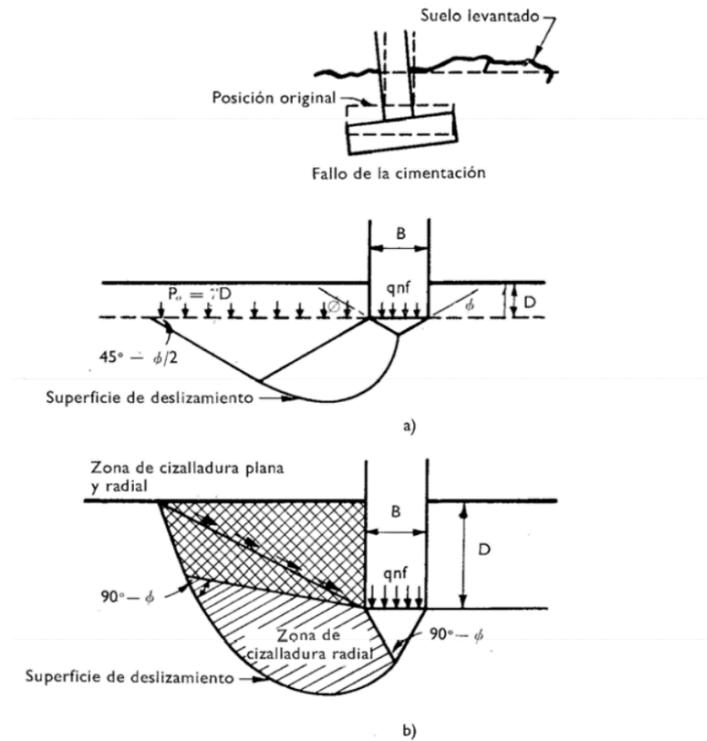


Figura 20: La figura ilustra las imágenes del análisis de la falla de una cimentación.

Para suelos cuya resistencia al corte viene, dada por la ecuación de Coulomb-Mohr

$$T = c + p \operatorname{tg} \phi$$

En donde:

- $T$  = Esfuerzo de resistencia al corte.
- $C$  = Cohesión aparente o unitaria.
- $P$  = presión normal en el plano de corte.
- $\Phi$  = Ángulo de resistencia a la corte.

Las ecuaciones de Terzaghi para el fallo general en la resistencia al corte de cimentaciones superficiales, son como sigue:

I) Cimentación continua:

a) Capacidad final de carga:

$$q_f = c N_c + P_o(N_q - 1) + 0.5 \gamma B N_\gamma + P$$

b) Capacidad final neta de carga:

$$q_{nf} = c N_c + P_o(N_q - 1) + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

II) Cimentación cuadrada o circular:

a) Capacidad final de carga:

$$q_f = 1.3 c N_c + P_o(N_q - 1) + 0.4 \gamma B N_\gamma + P$$

b) Capacidad final neta de carga:

$$q_{nf} = 1.3 c N_c + P_o(N_q - 1) + 0.4 \gamma B N_\gamma,$$

en donde:

- $c$  = cohesión
- $P_o$  = Presión efectiva de sobrecarga del suelo al nivel de cimentación.
- $\gamma$  = Densidad del suelo bajo el nivel de cimentación.
- $p$  = Presión total de sobre carga.

$N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$ , Son constantes que dependen del ángulo de resistencia al corte se muestran los valores dados por Terzaghi y Peck, si el nivel freático se encuentra por encima del nivel de cimentación, la densidad sumergida que se ha de considerar para determinar el valor de  $P_o$  y  $\gamma$  es la del suelo que se encuentra situado debajo de la capa de agua.

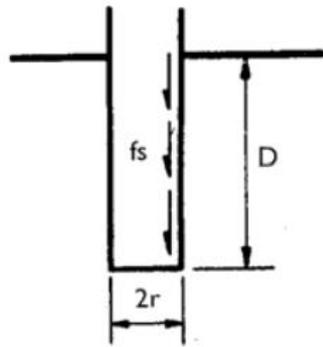
- $$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi'}{2}\right)\tan\phi'}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)}$$
- $$N_c = (N_q - 1) \cot\phi'$$
- $$N_\gamma = \frac{1}{2} \left( \frac{Kp\gamma}{\cos^2\phi'} - 1 \right) \tan\phi'$$
- $$Kp\gamma = 3 \tan^2\left(45 + \frac{\phi'+33}{2}\right) = \text{coeficiente de empuje pasivo.}$$

En el caso de cimentaciones profundas (incluyendo basamentos, galerías y pilotes), Terzaghi introdujo factores adicionales para tener en cuenta el rozamiento a lo largo de las paredes laterales de la cimentación y el esfuerzo cortante a lo largo del límite exterior del suelo adyacente a dicha cimentación, su fórmula general para una cimentación circular profunda de radio  $r$  es. (M.J. Tomlinson,1963, P115)

$$Q_d = Q_{qr} + \pi f_s D$$

En donde:

- $Q_{qr}$ = Resistencia de la base, calculada a partir.
- $f_s$ = Rozamiento superficial entre la cimentación y el suelo.
- $D$ = Profundidad de cimentación.



Ilustra la imagen de una cimentación profunda por pilotes de fricción.

Los valores de  $f_s$  dependen del material de cimentación y de las características del suelo Meyerhof ha probado que las ecuaciones generales de Terzaghi son restringidas, debido a que en el caso de cimentaciones superficiales no tiene en cuenta la resistencia del suelo al corte a lo largo de la línea de falla por encima del nivel de la base de cimentación. En el caso de cimentaciones profundas, el método de Terzaghi tiene el inconveniente de que, cuando la superficie de falla no alcanza el nivel del terreno, la altura a la cual se manifiesta la resistencia al corte del terreno llega ser incierta. Meyerhof amplió el trabajo de Prandtl y Reissner y analizó las condiciones de falla a lo largo de una curva indicada su ecuación general es. (M.J. Tomlinson,1963, P116)

a) Capacidad final neta de carga.

$$q_{nf} = cN_c + P_o(N_q - 1) + \gamma B/2 N_\gamma$$

Esta es exactamente de la misma forma que las ecuaciones de Terzaghi aunque  $N_c, N_q, N_\gamma$ , en vez de depender únicamente del ángulo de fricción, en el análisis de Meyerhof también dependen de la profundidad y forma de la cimentación y de la aspereza de la base. La ecuación final de Meyerhof para cimentaciones profundas es también similar a la ecuación de Terzaghi, pero la resistencia de la base se calcula a partir de los valores  $N_c, N_q$  y  $N_\gamma$ , de Meyerhof. (Tomlinson, 1963, P116)

La práctica actual al aplicar los métodos de la mecánica de suelos para calcular la capacidad final de carga, consiste en adoptar las ecuaciones más restringidas de Terzaghi, para cimentaciones sobre grava, arenas y suelos  $c-\phi$ , es decir, gravas y arenas que contengan algún aglutinante de limo y arcilla que les de propiedades cohesivas. El autor se inclina a creer que las fórmulas más restringidas son más apropiadas debido a las dificultades de obtener muestras satisfactorias de suelo inconsistente y los escasos de datos que relacione el comportamiento de las cimentaciones totales con los ensayos de resistencia al corte del laboratorio sobre estos suelos. Conviene también recordar que el fallo final, en el que se basa las ecuaciones de Meyerhof, implica un movimiento descendente, digno de tener en cuenta, antes de que tenga lugar la resistencia al corte del suelo. El fallo en sentido técnico, puede atribuirse a una presión de apoyo apreciablemente menor, que la capacidad final de carga calculada por el método de Meyerhof; sin embargo, en el caso de cimentaciones en suelos coherentes, es decir, arcillas y limos, existe numerosas pruebas de fallos y ensayos de carga en estructuras a escala completa, para inclinarnos a aceptar las fórmulas de Meyerhof, tanto para cimentaciones profundas como superficiales. (Tomlinson, 1963, P117)

### **2.2.22 Cálculo de capacidad de carga de cimentaciones en suelos no cohesivos**

Para suelos no cohesivos, o sea, gravas y arenas, la ecuación general de Terzaghi se transforma en:

a) Cimentación continua:

$$q_f = P_o (N_q - 1) + \gamma B/2 N_\gamma + P$$

b) Cimentación cuadrada o circular:

$$q_f = P_o (N_q - 1) + 0.4 \gamma B N_\gamma + P$$

### 2.2.23 Cálculo de capacidad de carga de cimentaciones en suelos cohesivos

La mayoría de los suelos arcillosos están saturados y se comportan como si fueran claramente cohesivos (Ángulo de resistencia al corte igual a cero), suponiendo que el suelo no expulse agua alguna cuando la carga es aplicada. Esto ocurre en la mayoría de los casos normales de carga de estructuras, en los que la carga se transmite a los cimientos de un modo relativamente rápido. Solo en el caso de velocidades de aplicación de carga muy lenta, o en suelos muy limosos, puede tomarse en cuenta el efecto de disminución del contenido de agua y, por lo tanto, el incremento de la resistencia al corte. La ganancia en resistencia al corte mediante velocidades de carga muy lentas está permitida al calcular las presiones de apoyo admisibles para elevadas presas de tierra en cuya construcción se emplean probablemente varios años. La disminución del contenido de agua en el suelo va desde luego acompañada de un asentamiento. En el caso de una presa de tierra, tal asentamiento no afectará a la estabilidad de la presa. Sin embargo, este procedimiento no puede aplicarse a estructuras sensibles a un asentamiento apreciable. Puede ser utilizado en estructuras flexibles tales como los tanques de acero de almacenamiento, construido en suelos limosos. Los tanques pueden llenarse en pequeños incrementos cada cierto periodo de tiempo. El asentamiento resultante podrá curvar o torcer los pisos de placa de acero sin causar fractura o pérdida de contenido. (Tomlinson,1963, P121)

a) Capacidad final de carga:

$$q_f = cN_c + p$$

b) Capacidad final neta de carga:

$$q_{nf} = cN_c$$

En donde:

- C= Cohesión
- N<sub>c</sub>= Factor de capacidad de carga.
- P= Presión total de sobrecarga al nivel de cimentación.

### 2.2.24 Calculo de la capacidad de carga ultima Meyerhof.

Las ecuaciones propuestas por Terzaghi son para cimentaciones rectangulares, cuadradas y circulares, pero no toma en cuenta el caso para cimientos rectangulares ( $0 < B/L < 1$ ) las ecuaciones no toman en cuenta la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla en el suelo arriba del fondo de la cimentación también considera que la carga sobre la cimentación puede estar inclinada (Das,2012, P143)

$$q_u = C' * N_c * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma * B * N_\gamma * F_{\gamma s} * F_{\gamma d} * F_{\gamma i}$$

- $C'$  = Cohesión
- $q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación
- $\gamma$  = Peso específico del suelo
- $B$  = Ancho de la cimentación (=Diámetro para una cimentación circular)
- $F_{cs}, F_{cd}, F_{ci}$  = Factores de forma.
- $F_{qs}, F_{qd}, F_{qi}$  = Factores de profundidad
- $F_{\gamma s}, F_{\gamma d}, F_{\gamma i}$  = Factores de capacidad de carga
- $N_c, N_q, N_\gamma$  = Factores de capacidad de carga

Factores de capacidad de carga.

- $N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2}) * e^{\frac{2c'}{\tan \phi'}}$
- $N_c = (N_q - 1) * \cot \phi'$
- $N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan \phi'$

Factores de forma, profundidad e inclinación:

a) Factores de forma:

- $F_{cs} = 1 + (B/L) (N_q/N_c)$
- $F_{qs} = 1 + (B/L) \cdot \tan \phi'$
- $F_{\gamma s} = 1 - 0.4(B/L)$

b) Profundidad

si:  $D_f/B \leq 1$

:Para :  $\phi' = 0$

- $F_{cd} = 1 + 0.4 (D_f/B)$
- $F_{qd} = 1$
- $F_{\gamma d} = 1$

Para:  $\phi' > 0$

- $F_{cd} = F_{qd} - (1 - F_{qd}/N_c \cdot \tan \phi')$
- $F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 (D_f/B)$
- $F_{\gamma d} = 1$

Si:  $D_f/B > 1$

Para:  $\phi' = 0$

- $F_{cd} = 1 + 0.4 \cdot \tan^{-1} (D_f/B)$
- $F_{qd} = 1$
- $F_{\gamma d} = 1$

Para:  $\phi' > 0$

- $F_{cd} = F_{qd} - (1 - F_{qd}/N_c \cdot \tan \phi')$
- $F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \cdot \tan^{-1} (D_f/B)$
- $F_{\gamma d} = 1$

C) Inclinación:

- $F_{ci} = F_{qi} = (1 - \beta^\circ / 90^\circ)^2$
- $F_{\gamma i} = (1 - \beta / \phi')$
- $\beta =$  Inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical

### **2.2.25 Factor de seguridad**

El procedimiento de dividir la capacidad final de carga del suelo por un factor de seguridad, para obtener la capacidad de carga admisible. Los factores de seguridad se utilizan como protección contra:

- a) Variaciones naturales en la resistencia al corte del suelo.
- b) Las dudas en la exactitud o validez de los métodos empíricos o teóricos para calcular la capacidad de carga.
- c) La pequeña disminución local de la capacidad de carga del suelo durante o después de la construcción.
- d) El asentamiento excesivo causado por la inclinación del suelo cuando la cimentación se encuentra próxima a la falla en la resistencia al corte.

Para cubrir las variaciones o dudas, se suele utilizar un factor de seguridad de 2,5 a 3. Un valor de 2 debe adoptarse únicamente en los lugares en que se encuentra condiciones de suelo muy uniforme (Tomlinson,1963, P131).

$$Q_{adm} = Q_f / F_s$$

### **2.2.26 Cimentaciones en arcilla**

El tipo de cimentación en suelo arcilloso depende de las características de resistencia mecánica que estos contengan. Como resultado de las condiciones del tipo de muestra tomadas de las exploraciones de campo y las cargas de cimentación que influyen de manera directa en la capacidad de carga última admisible de estos suelos, Otro elemento de mucha importancia, conocido como factor de seguridad 3, se aplica a la capacidad de carga última, para reducir los posibles errores cometidos la etapa de muestreo y los ensayos de laboratorio.

La característica de cimentación de estos suelos varía ampliamente con su formación geológica, contenido de humedad y composición mineralógica las arcillas glaciares son por regla general, consistentes y duras. A causa de su elevada preconsolidación en tiempos glaciares solo tienen lugar unos pequeños asentamientos bajo pesadas cargas de cimentación. Algunos depósitos de arcilla glacial son muy variables, conteniendo lentejas a menudo con

algo de agua de gravas y arenas. En tales condiciones, el proyecto de cimentación debe tener en cuenta la variable compresibilidad y capacidad de carga en una localidad determinada. Las arcillas estratificadas son generalmente más compresibles y de consistencia más blanda que las arcillas en bloque. La introducción de pilotes en arcilla estratificada puede debilitar la dureza de la capa de arcilla hasta alcanzar la consistencia de mezcla blanda y pastosa, por lo que es aconsejable continuar la introducción hasta un estrato más firme por debajo de los depósitos estratificados. Por estos motivos, se suele considerar a las arcillas estratificadas como suelos problemáticos en la construcción de cimentaciones. (Tomlinson,1963, P 90).

EL uso de zapatas aisladas, losas de cimentación y pilotes son los tipos de cimentación que se usan con más frecuencia en arcillas por las variaciones importantes que presentan en sus parámetros de resistencia al corte y asentamiento por consolidación, el uso de zapatas aisladas puede ser considerada para arcillas duras; mientras que las losas de cimentación puede emplearse en suelos bastante compresibles donde se produce asentamientos considerables y el uso de los pilotes se emplea para transmitir la cargas a estratos profundos de suelo resistente.

## **2.3 Marco conceptual**

### **Suelo arcilloso**

El suelo arcilloso es un tipo de suelo de grano fino, que entre sus propiedades propias más importantes esta la cohesión que se incrementa cuando disminuye su contenido de humedad. Tienen una baja permeabilidad, el proceso de compactación es complicado cuando está sometido a humedad elevada, cuando se encuentre ya en estado de compactación es muy resistente a los fenómenos externos como la erosión y tubificación, algunos tipos de minerales arcillosos sufren cambios volumétricos de expansión y retracción con variaciones de humedad (Lambe y Whitman.,2011, p.48)

### **Cimentación**

Las cimentaciones son las estructuras construidas con la finalidad de transmitir las cargas de la edificación, al terreno de fundación de manera que la capacidad admisible del terreno no sea superada por las cargas que transmite la edificación los tipos principales de cimentación son las zapatas aisladas, combinadas, losas de cimentación, pilotes y cajones. (Lambe y Whitman,2009, P48)

### **Ángulo de fricción**

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento. El ángulo de fricción depende de varios factores (Bilz, 1995), entre ellos, algunos de los más importantes son tamaño de los granos, forma de los granos, distribución de tamaño de granos.

### **Cohesión**

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada como un parámetro de resistencia al corte producida por la cementación.. (Holtz y William, 1981).

### **Consolidación**

La consolidación de los suelos finos como limos y las arcillas se desarrolla como consecuencia de la expulsión de la presión de los fluidos de los poros por los incrementos de carga de la construcción. Cuando ocurre el drenaje del suelo se produce una reducción del volumen de la masa de suelo, lo que conduce al asentamiento por consolidación. En suelos arenosos por su elevado drenaje, el asentamiento inmediato y la consolidación ocurren inmediatamente, en el caso de suelos arcillosos por la baja permeabilidad el proceso de asentamiento está en función del tiempo. (Das,2011, P151).

### **Permeabilidad**

La permeabilidad es una propiedad característica de ciertos tipos de suelos como las gravas y las arenas por las propiedades granulométricas de sus partículas incluyendo a los suelos finos como los limos y las arcillas más densas. Los ensayos de carga constante y variable, son usados para determinar las constantes de permeabilidad que nos muestra la velocidad del flujo del fluido por los poros. cm/s. (Peck et al,2009, P45).

### **Asentamiento**

El asentamiento debido a la consolidación del suelo cimentado es por regla general, el factor más importante para determinar las presiones de apoyo admisibles. Aun cuando se hayan tomado medidas contra el hundimiento de los cimientos como resultado del fallo por corte del suelo mediante la adopción de factores de seguridad arbitrario sobre la capacidad final de carga calculada (Tomlinson,1963, P132)

### **Exploración del suelo**

La exploración en trabajos de ingeniería de cimentaciones consiste básicamente en realizar excavaciones abiertas calicatas y sondeos, con la finalidad de extraer muestra de suelo que sean representativas de estratos resistentes de suelo, para realizar las operaciones de sondeo se emplean varios métodos como de los trabajos de muestreo. La elección depende de la importancia de los trabajos de cimentación y el tipo de suelo. (Peck et al,2009, P137)

### **Ensayo triaxial**

El ensayo triaxial de corte es considerado como uno de los ensayos más eficientes para determinar parámetros de resistencia al corte de suelos finos como limos y las arcillas, se emplea para realizar investigación como para trabajos convencionales. Consiste básicamente en envolver completamente la muestra de suelo con una membrana de hule, para luego colocar la muestra dentro de una celda triaxial para someterle, una presión de confinamiento para finalmente aplicarle un esfuerzo desviador hasta la falla de la muestra. (Das,2011, p.218)

### **Triaxial tipo (CU)**

Es un tipo de ensayo de compresión triaxial que consiste básicamente, en la primera fase del ensayo someter la muestra de suelo a un ensayo de confinamiento para la consolidación de la muestra con la válvula de drenaje abierta y en la segunda fase durante el cual se aplica el esfuerzo desviador hasta la rotura del espécimen se cierran la válvula de drenaje. (Bowles,1980, p.143)

### **Muestras inalteradas**

Como su nombre indica son muestras tomadas de las herramientas de sondeo, pueden citarse las raspaduras de la perforadora, el contenido del muestreador de cuchara hendida en la prueba standard de penetración. Las muestras se ponen en recipientes o sacos herméticos con una etiqueta en la que se indica la localidad el número de la perforación la profundidad a que se han tomado las muestras y la fecha del muestreo. (M.J. Tomlinson,1963, P35)

### **Tipos de falla en cimentaciones**

Las fallas de cimentación indican las líneas de corte del suelo, como resultado de las cargas de cimentación que se proyectan desde la base hasta la superficie del terreno. (Das,2012, P133)

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Hipótesis**

#### **3.1.1 Hipótesis general**

Los parámetros geotécnicos más importantes del suelo arcilloso influyen en el diseño de cimentación de las edificaciones en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

#### **3.1.2 Hipótesis específica:**

- a) Los parámetros de resistencia mecánica del suelo arcilloso influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.
- b) el parámetro de deformación del suelo arcilloso influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.
- c) el parámetro de permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso influye en el diseño de cimentación de una edificación en el sector de Amancaes, Abancay, Apurímac, 2022.

### **3.2 Método o enfoque de investigación**

En el enfoque cuantitativo, el investigador utiliza la recolección de datos y el análisis de las mismas a fin de comprobar la certeza de las hipótesis formuladas. Esta investigación se caracteriza por efectuar mediciones prácticas y objetivas para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. Según (Hernández, Collado y Baptista, 2014), la investigación se caracteriza por determinar las características geotécnicas del terreno, tipo de suelo, parámetros de resistencia, deformación y

permeabilidad y su capacidad portante para que sobre la base de esos resultados numéricos se diseñe el tipo de cimentación superficial, cada paso precede al siguiente. Para ello, se recolectaron datos de campo, se analizaron cada uno de los especímenes extraídos del punto de investigación mediante las pruebas estandarizadas aplicadas en el laboratorio y se realizaron los cálculos correspondientes.

### **3.3 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es exploratoria por que se realiza técnicas controladas de ensayo de laboratorio sobre muestras inalteradas de suelo de estudio para observar su comportamiento, como la deformación, cambios volumétricos, presión de poros y resistencia mecánica (Hernández, Collado y Baptista, 2014).

### **3.4 Nivel o alcance de la investigación.**

El alcance de la presente investigación corresponde al tipo, descriptivo-correlacional según (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2010).afirman que corresponde a la realización de ensayos de laboratorio en muestras inalteradas y alteradas de suelo arcilloso y observar su comportamiento para determinar los parámetros de resistencia mecánica, deformación y permeabilidad, y describir las propiedades naturales ordenada y sistemáticamente y realizar la relación de variables aplicar en casos prácticos de diseño de estructuras de cimentación de edificaciones.

Parte de muestras para luego realizar el experimento y encontrar resultado y aplicar en un caso práctico diseño de cimentación.

### **3.5 Diseño de investigación**

La metodología empleada para realizar la investigación fue del tipo cuantitativa y se aplicó el método no experimental de carácter transversal, con la finalidad de resolver la hipótesis de la investigación, se procede a encontrar resultados en cada etapa de la investigación en base a las variables y dimensiones de la investigación (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014).

- Recolección de información geológica y estudio de suelos preliminar del área de investigación.
- Realizar la exploración a campo abierto (calicatas) para extraer muestras alteradas e inalteradas de suelo.

- Realizar ensayos de laboratorio en muestras alteradas para identificar el tipo de suelo arcilloso según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCG).
- Realizar ensayos de laboratorio en muestras inalteradas de suelo arcilloso con los equipos de triaxial, consolidación y permeabilidad y determinar las propiedades de resistencia al corte, asentamiento y coeficiente de permeabilidad del suelo.
- Determinar la capacidad admisible, según las características de resistencia mecánica del suelo obtenidos con el ensayo triaxial.
- Determinar las cargas actuantes de la edificación al suelo de fundación con el programa SAFE y realizar el análisis y diseño de la geometría de la cimentación ancho (B) y profundidad de cimentación (Df).
- Determinar el tipo de cimentación para la edificación, según la capacidad admisible, asentamientos obtenidos mediante el análisis con el programa de cimentación SAFE de manera que no sean superados los valores obtenidos en laboratorio.
- Realizar los planos estructurales de la cimentación y edificación según los cálculos realizado.
- 

M.....E.....R



Figura 22: La figura ilustra las imágenes del esquema metodológico para el desarrollo de la tesis.

### 3.6 Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables.

| DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DIMENSIONES   | INDICADORES   |
|---|---|---|
| <p><b>SUELO ARCILLOSO</b></p> <p>La arcilla es un conjunto de partículas minerales de diámetro menor a 0.002 mm, formado por la descomposición física y química que sufren los constituyentes de las rocas, tienen cohesión y desarrollan plasticidad con una humedad determinada</p> | <p><b>A.</b> Parámetros de resistencias mecánicas.</p> <p><b>B.</b> Parámetros de deformación.</p> <p><b>C.</b> Parámetros de permeabilidad hidráulica.</p> | <p><b>A.</b> Cohesión y ángulo de fricción.</p> <p><b>B.</b> Asentamiento del suelo arcilloso.</p> <p><b>C.</b> Coeficiente de permeabilidad.</p>         |
| <p><b>CIMENTACION</b></p> <p>Las cimentaciones son estructuras que se construyen con la finalidad de transmitir las cargas de la edificación al suelo de fundación de manera que las cargas actuantes no superen las presiones admisibles del suelo.</p>                              | <p><b>A.</b> Geometría de la cimentación.</p> <p><b>B.</b> Tipo de cimentación.</p>   | <p><b>A.</b> Ancho y profundidad de desplante.</p> <p><b>B.</b> Zapatas aisladas, zapatas combinadas, losas de cimentación, pilotes, cajones y pilas.</p> |

Tabla 1: Muestra el cuadro resumen de operacionalización de variables.

### 3.7 Población, muestra y muestreo

#### 3.7.1 Población

Según Hernández, Batista, Sampiere, el objetivo es generalizar los datos de una muestra de una población de un grupo pequeño a uno mayor. La población para la siguiente investigación se considera el sector de Amancaes de la ciudad de Abancay, donde se observa la construcción de edificaciones de vivienda en suelos normalmente consolidados y preconsolidados de suelo arcilloso con características particulares de comportamiento ante las cargas transmitidas por la edificación a los elementos de fundación.

### 3.7.2 Muestra

Según Hernández, Batista, Sampiere, la muestra se involucra a muchos casos en la investigación por que se pretende generalizar los resultados y la muestra para la siguiente investigación se considera, las manzanas C Y E de una urbanización en proyección destinada a edificaciones de vivienda de una superficie de área=5000 m<sup>2</sup>, de estratos suelo arcilloso del sector de Amancaes.

### 3.7.3 Muestreo

Según Hernández, Batista, Sampiere, el muestreo implica diferenciar entre la unidad de análisis y la unidad muestral. El muestreo para la investigación consistirá en obtener muestras inalteradas y alteradas de suelo arcilloso de la exploración manual de campo abierto dos calicatas abiertas C-01 y C-02. Del nivel del fondo de las calicatas y estratos blandos del perfil del suelo para la realización de ensayos de laboratorio.

## 3.8 Técnicas e instrumentos

Para el estudio de la zona, se buscó bibliografía e investigaciones similares o relacionadas al tema de investigación.

### 3.8.1 Técnicas

#### 3.8.1.1 Técnicas de campo

Para la determinación del número de puntos de investigación, se tomó las indicaciones de la norma E.050 del R.N.

Tabla 2: Número de puntos de investigación según R.N.E.

| <b>Tipo de edificación u obra</b>  | <b>Número de puntos de investigación</b>  |
|--|---|
| <b>I</b>   | Uno por cada 225 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso.                                      |
| <b>II</b>  | Uno por cada 450 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso.                                      |
| <b>III</b>   | Uno por cada 900 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso.                                      |
| <b>IV</b>  | Uno por cada 100m <sup>2</sup> de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas. |
| <b>Habilitación urbana para viviendas unifamiliares de hasta 3 pisos</b> | 3 por cada hectárea de terreno por habilitar.   |

La Tabla 2 muestra el número de puntos de investigación, según. el R.N.E.

### 3.8.1.2 Técnicas de laboratorio

Se han realizado ensayos físicos y mecánicos en el laboratorio de mecánica de suelos bajo el criterio de la norma ASTM (American Society for Testing Materials) Asociación americana para el ensayo de materiales y la norma técnica peruana NTP.

Tabla 3: Descripción de los ensayos de laboratorio según NTP Y ASTM.

| DESCRIPCIÓN  | NTP     | ASTM   |    |
|--|---------|--------|----|
| Contenido de humedad   | 339.127 | D 2216 |    |
| Peso específico de los sólidos                                   | 339.131 | D854   |    |
| Análisis granulométrico por tamizado                             | 339.128 | .....  |    |
| Consolidación (por carga,24 horas)                               | 339.154 | D2435  | La |
| Triaxial consolidado no drenado (CU),<br>Diámetro 50 mm          | 339.166 | D4767  |    |
| Permeabilidad con carga constante<br>(max.6 kg/cm <sup>2</sup> ) | 339.156 | D5084  |    |
| Extracción de tubo de pared delgada                              | .....   | .....  |    |
| Preparación de muestras  | .....   | .....  |    |

Tabla 3: Muestra la descripción de los ensayos de laboratorio.

### 3.8.2 Instrumentos

Los instrumentos empleados para realizar la investigación se determinarán en función a los objetivos, hipótesis y variables de investigación.

- a) Equipos de laboratorio de suelos triaxial, consolidación y permeabilidad.
- b) Software de modelamiento y diseño estructuras y cimentaciones Etabs y Safe.

### 3.9 Consideraciones éticas

Considerar el respeto por las normas establecidas para los diferentes procedimientos de ingeniería, para la siguiente investigación.

### 3.10 Procesamiento estadístico

Orellana (2001). Define el análisis estadístico como el arte de sacar conclusiones y realizar inferencias a partir de un conjunto de datos imperfectos. Entendiéndose como imperfecto a los datos que solo nos dejan ver parte de una realidad.

a) Por otro lado, la desviación típica o varianza, permite estudiar el grado de dispersión de un conjunto de datos con respecto a su media. Este. Análisis presenta la distribución individual de cada variable y es importante destacar que la varianza es usada solo en variables métricas.

b) En base a lo expuesto se puede afirmar que la correlación estadística es una herramienta útil que permite cuantificar la relación lineal que existe entre dos variables. Para este análisis, se utiliza el coeficiente de correlación lineal de Pearson, dicho coeficiente oscila entre 0 y 1.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Resultados del ensayo de clasificación SUCS

Tabla 4: Datos del tipo de suelo arcilloso

| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS |                   |
|------------------------------|-------------------|
| Tipo de muestra              | <b>INALTERADA</b> |
| Tipo de suelo                | <b>CH</b>         |
| Gravedad específica (Gs)     | 2.67              |
| Límite líquido (LL)          | 52                |
| Límite plástico (Lp)         | 24                |
| Índice de plasticidad (IP)   | 28                |
| % Grava (G)                  | 0                 |
| % Arena (A)                  | 11                |
| % Finos (F)                  | 89                |

Tabla 4: Muestra el tipo de suelo y las propiedades generales.

#### 4.1.2 Resultados del ensayo de compresión triaxial tipo (CU).

##### 4.1.2.1 Resultados del espécimen en etapa inicial y final.

Tabla 5: Datos de la muestra en estado inicial.

| ETAPA INICIAL  |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|
| ESPECIMEN INICIAL  | A      | B      | C      |
| Diámetro inicial (mm)                                    | 50.00  | 50.00  | 50.00  |
| Altura inicial (mm)                                      | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Densidad seca inicial ( $\gamma_d$ , g/cm <sup>3</sup> ) | 1.57   | 1.57   | 1.58   |
| Relación de vacíos inicial $e$                           | 0.7    | 0.7    | 0.69   |
| Humedad inicial (w%)                                     | 21.40% | 21.70% | 20.80% |
| Saturación inicial (s %)                                 | 81.70% | 82.30% | 80.30% |

Tabla 5: Muestra el cuadro resumen de las propiedades iniciales del espécime.

Tabla 6: Datos de la muestra en estado final.

| ETAPA FINAL  |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|
| ESPÉCIMEN FINAL  | A      | B      | C      |
| Contrapresión (kg/cm <sup>2</sup> )                      | 6.12   | 6.12   | 6.12   |
| Presión efectiva de consolidación (kg/cm <sup>2</sup> )  | 1.02   | 2.04   | 4.08   |
| Tiempo de 50% de consolidación (t <sub>50</sub> , min)   | 7.00   | 6.00   | 18.00  |
| Densidad seca ( $\gamma_d$ ) g/cm <sup>3</sup>           | 1.58   | 1.59   | 1.62   |
| Relación de vacíos $e_c$                                 | 0.69   | 0.68   | 0.64   |
| Humedad $w_c$  | 25.60% | 25.40% | 0.24   |
| Saturación $S_c$   | 99.20% | 99.60% | 99.50% |
| Área después de la consolidación $A_c$ , cm <sup>2</sup> | 19.58  | 19.54  | 19.37  |
| Parámetro de presión de poros $B$                        | 0.95   | 0.95   | 0.95   |

Tabla 6: Muestra el cuadro resumen de las propiedades finales del espécimen.

4.1.2.2 Resultados del análisis de los esfuerzos de confinamiento ( $\sigma_3$ )

Tabla 7: Resumen de resultados de deformación  $\sigma_3=1.02 \text{ Kg/cm}^2$

| 1.02 Kg/cm <sup>2</sup> |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Tiempo (min)            | Deformación(mm) |
| 0.10                    | 100.00          |
| 0.25                    | 99.970          |
| 0.50                    | 99.950          |
| 1.00                    | 99.950          |
| 2.00                    | 99.930          |
| 4.00                    | 99.900          |
| 8.00                    | 99.850          |
| 15.00                   | 99.810          |
| 30.00                   | 99.770          |
| 60.00                   | 99.730          |
| 120.00                  | 99.690          |
| 240.00                  | 99.660          |
| 480.00                  | 99.640          |
| 1440.00                 | 99.600          |

La Tabla 7: Muestra los resultados de la deformación del espécimen por la aplicación de un esfuerzo de confinamiento de 1.02 Kg/cm<sup>2</sup>.

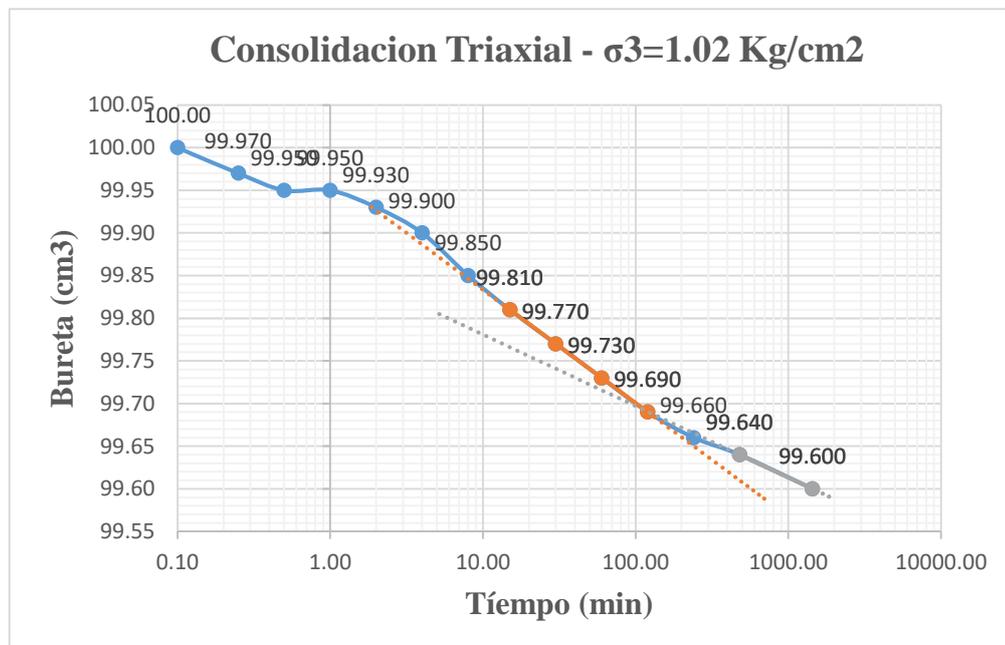


Figura 23: La figura muestra el resultado del ensayo triaxial tipo (CU), proceso de aplicación del esfuerzo de confinamiento  $\sigma_3= 1.02 \text{ Kg/cm}^2$ .

Tabla 8: Resumen de resultados de deformación  $\sigma_3=2.04 \text{ Kg/cm}^2$ .

| 2.04 Kg/cm <sup>2</sup> |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Tiempo (min)            | Deformación(mm) |
| 0.10                    | 99.80           |
| 0.25                    | 99.70           |
| 0.50                    | 99.60           |
| 1.00                    | 99.50           |
| 2.00                    | 99.30           |
| 4.00                    | 99.00           |
| 8.00                    | 98.70           |
| 15.00                   | 98.35           |
| 30.00                   | 98.00           |
| 60.00                   | 97.80           |
| 120.00                  | 97.67           |
| 240.00                  | 97.60           |
| 480.00                  | 97.55           |
| 1440.00                 | 97.50           |

La Tabla 8: Muestra los resultados de la deformación del espécimen por la aplicación de un esfuerzo de confinamiento de  $2.04 \text{ Kg/cm}^2$ .

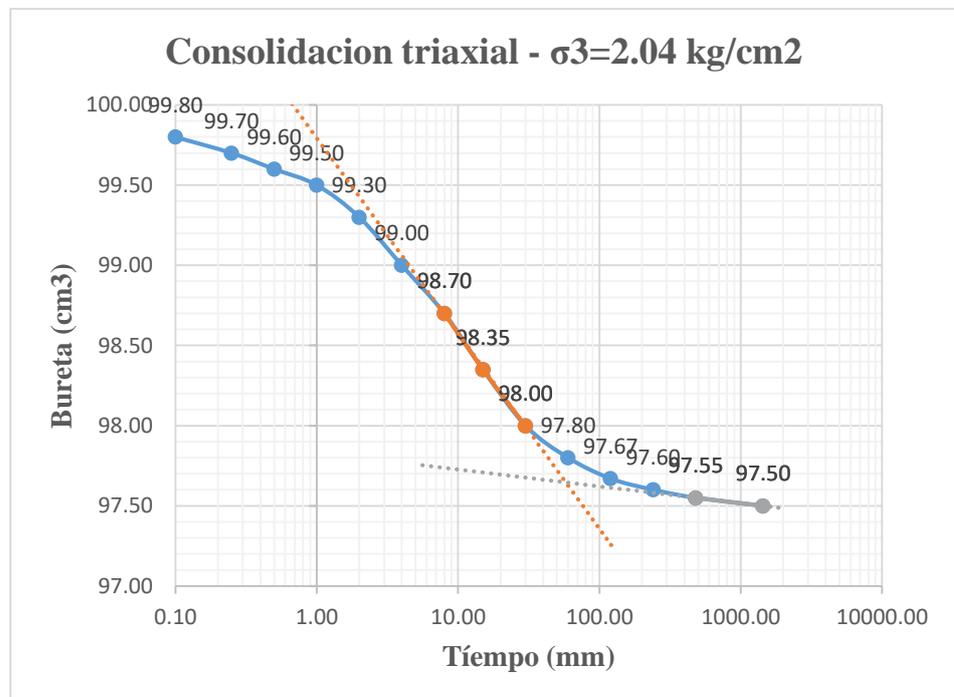


Figura 24: La figura muestra el resultado del ensayo triaxial tipo (CU) proceso de aplicación del esfuerzo de confinamiento  $\sigma_3=2.04 \text{ Kg/cm}^2$ .

Tabla 9: Resumen de resultados de deformación  $\sigma_3 = 4.08 \text{ Kg/cm}^2$ .

| 4.08 Kg/cm <sup>2</sup> |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Tiempo (min)            | Deformación(mm) |
| 0.10                    | 99.60           |
| 0.25                    | 99.45           |
| 0.50                    | 99.30           |
| 1.00                    | 99.10           |
| 2.00                    | 98.90           |
| 4.00                    | 98.60           |
| 8.00                    | 98.20           |
| 15.00                   | 97.70           |
| 30.00                   | 96.80           |
| 60.00                   | 96.00           |
| 120.00                  | 95.45           |
| 240.00                  | 95.10           |
| 480.00                  | 94.90           |
| 1440.00                 | 94.80           |

La Tabla 9: Muestra los resultados de la deformación del espécimen por la aplicación de un esfuerzo de confinamiento de 4.08 Kg/cm<sup>2</sup>.

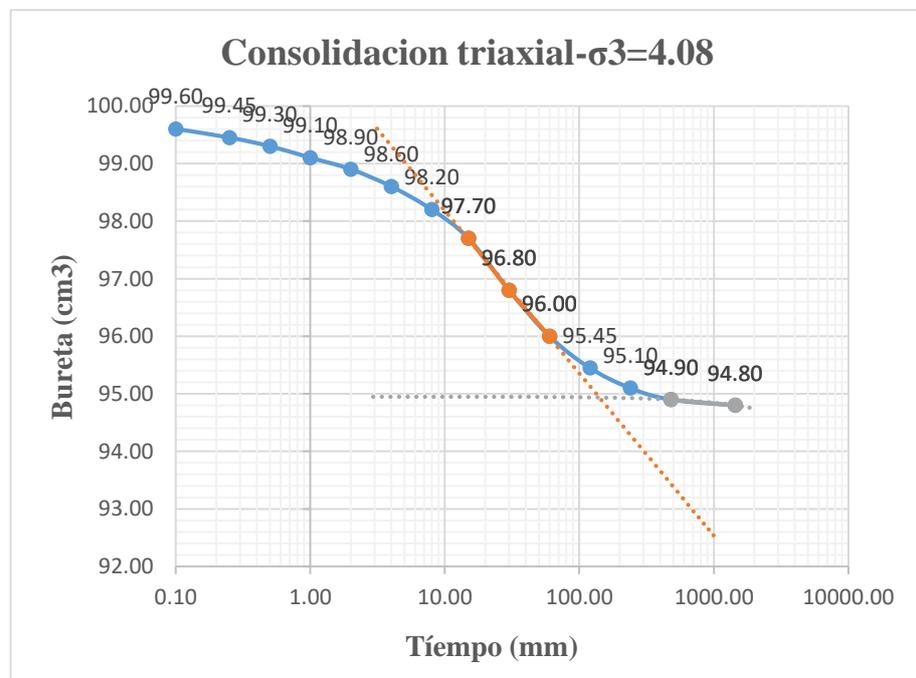


Figura 25: Muestra el resultado del ensayo de compresión triaxial tipo (CU) proceso de aplicación del esfuerzo de confinamiento  $\sigma_3 = 4.08 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### 4.1.2.3 Resultados del análisis y evaluación de los esfuerzos desviadores.

Tabla 10: Resumen de resultados de la deformación unitaria ( $\epsilon$  %) y el esfuerzo desviador ( $\text{kg/cm}^2$ )

| MUESTRA        | A   | B   | C   |
|----------------|---|---|---|
| $\epsilon$ (%) | $\sigma_1 - \sigma_3$<br>$\text{kg/cm}^2$ | $\sigma_1 - \sigma_3$<br>$\text{kg/cm}^2$ | $\sigma_1 - \sigma_3$<br>$\text{kg/cm}^2$ |
| 0.00           | 0.00                                      | 0.00                                      | 0.00                                      |
| 0.10           | 0.48                                      | 0.59                                      | 0.35                                      |
| 0.20           | 0.76                                      | 0.78                                      | 1.18                                      |
| 0.30           | 0.85                                      | 0.90                                      | 1.66                                      |
| 0.40           | 0.92                                      | 0.99                                      | 1.86                                      |
| 0.50           | 0.96                                      | 1.06                                      | 2.05                                      |
| 0.60           | 0.99                                      | 1.10                                      | 2.17                                      |
| 0.70           | 1.01                                      | 1.14                                      | 2.31                                      |
| 0.80           | 1.04                                      | 1.18                                      | 2.41                                      |
| 0.90           | 1.07                                      | 1.20                                      | 2.51                                      |
| 1.00           | 1.08                                      | 1.23                                      | 2.61                                      |
| 1.25           | 1.11                                      | 1.28                                      | 2.74                                      |
| 1.50           | 1.15                                      | 1.33                                      | 2.86                                      |
| 1.75           | 1.17                                      | 1.38                                      | 2.91                                      |
| 2.00           | 1.19                                      | 1.40                                      | 2.97                                      |
| 2.25           | 1.21                                      | 1.45                                      | 3.01                                      |
| 2.50           | 1.24                                      | 1.48                                      | 3.03                                      |
| 2.75           | 1.26                                      | 1.51                                      | 3.06                                      |
| 3.00           | 1.28                                      | 1.53                                      | 3.07                                      |
| 3.25           | 1.3                                       | 1.55                                      | 3.09                                      |
| 3.50           | 1.31                                      | 1.58                                      | 3.10                                      |
| 3.75           | 1.32                                      | 1.59                                      | 3.10                                      |
| 4.00           | 1.33                                      | 1.61                                      | 3.11                                      |
| 4.25           | 1.34                                      | 1.63                                      | 3.11                                      |
| 4.50           | 1.35                                      | 1.65                                      | 3.12                                      |
| 4.75           | 1.36                                      | 1.66                                      | 3.12                                      |
| 5.00           | 1.37                                      | 1.67                                      | 3.13                                      |
| 5.50           | 1.39                                      | 1.69                                      | 3.13                                      |
| 6.00           | 1.41                                      | 1.71                                      | 3.13                                      |
| 6.50           | 1.42                                      | 1.72                                      | 3.12                                      |
| 7.00           | 1.43                                      | 1.74                                      | 3.12                                      |
| 7.50           | 1.44                                      | 1.76                                      | 3.11                                      |
| 8.00           | 1.45                                      | 1.77                                      | 3.10                                      |
| 8.50           | 1.45                                      | 1.78                                      | 3.09                                      |
| 9.00           | 1.46                                      | 1.80                                      | 3.07                                      |
| 9.50           | 1.46                                      | 1.81                                      | 3.06                                      |
| 10.00          | 1.45                                      | 1.81                                      | 3.03                                      |
| 10.50          | 1.45                                      | 1.81                                      | 3.01                                      |
| 11.00          | 1.45                                      | 1.81                                      | 3.00                                      |

|       |      |      |      |
|-------|------|------|------|
| 11.50 | 1.45 | 1.82 | 2.98 |
| 12.00 | 1.43 | 1.82 | 2.96 |
| 12.50 | 1.43 | 1.82 | 2.94 |
| 13.00 | 1.42 | 1.83 | 2.92 |
| 13.50 | 1.42 | 1.83 | 2.89 |
| 14.00 | 1.41 | 1.83 | 2.87 |
| 14.50 | 1.4  | 1.83 | 2.84 |
| 15.00 | 1.39 | 1.83 | 2.82 |
| 15.50 | 1.38 | 1.82 | 2.79 |
| 16.00 | 1.38 | 1.82 | 2.78 |

La Tabla 10: Muestra los resultados de la deformación unitaria y los esfuerzos desviadores obtenidos durante el ensayo triaxial, para las tres muestras de suelo arcilloso.

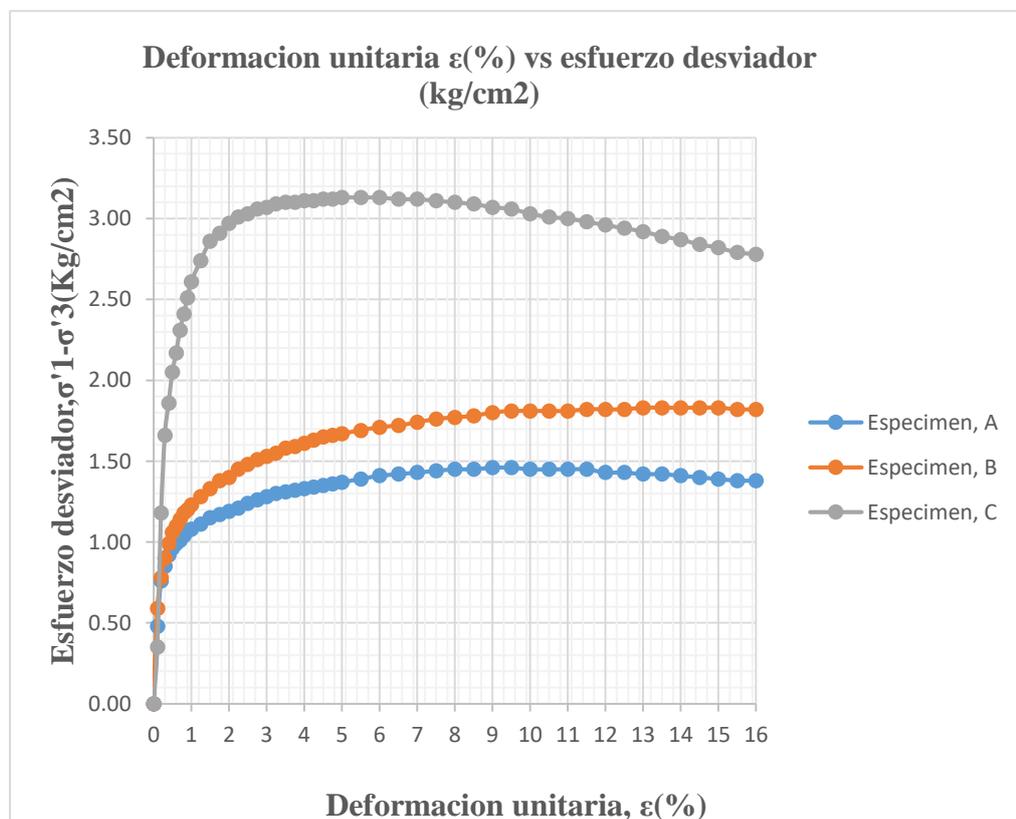


Figura 26: La figura ilustra los resultados de las gráficas del esfuerzo desviador y la deformación unitaria obtenidas durante el ensayo triaxial tipo (CU), para las tres muestras de suelo arcilloso.

4.1.2.4 Resultados del análisis y evaluación de la deformación unitaria y la presión de poros.

Tabla 11: Cuadro de resultados de la deformación unitaria ( $\epsilon$ ) y la presión de poros ( $u$ ).

| MUESTRA      | A                      | B                      | C                      |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\epsilon$ % | $u$ kg/cm <sup>2</sup> | $u$ kg/cm <sup>2</sup> | $u$ kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.00         | 0.00                   | 0.00                   | 0.00                   |
| 0.10         | 0.13                   | 0.09                   | 0.04                   |
| 0.20         | 0.21                   | 0.14                   | 0.22                   |
| 0.30         | 0.27                   | 0.21                   | 0.48                   |
| 0.40         | 0.3                    | 0.27                   | 0.64                   |
| 0.50         | 0.32                   | 0.33                   | 0.82                   |
| 0.60         | 0.34                   | 0.36                   | 0.93                   |
| 0.70         | 0.36                   | 0.40                   | 1.08                   |
| 0.80         | 0.38                   | 0.44                   | 1.20                   |
| 0.90         | 0.39                   | 0.47                   | 1.33                   |
| 1.00         | 0.4                    | 0.50                   | 1.46                   |
| 1.25         | 0.42                   | 0.57                   | 1.67                   |
| 1.50         | 0.41                   | 0.63                   | 1.85                   |
| 1.75         | 0.41                   | 0.69                   | 1.97                   |
| 2.00         | 0.41                   | 0.74                   | 2.08                   |
| 2.25         | 0.41                   | 0.79                   | 2.16                   |
| 2.50         | 0.4                    | 0.83                   | 2.23                   |
| 2.75         | 0.4                    | 0.86                   | 2.28                   |
| 3.00         | 0.39                   | 0.88                   | 2.34                   |
| 3.25         | 0.39                   | 0.91                   | 2.38                   |
| 3.50         | 0.38                   | 0.93                   | 2.40                   |
| 3.75         | 0.38                   | 0.95                   | 2.42                   |
| 4.00         | 0.38                   | 0.97                   | 2.44                   |
| 4.25         | 0.37                   | 0.98                   | 2.46                   |
| 4.50         | 0.36                   | 0.99                   | 2.47                   |
| 4.75         | 0.36                   | 1.00                   | 2.48                   |
| 5.00         | 0.35                   | 1.01                   | 2.49                   |
| 5.50         | 0.33                   | 1.03                   | 2.49                   |
| 6.00         | 0.32                   | 1.03                   | 2.50                   |
| 6.50         | 0.30                   | 1.04                   | 2.50                   |
| 7.00         | 0.29                   | 1.05                   | 2.49                   |
| 7.50         | 0.28                   | 1.05                   | 2.48                   |
| 8.00         | 0.27                   | 1.05                   | 2.47                   |
| 8.50         | 0.25                   | 1.05                   | 2.46                   |

|       |      |      |      |
|-------|------|------|------|
| 9.00  | 0.23 | 1.04 | 2.45 |
| 9.50  | 0.22 | 1.03 | 2.43 |
| 10.00 | 0.21 | 1.04 | 2.41 |
| 10.50 | 0.20 | 1.02 | 2.39 |
| 11.00 | 0.19 | 1.01 | 2.38 |
| 11.50 | 0.18 | 1.01 | 2.38 |
| 12.00 | 0.17 | 1.00 | 2.37 |
| 12.50 | 0.16 | 1.00 | 2.36 |
| 13.00 | 0.15 | 0.99 | 2.34 |
| 13.50 | 0.14 | 0.98 | 2.32 |
| 14.00 | 0.14 | 0.99 | 2.31 |
| 14.50 | 0.13 | 0.99 | 2.30 |
| 15.00 | 0.13 | 1.00 | 2.29 |
| 15.50 | 0.12 | 0.97 | 2.28 |
| 16.00 | 0.12 | 0.96 | 2.27 |

Tabla 11: Muestra el cuadro resumen de los resultados de la deformación unitaria y la presión de poros obtenidos durante el ensayo de compresión triaxial.

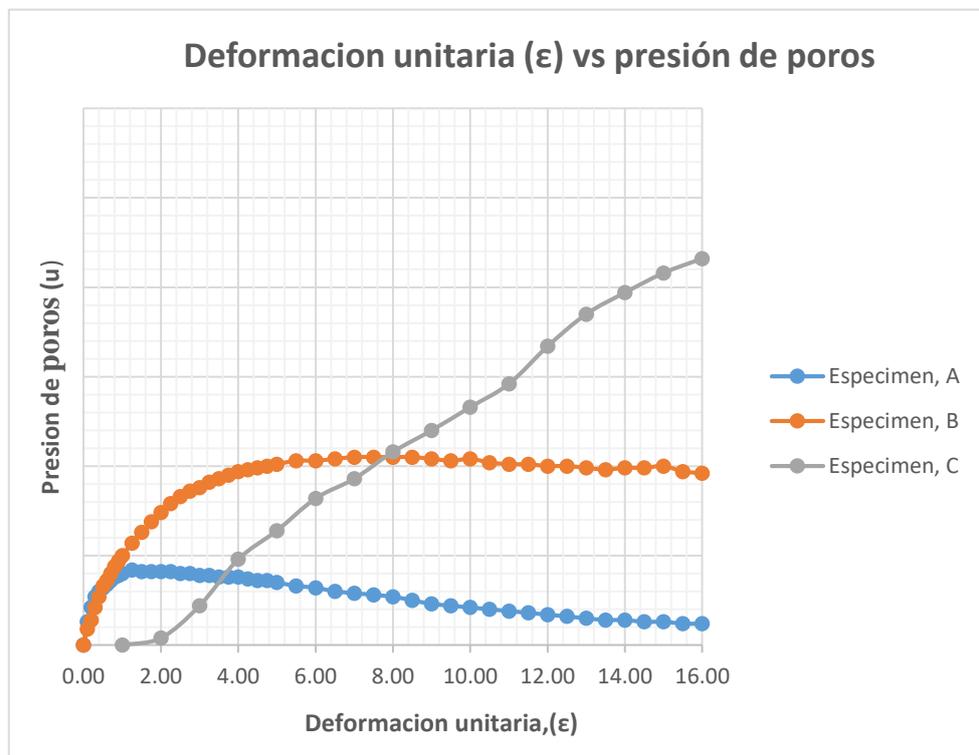


Figura 27: La figura muestra los resultados de la gráfica de la deformación unitaria y la presión de poros obtenidos durante el ensayo de compresión triaxial, para las tres muestras de suelo arcilloso.

4.2.1.5 Resultados del análisis y evaluación de la relación de tensiones.

Tabla 12: Cuadro de Resultados de la relación de tensiones.

| MUESTRAS              |                      |                       |                      |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| A                     |                      | B                     |                      | C                     |                      |
| p' kg/cm <sup>2</sup> | q kg/cm <sup>2</sup> | p' kg/cm <sup>2</sup> | q kg/cm <sup>2</sup> | p' kg/cm <sup>2</sup> | q kg/cm <sup>2</sup> |
| 1.02                  | 1.00                 | 2.04                  | 0.00                 | 4.08                  | 0.00                 |
| 1.37                  | 1.55                 | 2.24                  | 0.30                 | 4.21                  | 0.18                 |
| 1.56                  | 1.94                 | 2.29                  | 0.39                 | 4.45                  | 0.59                 |
| 1.60                  | 2.13                 | 2.28                  | 0.45                 | 4.43                  | 0.83                 |
| 1.65                  | 2.27                 | 2.27                  | 0.50                 | 4.36                  | 0.93                 |
| 1.67                  | 2.37                 | 2.24                  | 0.53                 | 4.29                  | 1.03                 |
| 1.67                  | 2.45                 | 2.23                  | 0.55                 | 4.24                  | 1.08                 |
| 1.68                  | 2.53                 | 2.21                  | 0.57                 | 4.15                  | 1.15                 |
| 1.68                  | 2.61                 | 2.19                  | 0.59                 | 4.08                  | 1.20                 |
| 1.70                  | 2.69                 | 2.17                  | 0.60                 | 4.01                  | 1.25                 |
| 1.70                  | 2.74                 | 2.16                  | 0.62                 | 3.93                  | 1.31                 |
| 1.71                  | 2.84                 | 2.11                  | 0.64                 | 3.78                  | 1.37                 |
| 1.76                  | 2.88                 | 2.07                  | 0.67                 | 3.66                  | 1.43                 |
| 1.79                  | 2.92                 | 2.03                  | 0.69                 | 3.57                  | 1.46                 |
| 1.80                  | 2.95                 | 2.00                  | 0.70                 | 3.48                  | 1.48                 |
| 1.82                  | 2.98                 | 1.98                  | 0.72                 | 3.42                  | 1.50                 |
| 1.86                  | 2.99                 | 1.95                  | 0.74                 | 3.36                  | 1.52                 |
| 1.88                  | 3.03                 | 1.94                  | 0.75                 | 3.32                  | 1.53                 |
| 1.91                  | 3.03                 | 1.93                  | 0.77                 | 3.28                  | 1.54                 |
| 1.93                  | 3.05                 | 1.91                  | 0.78                 | 3.25                  | 1.54                 |
| 1.95                  | 3.03                 | 1.90                  | 0.79                 | 3.23                  | 1.55                 |
| 1.96                  | 3.05                 | 1.89                  | 0.80                 | 3.21                  | 1.55                 |
| 1.97                  | 3.07                 | 1.87                  | 0.80                 | 3.19                  | 1.55                 |
| 1.99                  | 3.05                 | 1.88                  | 0.82                 | 3.18                  | 1.56                 |
| 2.01                  | 3.04                 | 1.87                  | 0.82                 | 3.17                  | 1.56                 |
| 2.02                  | 3.05                 | 1.87                  | 0.83                 | 3.16                  | 1.56                 |
| 2.05                  | 3.04                 | 1.87                  | 0.84                 | 3.15                  | 1.56                 |
| 2.09                  | 3.01                 | 1.86                  | 0.85                 | 3.16                  | 1.56                 |
| 2.12                  | 3.01                 | 1.86                  | 0.85                 | 3.14                  | 1.56                 |
| 2.15                  | 2.97                 | 1.86                  | 0.86                 | 3.14                  | 1.56                 |
| 2.17                  | 2.95                 | 1.86                  | 0.87                 | 3.15                  | 1.56                 |
| 2.19                  | 2.94                 | 1.87                  | 0.88                 | 3.15                  | 1.55                 |
| 2.20                  | 2.92                 | 1.88                  | 0.89                 | 3.16                  | 1.55                 |
| 2.22                  | 2.90                 | 1.88                  | 0.89                 | 3.17                  | 1.55                 |

|      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
| 2.24 | 2.85 | 1.90 | 0.90 | 3.17 | 1.54 |
| 2.25 | 2.83 | 1.91 | 0.90 | 3.18 | 1.53 |
| 2.26 | 2.80 | 1.90 | 0.90 | 3.19 | 1.52 |
| 2.26 | 2.77 | 1.93 | 0.91 | 3.20 | 1.50 |
| 2.27 | 2.75 | 1.94 | 0.91 | 3.20 | 1.50 |
| 2.28 | 2.73 | 1.94 | 0.91 | 3.19 | 1.49 |
| 2.28 | 2.69 | 1.95 | 0.91 | 3.19 | 1.48 |
| 2.29 | 2.67 | 1.95 | 0.91 | 3.19 | 1.47 |
| 2.29 | 2.64 | 1.96 | 0.91 | 3.20 | 1.46 |
| 2.29 | 2.62 | 1.97 | 0.91 | 3.20 | 1.45 |
| 2.29 | 2.61 | 1.96 | 0.91 | 3.20 | 1.43 |
| 2.29 | 2.58 | 1.96 | 0.91 | 3.19 | 1.42 |
| 2.28 | 2.57 | 1.95 | 0.91 | 3.20 | 1.41 |
| 2.28 | 2.54 | 1.98 | 0.91 | 3.19 | 1.40 |
| 2.27 | 2.53 | 1.99 | 0.91 | 3.19 | 1.39 |

Tabla 12: Muestra el cuadro resumen de los resultados de la relación de tensiones desarrolladas durante la prueba de compresión triaxial, para las tres muestras de suelo arcilloso.

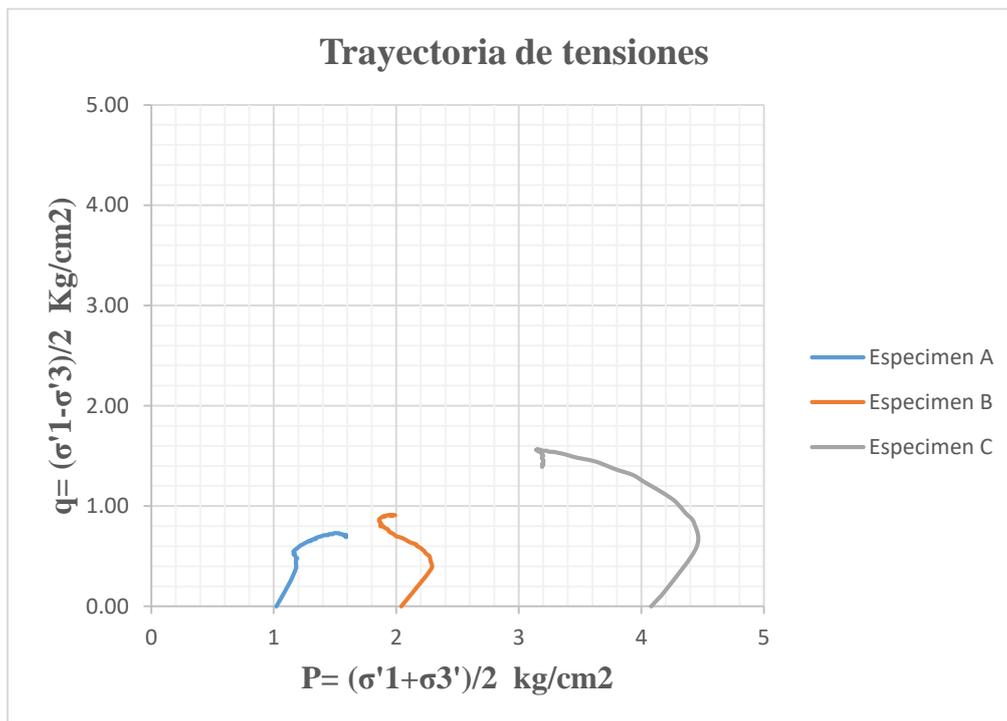


Figura 28: La figura ilustra las imágenes de la relación de tensiones desarrolladas durante el ensayo de compresión triaxial de las tres muestras de suelo arcilloso.

4.2.1.6 Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción del suelo arcilloso.

Tabla 13: Esfuerzos de confinamiento.

| PARÁMETROS | A    | B    | C    |
|------------|------|------|------|
| $\sigma_1$ | 2.35 | 3.85 | 7.21 |
| $\sigma_3$ | 1.02 | 2.04 | 4.08 |
| Radio      | 0.66 | 0.9  | 1.56 |
| Centro     | 1.68 | 2.94 | 5.64 |

Tabla 13: Esfuerzos de confinamiento aplicados a las tres muestras de suelo arcilloso.

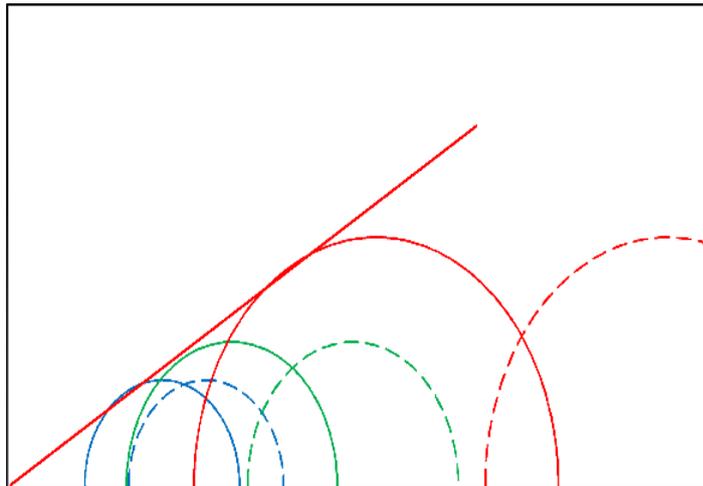


Figura 29: La figura ilustra las imágenes de los círculos de Mohr para condiciones totales y efectivas y envolvente de falla.

$$C' = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Phi' = 29.5^\circ$$

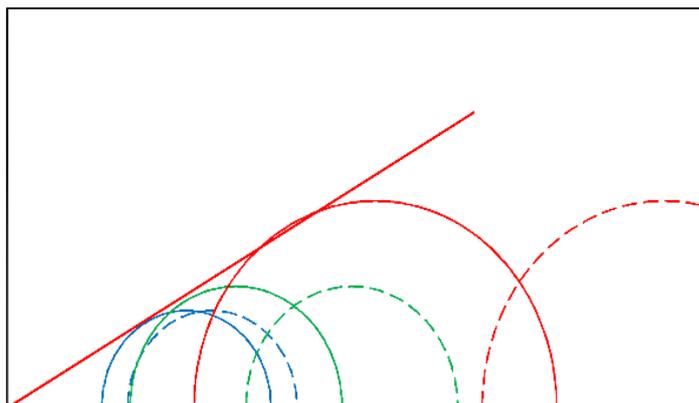


Figura 30: La figura ilustra las imágenes de los círculos de Mohr para condiciones totales, efectivas y envolventes de falla para el esfuerzo máximo desviador.

$$C' = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Phi' = 29.2^\circ$$

#### 4.2.1.7 Cálculo de la capacidad admisible neta del suelo arcilloso.

Tabla 14: Capacidad Admisible del suelo arcilloso para condiciones efectivas.

| CIMENTACION CORRIDA                |                          |                            |                            |                            |                            |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA TERZAGHI |                          |                            |                            |                            |                            |
| CALICATA                           |                          | C-01                       |                            | C-02                       |                            |
| FORMULAS                           |                          | TERZAGHI                   | MEYERHOF                   | TERZAGHI                   | MEYERHOF                   |
| ANCHO DE CIMENTACION (B)           | LARGO DE CIMENTACION (L) | qadm (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0.60                               | 10                       | 0.639                      | 1.29                       | 1.25                       | 1.29                       |
| 0.80                               | 10                       | 0.697                      | 1.36                       | 1.23                       | 1.30                       |
| 1.00                               | 10                       | 0.755                      | 1.42                       | 1.24                       | 1.32                       |
| 1.20                               | 10                       | 0.813                      | 1.50                       | 1.24                       | 1.33                       |
| 1.80                               | 10                       | 0.987                      | 1.68                       | 1.25                       | 1.37                       |
| 2.00                               | 10                       | 1.10                       | 1.75                       | 1.25                       | 1.38                       |

Tabla 14: La tabla muestra las capacidades de carga admisibles calculadas por los métodos de Meyerhof y Terzaghi.

### 4.1.3 Resultados del análisis y evaluación del ensayo de consolidación

#### 4.1.3.1 Resultados de la muestra de suelo en estado inicial y final.

Tabla 15: Características de la muestra de suelo.

| <b>CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN</b>                |                   |
|---|-------------------|
| Tipo de muestra                                     | <b>INALTERADA</b> |
| Peso específico de los sólidos, (Gs)                | 2.67              |
| Diámetro, (cm)                                      | 6.00              |
| Humedad promedio de los remanentes del tallado (w%) | 26.30%            |

Tabla 15: Muestra el cuadro de las características generales de la muestra de suelo arcilloso.

Tabla 16: Propiedades iniciales y finales de la muestra de suelo arcilloso.

| <b>PROPIEDADES DE LA PROBETA</b>            | <b>INICIAL</b> | <b>FINAL</b> |
|---|----------------|--------------|
| Altura, ( cm)                               | 1.98           | 1.82         |
| Humedad, ( w%)                              | 26.10%         | 23.00%       |
| Saturaciones, ( s %)                        | 93.20%         | 1.00         |
| Relación de vacíos,( e)                     | 0.748          | 0.615        |
| Porosidad ( $\eta$ )                        | 42.80%         | 38.10%       |
| Densidad, ( g/cm <sup>3</sup> )             | 1.93           | 2.03         |
| Densidad seca, $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup> | 1.53           | 1.65         |

Tabla 16: Muestra los resultados de las propiedades iniciales y finales de la muestra de suelo arcilloso.

4.1.3.2 Resultados del análisis y evaluación de la deformación del suelo arcilloso por la aplicación de los diferentes escalones de carga.

Tabla 17: Cuadro general de resultados del dial de deformación por la aplicación de diferentes escalones de carga.

| <b>DEFORMACIÓN DEL ESPÉCIMEN</b> |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>T<br/>(min)</b>               | <b>0.2<br/>kg/cm2</b> | <b>0.4<br/>kg/cm2</b> | <b>0.8<br/>kg/cm2</b> | <b>1.6<br/>kg/cm2</b> | <b>3.2<br/>kg/cm2</b> | <b>6.4<br/>kg/cm2</b> | <b>3.2<br/>kg/cm2</b> | <b>1.6<br/>kg/cm2</b> | <b>0.8<br/>kg/cm2</b> |
| 0.00                             | 1000.00               | 994.60                | 981.00                | 957.80                | 925.80                | 880.00                | 822.9                 | 829.80                | 838.40                |
| 0.10                             | 997.20                | 989.60                | 973.90                | 950.00                | 910.00                | 860.20                | 825.1                 | 831.60                | 841.00                |
| 0.25                             | 997.10                | 988.80                | 972.20                | 947.00                | 907.00                | 856.50                | 826.2                 | 833.00                | 841.10                |
| 0.50                             | 997.10                | 988.50                | 971.90                | 945.00                | 905.00                | 855.00                | 826.5                 | 833.20                | 841.40                |
| 1.00                             | 997.00                | 988.20                | 971.00                | 943.40                | 903.50                | 853.00                | 826.9                 | 833.40                | 842.00                |
| 2.00                             | 996.90                | 987.80                | 970.00                | 941.30                | 901.80                | 850.00                | 827.1                 | 833.80                | 842.00                |
| 4.00                             | 996.70                | 987.30                | 968.90                | 939.40                | 899.00                | 847.00                | 827.3                 | 834.20                | 842.60                |
| 8.00                             | 996.40                | 986.60                | 967.30                | 937.10                | 896.20                | 843.00                | 827.9                 | 834.80                | 843.00                |
| 15.00                            | 996.10                | 985.90                | 965.90                | 935.20                | 893.40                | 839.00                | 828.1                 | 835.40                | 844.00                |
| 30.00                            | 995.80                | 985.00                | 964.20                | 933.20                | 890.20                | 835.50                | 828.5                 | 836.00                | 845.00                |
| 60.00                            | 995.50                | 984.20                | 963.00                | 930.80                | 887.30                | 830.90                | 828.8                 | 836.80                | 846.00                |
| 120.00                           | 995.30                | 983.60                | 961.50                | 929.20                | 885.00                | 828.20                | 828.9                 | 837.20                | 848.00                |
| 240.00                           | 995.00                | 982.80                | 960.10                | 928.10                | 882.90                | 826.20                | 828.9                 | 837.80                | 848.00                |
| 480.00                           | 994.80                | 982.00                | 959.20                | 927.00                | 881.10                | 824.50                | 828.9                 | 838.10                | 848.50                |
| 1440.00                          | 994.60                | 981.00                | 957.80                | 925.80                | 880.00                | 822.90                | 829.8                 | 838.40                | 850.00                |

Tabla 17: Muestra el cuadro resumen de los resultados de la deformación del suelo arcilloso por la aplicación de los diferentes escalones de carga.

4.1.3.3 Resultados del análisis y evaluación de la deformación del suelo arcilloso.

Tabla 18: Muestra los resultados del dial de deformación carga 0.2 Kg/cm<sup>2</sup>

| 0.2 kg/cm <sup>2</sup> |         |                  |
|------------------------|---------|------------------|
| t(min)                 | √t(min) | Deformación (mm) |
| 0.00                   | 0.000   | 1000.00          |
| 0.10                   | 0.316   | 997.20           |
| 0.25                   | 0.500   | 997.10           |
| 0.50                   | 0.707   | 997.10           |
| 1.00                   | 1.000   | 997.00           |
| 2.00                   | 1.414   | 996.90           |
| 4.00                   | 2.000   | 996.70           |
| 8.00                   | 2.828   | 996.40           |
| 15.00                  | 3.873   | 996.10           |
| 30.00                  | 5.477   | 995.80           |
| 60.00                  | 7.746   | 995.50           |
| 120.00                 | 10.954  | 995.30           |
| 240.00                 | 15.492  | 995.00           |
| 480.00                 | 21.909  | 994.80           |
| 1440.00                | 37.947  | <b>994.60</b>    |

Tabla 18: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de una carga de 0.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

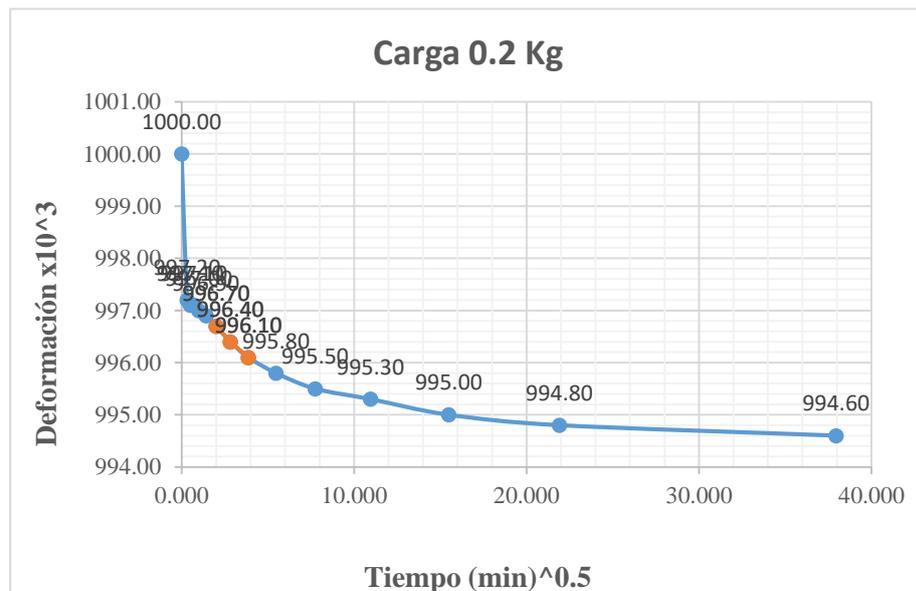


Figura 31: Muestra los resultados de la gráfica del tiempo con la deformación para una carga de consolidación de 0.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 19: Muestra el resultado del dial de deformación carga 0.4 Kg/cm2.

| 0.4 kg/cm2 |                        |                  |
|------------|------------------------|------------------|
| min)       | $\sqrt{t}(\text{min})$ | Deformación (mm) |
| 0.00       | 0.000                  | 994.60           |
| 0.10       | 0.316                  | 989.60           |
| 0.25       | 0.500                  | 988.80           |
| 0.50       | 0.707                  | 988.50           |
| 1.00       | 1.000                  | 988.20           |
| 2.00       | 1.414                  | 987.80           |
| 4.00       | 2.000                  | 987.30           |
| 8.00       | 2.828                  | 986.60           |
| 15.00      | 3.873                  | 985.90           |
| 30.00      | 5.477                  | 985.00           |
| 60.00      | 7.746                  | 984.20           |
| 120.00     | 10.954                 | 983.60           |
| 240.00     | 15.492                 | 982.80           |
| 480.00     | 21.909                 | 982.00           |
| 1440.00    | 37.947                 | <b>981.00</b>    |

Tabla 19 muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de una carga de 0.4 Kg/cm2.

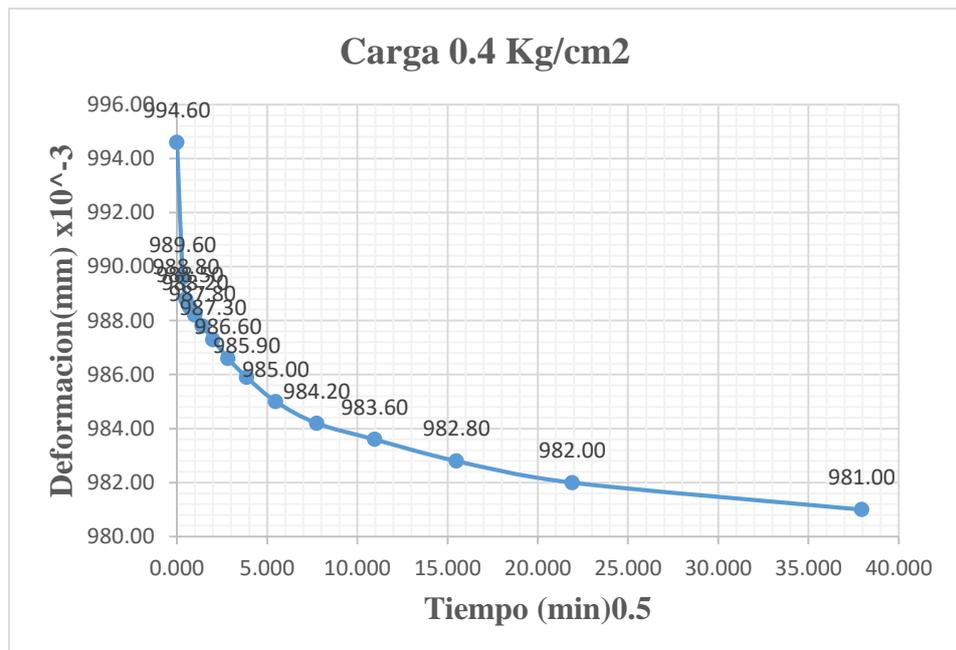


Figura 32: Muestra los resultados de la gráfica del tiempo con la deformación para una carga de consolidación de 0.4 Kg/cm2.

Tabla 20: Muestra el resultado del dial de deformación carga 0.8 Kg/cm2

| 0.8 kg/cm2 |                        |                  |
|------------|------------------------|------------------|
| t(min)     | $\sqrt{t}(\text{min})$ | Deformación (mm) |
| 0.00       | 0.000                  | 981.00           |
| 0.10       | 0.316                  | 973.90           |
| 0.25       | 0.500                  | 972.20           |
| 0.50       | 0.707                  | 971.90           |
| 1.00       | 1.000                  | 971.00           |
| 2.00       | 1.414                  | 970.00           |
| 4.00       | 2.000                  | 968.90           |
| 8.00       | 2.828                  | 967.30           |
| 15.00      | 3.873                  | 965.90           |
| 30.00      | 5.477                  | 964.20           |
| 60.00      | 7.746                  | 963.00           |
| 120.00     | 10.954                 | 961.50           |
| 240.00     | 15.492                 | 960.10           |
| 480.00     | 21.909                 | 959.20           |
| 1440.00    | 37.947                 | 957.80           |

Tabla 20: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de una carga 0.8 Kg/cm2.

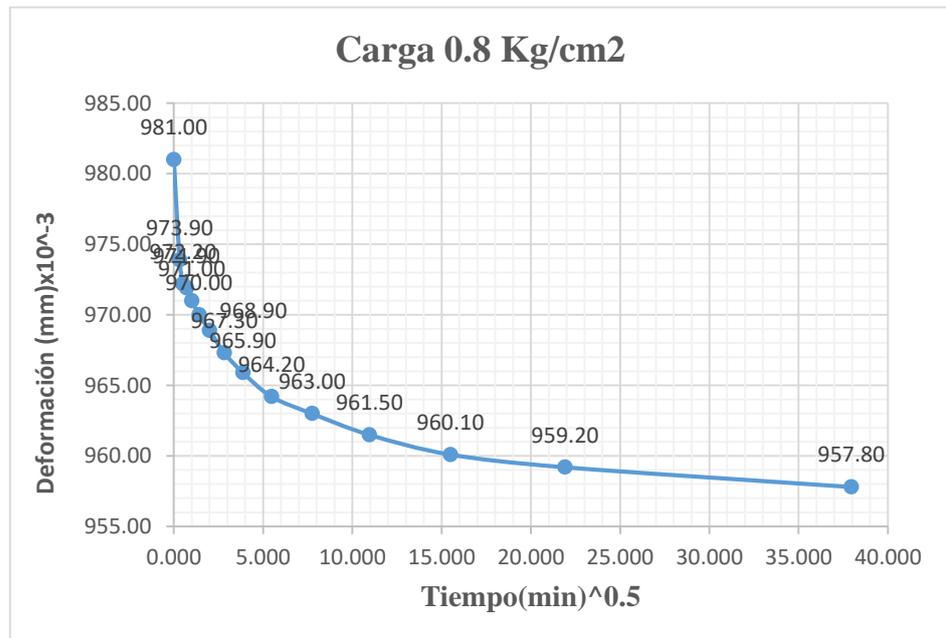


Figura 33: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de carga de 0.8 Kg/cm2.

Tabla 21: Muestra el resultado del dial de deformación carga 1.6 Kg/cm2.

| 1.6 kg/cm2 |                        |                  |
|------------|------------------------|------------------|
| t(min)     | $\sqrt{t}(\text{min})$ | Deformación (mm) |
| 0.00       | 0.000                  | 957.80           |
| 0.10       | 0.316                  | 950.00           |
| 0.25       | 0.500                  | 947.00           |
| 0.50       | 0.707                  | 945.00           |
| 1.00       | 1.000                  | 943.40           |
| 2.00       | 1.414                  | 941.30           |
| 4.00       | 2.000                  | 939.40           |
| 8.00       | 2.828                  | 937.10           |
| 15.00      | 3.873                  | 935.20           |
| 30.00      | 5.477                  | 933.20           |
| 60.00      | 7.746                  | 930.80           |
| 120.00     | 10.954                 | 929.20           |
| 240.00     | 15.492                 | 928.10           |
| 480.00     | 21.909                 | 927.00           |
| 1440.00    | 37.947                 | 925.80           |

Tabla 21: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de una carga de 1.6 Kg/cm2.

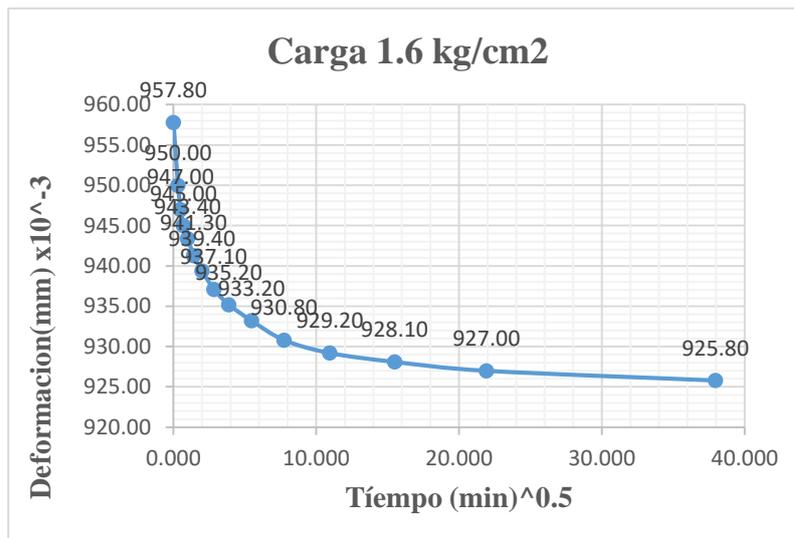


Figura 34: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de carga de 1.6 Kg/cm2.

Tabla 22: Muestra los resultados del dial de deformación carga 3.2 Kg/cm<sup>2</sup>

| 3.2 kg/cm <sup>2</sup> |                        |                  |
|------------------------|------------------------|------------------|
| t(min)                 | $\sqrt{t}(\text{min})$ | Deformación (mm) |
| 0.00                   | 0.000                  | 925.80           |
| 0.10                   | 0.316                  | 910.00           |
| 0.25                   | 0.500                  | 907.00           |
| 0.50                   | 0.707                  | 905.00           |
| 1.00                   | 1.000                  | 903.50           |
| 2.00                   | 1.414                  | 901.80           |
| 4.00                   | 2.000                  | 899.00           |
| 8.00                   | 2.828                  | 896.20           |
| 15.00                  | 3.873                  | 893.40           |
| 30.00                  | 5.477                  | 890.20           |
| 60.00                  | 7.746                  | 887.30           |
| 120.00                 | 10.954                 | 885.00           |
| 240.00                 | 15.492                 | 882.90           |
| 480.00                 | 21.909                 | 881.10           |
| 1440.00                | 37.947                 | 880.00           |

Tabla 22: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de escalón de carga 3.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

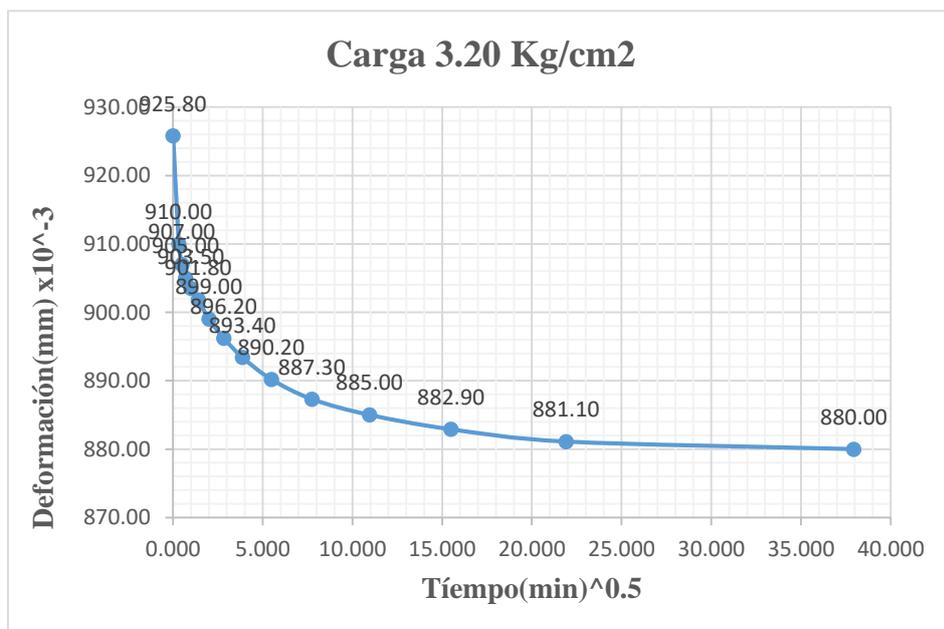


Figura 35: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de carga de 3.20 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 23: Muestra los resultados del dial de deformación carga 6.4 Kg/cm<sup>2</sup>

| 6.4 kg/cm <sup>2</sup> |         |                  |
|------------------------|---------|------------------|
| t(min)                 | √t(min) | Deformación (mm) |
| 0.00                   | 0.000   | 880.00           |
| 0.10                   | 0.316   | 860.20           |
| 0.25                   | 0.500   | 856.50           |
| 0.50                   | 0.707   | 855.00           |
| 1.00                   | 1.000   | 853.00           |
| 2.00                   | 1.414   | 850.00           |
| 4.00                   | 2.000   | 847.00           |
| 8.00                   | 2.828   | 843.00           |
| 15.00                  | 3.873   | 839.00           |
| 30.00                  | 5.477   | 835.50           |
| 60.00                  | 7.746   | 830.90           |
| 120.00                 | 10.954  | 828.20           |
| 240.00                 | 15.492  | 826.20           |
| 480.00                 | 21.909  | 824.50           |
| 1440.00                | 37.947  | 822.90           |

Tabla 23: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de un escalón de carga de 6.4 Kg/cm<sup>2</sup>.

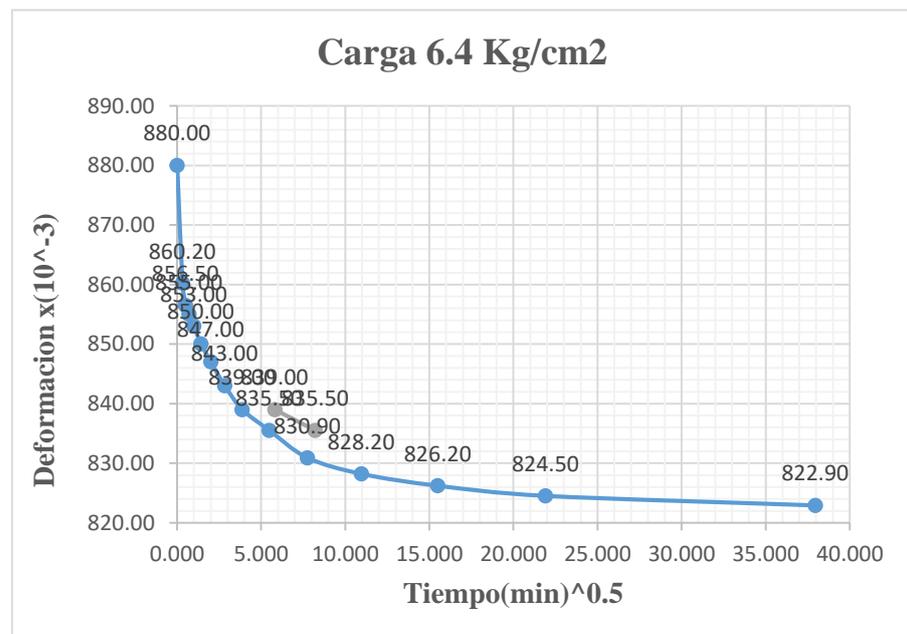


Figura 36: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de carga de 6.4 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 24: Muestra los resultados del dial de deformación descarga 3.2 Kg/cm<sup>2</sup>

| 3.2 kg/cm <sup>2</sup> |         |                  |
|------------------------|---------|------------------|
| t(min)                 | √t(min) | Deformación (mm) |
| 0.00                   | 0.000   | 822.90           |
| 0.10                   | 0.316   | 825.10           |
| 0.25                   | 0.500   | 826.20           |
| 0.50                   | 0.707   | 826.50           |
| 1.00                   | 1.000   | 826.90           |
| 2.00                   | 1.414   | 827.10           |
| 4.00                   | 2.000   | 827.30           |
| 8.00                   | 2.828   | 827.90           |
| 15.00                  | 3.873   | 828.10           |
| 30.00                  | 5.477   | 828.50           |
| 60.00                  | 7.746   | 828.80           |
| 120.00                 | 10.954  | 828.90           |
| 240.00                 | 15.492  | 828.90           |
| 480.00                 | 21.909  | 828.90           |
| 1440.00                | 37.947  | 829.80           |

Tabla 24: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de un escalón de descarga de 3.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

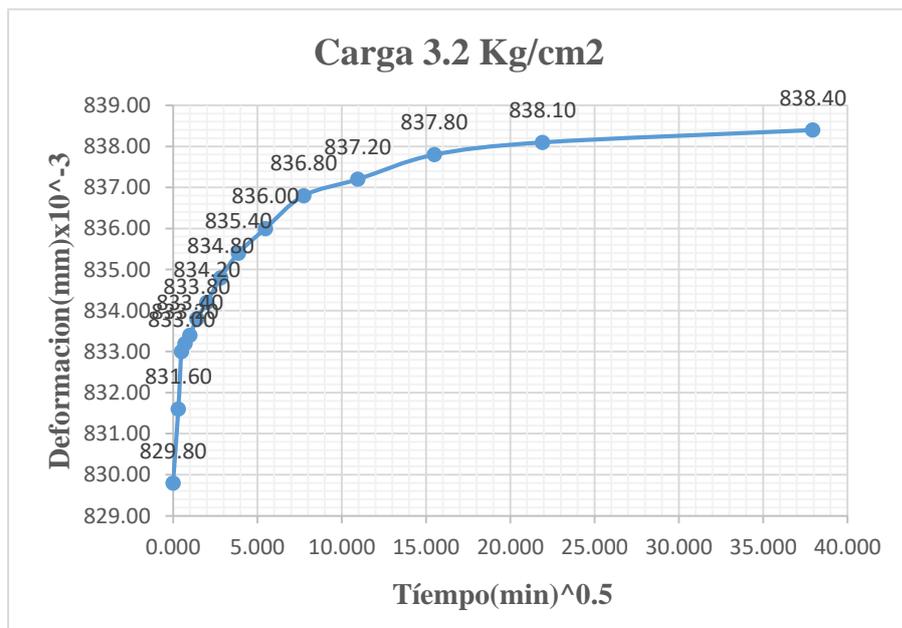


Figura 37: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de descarga de 3.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 25: Muestra los resultados del dial de deformación descarga 1.6 Kg/cm2.

| 1.6 kg/cm2 |                        |                  |
|------------|------------------------|------------------|
| t(min)     | $\sqrt{t}(\text{min})$ | Deformación (mm) |
| 0.00       | 0.000                  | 829.80           |
| 0.10       | 0.316                  | 831.60           |
| 0.25       | 0.500                  | 833.00           |
| 0.50       | 0.707                  | 833.20           |
| 1.00       | 1.000                  | 833.40           |
| 2.00       | 1.414                  | 833.80           |
| 4.00       | 2.000                  | 834.20           |
| 8.00       | 2.828                  | 834.80           |
| 15.00      | 3.873                  | 835.40           |
| 30.00      | 5.477                  | 836.00           |
| 60.00      | 7.746                  | 836.80           |
| 120.00     | 10.954                 | 837.20           |
| 240.00     | 15.492                 | 837.80           |
| 480.00     | 21.909                 | 838.10           |
| 1440.00    | 37.947                 | 838.40           |

Tabla 25: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de un escalón de carga de 1.6 Kg/cm2.

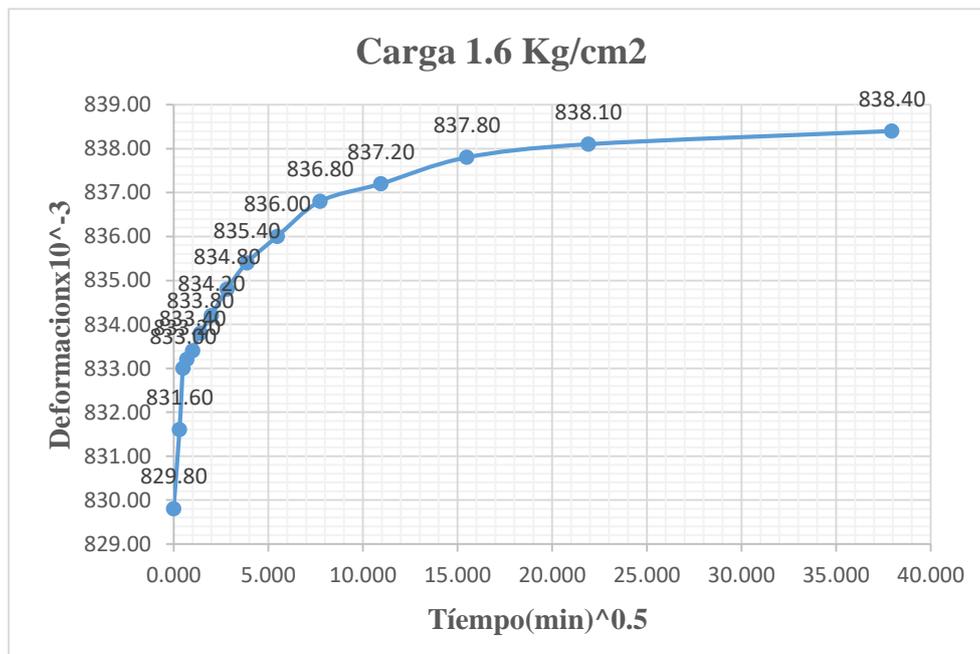


Figura 38: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de carga de 1.6 Kg/cm2.

Tabla 26: Muestra los resultados del dial de deformación descarga 1.6 Kg/cm<sup>2</sup>.

| 0.8 kg/cm <sup>2</sup> |         |                  |
|------------------------|---------|------------------|
| t(min)                 | √t(min) | Deformación (mm) |
| 0.00                   | 0.000   | 838.40           |
| 0.10                   | 0.316   | 841.00           |
| 0.25                   | 0.500   | 841.10           |
| 0.50                   | 0.707   | 841.40           |
| 1.00                   | 1.000   | 842.00           |
| 2.00                   | 1.414   | 842.00           |
| 4.00                   | 2.000   | 842.60           |
| 8.00                   | 2.828   | 843.00           |
| 15.00                  | 3.873   | 844.00           |
| 30.00                  | 5.477   | 845.00           |
| 60.00                  | 7.746   | 846.00           |
| 120.00                 | 10.954  | 848.00           |
| 240.00                 | 15.492  | 848.00           |
| 480.00                 | 21.909  | 848.50           |
| 1440.00                | 37.947  | 850.00           |

Tabla 26: Muestra el resultado del dial de deformación por la aplicación de un escalón de carga de 0.8 Kg/cm<sup>2</sup>.

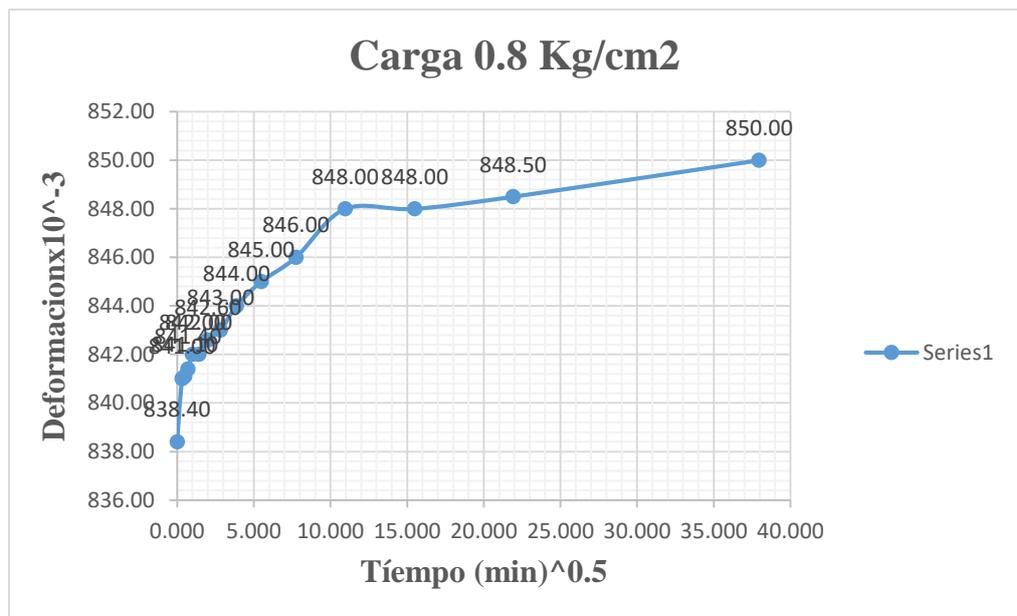


Figura 39: Muestra el resultado de la gráfica del tiempo con la deformación por la aplicación del escalón de descarga de 0.8 Kg/cm<sup>2</sup>.

4.1.3.4 Resultados del análisis y evaluación de la relación de vacíos de la muestra de suelo.

4.1.3.4.1 Resultados del análisis de la relación de vacíos etapa de carga.

Tabla 27: Muestra los resultados de la relación de vacíos.

| <b>ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN NTP 339.154</b> |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>RELACIÓN DE VACÍOS (e)</b>              |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| <b>Tiempo</b>                              | <b>Etapa de carga</b> |                       |                       |                       |                       |                       |
| <b>t(min)</b>                              | <b>0.2<br/>kg/cm2</b> | <b>0.4<br/>kg/cm2</b> | <b>0.8<br/>kg/cm2</b> | <b>1.6<br/>kg/cm2</b> | <b>3.2<br/>kg/cm2</b> | <b>6.4<br/>kg/cm2</b> |
| 0.00                                       | 0.747                 | 0.743                 | 0.731                 | 0.71                  | 0.682                 | 0.641                 |
| 0.10                                       | 0.745                 | 0.738                 | 0.724                 | 0.703                 | 0.668                 | 0.624                 |
| 0.25                                       | 0.745                 | 0.738                 | 0.723                 | 0.701                 | 0.665                 | 0.62                  |
| 0.50                                       | 0.745                 | 0.737                 | 0.723                 | 0.699                 | 0.663                 | 0.619                 |
| 1.00                                       | 0.745                 | 0.737                 | 0.722                 | 0.697                 | 0.662                 | 0.617                 |
| 2.00                                       | 0.745                 | 0.737                 | 0.721                 | 0.695                 | 0.661                 | 0.615                 |
| 4.00                                       | 0.744                 | 0.736                 | 0.72                  | 0.694                 | 0.658                 | 0.612                 |
| 8.00                                       | 0.744                 | 0.736                 | 0.718                 | 0.692                 | 0.656                 | 0.608                 |
| 15.00                                      | 0.744                 | 0.735                 | 0.717                 | 0.69                  | 0.653                 | 0.605                 |
| 30.00                                      | 0.744                 | 0.734                 | 0.716                 | 0.688                 | 0.65                  | 0.602                 |
| 60.00                                      | 0.743                 | 0.733                 | 0.715                 | 0.686                 | 0.648                 | 0.598                 |
| 120.00                                     | 0.743                 | 0.733                 | 0.713                 | 0.685                 | 0.646                 | 0.595                 |
| 240.00                                     | 0.743                 | 0.732                 | 0.712                 | 0.684                 | 0.644                 | 0.594                 |
| 480.00                                     | 0.743                 | 0.731                 | 0.711                 | 0.683                 | 0.642                 | 0.592                 |
| 1440.00                                    | 0.743                 | 0.731                 | 0.71                  | 0.682                 | 0.641                 | 0.591                 |

Tabla 27: Muestra el cuadro general del resultado de la relación de vacíos para los diferentes escalones de carga.

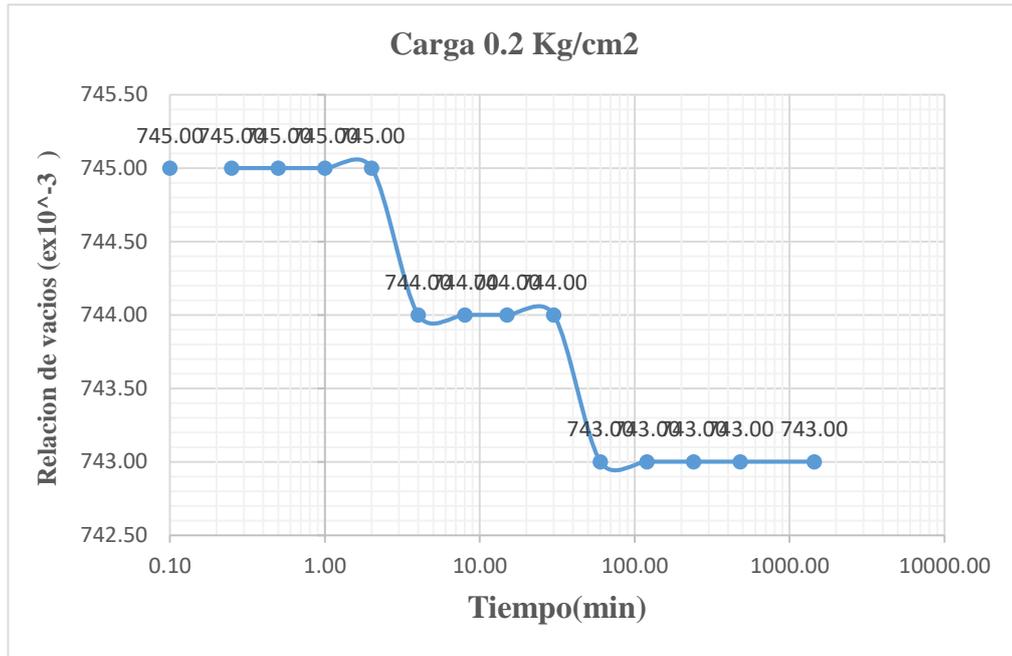


Figura 40: Muestra los resultados de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación del escalón de carga 0.2 Kg/cm2.

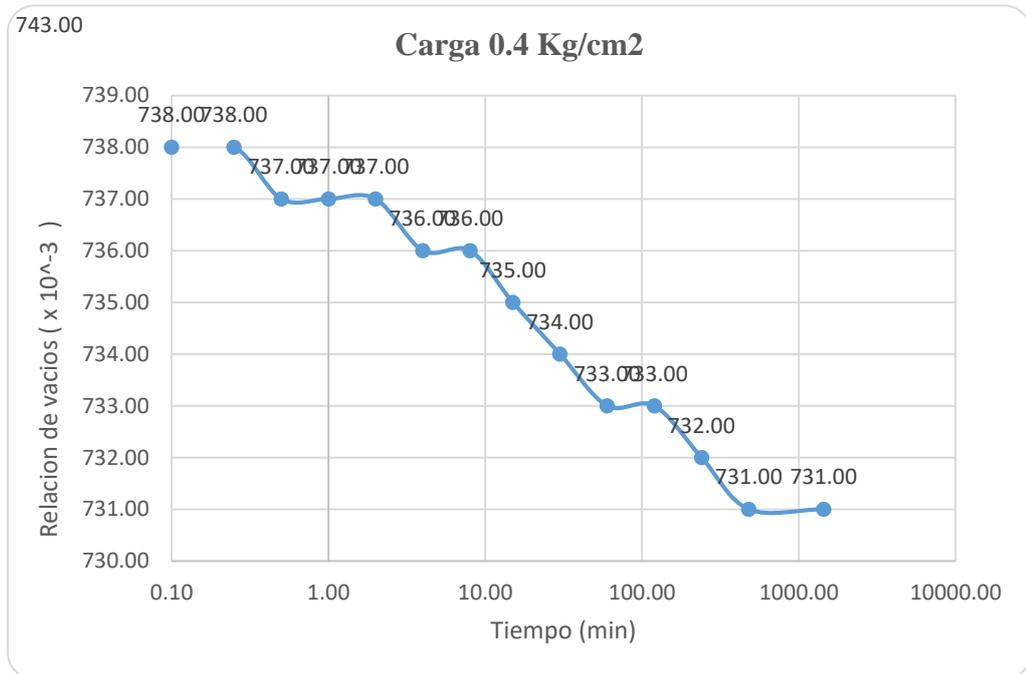


Figura 41: Muestra los resultados de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación del escalón de carga 0.4 Kg/cm2.

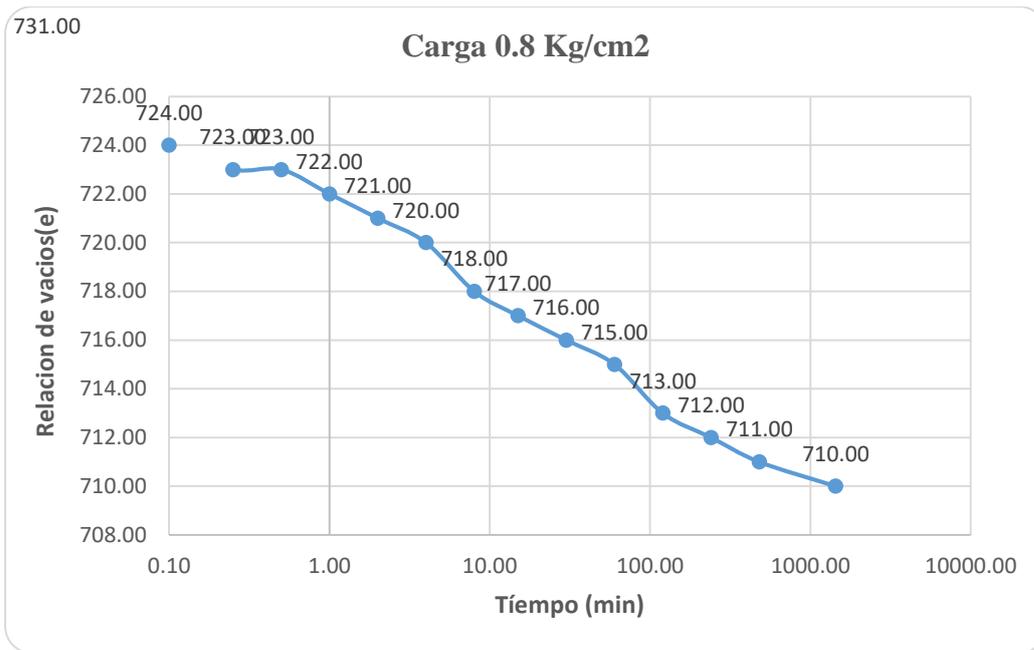


Figura 42: Muestra los resultados de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de la carga 0.8 Kg/cm2.

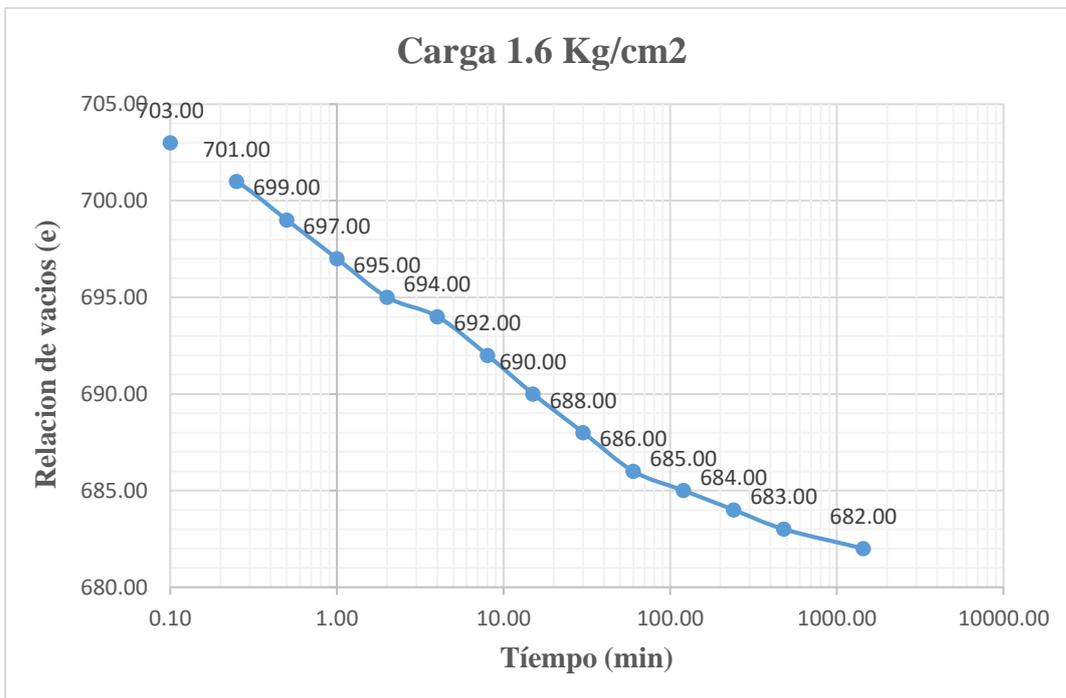


Figura 43: Muestra los resultados de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de la carga 1.6 Kg/cm2.

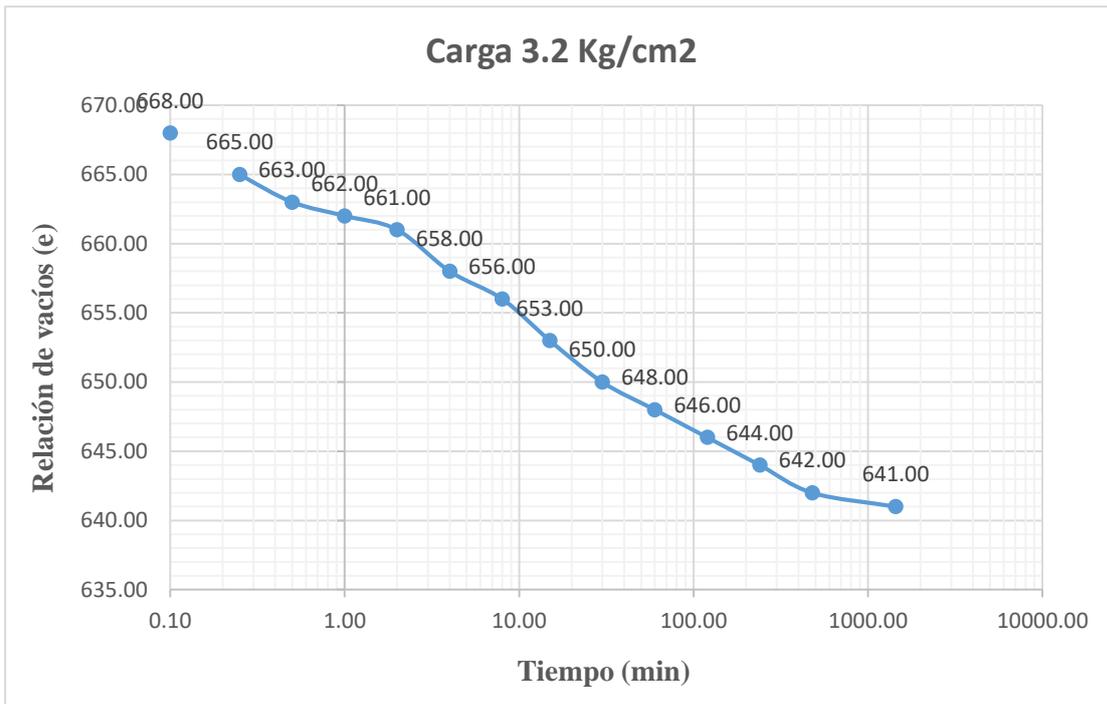


Figura 44: La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de un escalón de carga 3.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

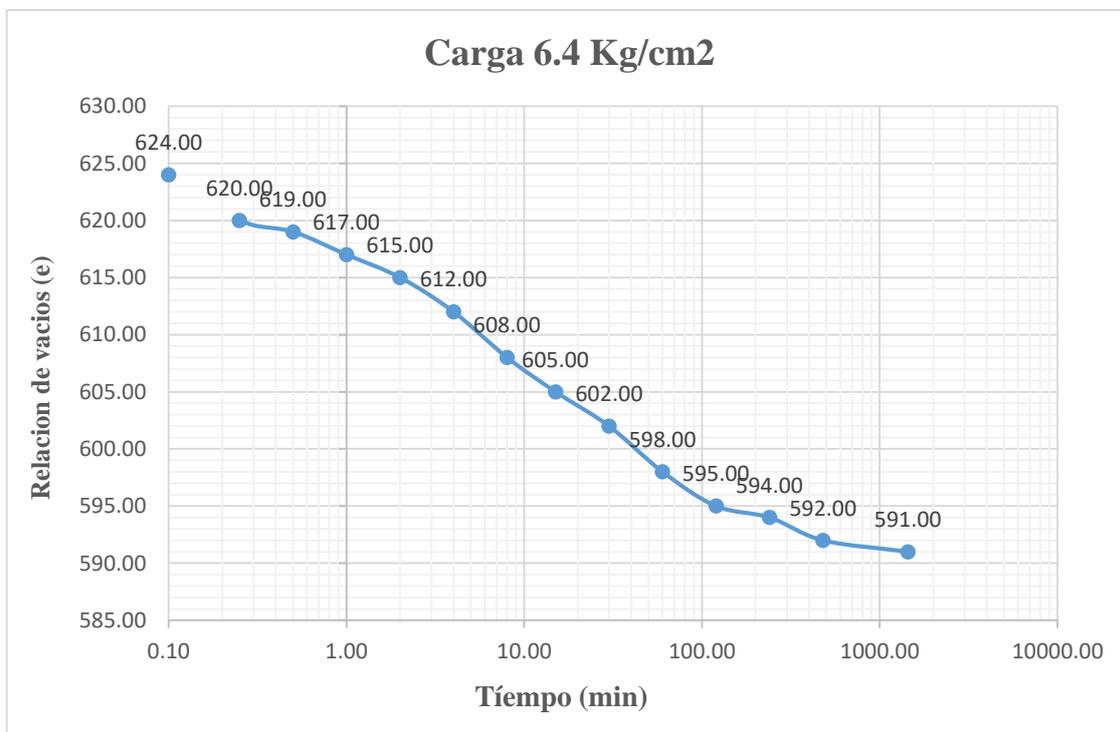


Figura 45: Muestra los resultados de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de un escalón de carga 6.4 Kg/cm<sup>2</sup>.

4.1.3.4.2 Resultados del análisis y evaluación de la relación de vacíos etapa de descarga.

Tabla 28: Muestra los resultados de la relación de vacíos.

| <b>ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN NTP 339.154</b> |                              |                              |                              |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>RELACIÓN DE VACÍOS (e)</b>              |                              |                              |                              |
| <b>Tiempo</b>                              | <b>Etapa de descarga</b>     |                              |                              |
| <b>t(min)</b>                              | <b>3.2 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>1.6 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>0.8 kg/cm<sup>2</sup></b> |
| 0.00                                       | 0.591                        | 0.597                        | 0.604                        |
| 0.10                                       | 0.593                        | 0.598                        | 0.607                        |
| 0.25                                       | 0.594                        | 0.600                        | 0.607                        |
| 0.50                                       | 0.594                        | 0.600                        | 0.607                        |
| 1.00                                       | 0.594                        | 0.600                        | 0.608                        |
| 2.00                                       | 0.594                        | 0.600                        | 0.608                        |
| 4.00                                       | 0.595                        | 0.601                        | 0.608                        |
| 8.00                                       | 0.595                        | 0.601                        | 0.608                        |
| 15.00                                      | 0.595                        | 0.602                        | 0.609                        |
| 30.00                                      | 0.596                        | 0.602                        | 0.610                        |
| 60.00                                      | 0.596                        | 7.595                        | 0.611                        |
| 120.00                                     | 0.596                        | 0.603                        | 0.613                        |
| 240.00                                     | 0.596                        | 0.604                        | 0.613                        |
| 480.00                                     | 0.596                        | 0.604                        | 0.613                        |
| 1440.00                                    | 0.597                        | 0.604                        | 0.615                        |

Tabla 28: Muestra los resultados de la relación de vacíos (e) de la muestra de suelo arcilloso para los diferentes escalones de carga en la etapa de descarga.

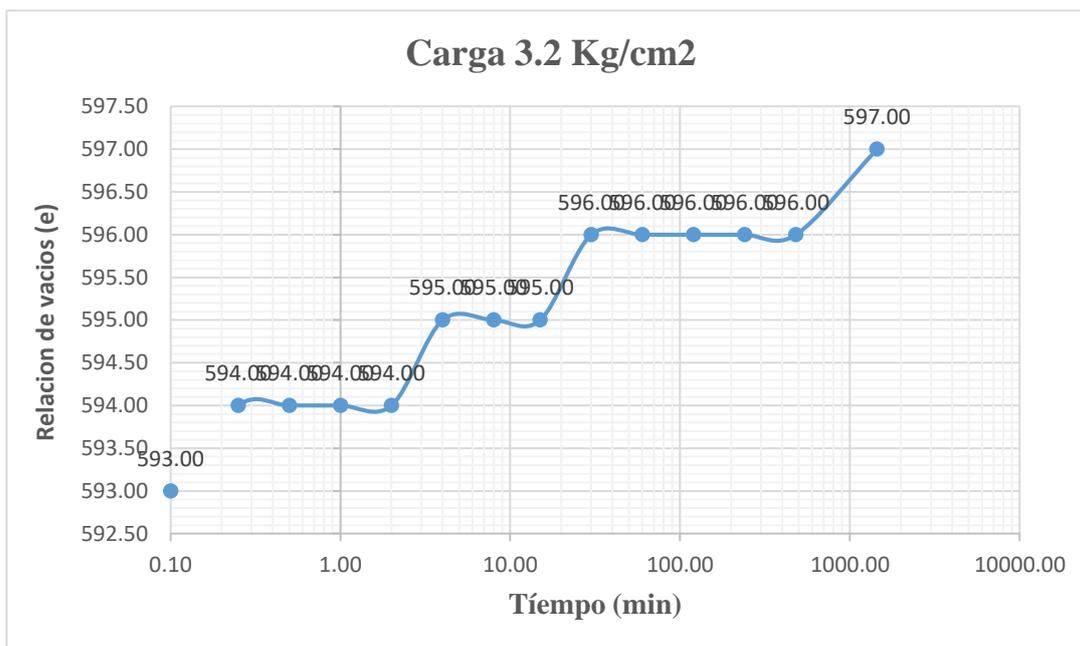


Figura 46: La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de la carga 3.2 Kg/cm2.

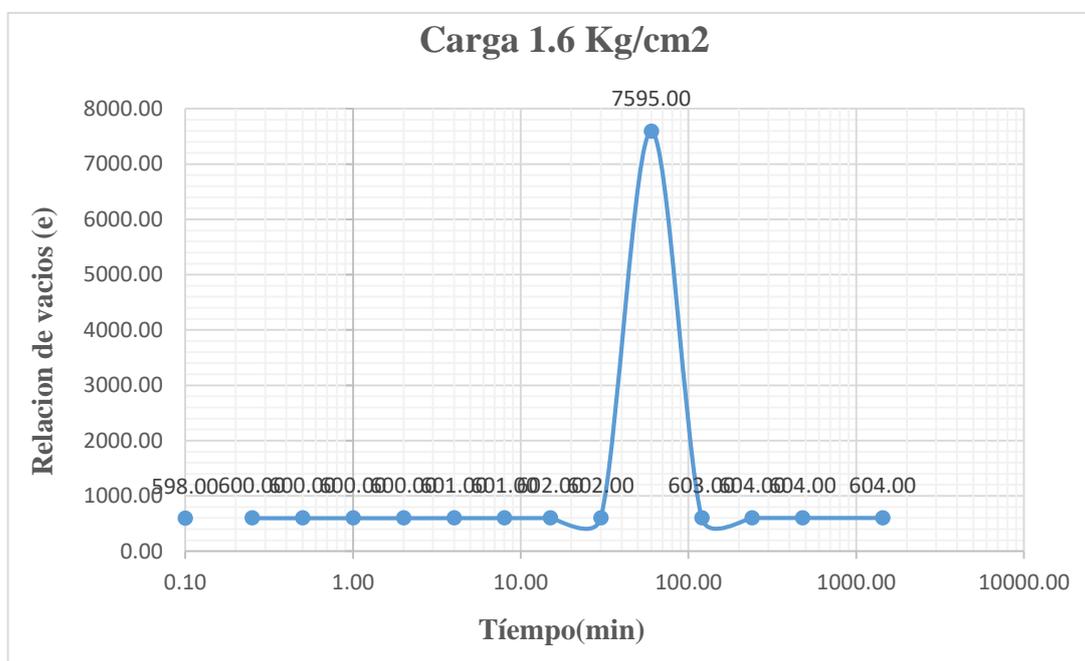
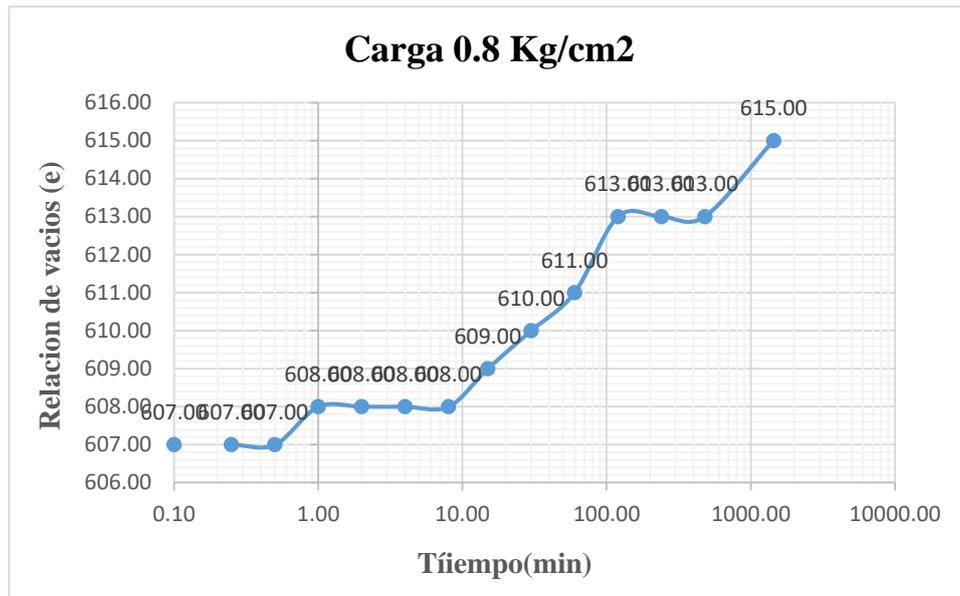


Figura 47: La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de la carga 1.6 Kg/cm2.



*Figura 48:* La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores del tiempo con la relación de vacíos mediante la aplicación de escalón de carga 0.8 Kg/cm<sup>2</sup>.

4.1.3.5 Resultado general del ensayo de consolidación.

Tabla 29: Muestra el resultado general del ensayo de consolidación.

| ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN NTP 339.154                |                             |         |  |                                  |  |                           | METODOS DE ANALISIS (e Vs t) |                       |                        |                       |
|--|-----------------------------|---------|--|----------------------------------|--|---------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN NTP 339.154 |                             |         |  |                                  |  |                           |                              |                       |                        |                       |
| Etapa  | Carga<br>kg/cm <sup>2</sup> | Dial    | Variación<br>de altura<br>$\Delta H, mm$ | Altura del<br>espécimen<br>H, mm | Deformación<br>Vertical, $\epsilon_v$<br>% | Relación de<br>vacíos (e) | Taylor                       |                       | Casagrande             |                       |
|  |                             |         |  |                                  |  |                           | Tiempo<br>t<br>90, min       | CV cm <sup>2</sup> /s | Tiempo<br>t<br>90, min | CV cm <sup>2</sup> /s |
| <b>Inicio cabezal<br/>de inundación</b>            | 0.01                        | 1001.00 | 0.00                                     | 19.75                            | 0.00                                       | 0.748                     |                              |                       |                        |                       |
|  |                             |         |  | 19.75                            | 0.00                                       | 0.748                     |                              |                       |                        |                       |
|  | 0.01                        | 1000.00 | 0.01                                     | 19.74                            | 0.05                                       | 0.747                     |                              |                       |                        |                       |
| 1  | 0.2                         | 994.60  | 0.06                                     | 19.69                            | 0.32                                       | 0.743                     | 49.00                        | 2.88 E-04             | 14.00                  | 2.35 E-04             |
| 2  | 0.4                         | 981.00  | 0.20                                     | 19.55                            | 1.01                                       | 0.731                     | 25.00                        | 5.65 E-04             | 6.00                   | 5.47 E-04             |
| 3  | 0.8                         | 957.80  | 0.43                                     | 19.32                            | 2.19                                       | 0.710                     | 20.30                        | 6.96 E-04             | 5.00                   | 6.57 E-04             |
| 4  | 1.6                         | 925.80  | 0.75                                     | 19.00                            | 3.81                                       | 0.682                     | 7.30                         | 1.94 E-04             | 1.80                   | 1.82 E-04             |
| 5  | 3.2                         | 880.00  | 1.21                                     | 18.54                            | 6.13                                       | 0.641                     | 16.80                        | 8.41 E-04             | 4.10                   | 8.01 E-04             |
| 6  | 6.4                         | 822.90  | 1.78                                     | 17.97                            | 9.02                                       | 0.591                     | 20.30                        | 6.96 E-04             | 5.00                   | 6.57 E-04             |
| 7  | 3.20                        | 829.80  | 1.71                                     | 18.04                            | 8.67                                       | 0.597                     |                              |                       |                        |                       |
| 8  | 1.60                        | 838.40  | 1.63                                     | 18.13                            | 8.23                                       | 0.604                     |                              |                       |                        |                       |
| 9  | 0.80                        | 850.00  | 1.51                                     | 18.24                            | 7.64                                       | 0.615                     |                              |                       |                        |                       |

Tabla 29: Muestra los resultados generales del ensayo de consolidación unidimensional en muestra inalterada del suelo arcilloso.

4.1.3.6: Cálculo del asentamiento por consolidación.

4.1.3.6.1 Asentamiento por consolidación primaria.

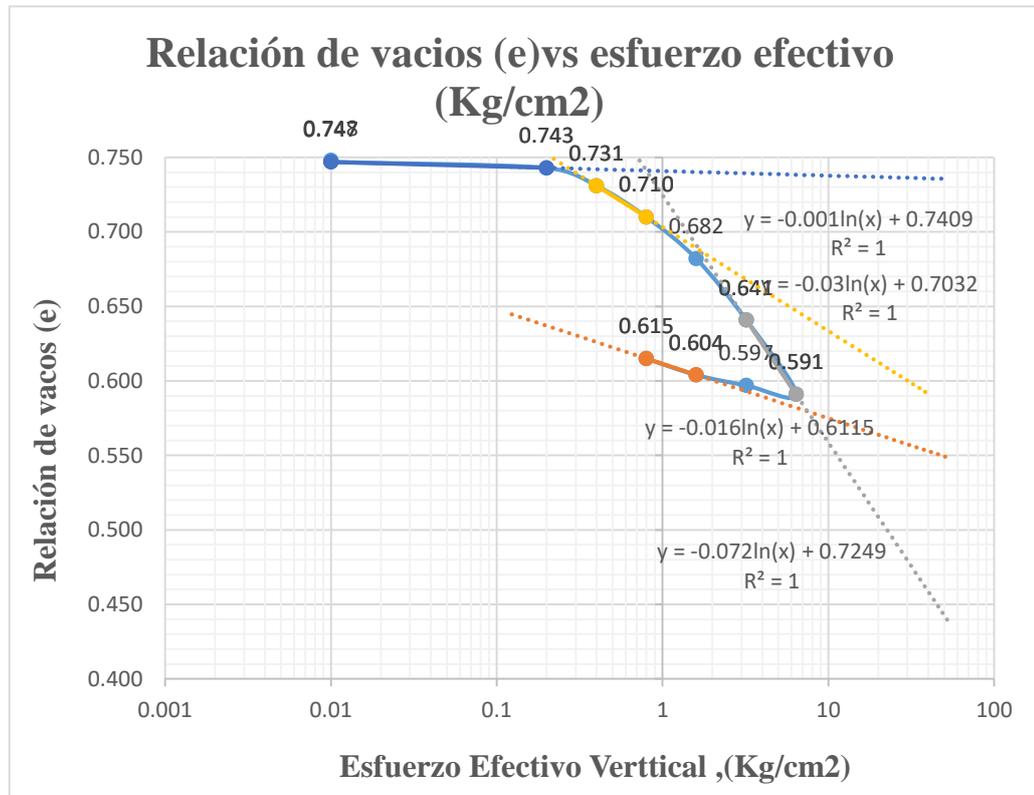


Figura 49: La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores del esfuerzo efectivo y la relación de vacíos.

$$C_c = 0.072$$

$$C_s = 0.016$$

$$S_c = \frac{0.156}{(1+0.692)} 0.02m$$

$$S_c = 0.184 \text{ cm}$$

- SC: Asentamiento por consolidación primaria.
- Cc: Índice de compresión.
- Cs: Índice de expansión

#### 4.1.3.6.2 Cálculo del asentamiento por consolidación mediante el ensayo con el odómetro.

Si el asentamiento de un estrato de suelo, se mide en centímetros por medio de los ensayos con el odómetro o consolidó metro ( $Q_c$ ). Se puede emplear la fórmula siguiente.

$$Q_c = mv \times \sigma_v \times H$$

$$mv = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma' (1 + e_{av})}$$

$$mv = \frac{0.156}{6.2 * (1 + 0.692)}$$

$$mv = 0.0149$$

$$Q_c = 0.0149 \times 8.6 \times 2.00 \text{ cm}$$

$$Q_c = 0.256 \text{ cm}$$

$$mv = 0.0149 \text{ (cm}^2\text{/kg)}$$

$$H = 2.00 \text{ cm}$$

$$\sigma'_v = 8.6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

- $mv$  = Coeficiente medio de compresibilidad de volumen (cm<sup>2</sup>/kg) obtenido para un incremento de presión en el estrato que se considere.
- $\sigma'_v$  = Tensión media vertical efectiva (kg/cm<sup>2</sup>) que soporta el estrato considerado, como resultado de la presión efectiva de cimentación  $q_c$ .
- $H$  = Espesor (m) del estrato considerado.
- $\Delta e$  = Cambio total de la relación de vacíos ocasionada por un incremento en el esfuerzo efectivo  $\Delta \sigma'$ .
- $e_{av}$  = Relación de vacíos promedio durante la consolidación.
- $\Delta \sigma'$  = Incremento en el esfuerzo efectivo.

#### 4.1.3.6.3 Cálculo del asentamiento inmediato ( $Q_i$ ).

El asentamiento neto inmediato ( $Q_i$ ), es decir el asentamiento elástico bajo el centro de una zona flexible cargada, se calcula mediante la ecuación.

$$Q_i = q_n \times B \times (1 - \mu^2/E) \times I_p \text{ (m)}$$

$$Q_i = 3.9 \text{ Kg/cm}^2 \times 2 \times 2.5 \times (1 - 0.5^2/E) \times 1.358 \text{ cm/m}$$

$$Q_i = 0.382 \text{ cm}$$

- $B = 2.5 \text{ m}$
- $E = 52.17 \text{ Kg/cm}^2$
- $\mu = 0.5$
- $q_n = 1.3 \text{ Kg/cm}^2$
- $I_p \text{ Esquina} = 0.679 \text{ cm/m}$
- $I_p \text{ Centro} = 1.358 \text{ cm/m}$

Donde:

- $B =$  Ancho de la cimentación (m)
- $E =$  Modulo de elasticidad de la arcilla ( $\text{Kg/cm}^2$ ) (tomado de la relación tensión - deformación)
- $\mu =$  Coeficiente de poisson de la arcilla ( $\mu = 0.5$ )
- $q_n =$  Presión neta de cimentación ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- $I_p =$  Factor de influencia

4.1.3.6.4 Cálculo del asentamiento final ( $Q_f$ ). El asentamiento final es la suma del asentamiento inmediato y el asentamiento por consolidación.

$$Q_f = Q_i + Q_c$$

$$Q_f = 0.382 \text{ cm} + 0.256 \text{ cm}$$

$$Q_f = 0.638 \text{ cm}$$

#### 4.1.4 Resultados del análisis y evaluación de la permeabilidad del suelo arcilloso

Tabla 30: Muestra la variación de la relación de vacíos por la aplicación de los diferentes escalones de carga del ensayo de consolidación.

| ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN NTP 339.154 |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| RELACIÓN DE VACÍOS (e)              |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| Tiempo                              | Etapa de carga            |                           |                           |                           |                           |                           |
| t(min)                              | 0.2<br>kg/cm <sup>2</sup> | 0.4<br>kg/cm <sup>2</sup> | 0.8<br>kg/cm <sup>2</sup> | 1.6<br>kg/cm <sup>2</sup> | 3.2<br>kg/cm <sup>2</sup> | 6.4<br>kg/cm <sup>2</sup> |
| 0.00                                | 0.747                     | 0.743                     | 0.731                     | 0.71                      | 0.682                     | 0.641                     |
| 0.10                                | 0.745                     | 0.738                     | 0.724                     | 0.703                     | 0.668                     | 0.624                     |
| 0.25                                | 0.745                     | 0.738                     | 0.723                     | 0.701                     | 0.665                     | 0.62                      |
| 0.50                                | 0.745                     | 0.737                     | 0.723                     | 0.699                     | 0.663                     | 0.619                     |
| 1.00                                | 0.745                     | 0.737                     | 0.722                     | 0.697                     | 0.662                     | 0.617                     |
| 2.00                                | 0.745                     | 0.737                     | 0.721                     | 0.695                     | 0.661                     | 0.615                     |
| 4.00                                | 0.744                     | 0.736                     | 0.72                      | 0.694                     | 0.658                     | 0.612                     |
| 8.00                                | 0.744                     | 0.736                     | 0.718                     | 0.692                     | 0.656                     | 0.608                     |
| 15.00                               | 0.744                     | 0.735                     | 0.717                     | 0.69                      | 0.653                     | 0.605                     |
| 30.00                               | 0.744                     | 0.734                     | 0.716                     | 0.688                     | 0.65                      | 0.602                     |
| 60.00                               | 0.743                     | 0.733                     | 0.715                     | 0.686                     | 0.648                     | 0.598                     |
| 120.00                              | 0.743                     | 0.733                     | 0.713                     | 0.685                     | 0.646                     | 0.595                     |
| 240.00                              | 0.743                     | 0.732                     | 0.712                     | 0.684                     | 0.644                     | 0.594                     |
| 480.00                              | 0.743                     | 0.731                     | 0.711                     | 0.683                     | 0.642                     | 0.592                     |
| 1440.00                             | 0.743                     | 0.731                     | 0.71                      | 0.682                     | 0.641                     | 0.591                     |

Tabla 30: Muestra el resultado de la relación de vacíos obtenido, por medio de la aplicación de los diferentes escalones de carga a la muestra de suelo arcilloso.

$$CV = \frac{K}{mV \gamma_w}$$

$$CV = \frac{K}{\frac{\Delta e}{\Delta \sigma' (1 + e_{av})} \gamma_w}$$

$$k = Cv * mv * \gamma_w$$

$$mv = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma' (1 + e_{av})}$$

$$mv = \frac{0.156}{6.2 * (1 + 0.692)}$$

$$mv = 0.0149 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_w = 0.001 \text{ kg/cm}^3$$

Donde:

- $K$ = Constante de permeabilidad de la arcilla ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ).
- $Cv$ = Coeficiente de consolidación ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ).
- $\Delta e$ = Cambio total de la relación de vacíos ocasionada por un incremento en el esfuerzo efectivo  $\Delta \sigma'$ .
- $e_{av}$  = Relación de vacíos promedio durante la consolidación.
- $mv$  = Coeficiente de compresibilidad volumétrica ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ ).
- $\Delta \sigma'$ = Incremento en el esfuerzo efectivo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).
- $\gamma_w$ =Peso específico del agua ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ).

Tabla 31: Muestra los valores del coeficiente de permeabilidad k.

| Carga de consolidación | Coeficiente de consolidación metodo de (Taylor) | Coeficiente de compresibilidad volumétrica (mv) | Peso específico del agua ( $\gamma_w$ ) | Permeabilidad hidráulica de la arcilla (K) | Permeabilidad hidráulica promedio (K) |
|------------------------|---|---|---|--|---------------------------------------|
| kg/cm <sup>2</sup>     | CV (cm <sup>2</sup> /s)                         | mv (cm <sup>2</sup> /kg)                        | $\gamma_w$ (Kg/cm <sup>3</sup> )        | k (cm <sup>3</sup> /s)                     | K1 (cm/s)                             |
| 0.2                    | 0.000288  | 0.0149  | 0.001                                   | 4.29 x E-09                                | <b>8.15X E-09</b>                     |
| 0.4                    | 0.000565  | 0.0149  | 0.001                                   | 8.42 x E-09                                |                                       |
| 0.8                    | 0.000696  | 0.0149  | 0.001                                   | 1.04 x E-08                                |                                       |
| 1.6                    | 0.000194  | 0.0149  | 0.001                                   | 2.89 x E-09                                |                                       |
| 3.2                    | 0.000841  | 0.0149  | 0.001                                   | 1.25 x E-08                                |                                       |
| 6.4                    | 0.000696  | 0.0149  | 0.001                                   | 1.04 x E-08                                |                                       |

Tabla 31: Muestra los valores del coeficiente de permeabilidad (k) determinados con el coeficiente de consolidación (CV) determinados por el método de Taylor.

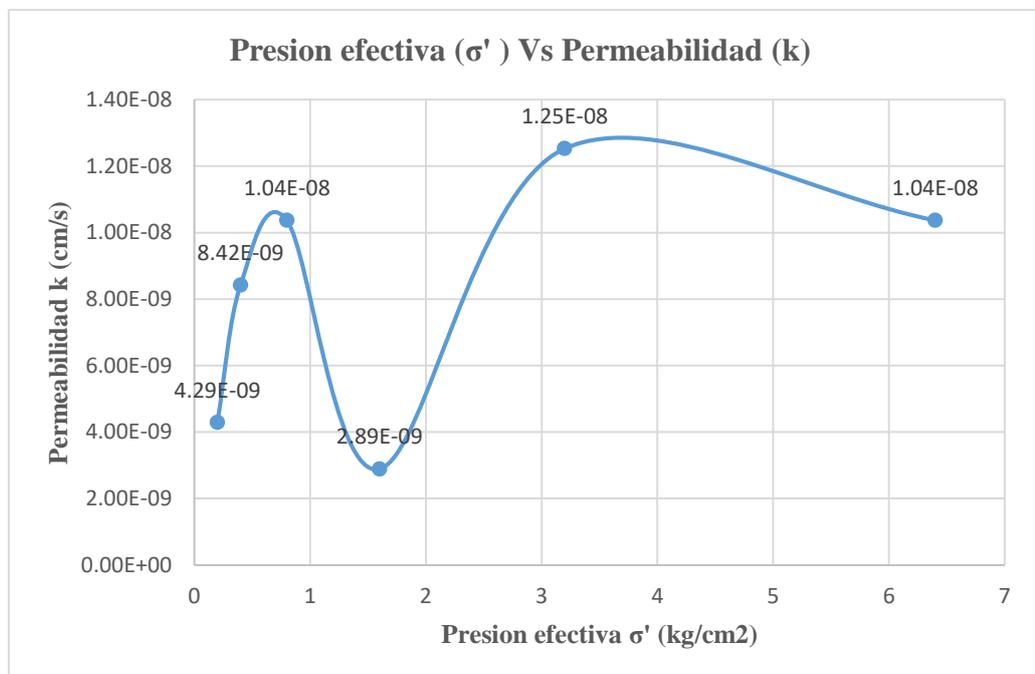


Figura 50: La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores de la presión efectiva  $\sigma'$  (kg/cm<sup>2</sup>) y la permeabilidad k (cm/s).

Tabla 32: Muestra los valores de del coeficiente de permeabilidad k.

| Carga de consolidación | Coficiente de consolidación método de (Casagrande) | Coficiente de compresibilidad volumétrica (mv) | Peso específico del agua ( $\gamma_w$ ) | Permeabilidad hidráulica de la arcilla (k) | Permeabilidad hidráulica promedio (k) |
|------------------------|--|--|---|--|---------------------------------------|
| kg/cm <sup>2</sup>     | CV (cm <sup>2</sup> /s)                            | mv (cm <sup>2</sup> /kg)                       | $\gamma_w$ (Kg/cm <sup>3</sup> )        | K (cm <sup>3</sup> /s)                     | K2 (cm/s)                             |
| 0.2                    | 0.000235   | 0.0149   | 0.001                                   | 3.50 X E-09                                | <b>7.75 E-09</b>                      |
| 0.4                    | 0.000547   | 0.0149   | 0.001                                   | 8.15 X E-09                                |                                       |
| 0.8                    | 0.000657   | 0.0149   | 0.001                                   | 9.79 X E-09                                |                                       |
| 1.6                    | 0.000182   | 0.0149   | 0.001                                   | 2.71 X E-09                                |                                       |
| 3.2                    | 0.000801   | 0.0149   | 0.001                                   | 1.25 X E-08                                |                                       |
| 6.4                    | 0.000657   | 0.0149   | 0.001                                   | 9.79X E-09                                 |                                       |

Tabla 32: Muestra los valores del coeficiente de permeabilidad (k) obtenidos con el coeficiente de consolidación (CV), determinados con el método de Casagrande.

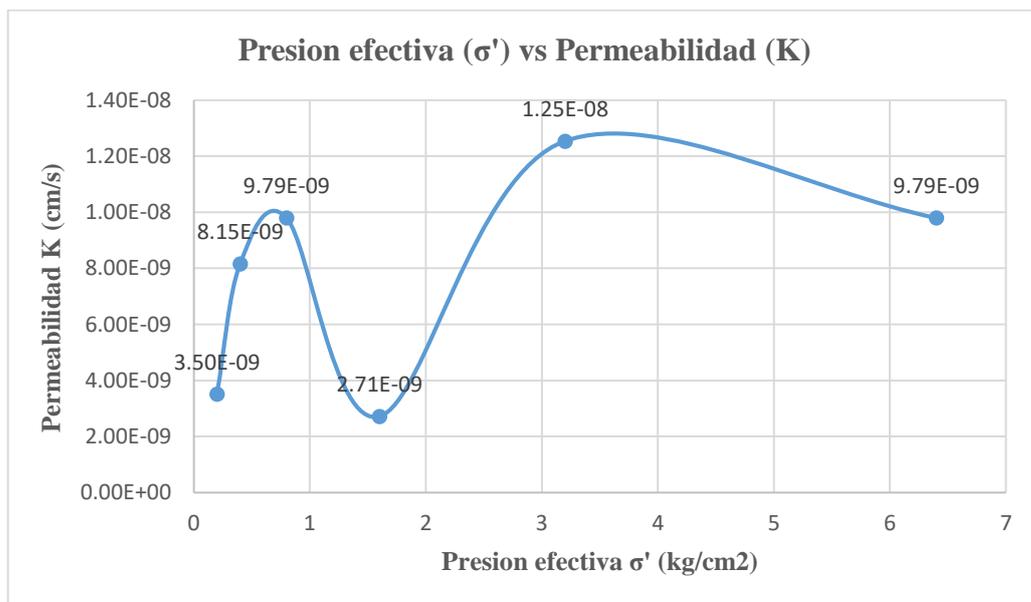


Figura 51: La figura ilustra las imágenes de la gráfica de los valores de la presión efectiva  $\sigma'$  (kg/cm<sup>2</sup>) y la permeabilidad k (cm/s).

#### 4.1.5 Resultados del cuadro de cargas de la estructura.

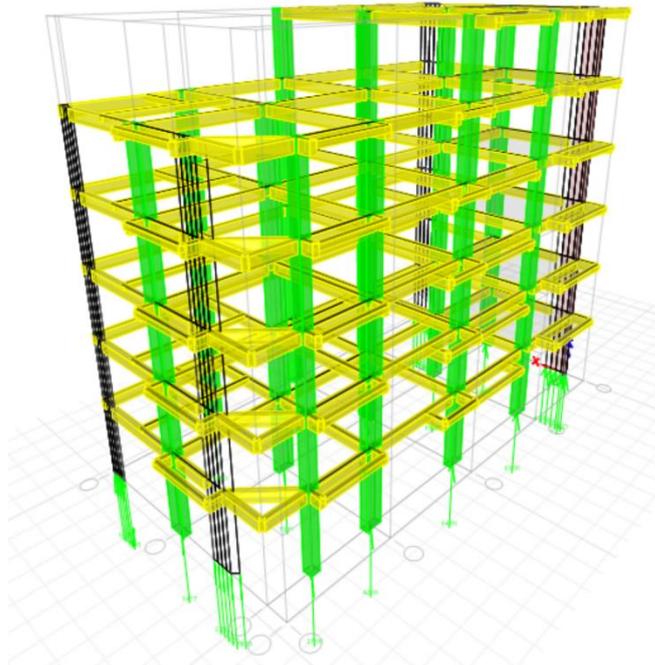


Figura 52: La figura ilustra las imágenes de la configuración estructural con las cargas transmitidas de la edificación.

Tabla 33: Muestra los valores resumen de las cargas transmitidas por la estructura.

| CUADRO GENERAL DE CALCULO DE DIMENSIONES DE ZAPATA |                 |                |          |            |                               |                      |
|--|-----------------|----------------|----------|------------|-------------------------------|----------------------|
| EJE DE CONSTRUCCION                                | TIPO DE COLUMNA | TIPO DE ZAPATA | CARGA KG | CARGA (Tn) | CARGA ADMISIBLE (Qadm) Kg/cm2 | DIMENSIONES LXB (m2) |
| EJE 1  | CL-03           | Z2             | 42040    | 42.04      | 1.37                          | 3.069                |
|  | C-02            | Z2             | 39320    | 39.32      | 1.37                          | 2.870                |
|  | C-02            | Z2             | 70660    | 70.66      | 1.37                          | 5.158                |
|  | C-02            | Z2             | 102470   | 102.47     | 1.37                          | 7.480                |
|  | C-02            | Z2             | 90050    | 90.05      | 1.37                          | 6.573                |
|  | CL-01           | Z3             | 74420    | 74.42      | 1.37                          | 5.432                |
| EJE 2  | C2              | Z1             | 51820    | 51.82      | 1.37                          | 3.782                |
|  | C1              | Z1             | 122030   | 122.03     | 1.37                          | 8.907                |
|  | C1              | Z1             | 137880   | 137.88     | 1.37                          | 10.064               |
|  | C1              | Z2             | 140410   | 140.41     | 1.37                          | 10.249               |
|  | C2              | Z2             | 75350    | 75.35      | 1.37                          | 5.500                |
| EJE 3  | CL-02           | Z3             | 37210    | 37.21      | 1.37                          | 2.716                |
|  | C-2             | Z2             | 77690    | 77.69      | 1.37                          | 5.671                |
|  | C-2             | Z2             | 91610    | 91.61      | 1.37                          | 6.687                |
|  | C-2             | Z2             | 82540    | 82.54      | 1.37                          | 6.025                |
|  | CL-01           | Z3             | 62840    | 62.84      | 1.37                          | 4.587                |

Tabla 33: Muestra los valores del Predimensionamiento de las zapatas de la estructura.

#### 4.1.6 Resultados del tipo de cimentación propuesta.

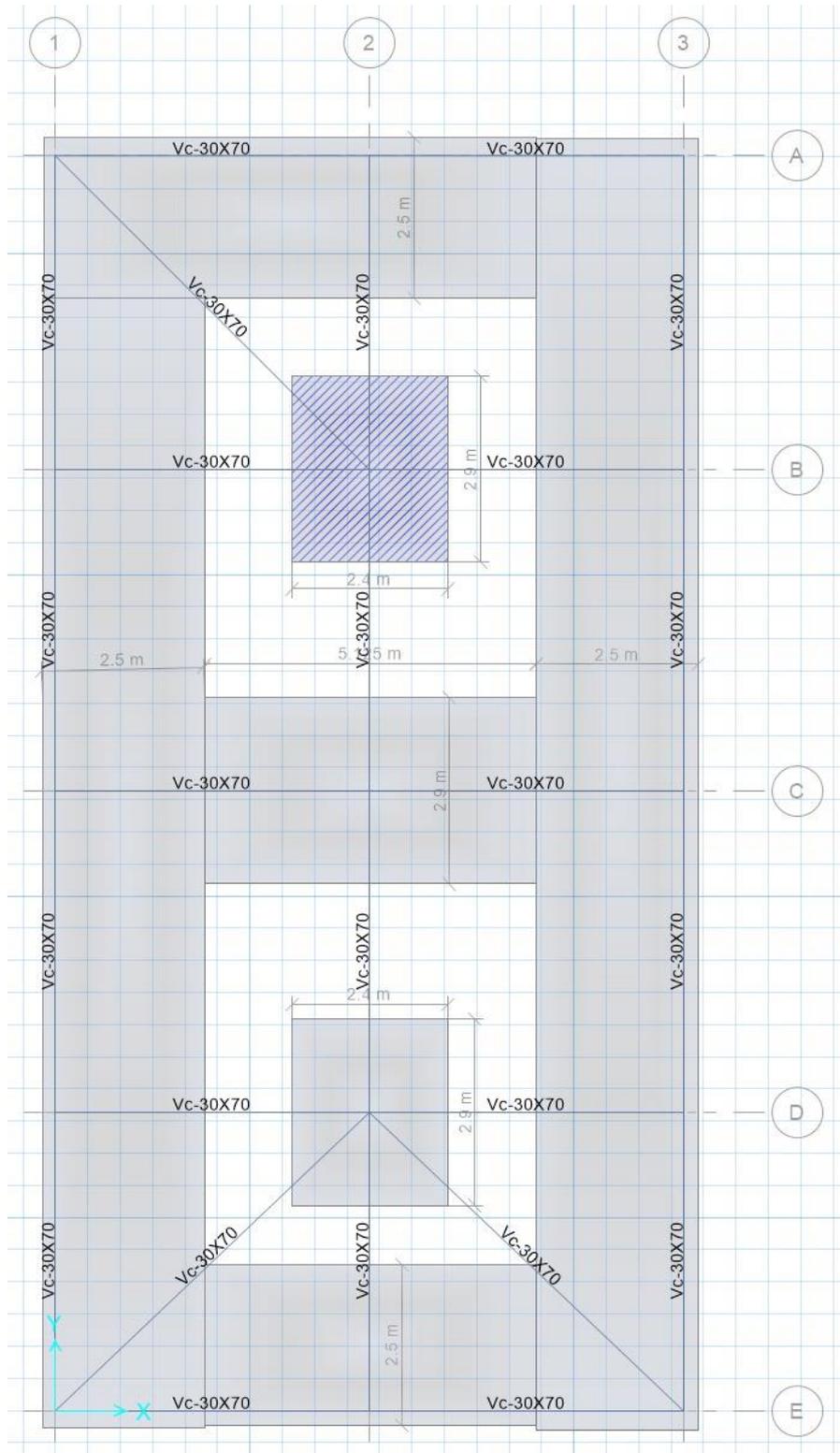


Figura 53: La figura ilustra las imágenes del tipo cimentación propuesta.

## 4.2 Discusión de resultados.

- Los parámetros de resistencia mecánica como la cohesión  $C=0.00$  (Kg/cm<sup>2</sup>) y el Angulo de fricción interna( $\phi=29.2$ ) ,para un ancho de cimiento de  $B=2.5$  m y una profundidad de desplante  $D_f=2.00$  m, muestran una capacidad admisible  $Q_{adm}=1.10$  (Kg/cm<sup>2</sup>) por el método de Terzaghi y  $Q_{adm}=1.75$  (Kg/cm<sup>2</sup>) por el método de Meyerhof, en condiciones de saturación completa de la muestra inalterada Y Para la calicata C2 Los parámetros de resistencia mecánica como la cohesión ( $C=0.29$  (Kg/cm<sup>2</sup>) y el Angulo de fricción interna( $\phi=12.1$ ), para un ancho de cimiento  $B=2.5$ m y una profundidad de desplante  $D_f=2.00$  m, muestran una capacidad admisible  $Q_{adm}=1.25$  (Kg/cm<sup>2</sup>) por el método de Terzaghi y  $Q_{adm}=1.38$  (Kg/cm<sup>2</sup>) por el método de Meyerhof. Lo que se puede apreciar de los resultados de la investigación es que a mayores valores de parámetros de resistencia al corte como la (C) y ( $\phi$ ), se obtiene mayores capacidades admisibles podemos afirmar de los resultados que la capacidad de carga admisible influye en proponer un tipo de cimentación técnica y económicamente más aceptable para las condiciones del tipo de suelo arcilloso (CH) arcilla de alta plasticidad.
- El asentamiento por consolidación obtenidos mediante los ensayos con el odómetro o consolidado metro al someter una muestra inalterada de suelo de tipo (CH), confinada dentro de un anillo metálico y en condiciones saturación completa con las dimensiones de  $D=6.00$  cm de diámetro y  $H=2.00$ cm de altura , al someterle incrementos graduales de carga y descarga, cada incremento de carga tiene una duración de 24 horas, produciendo deformación y cambios en la relación de vacíos de la muestra de suelo arcilloso , mediante estos cambios de la relación de vacíos, se pueden determinar el coeficiente de variación volumétrica  $m_v$  (cm<sup>2</sup>/Kg) y el coeficiente de consolidación  $C_v$  (cm<sup>2</sup>/s), los cuales se emplean para el cálculo del asentamiento por consolidación ( $Q_c$ ) ,el asentamiento final  $Q_f = 0.638$  cm, es la suma del asentamiento inmediato ( $Q_i$ ) y por consolidación ( $Q_c$ ) ,lo que se puede afirmar de la investigación es que cuanto menor sea el asentamiento desarrollado por las cargas transmitidas más segura será la edificación por lo que el parámetro de deformación influye en proponer un tipo de cimentación técnica y económicamente más aceptable para las condiciones del tipo de suelo arcilloso (CH) arcilla de alta plasticidad .

- El cálculo del coeficiente de permeabilidad (K), obtenido a partir del ensayo de consolidación, mediante los valores del coeficiente de consolidación CV (cm<sup>2</sup>/s) obtenido mediante los métodos de Casagrande y Taylor de los gráficos de deformación y tiempo, La permeabilidad K (cm/s) relaciona de manera directamente proporcional el coeficiente de consolidación Cv (cm<sup>2</sup>/s) el coeficiente de compresibilidad volumétrica mv (cm<sup>2</sup>/Kg) y el peso específico del agua Yw (Kg/cm<sup>3</sup>), obteniendo resultados de permeabilidad de K1=8.15X10<sup>-9</sup> (cm/s) y K2=7.75 X10<sup>-9</sup> (cm/s), Estos resultados indican una permeabilidad muy baja de la arcilla de tipo (CH), lo que influye de manera importante en proponer un tipo de cimentación de zapatas rectangulares combinadas y zapatas centrales aisladas, por la baja permeabilidad del tipo de suelo arcilloso para distribuir de mejor forma las cargas de la edificación.

#### 4.3 Prueba de hipótesis

- La hipótesis específica 1, los parámetros de resistencia mecánica del suelo arcilloso de tipo (CH), arcilla de alta plasticidad para la calicata C1 de C'=0.00 (kg/cm<sup>2</sup>) y φ'=29.2, y para la calicata C2 de C'=0.29 (kg/cm<sup>2</sup>) y φ'=12.1, influye en proponer un tipo de cimentación de zapatas rectangulares combinadas y zapatas centrales aisladas para una capacidad admisible Qadm=1.37 Kg/cm<sup>2</sup> por observarse en la investigación que cuanto mayor sea el valor de estos parámetros mecánicos del suelo se obtendrá mayores capacidades admisibles Qadm (Kg/cm<sup>2</sup>).
- La hipótesis específica 2, los parámetros de deformación o asentamiento del suelo arcilloso de tipo (CH), arcilla de alta plasticidad para la calicata, C1 es de Qf=0.638 cm, que es la suma del asentamiento inmediato (Qi) y el asentamiento por consolidación (Qc) para un ancho B=2.50 m y desplante Df=2.00 m y Qadm=1.37 Kg/cm<sup>2</sup> obtenida mediante los ensayos con el consolidado metro, por observarse en la investigación que cuanto menor sea el valor del asentamiento más segura y económica será la edificación.
- La hipótesis específica 3, los parámetros de permeabilidad hidráulica del suelo arcilloso de tipo (CH), arcilla de alta plasticidad para la calicata, C1 de K1= 8.15 E-09 cm/s) y K2= 7.75 E-09 (cm/s), para muestras inalteradas, muestran una permeabilidad muy baja lo que implica realizar una mejor distribución de las cargas para evitar asentamientos.

### **Conclusiones:**

- Se obtiene una capacidad admisible final promedio por los métodos Terzaghi y Meyerhof de  $(Q_{adm}) = 1.37 \text{ Kg/cm}^2$ , podemos afirmar de los resultados de la investigación que la capacidad de carga admisible, influye en proponer un tipo de cimentación técnica y económicamente más aceptable de zapatas rectangulares combinadas y zapatas centrales aisladas para las condiciones del tipo de suelo arcilloso (CH) arcilla de alta plasticidad.
- El asentamiento final es de  $Q_f = 0.638 \text{ cm}$ , lo que se puede afirmar de la investigación es que cuanto menor sea el asentamiento desarrollado por las cargas más segura será la edificación por lo que el parámetro de deformación influye en proponer un tipo de cimentación técnica y económicamente más aceptable para las condiciones del tipo de suelo arcilloso (CH), arcilla de alta plasticidad.
- La permeabilidad (K), del suelo arcilloso del lugar de investigación muestra los siguientes resultados  $K_1 = 8.15 \times 10^{-9}$  y  $K_2 = 7.75 \times 10^{-9}$ , Estos resultados indican una permeabilidad muy baja lo que influye de manera importante en proponer un tipo de cimentación de zapatas rectangulares combinadas y zapatas centrales aisladas para las condiciones del tipo de suelo arcilloso (CH), arcilla de alta plasticidad.

### **Recomendaciones:**

- Se recomienda que, durante la etapa de muestreo del suelo, para la extracción de muestras se tome especial cuidado en emplear materiales adecuados para realizar el corte y protección de la muestra de suelo arcilloso de tipo (CH), para obtener resultados óptimos de los parámetros de resistencia al corte.
- Se recomienda que los factores de seguridad, para capacidad de carga última se estime entre 2 y 3 para reducir los posibles errores cometidos durante la exploración, muestreo y los ensayos de laboratorio.

- Se recomienda que durante el ensayo de compresión triaxial tipo (CU), se someta la muestra de suelo a las condiciones de 100 % de saturación, para considerar las condiciones más críticas del estado de humedad en campo.
- Se plantea realizar un tipo de cimentación de zapatas rectangulares combinadas y zapatas centrales aisladas, conectadas mediante vigas de conexión, tomando en consideración las dimensiones de ancho ( $B=2.50$  m) Y profundidad de desplante ( $D_f=2.00$  m), cuya capacidad de carga admisible correspondiente es  $Q_{adm}=1.37$  Kg/cm<sup>2</sup>.

## Referencias bibliográficas:

- ALVA HURTADO J. E. (2007). Diseño de cimentaciones (ICG) Lima - Perú.
- BOWLES, J. E. (1978). Análisis y diseño de fundaciones. México.
- BOWLES, J. E. (1978). Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. México.
- BERROCAL CANCHARI, J. C. (2013). Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo (tesis de posgrado) Universidad Nacional de Ingeniería.
- CONTENTO LOYOLA, Adrián F. (2017). Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial. CU Y UU. (Tesis de pregrado) Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- DAS, B. M. (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. México.
- DAS, B. M. (2016). Fundamentos de ingeniería geotécnica. México.
- EVARIST MORENO, J. (2018) Medición de presión de poro y cambio volumétrico en ensayos triaxiales consolidados no drenados y consolidados drenados, por medio del aparato Bishop.(tesis de grado) Universidad San Carlos de Guatemala.
- GONZALES Mauricio y ORTIZ D. (2017). Análisis del comportamiento de un suelo arcilloso de Bogotá sometido a carga y descarga parcial cíclica. (tesis de pregrado). Universidad la Gran Colombia. Bogotá.
- HERNÁNDEZ, F. (2014). Metodología de la investigación. México.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, P. (2014). Metodología de la investigación (6ta Edición). México.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., & TORRES, C. P. M. (2018). Metodología de la investigación (Vol. 4). México.

KARL TERZAGHI, R. B. (1978). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. New York.

TOMLINSON, M. J. (1971) Diseño y construcción de cimientos.

MORALES MORALES, R. (2006). Diseño en concreto armado (ICG) Lima-Perú.

NORMA TÉCNICA PERUANA (2015). NTP. Lima. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.

RALPH B. PECK, W. E. (2009). Ingeniería de cimentaciones. México.

RODRÍGUEZ, E. J. (2005). Mecánica de suelo. México.

VILLARAZ, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones (Quinta edición). México.

WHITMAN, T. W. (2004). Mecánica de suelos. Instituto Tecnológico de Massachusetts.

## **CAPÍTULO V: ANEXOS**

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Modelado de la edificación.

Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos

Anexo 4: Resultados de laboratorio

Anexo 5: Certificados de calibración de los equipos de laboratorio

Anexo 6: Fotografías.

Los anexos, panel fotográficos y otros documentos se encuentran resguardadas en la oficina de repositorio digital institucional de la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológicas de los Andes