

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Civil

“ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE LA CABAÑA MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL PARA DETERMINAR LA ÓPTIMA CAPACIDAD ADMISIBLE, DISTRITO SANTA ROSA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Junior Ali Quispe Cubas

Asesor:

Ing. Mg. Neicer Campos Vazquez

Lima - Perú

2022

DEDICATORIA

A mi hijo Facundo y mi esposa Jackelin, quienes son las personas que motivan aún más mi voluntad.

AGRADECIMIENTO

A mis Padres Luis y Ruth por su apoyo incondicional, también agradezco a los filósofos Frederich Nietzsche y Martin Heidegger por la fortuna de tener sus libros en mis manos y recibir así un regalo eterno para toda mi vida.

CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Realidad problemática.....	12
1.2. Antecedentes	16
1.3. Formulación del problema	18
1.4. Justificación.....	19
1.5. Objetivos	21
1.5.1. Objetivo general	21
1.5.2. Objetivos específicos.....	21
1.6. Hipótesis	21
1.6.1. Hipótesis general	21
1.7. Marco Teórico.....	22
1.7.1. Estudios Geotécnicos	22
1.7.2. Marco Geológico y sísmico.....	25
1.7.3. Ensayo triaxial.....	29
1.7.4. Tipo de ensayo triaxial	32
1.7.5. Equipo para ensayo triaxial	35
1.7.6. Criterios de Falla de Mohr	40
1.7.7. Capacidad de carga ultima en cimentaciones superficiales	44
1.7.8. Capacidad de carga admisible	47
1.7.9. Asentamiento inmediato o elástico	47
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	50
2.1. Tipo de investigación	50
2.2. Variables, Operacionalización de variables	50

2.2.1. Variable independiente:	50
2.2.2. Variable dependiente:	50
2.3. Población y muestra	51
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección	51
2.4.1. Técnicas	51
2.4.2. Instrumentos de recolección	52
2.4.3. Validación	52
2.5. Análisis de datos.....	52
2.6. Equipos, materiales y herramientas.....	53
2.6.1. Equipos de laboratorio	53
2.6.2. Materiales.....	53
2.6.3. Herramientas	54
2.7. Método de trabajo.....	54
2.7.1. Fase preliminar	54
2.7.2. Fase de campo.....	55
2.7.3. Fase de ensayos de laboratorio	55
2.7.3.1. Ensayos en suelos.....	55
2.7.3.2. Ensayos químicos.....	57
2.7.4. Fase de gabinete.....	57
2.8. Aspectos Éticos	58
CAPÍTULO III. RESULTADOS	60
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	60
3.1.1. Clima y temperatura.....	62
3.1.2. Precipitación	62
3.2. Realización de excavación de calicatas.....	62
3.2.1. Muestreo	63
3.3. Descripción del perfil estratigráfico.....	64
3.3.1. Calicata en estribo izquierdo C-01.....	64
3.3.2. Calicata en estribo derecho C-02.....	64
3.3.3. Calicata en pilar C-03	65

3.4. Evaluación de las propiedades físico mecánicas y químicas de los suelos, mediante los ensayos en laboratorio.	65
3.4.1. Ensayos en suelos	66
3.4.1.1. Contenido de humedad.....	66
3.4.1.2. Análisis Granulométrico por tamizado ASTM 6913.....	66
3.4.1.3. Límite líquido y Límite plástico ASTM D4318	67
3.4.1.4. Clasificación de suelos SUCS/AASHTO.....	68
3.4.1.5. Ensayo triaxial CU	69
3.4.2. Ensayos químicos	85
3.4.2.1. Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea.....	85
3.4.2.2. Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea.....	85
3.4.2.3. Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea.....	86
3.5. Determinación de la capacidad admisible y asentamiento del suelo en estudio.	87
3.6. Contrastación de hipótesis.....	91
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	95
REFERENCIAS	99
ANEXOS	102
ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Profundidad y número de puntos de exploración, mínimos, para cimentación superficial</i>	24
Tabla 2: <i>Estratigrafía de la cuenca media del Rio Chillón</i>	27
Tabla 3: <i>Efectos del sismo para la zona en estudio</i>	29
Tabla 4: <i>Ángulos de fricción para suelos granulares</i>	41
Tabla 5: <i>Métodos de cálculo de asentamientos.</i>	48
Tabla 6: <i>Procedimiento a desarrollar en la investigación</i>	59
Tabla 7: <i>Contenido de humedad ASTM D2216</i>	66
Tabla 8: <i>Resumen de distribución granulométrica</i>	67
Tabla 9: <i>Límites de consistencia</i>	68
Tabla 10: <i>Clasificación del suelo por cada calicata</i>	69
Tabla 11: <i>Condiciones y datos iniciales del ensayo triaxial</i>	70
Tabla 12: <i>Condiciones y datos iniciales después de la consolidación</i>	71
Tabla 13: <i>Datos obtenidos al estado de falla</i>	80
Tabla 14: <i>Angulo de fricción y cohesión totales y efectivos</i>	82
Tabla 15: <i>Resultados de ensayos químicos de la muestra M-02 de la calicata C-01</i>	87
Tabla 16: <i>Discusión y contrastación de antecedentes parte 1</i>	95
Tabla 17: <i>Discusión y contrastación de antecedentes parte 2</i>	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado actual del puente la cabaña (un solo carril tipo Bailey).	20
Figura 2. Mapa Geológico-minero de la zona central de la cuenca media del río Chillón.	28
Figura 3. Diagrama del equipo de prueba triaxial según Bishop y Bejum.	30
Figura 4. Secuencia de aplicación de un esfuerzo en un ensayo triaxial.	31
Figura 5. Panel de control.	36
Figura 6. Equipo de cambio de volumen.	36
Figura 7. Prensa Triaxial.....	37
Figura 8. Blader.	38
Figura 9. Membrana de goma.....	39
Figura 10. Esfuerzo total y efectivo en la envolvente de falla para pruebas triaxiales CU.....	43
Figura 11. Falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida corrida.	45
Figura 12. Factores de capacidad de carga de Terzaghi para las ecuaciones 10 y 11.	46
Figura 13. Cuadros auxiliares por tipo de suelo y forma de zapatas.....	49
Figura 14. Diagrama de flujo para ensayo triaxial CU.	56
Figura 15. Procedimiento realizado en la presente investigación.	58
Figura 16. Plano de ubicación de calicatas del proyecto.....	60
Figura 17. Vista del terreno bajo el puente La Cabaña.	61
Figura 18. Vista transversal del Puente La Cabaña.....	61
Figura 19. Foto tomada de la Prensa UTEST para ensayo triaxial en el laboratorio MTL Geotecnia.....	69

Figura 20. <i>Esfuerzos normales (σ), esfuerzos cortantes (τ); totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 50 kPa.</i>	76
Figura 21. <i>Círculos de Mohr totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 50 kPa.</i>	76
Figura 22. <i>Esfuerzos normales (σ), esfuerzos cortantes (τ); totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 100 kPa.</i>	77
Figura 23. <i>Círculos de Mohr totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 100 kPa.</i>	77
Figura 24. <i>Esfuerzos normales (σ), esfuerzos cortantes (τ); totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 200 kPa.</i>	78
Figura 25. <i>Círculos de Mohr totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 200 kPa.</i>	78
Figura 26. <i>Círculos de Mohr totales y efectivos para las 3 presiones de confinamiento de 50 kPa, 100 kPa y 200 kPa.</i>	79
Figura 27. <i>Muestra después de la falla.</i>	80
Figura 28. <i>Esfuerzo desviador vs Deformación unitaria para las 3 condiciones de confinamiento.</i>	83
Figura 29. <i>Presión de poros vs Deformación unitaria para las 3 condiciones de confinamiento.</i>	84
Figura 30. <i>Carga admisible de carga para una zapata corrida.</i>	89
Figura 31. <i>Carga admisible de carga para una zapata cuadrada.</i>	90
Figura 32. <i>Asentamiento probable para una zapata corrida.</i>	91
Figura 33. <i>Asentamiento probable para una zapata cuadrada.</i>	91
Figura 34. <i>Comparación de resultados entre ensayo corte directo y ensayo triaxial.</i>	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: <i>Ecuación de Terzagui.</i>	40
Ecuación 2: <i>Ecuación de Terzagui modificada para valores efectivos.</i>	41
Ecuación 3: <i>Ecuación del esfuerzo total principal mayor en la falla.</i>	42
Ecuación 4: <i>Esfuerzo efectivo principal mayor en la falla.</i>	42
Ecuación 5: <i>Esfuerzo efectivo principal menor en la falla.</i>	42
Ecuación 6: <i>Ecuación de centro principal total deducido del círculo de Mohr.</i>	43
Ecuación 7: <i>Ecuación de radio principal total deducido del círculo de Mohr.</i>	44
Ecuación 8: <i>Ecuación de centro efectivo principal deducido del círculo de Mohr.</i> 44	
Ecuación 9: <i>Ecuación de radio efectivo principal deducido del círculo de Mohr.</i> .. 44	
Ecuación 10: <i>Ecuación de Terzagui para cimentación corrida.</i>	45
Ecuación 11: <i>Ecuación de Terzagui para cimentación cuadrada.</i>	46
Ecuación 12: <i>Ecuación de capacidad admisible.</i>	47
Ecuación 13: <i>Ecuación de Asentamiento total.</i>	47
Ecuación 14: <i>Ecuación de Asentamiento Inmediato.</i>	49
Ecuación 15: <i>Ecuación para determinar la altura corregida.</i>	71
Ecuación 16: <i>Ecuación para determinar el Cambio de volumen durante la saturación leído en las buretas.</i>	72
Ecuación 17: <i>Ecuación para determinar el área corregida después de la consolidación.</i>	72
Ecuación 18: <i>Ecuación para hallar el esfuerzo desviador.</i>	73
Ecuación 19: <i>Ecuación para hallar el esfuerzo normal.</i>	75
Ecuación 20: <i>Ecuación para hallar el esfuerzo cortante.</i>	75

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación es calcular la capacidad admisible de suelo para cimentación del Puente La Cabaña mediante 3 calicatas, cada una de 3 m de profundidad, las muestras obtenidas fueron llevadas al Laboratorio de la empresa MTL Geotecnia donde se realizaron todos los ensayos que se describen en el desarrollo de los siguientes capítulos.

El resultado obtenido de los ensayos de granulometría fue que el suelo presenta un horizonte uniforme que se clasifica como una Grava bien gradada con limo y arena, No plástica; el contenido de humedad es en promedio 4.6%.

El tipo de ensayo triaxial utilizado en la presente investigación es el consolidado no drenado (CU) debido a que se está considerando la condición más desfavorable ósea en época de invierno cuando por el riachuelo cursa agua por lo que el suelo estará en condición saturada, la exploración fue realizada en época de verano, la muestra fue remoldeada de la cual se obtuvo la cohesión y ángulo de fricción para finalmente calcular la capacidad admisible.

Palabras claves: Ensayo triaxial, capacidad admisible, cimentación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

La carretera Lima-Canta es actualmente la mejor ruta alterna a la colapsada carretera Central, esta vía ayuda a mejorar el transporte comercial proveniente de Cerro de Pasco además se suma el creciente turismo que emerge principalmente en el tramo Lima-Santa Rosa de Quives lugar turístico que inicialmente atraía por la antigua casa donde vivió la Santa Patrona y que ahora también atrae por sus centros recreacionales que han aumentado considerablemente en los últimos años.

La provincia de Canta ofrece diversas alternativas turísticas y gastronómicas que le han permitido convertirse en una de las zonas más frecuentadas de los limeños en busca de recreación siendo uno de los principales atractivos el distrito de Santa Rosa de Quives y Obrajillo. El turismo en esta provincia, se ha convertido en una principal fuente de ingresos, después de las actividades de agricultura y ganadería. (Navas Maza, 2020)

El clima cálido, de Santa Rosa de Quives; durante casi todo el año lo hace muy atrayente para el viajero Limeño, pero uno de los problemas más frustrantes y en general para todo el que transita la zona, es que ha solo un kilómetro para llegar desde Lima a Santa Rosa de Quives nos encontramos con el puente La Cabaña el cual es de tipo Bailey-puente temporal- de un solo carril y en tiempos festivos se congestiona y genera un tráfico enorme.

La carretera ha sido considerada según el estudio de tráfico como de primera clase, carretera con una calzada de dos carriles, sin embargo, el puente la cabaña solo tiene un carril por lo que no cumple con los requerimientos mínimos para la cual ha sido proyectada y ejecutada la carretera Lima-Canta este tipo de incoherencias afectan el turismo, la economía, la productividad y el comercio de la región.

La razón de ser de un puente es garantizar la conectividad de manera segura el cual influye directamente en el desarrollo del turismo, la producción, la economía de una población y el país.

Para cumplir la razón de ser de un puente es necesario considerar aspectos de diseño, tales como obstáculos superados, vistas laterales, cantidad de vanos libres, área de soporte que constituye el material, naturaleza del tránsito fluvial y otros según lo demande el proyecto para el cual se necesita un equipo multidisciplinario que normalmente se cumple cuando el proyecto es de gran envergadura, pero cuando son de pequeño o mediano tamaño el diseño recae en un número mínimo de personas. (Mascia & Sartorti, 2011)

En el capítulo IX del libro Puentes y Viaductos, se menciona que mientras más compleja sea la estructura y la geotecnia de un puente, más importante debe ser el mantenimiento. Por ninguna razón debe ser abandonado después de su entrega por parte del Concesionario o del Estado. La importancia del monitoreo y mantenimiento pueden llegar a estar a la par del diseño y de la construcción misma de puente ya que

de ella también depende su ciclo de vida. Lamentablemente en los países latinoamericanos no se tiene la costumbre de un adecuado monitoreo y mantenimiento de los puentes. (Romo, 2019)

Para lograr tener un adecuado monitoreo y mantenimiento de puentes se debe tener implementado un sistema de gestión de puentes. En el Perú, desde el año 1996 se comenzó a desarrollar herramientas para la gestión de puentes sin embargo no ha sido hasta el año 2017 donde se han obtenido resultados significativos debido a la falta de planificación y al constante cambio a nivel de gerencias técnicas sobre todo en el MTC y Provias Nacional. (Pecho, 2019)

El actual sistema de puentes del Perú puede ser consultado mediante la página web de Provias. Indagando pudimos ver un resumen del estado de Puentes de la Red Vial Nacional realizada el año 2016, donde el 59% que equivale a 1646 puentes están en una situación “No adecuada”. El sistema de puentes de Provias solo tiene información hasta el año 2016 pero se sabe que el Fenómeno del niño del año 2017 agravó mucho la situación de los puentes en toda la Red Vial, según el Informe del COEN sobre “La Situación actual del Perú del día 19/03/2017”, fueron en palabras del ministro de entonces, más de 100 los puentes entre colapsados e intransitables en la Red Vial Nacional, Departamental y Local.

En la presente tesis nos centraremos en el estudio previo correspondiente al estudio de mecánica de suelos que determina las propiedades físico-mecánicas del suelo y la

capacidad admisible para diferentes profundidades y cimentaciones que proyecte los estribos y pilares donde se apoyara la superestructura del puente.

Si bien es cierto no existe un ensayo o prueba que determine exactamente el comportamiento del suelo debido a su grado de anisotropía y heterogeneidad, muchas veces se realizan 2 tipos de pruebas diferentes para estimar el comportamiento del suelo, podemos decir que el ensayo triaxial es uno de los más confiables sin embargo es importante considerar que las condiciones en un laboratorio no son las mismas que en el lugar donde se extrae la muestra.

En los proyectos donde involucre suelos granulares en su estado natural la dificultad que se presenta para utilizar un ensayo triaxial es lograr una muestra inalterada del suelo, en Chile se desarrolló un equipo triaxial a gran escala de IDIEM (Investigación, desarrollo e innovación de Estructuras y Materiales) que permite ensayar probetas inalteradas de diámetro de 1 m y de 2 m de altura que es muy recomendado para determinar la resistencia al corte. Sin embargo, este equipo es único en Latinoamérica ante esta dificultad normalmente se realizan muestras remoldeadas que son apisonados o compactadas en el laboratorio para simular el estado natural del suelo. (Jurado Guevara & Pérez Araujo, 2019)

En el caso que los proyectos donde el material grueso será compactado, la evaluación de parámetros geomecánicos es posible de ser realizada a través del ensayo de muestras de gradación homotética o mediante el método de corte y reemplazo que presenta

resultados óptimos cuando el porcentaje de grava supera el 40%. Los resultados experimentales obtenidos indican que el método de granulometría paralela provee un procedimiento razonable para evaluar la respuesta geomecánica de materiales granulares gruesos. Sin embargo, se observó una limitación cuando la en la granulometría paralela el contenido de finos supera el 10-12%. (Verdugo & De la Hoz, 2006)

A lo largo de los capítulos se ira desarrollando el procedimiento que se siguió para determinar las características del suelo mediante las pruebas realizadas en laboratorio. Una de las pruebas que se ha realizado es el ensayo triaxial consolidado no drenado (CU) que es uno de los métodos para determinar la resistencia al cortante que se realiza generalmente con medición de la presión de poros con el fin de determinar los parámetros de cohesión (C) y ángulo de fricción (ϕ) en términos de esfuerzos totales y esfuerzos efectivos. (Salas, 2011)

1.2. Antecedentes

Antecedentes Internacionales

En Ecuador existe una problemática por la falta o un deficiente Estudio Geotécnico, para evaluación, construcción y control de estructuras, por este motivo se desarrolla la investigación que servirá como una guía para el correcto desempeño de la investigación geotécnica. La mala calidad de algunos estudios geotécnicos ha producido la falla de

construcciones como es el caso de puentes, carreteras, muros y viviendas. (Morales Erazo, 2014)

En México, la investigación “Diseño de cimentaciones para puentes en Guanajuato” realiza un estudio de mecánica de suelos en donde se ubicarán las pilas y columnas de la estructura y se aplica el ensayo de compresión triaxial para determinar la resistencia del suelo y posteriormente realizar el diseño de la cimentación de un puente. (Salazar Martínez, 2021)

En Guatemala, se revisó una investigación que compara los parámetros de cohesión y ángulo de fricción obtenidos por ensayo triaxial y ensayo de corte directo con materiales granulares y arcillosos considerando muestras remoldeadas. El resultado fue que la cohesión obtenida es mayor que en el corte directo, y el ángulo de fricción interna es mayor en el ensayo de corte directo que en el ensayo de triaxial. (Bermúdez, 2007)

En Colombia, la investigación “Comparación de parámetros de resistencia al esfuerzo cortante en el aparato de corte directo y triaxial para arenas limosas” determino una correlación entre la cohesión, ángulo de fricción, así como la resistencia al cortante donde se encontró que el ensayo de corte directo subestima la capacidad admisible del suelo dando lugar a cimentaciones sobredimensionadas lo que produce un aumento en los costos y también un impacto negativo al ambiente. (Rincón Gómez & Suárez Pinzón, 2015)

Antecedentes nacionales

En el trabajo de investigación “Diseño por estado de límite de la superestructura de un puente mixto en Rio Negro, Satipo” se realizó el estudio de suelos mediante dos calicatas en el puente de una profundidad máxima de 4.10 m de las que se realizó ensayos en laboratorio para determinar la capacidad portante del suelo. (Camargo Caysahuana, 2019)

En la investigación revisada el objetivo principal fue determinar la capacidad portante del suelo de fundación en ambos estribos del puente Juan Santos Atahualpa. Conociendo la influencia del agua subterránea en las propiedades físico mecánicas del suelo se puede establecer el diseño más adecuado de la cimentación. La exploración se realizó mediante 3 sondajes de perforación diamantina. (Ortiz Olivares, 2019)

En el trabajo de investigación “Influencia del nivel freático en la determinación de la capacidad portante de suelos, en cimentaciones superficiales, Distrito Pilcomayo en 2017” se hicieron ensayos de corte directo considerando 3 calicatas, así como la obtención de datos de variación del nivel freático a distintos meses. Mediante el análisis granulométrico el tipo de suelo encontrado es una grava bien gradada con arena GW de manera homogénea en todo el estrato. (Ortiz Quispe, 2017)

1.3. Formulación del problema

¿Cómo con el estudio de la mecánica de suelos realizado en la cimentación del puente La Cabaña mediante ensayo triaxial se determinará la óptima capacidad admisible?

1.4. Justificación

La justificación de la presente tesis se basa primeramente en la necesidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo a través de un estudio geotécnico, para lograr estimar su comportamiento y sus propiedades de esfuerzo y deformación con la finalidad de obtener la capacidad de carga admisible y las recomendaciones necesarias para la cimentación mediante el ensayo triaxial.

Para poder obtener la capacidad admisible de un suelo se deben realizar ensayos en laboratorio para determinar la resistencia al cortante. Los ensayo más comunes que se emplean son la compresión triaxial y corte directo. (Jaime Suárez, 2009)

Durante muchos años el ensayo de corte directo ha sido el ensayo más utilizado para obtener los parámetros de resistencia de los suelos. Hoy, aún se sigue utilizando debido a su simplicidad, aunque ha sido sustituido en buena por parte por las pruebas de compresión triaxial en el laboratorio.(Basurto, 2010)

La principal diferencia entre el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial es que en el primero se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, generando un plano de cizalladura, en cambio en el segundo hay una combinación de esfuerzos donde la falla se manifiesta en cualquier punto dependiendo de las propiedades del suelo. El ensayo triaxial es utilizado especialmente, por la posibilidad de modelar las condiciones de drenaje y la medición de presión de poros en suelos saturados, ya que con el corte directo no es posible realizar estas mediciones. (Bermúdez, 2007)

El ensayo triaxial es una de los métodos más usados debido a su confiabilidad, ya que, a comparación del ensayo de corte directo, el ensayo triaxial ofrece información del comportamiento esfuerzo-deformación del suelo, proporciona mayor uniformidad en las condiciones del esfuerzo debido a que se concentra a lo largo del plano de falla y una mayor flexibilidad en la trayectoria de carga. (Das & González, 2015)

Por los motivos antes mencionados y por la envergadura del proyecto se ha decidido utilizar el ensayo triaxial CU para obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción para así determinar la capacidad admisible del suelo en la zona donde se ubicará la subestructura del puente La Cabaña.

En la siguiente figura 1, se muestra el estado actual del puente.



Figura 1. Estado actual del puente la cabaña (un solo carril tipo Bailey).

Fuente: Propia.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la óptima capacidad admisible de la cimentación del Puente La Cabaña mediante ensayo triaxial.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar y analizar las propiedades físico mecánicas y químicas de los suelos, mediante los ensayos en laboratorio.
- Calcular los parámetros de cohesión y ángulo de fricción del ensayo triaxial para el suelo.
- Determinar la capacidad admisible y asentamiento del suelo.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Mediante la aplicación del estudio de mecánica de suelos y con el ensayo triaxial en la cimentación del puente La Cabaña se logró obtener la óptima capacidad admisible.

1.7. Marco Teórico

1.7.1. Estudios Geotécnicos

Según el Manual de Puentes (MTC, 2018) este estudio previo permite conocer las características geotécnicas, es decir, la estratigrafía, la identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para el diseño de cimentaciones estables.

El estudio debe considerar exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, cuya cantidad será determinada en base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y las condiciones del suelo que permitan determinar los parámetros geotécnicos. Los estudios deberán comprender la zona de ubicación del puente, estribos, pilares y accesos.(Manual de Puentes, 2018)

Los estudios geotécnicos comprenderán:

- Ensayos de campo en suelos y/o rocas.
- Ensayos de laboratorio en muestras de suelo y/o roca extraída de la zona.
- Descripción de las condiciones del suelo, estratigrafía e identificación de los estratos de suelo o base rocosa.
- Definición de tipos y profundidades de cimentación adecuada, así como parámetros geotécnicos preliminares para diseño del puente a nivel anteproyecto.
- Dependiendo de la envergadura del proyecto y del tipo de suelo se deberán realizar sondajes (perforaciones) complementadas con refracción sísmica, o excavaciones de verificación.

- Presentación de los resultados y recomendaciones sobre Especificaciones constructivas y obras de protección.

Sondajes

La cantidad y profundidad de los sondajes se deberán definir tomando en cuenta la magnitud y complejidad del proyecto, así como las condiciones locales del subsuelo y de la información existente que se obtenga. En las tabla 1, se definen la cantidad y profundidad de los sondajes. (Manual de Puentes, 2018)

Para puentes menores a 10.00 m., de luz, efectuar exploraciones directas, mediante una perforación diamantina en un apoyo complementada por exploraciones geofísicas en cada punto de apoyo. De verificarse una variación estratigráfica, geotécnicamente significativa, se deberá efectuar una perforación adicional en el otro apoyo. (Manual de Puentes, 2018)

Ensayos de campo

Los ensayos de campo serán realizados para obtener los parámetros de resistencia y deformación de los suelos o rocas de fundación, así como el perfil estratigráfico con sondajes que estarán realizadas en función de la longitud del puente, número de estribos, pilares y longitud de accesos. Los métodos de ensayo realizados en campo deben estar claramente referidos a prácticas establecidas y normas técnicas especializadas relacionadas con los ensayos respectivos. (Manual de Puentes, 2018)

Tabla 1:

Profundidad y número de puntos de exploración, mínimos, para cimentación superficial.

Aplicación	Ubicación y Número Mínimo de Puntos de Exploración	Profundidad Mínima de Exploración
Cimentación superficial	<p>Por una unidad de subestructura, por ejemplo, pilares o estribos, con anchos menores o iguales a 100 ft, un mínimo de un punto de exploración por unidad de subestructura. Para subestructuras con anchos mayores a 100 ft, un mínimo de 2 puntos de exploración por unidad de subestructura.</p> <p>Puntos adicionales de exploración serán requeridos, en caso se encuentren condiciones del subsuelo erráticas (p.e. presencia de suelos blandos alternando con suelos de mejor calidad, con espesores variables, que impiden tomar una decisión respecto al nivel de cimentación).</p>	<p>La profundidad de exploración debe ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lo suficientemente grande como para atravesar totalmente suelos no adecuados para cimentación, por ejemplo, turba, limo orgánico, o suelos blandos de grano fino, y encontrar material competente con capacidad de soporte suficiente, como suelo cohesivo duro o rígido, suelo no cohesivo denso o el basamento rocoso. • Al menos a una profundidad por debajo de la cimentación en la que el incremento de esfuerzos debido a la carga estimada en la zapata sea menor al diez por ciento del esfuerzo de sobrecarga efectivo (presión efectiva). • Si el basamento rocoso es encontrado antes de la profundidad requerida por el segundo criterio indicado anteriormente, la profundidad de exploración debe ser hasta penetrar por lo menos 10 ft en el basamento rocosa, pero la exploración en este nivel, debe ser lo suficiente como para caracterizar la compresibilidad del material de relleno en las discontinuidades horizontales, de ser necesario. <p>Nota: Donde se encuentre condiciones altamente variables del basamento rocoso (p.e. intercalación de rocas sedimentarias, de calidad variable, como lutitas con areniscas y/o lodolitas) o en áreas donde es probable la presencia de grandes bloques de roca, puede requerir de más de 10 ft de muestra de roca para verificar la calidad del basamento rocoso.</p>

Fuente: Tabla 2.8.0.3-1 del Manual de Puentes (MTC, 2018) y Tabla 10.4.2.1 AASHTO (LRFD, 2010)

1.7.2. Marco Geológico y sísmico

Geología regional de la zona de estudio

La zona de estudio, se enmarca en el segmento Lima del Batolito de la Costa, dentro de la franja metalogenética de depósitos de Au-Pb-Zn-Cu caracterizados por tener mineralizaciones en vetas con cuarzo-oro-sulfuros, hospedadas en intrusivos del Cretácico Superior y controladas por fallas transcurrentes NO-SE.

Transversalmente el Batolito de la Costa en el ámbito regional afloran principalmente rocas ígneas y sedimentarias, se han reconocido cuerpos subvolcánicos emplazados en forma de stocks y diques, resultado de manifestaciones del vulcanismo cretácico.

La secuencia sedimentaria la conforman rocas del Cretáceo Inferior y Jurásico Superior (formaciones Yangas y Arahua), que corresponden a andesitas masivas, lodolitas, margas silicificadas con chert, y tobas blanquecinas, lutitas, areniscas, respectivamente.

Las rocas ígneas pertenecen a la superunidad Santa Rosa del Batolito de la Costa. Están constituidas por cuerpos tonalíticos-dioríticos y tonalíticos-granodioríticos, los cuales representan la mayor extensión dentro del área del segmento Lima, el mismo que se ha dividido a manera de subunidades en cuerpos oscuros (diorita-tonalitas) y cuerpos claros (tonalitas-granodioritas), que guardan cierta similitud en su textura y química con el segmento Arequipa.

La zona que ha resultado de interés es la parte norte del cuadrángulo de Chosica, donde se puede observar la prolongación de una estructura geológica que la denominamos falla Chillón, la cual recorre aproximadamente 28 km de longitud en dirección SO-NE. Esta falla aparece a la altura del distrito de Yangas y recorre el río Chillón hasta las inmediaciones del caserío San José (borde superior del cuadrángulo de Chosica) y se prolonga hasta el distrito de Huaros (pasando Canta), con un recorrido aproximado de 13 km de longitud.(Loaiza Choque & Galloso Carrasco, 2010)

Estratigrafía

La estratigrafía del área de estudio se enmarca en la cuenca de Lima, la cual se ubica en el sector occidental y central del Perú. En dicha cuenca se distinguen cuatro ciclos sedimentarios, que comprenden desde el Jurásico hasta el Cretácico Superior.

En la siguiente tabla 2, se muestra la estratigrafía de la cuenca del río Chillón donde se encuentra la zona en estudio.

Tabla 2:
Estratigrafía de la cuenca media del Rio Chillón.

Era	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas		Rocas Intrusivas		
					Superunidad	Tipo de roca	
Cenozoica	Cuaternario	Holocena	Depósitos Aluviales	Qh-al			
		Pleistocena	Depósitos Aluviales	Qpl-al			
			Depósitos Glaciares	Qpl-gl			
	Neógeno	Superior	Volcánico Huarochirí	Ts-hu	Diorita	Ts-di	
			Volcánico Millotingo	Ts-m	Andesita	Ts-a	
		Inferior	Volcánico Colqui	Ti-co			
		Grupo Rímac	Ti-ri				
Mesozoica	Cretáceo	Superior	Volcánico Quilmaná	Ks-q	Granito	Ks-sr/gr	
					SANTA ROSA Tonalita- Granodiorita	Ks-sr/tgd	
					Tonalita-Diorita	Ks-sr/tdi	
		Medio	Volcánico Huarangal	Kim-h	PACCHO Tonalita-Diorita	Ks-sr/tdi	
	Inferior	Fm. Atocongo Fm. Pamplona			Ki-at Ki-pa	PARAISO Tonalita-Diorita	Ks-pa/tdi
						Volcánico Yangas	Ki-y
						Dolerita	Kms-db
					Andesita	Ks-an	
	Jurásico		Fm. Arahuy	J-ar			

Fuente: Actividad minera artesanal en la cuenca del río Chillón (Minería de Yangas - Canta) Región Lima- (Boletín E 9)

A continuación, en la figura 2, se muestra el mapa geológico-minero de la zona central de la cuenca media del río Chillón.

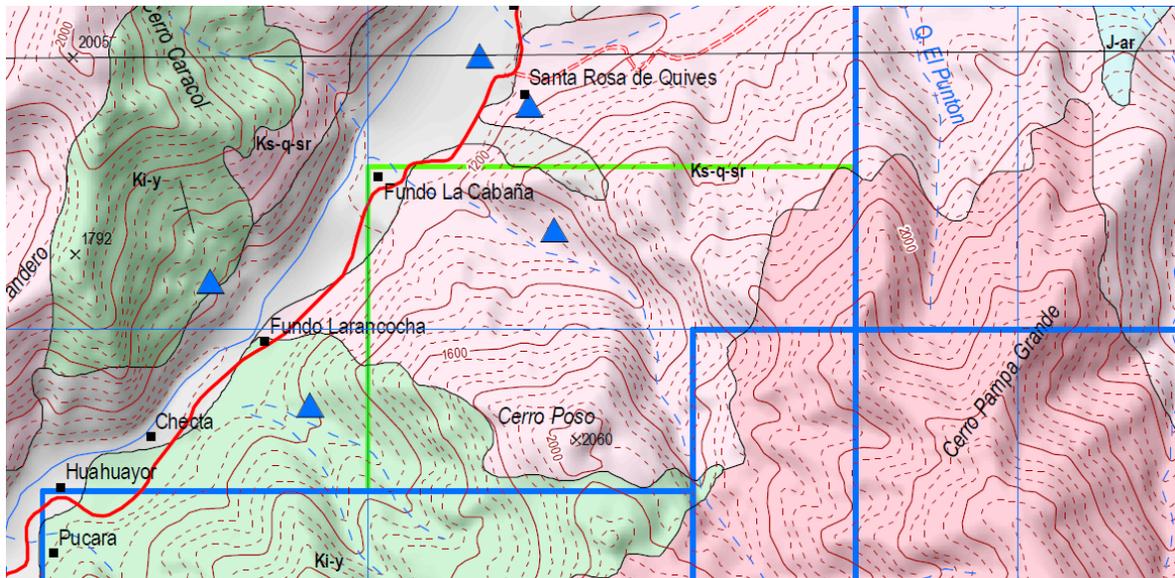


Figura 2. Mapa Geológico-minero de la zona central de la cuenca media del río Chillón.

Fuente: INGEMMET

Geodinámica Interna

El Perú está ubicado en el llamado “Cinturón de fuego del Pacífico” donde hay una alta actividad sísmica sobre todo en la zona de la costa y andina debido a la subducción de la placa de nazca debajo de la placa sudamericana.

Siguiendo la norma técnica peruana E.030 (Diseño Sismo resistente) se obtienen los parámetros mostrados en la tabla 3 para la zona de Santa Rosa de Quives provincia de Canta:

Tabla 3:

Efectos del sismo para la zona en estudio.

Zona	Factor zona	Perfil del suelo	Factor de suelo	T_P (s)	T_L (s)
4	0.45	S2	1.05	0.6	2.0

Fuente: Elaboración propia

Geodinámica Externa

Se pudo constatar en el reconocimiento de campo que la zona en estudio se encuentra en una pequeña quebrada que en época donde ocurren fenómenos con “El niño” tiene un caudal mediano también a poco más de 1 km en forma paralela a la ubicación del puente se encuentra el río Chillón por lo que sería necesaria la protección de las cimentaciones del puente La Cabaña.

1.7.3. Ensayo triaxial

El ensayo consiste en una muestra cilíndrica de la muestra de suelo a estudiar dentro de un revestimiento de caucho o látex. Luego esta será sometida a una presión de confinamiento por todas sus caras dentro de una cámara de confinamiento especial, posteriormente se va incrementando el esfuerzo axial hasta que se produzca la falla de la muestra. En la muestra no existen esfuerzos tangenciales sobre las caras, por lo tanto, el esfuerzo axial y la presión de confinamiento, son los esfuerzos más importantes. El incremento del esfuerzo axial que se genera se conoce como el esfuerzo desviador.

Este es un ensayo costoso y complejo, debido a que la aplicación de la presión se hace de manera lenta. Los resultados obtenidos en este ensayo son los más asertivos en el esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada. En la figura 3 se muestra el equipo y sus partes que la componen en forma general.

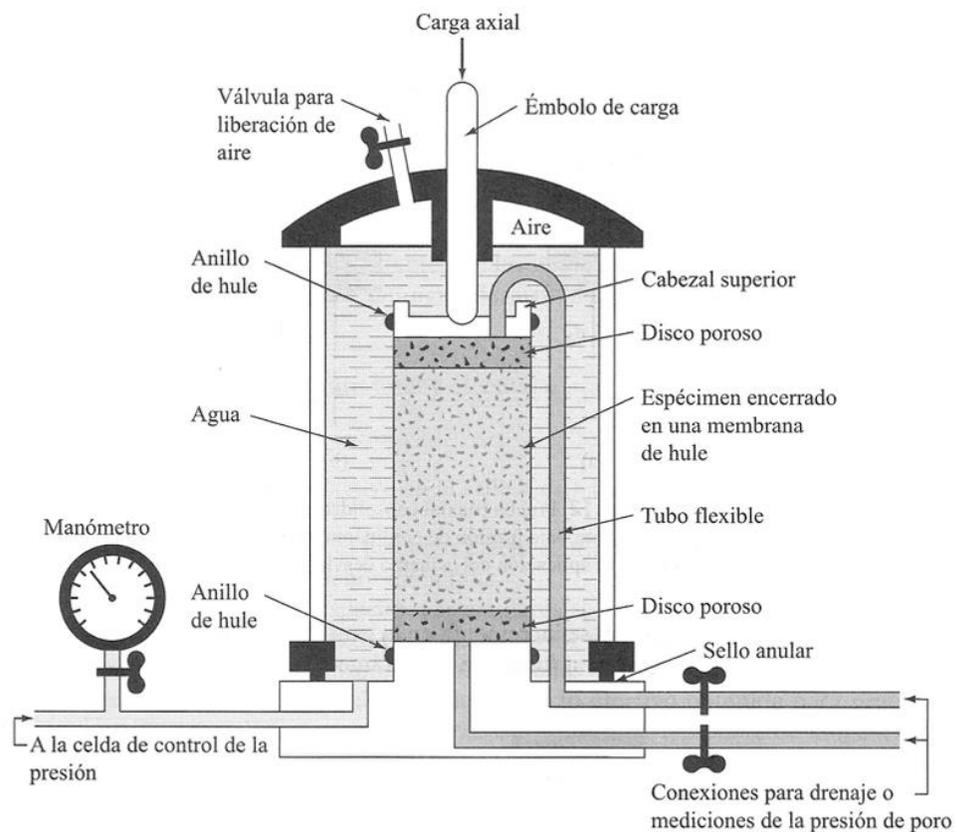


Figura 3. Diagrama del equipo de prueba triaxial según Bishop y Bejum.

Fuente: obtenido de Braja Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica pg.219.

A continuación, en la figura 4 se muestra la secuencia de cómo se ejercen las presiones en la muestra.

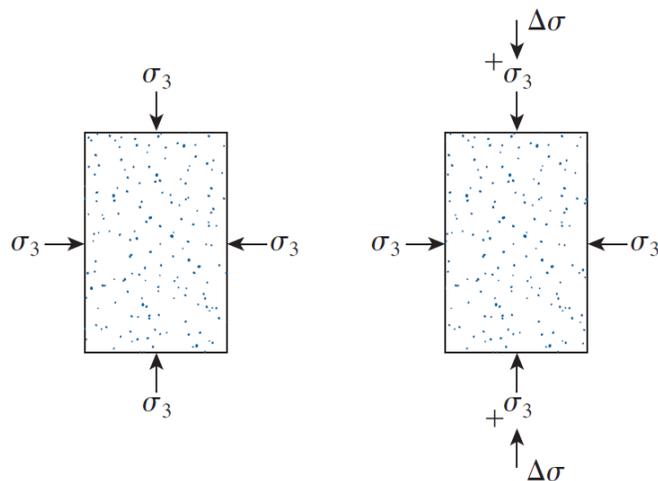


Figura 4. *Secuencia de aplicación de un esfuerzo en un ensayo triaxial.*

Fuente: obtenido de Braja Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones pg.50.

Los resultados obtenidos del ensayo triaxial obedecen a la manera como se realice el ensayo y al equipo con el que se trabajara, y dependiendo de eso se logran los siguientes resultados:

- El ángulo de fricción y la cohesión máxima en la envolvente de falla.
- La presión de poros al corte en el ensayo no drenado.
- El cambio de volumen al corte en el ensayo drenado.
- Cálculo de las tensiones totales y efectivas.
- Medición de la carga axial y deformación axial.
- Las características de consolidación.
- Las diferentes presiones de confinamiento con las cuales se halla la permeabilidad en esos instantes.

Este ensayo determina la relación entre la fuerza y el esfuerzo de tensión de una muestra ya sea inalterada o remoldeada.

Las muestras son consolidadas isotrópicamente y cortadas en compresión sin drenaje a una velocidad constante de deformación axial y controlada.

Según el tipo de suelo y las condiciones en que este trabajara, se tienen 03 tipos de ensayos, que a continuación se detallarán.

1.7.4. Tipo de ensayo triaxial

Ensayo No consolidado – No drenado (UU)

En este ensayo no se permite consolidar la muestra de material, esta se debe encontrar en su estado de esfuerzo inicial y no se debe drenar durante el corte.

La condición de UU se utiliza para calcular la resistencia cortante del suelo cuando la carga será apropiada para advertir cualquier drenaje significativo y cambio en el contenido de humedad, que ocurran antes que el suelo falle.

Ensayo Consolidado – Drenado (CD)

En este ensayo se consolida inicialmente la muestra bajo un estado de esfuerzo inicial. Luego se comienza a aplicar el esfuerzo axial muy lentamente para que las presiones de poros forjadas logren tener tiempo de disiparse. La carga axial se aplica en intervalos de incrementos pequeños manteniendo estos hasta que las presiones de poros se hayan disipado antes de aplicar el siguiente incremento.

Este procedimiento de ensayo se maneja cuando el suelo en el campo drena comparativamente rápido durante la aplicación de cargas de construcción o cuando el suelo tiene tiempo bastante para drenar bajo la carga empleada y la resistencia cortante se establecerán cuando la disipación de la presión de poros y el drenaje en el campo hayan pasado.

Los ensayos del tipo drenado son habitualmente elegidos para ensayos tradicionales debido a la manera de su procedimiento. La velocidad de estos ensayos debe evitar que las variaciones en la presión de poros existan o generarlas de manera despreciable.

Ensayo Consolidado-no drenado (CU)

Este ensayo se lleva a cabo después de que la muestra se haya consolidado con la válvula de drenaje abierta bajo una presión de cámara constante. Para esto se necesita un aparato que nos indique en qué momento ha terminado el cambio de volumen de la muestra y han desaparecido los poros indicando que la consolidación ha terminado. Cuando se ha completado la fase de consolidación se cierra las válvulas y se le aplica es esfuerzo a la muestra hasta que falle.

Las etapas del ensayo son las siguientes:

Etapa de saturación

El objetivo de la fase de saturación de la prueba consiste en llenar todos los vacíos de

la muestra con agua. La saturación se logra aplicando contrapresión al espécimen y comprobando el parámetro B de la presión intersticial para determinar si la saturación se ha completado. Las muestras se deben considerar saturadas si el valor de B es igual o superior a 0,95 y se puede continuar con la siguiente fase.

Etapa de consolidación

El objetivo de la fase de consolidación de la prueba es permitir que la muestra pueda alcanzar el equilibrio en un estado de drenaje en los esfuerzos de consolidación efectivos para los cuales se requiere una determinación de fuerza.

Esta etapa se controla por medio de la lectura del cambio de volumen para lo cual se registran estos cambios cada periodo de tiempo establecido hasta alcanzar la consolidación primaria. Durante la consolidación, los datos se obtienen para determinar si esta está completa y para el cálculo de la velocidad de carga en la fase de corte obtenida a partir del T50 de la consolidación de la muestra.

Etapa de corte

Una vez el espécimen se encuentra consolidado se ubica en el marco de carga y se adecua el LVDT con el cual se registrará la deformación vertical de la muestra mientras es aplicada la carga axial. Durante el corte de la muestra se registra por medio del Datalog los datos de fuerza, deformación y presión de poros. Para los

cálculos de resistencia se empleó el área corregida (A_c) y para graficar se determinó la deformación unitaria durante el proceso de carga.

1.7.5. Equipo para ensayo triaxial

Para llevar a cabo el ensayo triaxial se requiere un aparato denominado cámara triaxial. Es un mecanismo totalmente desmontable y para la ejecución del ensayo se comienza a montar o armar a partir de la base.

El panel de control consiste en un sistema conformado por tres válvulas y reguladores mediante los cuales se administra el flujo de aire y agua desaireada entre los equipos con los cuales se desarrolla el ensayo, ver figura 5.

Además, tiene un equipo que mide de cambio de volumen, ver figura 6; este consiste en un dispositivo de precisión que tiene un pistón el cual está conectado a un transductor de desplazamiento en el que indica el cambio de volumen del agua generando datos que permiten medir la saturación y los cambios de volumen mayores a 100 cc.



Figura 5. *Panel de control.*

Fuente: Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez 2016.



Figura 6. *Equipo de cambio de volumen.*

Fuente: Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez 2016.

Otra parte fundamental del aparato es la prensa triaxial, ver figura 7; consiste en un marco de dos columnas con una viga transversal móvil y una base que contiene la unidad de empuje mecánico.



Figura 7. *Prensa Triaxial.*

Fuente: Cometa Trujillo & Mendez Bohorquez 2016.

La fuerza de la carga es representada por un motor y a su vez este es manejado y controlado por un microprocesador, con el cual, es posible predeterminar el desplazamiento del empuje y mantenerlo constante durante el ensayo. Cualquiera que sea la fuerza de resistencia en este dispositivo, este debe ser capaz de medir las presiones o vacíos parciales a las tolerancias dadas. (Salas, 2011)

Durante el ensayo en condiciones de corte no drenado, la presión de poros es medida de modo que al agua se le permita ir dentro o fuera de la muestra en mínimas cantidades, para ello, el aparato cuenta con el transductor electrónico de presión.

La dirección y la velocidad de carga que se aplicara a la muestra se configuran en el panel frontal a través de controles localizados.

Luego encontramos el Blader, ver figura 8, que es una cámara compuesta por un cilindro de bandas de plexiglass y una membrana de hule fijada a la placa inferior mediante un collar plástico y que trabaja como interface aire/agua. El blader es el encargado de transferir la presión del aire al agua, de forma inmediata, evitando que el aire comience a disolverse. La presión máxima de funcionamiento del blader es de 1000 kPa.



Figura 8. Blader.

Fuente: Propia.

Para poder llevar a cabo el ensayo, la muestra se debe montar sobre discos porosos rígidos que proporcionan drenaje en los extremos de la muestra. El coeficiente de permeabilidad de los discos es aproximadamente igual al de la arena fina.

Después de preparar la muestra esta debe ser envuelta en una membrana de goma, ver figura 9, que se encarga de proteger el espécimen de fugas para brindar la conservación máxima de la muestra. La membrana se sella a la base y tapa de la muestra, con aros de goma.



Figura 9. *Membrana de goma.*

Fuente: Foto tomada del ensayo triaxial en el laboratorio MTL Geotécnia.

1.7.6. Criterios de Falla de Mohr

Esta teoría indica que un material falla debido a una combinación entre esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no de esfuerzos solitarios. (Das & González, 2015)

Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente para aproximarse al esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal. Esta ecuación fue definida por Terzagui:

Ecuación 1: *Ecuación de Terzagui.*

$$\tau_f = c + \sigma * \tan\phi$$

Donde:

c : cohesión

ϕ : ángulo de fricción interna

τ_f : esfuerzo cortante en el plano de falla

σ : esfuerzo normal en el plano de falla

En suelo saturado, el esfuerzo normal total en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión del agua intersticial, o

$$\sigma = \sigma' + u$$

El esfuerzo efectivo σ' , lo realizan los sólidos del suelo. Por lo tanto, para aplicar la ecuación 01 a la mecánica de suelos, es necesario reescribirla como:

Ecuación 2: *Ecuación de Terzagui modificada para valores efectivos.*

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) * \tan\phi' = c' + \sigma' * \tan\phi'$$

Donde:

c' : esfuerzo de cohesión efectivo

ϕ' : ángulo de fricción efectivo

En la tabla 4 se dan los valores típicos de ϕ' para algunos suelos granulares.

Tabla 4:

Ángulos de fricción para suelos granulares.

Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión.		
Estado de empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción ϕ' (grados)
Muy suelto	<20	<30
Suelto	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	>80	>45

Fuente: Obtenido de Braja Das pg.230.

En el caso de una **prueba triaxial consolidada no drenada (CU)**, los esfuerzos principales total y efectivo no son los mismos que en la prueba consolidada drenada.

Como **paso 1**: Es aplicada una presión a la cámara σ_3 . Se permite el drenaje completo de manera que la presión de poro del agua ($u = u_0$) es cero.

Paso 2: Se aplica un esfuerzo desviador $\Delta\sigma$. No se permite el drenaje, tal que la presión de poro del agua $u = u_d \neq 0$. A la falla, $\Delta\sigma = \Delta\sigma_f$; la presión de poro del agua $u_f = u_0 + u_d = 0 + u_{d(f)}$. (Das & León, 2012)

De la falla, los esfuerzos principales se pueden analizar y deducir las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3: *Ecuación del esfuerzo total principal mayor en la falla.*

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f$$

Ecuación 4: *Esfuerzo efectivo principal mayor en la falla.*

$$\sigma'_1 = (\sigma_3 + \Delta\sigma_f) - u_f$$

Ecuación 5: *Esfuerzo efectivo principal menor en la falla.*

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f$$

Donde:

σ_3 : Esfuerzo total principal menor en la falla.

Los parámetros de resistencia cortante son obtenidos como mínimo en 03 pruebas con distintas presiones de celda (σ_3). De manera que se pueden trazar los círculos de Mohr del esfuerzo total a la falla y luego se puede trazar una línea tangente común para definir la envolvente de falla. Esta envolvente de falla por esfuerzo total se define por la ecuación 01 descrito anteriormente.

De la misma manera se pueden trazar los círculos de Mohr del esfuerzo efectivo envolvente de falla por esfuerzo efectivo, ver figura 10.

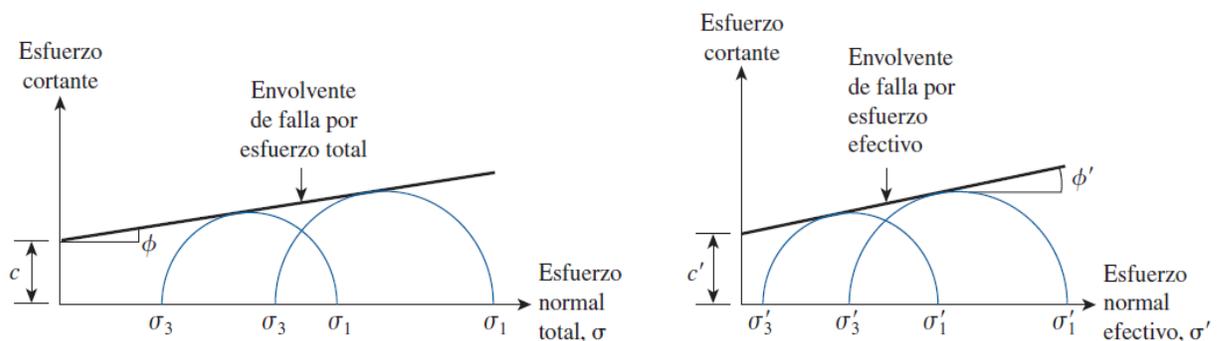


Figura 10. Esfuerzo total y efectivo en la envolvente de falla para pruebas triaxiales CU.

Fuente: obtenido de Fundamentos de Geotecnia. Braja Das pg.50.

De la gráfica del círculo de Mohr podemos obtener las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6: Ecuación de centro principal total deducido del círculo de Mohr.

$$p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$$

Ecuación 7: Ecuación de radio principal total deducido del círculo de Mohr.

$$q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$$

Ecuación 8: Ecuación de centro efectivo principal deducido del círculo de Mohr.

$$p' = \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2}$$

Ecuación 9: Ecuación de radio efectivo principal deducido del círculo de Mohr.

$$q' = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2}$$

El estado de falla se logra cuando se alcanza cierto % de deformación unitaria, según la norma ASTM D4767 se recomienda al 15%.

Posteriormente mediante una estimación lineal en Excel obtenemos la función, que es tangente a los círculos de Mohr tanto para esfuerzo total como esfuerzo efectivo, cuyos resultados son la pendiente m y el intercepto a para finalmente obtener los valores del ángulo de fricción ϕ y la cohesión c .

1.7.7. Capacidad de carga ultima en cimentaciones superficiales

Una cimentación superficial es aquella donde la relación D_f/B es menor o igual a 5 siendo D_f la profundidad de cimentación y B el ancho de la zapata o diámetro. (Norma Técnica Peruana E-050, 2018)

La capacidad de carga última para cimentaciones superficiales es calculada mediante la ecuación de Terzaghi tanto para cimentaciones corridas como cuadradas. (Das & León, 2012)

A continuación, se muestra la figura 11 una superficie de falla en el suelo ante carga última.

Terzaghi, obtuvo la capacidad de carga última para cimentación corrida en la forma:

Ecuación 10: Ecuación de Terzagui para cimentación corrida.

$$q_u = c' * N_c + q * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma$$

donde:

$$q = \gamma * D_f$$

N_c, N_q, N_γ : factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones solo del ángulo de fricción del suelo ϕ' .

D_f : Profundidad de cimentación.

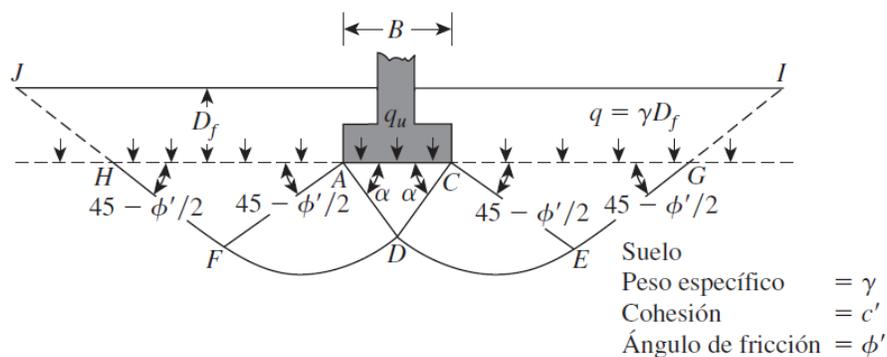


Figura 11. Falla por capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación rígida corrida.

Fuente: obtenido de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Braja Das pg.137.

Para el caso de cimentaciones cuadradas la *ecuación 10* es modificada de la siguiente forma:

Ecuación 11: *Ecuación de Terzagui para cimentación cuadrada.*

$$q_u = 1.3 * c' * N_c + q * N_q + 0.4 * \gamma * B * N_\gamma$$

Los factores de capacidad de carga se tomarán según la siguiente figura 12:

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

^aDe Kumbhojkar (1993).

Figura 12. *Factores de capacidad de carga de Terzaghi para las ecuaciones 10 y 11.*

Fuente: obtenido de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Braja Das pg.139.

1.7.8. Capacidad de carga admisible

La capacidad de carga admisible para cimentaciones superficiales se calcula aplicando a la carga última un factor de seguridad FS, el factor FS debe tomar un valor de 3 en todos los casos.

Ecuación 12: *Ecuación de capacidad admisible.*

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

1.7.9. Asentamiento inmediato o elástico

El asentamiento se define como la deformación vertical debido a la aplicación de cargas y de la presión del terreno. Se cuentan con diferentes métodos, ver tabla 5, para el cálculo de asentamientos que en su mayoría se basan en aplicaciones empíricas de la teoría de elasticidad de las que se tienen dos premisas: las deformaciones son pequeñas e independientes del tiempo a masa constante; y los esfuerzos y las deformaciones se relacionan linealmente. (Alva, 2007)

El asentamiento total es definido de la siguiente manera:

Ecuación 13: *Ecuación de Asentamiento total.*

$$S_T = S_i + S_{cp} + S_{cs}$$

Donde:

S_i = Asentamiento inmediato

S_{cp} = Asentamiento por consolidación primaria.

S_{cs} = Asentamiento por consolidación secundaria.

Tabla 5:

Métodos de cálculo de asentamientos.

Tipo de Asentamiento	Método	Parámetro Base	Aplicación
Inmediato	Elástico	Propiedades elásticas del suelo	Arenas, gravas, suelos no saturados, arcillas duras y rocas.
Inmediato	Meyerhoff	N(SPT)	Arenas, gravas y similares.
Inmediato	Prueba de carga	Prueba de carga	Arenas, gravas, suelos no saturados, arcillas duras y rocas.
Consolidación Primaria	Teoría de consolidación	Ensayo de consolidación	Arcillas blandas y media saturadas.
Consolidación Primaria y Secundaria	IDEM.	IDEM.	Arcillas blandas a muy blandas, turbas, suelos orgánicos y similares.

Fuente: Obtenido de Diseño de Cimentaciones. Alva Jorge pg.51.

Para el caso que los suelos sean Arenas, Gravadas, Arcillas Duras y Suelos No Saturados se considera: $S_T \approx S_i$

Cuando los suelos son Arcillas Saturadas (Alva, 2007): $S_T \approx S_{cp}$

En suelos de gran deformabilidad como turbas y otros (Alva, 2007): $S_T \approx S_{cp} + S_{cs}$

Para la presente investigación que considera una cimentación superficial se usará el método elástico para un tipo de asentamiento inmediato para el que se define la siguiente ecuación. (Alva, 2007)

Ecuación 14: *Ecuación de Asentamiento Inmediato.*

$$S_i = \frac{q * B * (1 - \mu^2) * I_f}{E_s}$$

Donde:

S_i = Asentamiento probable (cm)

μ = Relación de Poisson (adimensional)

E_s = Módulo de Elasticidad (ton/m²)

I_f = Factor de forma (cm/m)

q = Presión de trabajo (ton/m²)

B = Ancho de cimentación (m)

En la figura 13 se muestran los parámetros de E_s , μ , I_f , según el tipo de suelo y la forma de cimentación.

Tipo de Suelo	Es (ton/m ²)	Tipo de Suelo	μ
Arcilla Muy Blanda	30 - 300	Arcilla: Saturada	0.4 - 0.5
Blanda	200 - 400	No Saturada	0.1 - 0.3
Media	450 - 900	Arenosa	0.2 - 0.3
Dura	700 - 2000	Limo	0.3 - 0.35
Arcilla Arenosa	3000 - 4250	Arena: Densa	0.2 - 0.4
Suelos Graciaries	1000 - 16000	De Grano Grueso	0.15
Loess	1500 - 6000	De Grano Fino	0.25
Arena Limosa	500 - 2000	Roca	0.1 - 0.4
Arena: Suelta	1000 - 2500	Loess	0.1 - 0.3
Densa	5000 - 10000	Hielo	0.36
Grava Arenosa: Densa	8000 - 20000	Concreto	0.15
Suelta	5000 - 14 000		
Arcilla Esquistosa	14000 - 140000		
Limos	200 - 2000		

Forma De La Zapata	Valores de I_f (cm/m)			
	Cim. Flexible			Rígida
Ubicación	Centro	Esq.	Medio	---
Rectangular L/B = 2 L/B = 5 L/B = 10	153	77	130	120
	210	105	183	170
	254	127	225	210
Cuadrada	112	56	95	82
Circular	100	64	85	88

Figura 13. Cuadros auxiliares por tipo de suelo y forma de zapatas.

Fuente: obtenido de Diseño de Cimentaciones. Alva Jorge pg.51.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación desarrollada es del tipo “Investigación aplicada-cuantitativa-experimental”

Es cuantitativa ya que las variables se miden con procedimientos estandarizados y se analizan los resultados numéricos.

Es aplicada ya que se ejecutan los ensayos de laboratorio para finalmente con los resultados calcular e interpretar los resultados.

Desde el enfoque del análisis es una investigación Experimental porque tiene las siguientes características: control, manipulación y observación de variables.

2.2. Variables, Operacionalización de variables

Las variables en estudio son:

2.2.1. Variable independiente:

- Ensayo triaxial.

2.2.2. Variable dependiente:

- Determinar la óptima capacidad admisible.

2.3. Población y muestra

De acuerdo al proyecto de investigación a realizarse, la población está representada por el número de muestras a estudiar que son el número de calicatas de exploración en este caso 3 calicatas.

El muestreo es no probabilístico con método a conveniencia ligado a criterio y elección del investigador.

El tipo muestreo no probabilístico no necesita los datos del universo poblacional y la obtención de la muestra no es al azar, este tipo de muestreo permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador. (Otzen & Manterola, 2021)

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección

2.4.1. Técnicas

Para la técnica de recolección de datos se consideró la toma de la información de campo mediante reconocimiento de la superficie y la exploración de suelos con calicatas, así como de revisión bibliográfica.

2.4.2. Instrumentos de recolección

Mediante formatos de las exploraciones de suelos y hojas de cálculo que se utilizaran para su procesamiento en los ensayos de laboratorio como son: Contenido de Humedad, Análisis de granulometría, Límite líquido y Límite plástico, Ensayo Triaxial CU, Clasificación de suelos SUCS, Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea, Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea, Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea.

2.4.3. Validación

La validación de la investigación fue efectuada siguiendo las normas ASTM (American Society for testing and materials) y las Normas técnicas peruanas para la realización de exploración de calicatas y ensayos en laboratorio, así como los certificados de calibración por INACAL (Instituto Nacional de la Calidad) de los equipos utilizados en laboratorio. En el Anexo 3: *Certificados de calibración de los equipos usados*, se adjuntan los documentos escaneados.

2.5. Análisis de datos

Para la presente tesis: “Estudio de mecánica de suelos en la cimentación del puente La Cabaña mediante ensayo triaxial para determinar la óptima capacidad admisible, distrito Rosa de Quives 2021” se llevó a cabo una visita a campo y se recopilaron datos

que se tomaran como base para los ensayos de laboratorio finalizando con el informe y conclusiones de los resultados.

2.6. Equipos, materiales y herramientas

2.6.1. Equipos de laboratorio

- Computadoras
- Celda de carga de 5kN modelo: UTGM-0010.
- Máquina universal para multiensayos, electromecánica modelo: UTGM-0108.
- Tamices
- Copa de casa Grande
- Horno 220KV
- Equipo de densidad de campo

2.6.2. Materiales

- Bolsas para muestras
- Útiles de escritorio (lapiceros, plumones, papel, lápices)
- Parafina (muestras inalteradas)
- Cajas de madera
- Tanque de agua de 1m³

2.6.3. Herramientas

- Picos
- Barretas
- Palanas
- Alicates
- Baldes
- Herramienta stilson 8", 6" y 3"
- Soga
- Bolsas

2.7. Método de trabajo

Para los estudios de mecánica de suelos se llevó a cabo la siguiente metodología de trabajo:

2.7.1. Fase preliminar

Esta fase fue programada para desarrollarse en 7 días y las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

- Recopilación básica existente del área de estudio.
- Planeamiento de las actividades de campo; incluyendo el desplazamiento e instalación del personal técnico, equipos y apoyo logístico correspondiente.

2.7.2. Fase de campo

Se realiza primeramente una inspección visual para luego realizar el trabajo de campo; las actividades desarrolladas fueron las siguientes:

- Reconocimiento de campo.
- Exploración en campo mediante calicatas según norma ASTM D4220.

2.7.3. Fase de ensayos de laboratorio

2.7.3.1. Ensayos en suelos

Los ensayos físico-mecánicos se realizaron según las normas ASTM y las pruebas realizadas son las siguientes:

- Contenido de Humedad ASTM D2216.
- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D6913.
- Límite líquido y Límite plástico ASTM D4318.
- Clasificación de suelos SUCS ASTM D2487.
- Ensayo Triaxial CU.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo donde se puede observar el procedimiento de realización del ensayo triaxial en laboratorio:

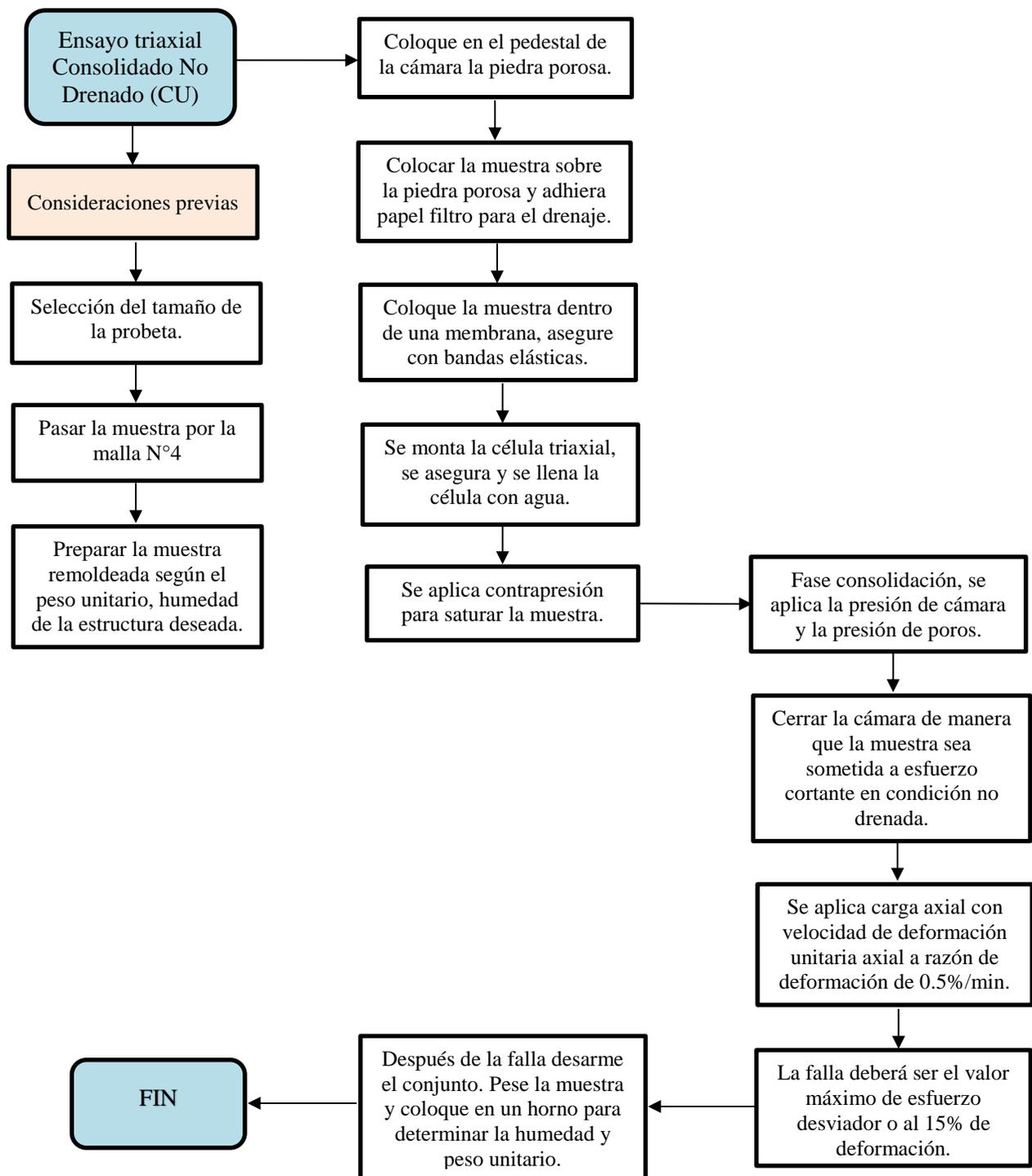


Figura 14. Diagrama de flujo para ensayo triaxial CU.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.3.2. Ensayos químicos

Existen agentes químicos en los suelos que ha ciertas cantidades son perjudiciales para el concreto y/o acero usado en la cimentación por tal razón es necesario realizar los siguientes ensayos:

- Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea NTP 339.152.
- Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea AASHTO T291.
- Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea AASHTO T290.

2.7.4. Fase de gabinete

En esta etapa se realiza el cálculo de la capacidad admisible del suelo y el asentamiento del suelo.

- Cálculo de capacidad admisible, asentamientos según los parámetros obtenidos en el ensayo triaxial.

A continuación, en la figura 15, se muestra un diagrama donde se muestras el proceso del trabajo realizado:

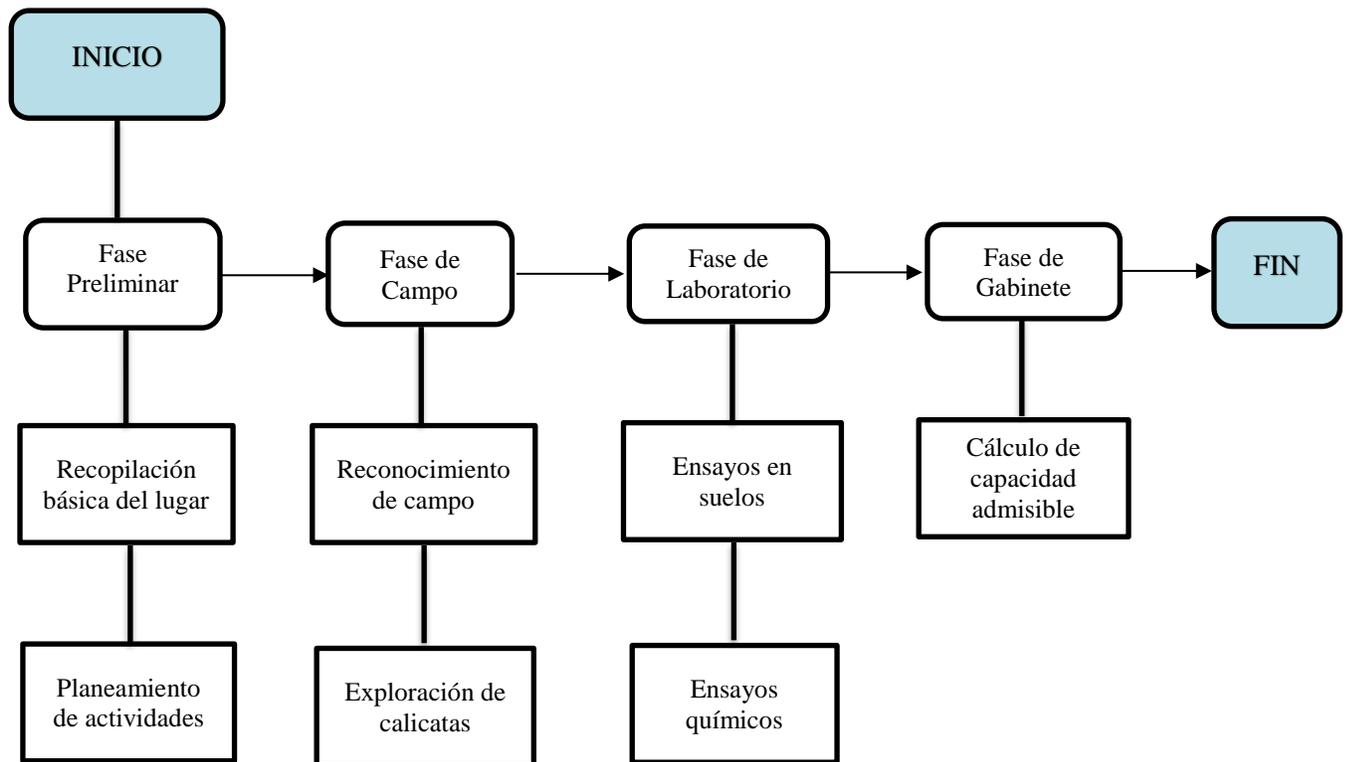


Figura 15. Procedimiento realizado en la presente investigación.

Fuente: Elaboración propia.

2.8. Aspectos Éticos

- La presente investigación cumplirá con los requisitos de originalidad, objetividad y ética.
- En el presente proyecto de investigación; se respetará el derecho de autor para así evitar todo tipo de copia y plagio; se citarán adecuadamente las investigaciones que han sido publicadas previamente.
- Los resultados serán auténticos sin ninguna modificación y/o alteración.

A continuación, se muestra la tabla 6 con los procedimientos que se siguieron para responder los objetivos específicos trazados.

Tabla 6:

Procedimiento a desarrollar en la investigación.

Objetivo específico	Actividades
<p>Objetivo específico 1 Evaluar las propiedades físicas mecánicas y químicas de los suelos, mediante los ensayos en laboratorio.</p>	<p>Ensayos en suelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contenido de Humedad. - Análisis granulométrico por tamizado. - Límite líquido y Límite plástico. - Clasificación de suelos - Ensayo Triaxial CU. <p>Ensayos químicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea. - Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea. - Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea.
<p>Objetivo específico 2 Calcular los parámetros de cohesión y ángulo de fricción del ensayo triaxial para el suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en condiciones totales y efectivas según los datos obtenidos del ensayo triaxial.
<p>Objetivo específico 3 Determinar la capacidad admisible y asentamiento del suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de la capacidad admisible y asentamientos del suelo.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción de la zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la carretera Lima-Canta oficialmente llamada carretera PE-20 A de la ruta nacional paralela al río Chillón, a un kilómetro antes de llegar a la casa de Santa Rosa en el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, en la Región Lima. El puente es llamado La Cabaña y se encuentra en el centro poblado del mismo nombre, se encuentra enmarcado dentro de las siguientes coordenadas:

Zona: 18L

Punto de inicio: 304169.63 m E; 8708858.99 m S

Punto final: 304187.95 m E; 8708918.68 m S

A una altura aproximada de 1139 metros sobre el nivel del mar.

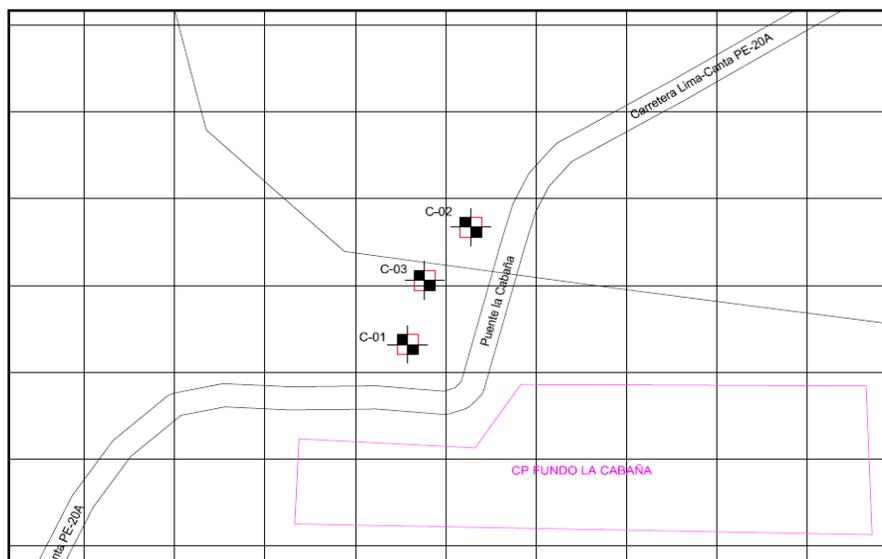


Figura 16. Plano de ubicación de calicatas del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

El puente la Cabaña es de un solo carril metálico de tipo “Bailey”. A continuación, se muestra la figura 17, que es una foto del puente en su actual estado.



Figura 17. *Vista del terreno bajo el puente La Cabaña.*

Fuente: Propia.

La figura 18 muestra la vista del terreno bajo el puente cercano a uno de los estribos.



Figura 18. *Vista transversal del Puente La Cabaña.*

Fuente: Propia

3.1.1. Clima y temperatura

El clima en el distrito de Santa Rosa de Quives es templado y se ubica en la zona árida/desértica, su temperatura media anual oscila entre 13-21 °C, en épocas de verano entre los meses de abril y setiembre el riachuelo que cruza el puente la cabaña se presenta seco sin embargo en época de invierno que son entre los meses de octubre y marzo el riachuelo puede cargarse de manera considerable.

3.1.2. Precipitación

La precipitación media anual es de 5-400 mm. Las precipitaciones son frecuentes en los meses de diciembre hasta abril. El río Chillón, quien va a la ladera de la carretera, recibe aguas de quebradas pequeñas y en mayor magnitud del río Arahuay que bordea Santa Rosa de Quives.

3.2. Realización de excavación de calicatas.

Para realizar el estudio de mecánica de suelos se realizó un programa de actividades para la excavación de 03 calicatas:

- Traslado de cuadrilla y herramientas para la jornada.
- Salida 7:00 am desde Carabayllo
- Llegada 8:15 am al puente La Cabaña - Santa Rosa de Quives
- Preparación de personal y herramientas.
- Reconocimiento visual de campo

- Identificación del lugar donde se realizarán las calicatas
- Inicio de excavaciones 9:00 am
- Refrigerio 12:30 -1:30 pm
- Reanudación de actividades 1:45 pm
- Toma de muestras 5:30 – 6:00 pm
- Culminación de actividades y retorno 6:15 pm

Para la realización de las excavaciones se contó con la colaboración de una cuadrilla conformada por:

- 05 peones
- 01 capataz

Se excavaron 03 calicatas a “cielo abierto” que se denominaron C-01, C-02 y C-03 siguiendo la norma ASTM D4220.

La profundidad de las 03 calicatas fue de 3m que es la medida mínima indicada en la norma E0.50. Las calicatas C-01 y C-02 fueron excavadas cada uno en un estribo y la C-03 en el centro donde se ubicaría el pilar del puente.

3.2.1. Muestreo

Debido a que el suelo no presentaba presencia de arcillas no se tenía la facilidad de obtener muestras inalteradas por lo que se optó por extraer muestras alteradas las cuales

fueron guardadas, selladas y codificadas para luego trasladarlas al laboratorio donde se realizaron los ensayos.

3.3. Descripción del perfil estratigráfico.

3.3.1. Calicata en estribo izquierdo C-01

No presenta nivel freático a la profundidad de 3.00 m y está conformado por un estrato M-1 de 1.50 m de espesor conformado por una grava bien gradada con limo y arena, no plástico, semi seco, color beige, con gravas de tamaño mayores de 3” y angulares, cementación débil y dilatancia rápida.

El segundo estrato M-2 de 1.50 m de espesor está conformado de grava bien gradada con limo y arena, no plástico, semi húmedo, color beige, con gravas de tamaño máximo nominal de 2”.

3.3.2. Calicata en estribo derecho C-02

No presenta nivel freático a la profundidad de 3.00 m y está conformado por un estrato M-1 de 1.50 m de espesor conformado por una grava bien gradada con limo y arena, no plástico, semi seco, color beige, con gravas de tamaño mayores de 3” y angulares, cementación débil y dilatancia rápida.

El segundo estrato M-2 de 1.50 m de espesor está conformado de grava bien gradada con limo y arena, no plástico, semi húmedo, color beige, con gravas de tamaño máximo nominal de 2”.

3.3.3. Calicata en pilar C-03

No presenta nivel freático a la profundidad de 3.00 m y está conformado por un estrato M-1 de 1.50 m de espesor conformado por una grava bien gradada con limo y arena, no plástico, semi húmedo, color beige, con gravas de tamaño mayores de 3” y angulares, cementación débil y dilatancia rápida.

El segundo estrato M-2 de 1.50 m de espesor está conformado de grava bien gradada con limo y arena, no plástico, semi húmedo, color beige, con gravas de tamaño máximo nominal de 2”.

Los perfiles estratigráficos se muestran en el Anexo 4.

3.4. Evaluación de las propiedades físico mecánicas y químicas de los suelos, mediante los ensayos en laboratorio.

La totalidad de ensayos de laboratorio fueron realizados en las instalaciones de la empresa MTL Geotecnia ubicado en el Jr. La Madrid N° 264, Asociación Los Olivos, distrito de San Martín de Porres.

El laboratorio cuenta con la certificación de calibración por INACAL de todos los equipos utilizados en los ensayos.

A continuación, se detallan las pruebas realizadas y los datos obtenidos del suelo en estudio.

3.4.1. Ensayos en suelos

3.4.1.1. Contenido de humedad

Se realizaron 02 muestras de cada calicata para obtener los porcentajes de humedad. Para el secado de las muestras se empleó un horno de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Los resultados muestran niveles de humedad bajos y como se evidencio en las excavaciones de calicatas no se llegó a la napa freática. En la siguiente tabla 7, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7:

Contenido de humedad ASTM D2216.

Muestra	Profundidad	Humedad (%)
C-01 / M-01	1.50 m	4.7%
C-01 / M-02	3.00 m	4.6%
C-02 / M-01	1.50 m	4.4%
C-02 / M-02	3.00 m	4.9%
C-03 / M-01	1.50 m	4.0%
C-03 / M-02	3.00 m	4.7%

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2. Análisis Granulométrico por tamizado ASTM 6913

El análisis granulométrico tiene como objetivo obtener la distribución del tamaño de partículas en la muestra de suelo para su posterior clasificación en los sistemas SUCS y

AASHTO. De igual manera que para el contenido de humedad la clasificación se realizó a dos muestras por cada calicata.

En el procedimiento para la obtención la muestra fue secada al horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Se realizó un tamizado manual. En el proceso se identificó que el tipo de suelo es inorgánico. En el Anexo 5, se muestra la distribución granulométrica del tamizado junto a la curva granulométrica de los suelos de la muestra M-01 y M-2 de la calicata C-01; M-01 y M-2 de la calicata C-02; M-01 y M-2 de la calicata C-03.

Del análisis granulométrico se obtuvo la información mostrada en la tabla 8:

Tabla 8:

Resumen de distribución granulométrica.

Calicata	Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
C-01	M-01	52.9	40.9	6.2
	M-02	53.6	40.9	5.4
C-02	M-01	53.2	40.3	6.5
	M-02	56.1	38.1	5.8
C-03	M-01	54.4	40.2	5.4
	M-02	55.3	39.2	5.5

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Límite líquido y Límite plástico ASTM D4318

Los límites líquido y límite plástico se refieren al contenido de arcillas o limos en los suelos y esto conlleva a que a mayor contenido de arcillas más elevado será su plasticidad.

Sin embargo, como se ha visto en el análisis granulométrico el suelo es granular lo que indica que el suelo no es cohesivo, de todas maneras, se realizó el ensayo siguiendo la norma ASTM D4318. La tabla 9, muestra los resultados de los límites de consistencia. En los suelos no cohesivos o también llamados suelos granulares las partículas no se juntan o adhieren entre sí, debido a que sus partículas son relativamente grandes (arenas, gravas y limos)

Tabla 9:

Límites de consistencia.

Muestra	C-01		C-02		C-03	
	M-01	M-02	M-01	M-02	M-01	M-02
Límite líquido (LL)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Límite plástico (LP)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Índice plástico (IP)	NP	NP	NP	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

NP indica que No Presenta la propiedad plástica.

3.4.1.4. Clasificación de suelos SUCS/AASHTO

Para la clasificación del suelo se toman los valores de granulometría y límites de consistencia. La muestra resultó ser una Grava bien gradada con limo y arena en las 6 muestras evaluadas. En el sistema SUCS se denomina GW-GM y en el sistema AASHTO A-1-a (0); ver tabla 10 con el resumen de resultados.

Tabla 10:

Clasificación del suelo por cada calicata.

Clasificación de suelos	C-01	C-02	C-03
Clasificación SUCS	GW-GM	GW-GM	GW-GM
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.5. Ensayo triaxial CU

Para realizar el ensayo se contó con el equipo para ensayos triaxial de la marca UTEST del laboratorio MTL geotecnia, en la figura 19 se muestra una foto durante el ensayo:



Figura 19. Foto tomada de la Prensa UTEST para ensayo triaxial en el laboratorio MTL Geotecnia.

Fuente: Propia.

El ensayo triaxial se realiza con 3 presiones de confinamiento en cámara diferentes que son: $\sigma'_3 = 50kPa, 100kPa$ y $200kPa$.

El método que se empleó para obtener la muestra remoldeada fue el método de corte y reemplazo que consiste en pasar la muestra de suelo por la malla N°4 reemplazando la parte de mayor tamaño que queda retenida.

En la tabla 11 se muestran las condiciones iniciales en las que se encuentra la muestra antes del ensayo.

Tabla 11:

Condiciones y datos iniciales del ensayo triaxial.

	$\sigma_3= 50$ kPa		$\sigma_3= 100$ kPa		$\sigma_3= 200$ kPa
Altura (mm)	139	Altura (mm)	139	Altura (mm)	139
Diámetro (mm)	69	Diámetro (mm)	69	Diámetro (mm)	69
Humedad (%)	8.37	Humedad (%)	9.12	Humedad (%)	8.21
Densidad Húmeda (gr/cc)	1.701	Densidad Húmeda (gr/cc)	1.697	Densidad Húmeda (gr/cc)	1.701
Densidad Seca (gr/cc)	1.569	Densidad Seca (gr/cc)	1.555	Densidad Seca (gr/cc)	1.572
Relación de vacíos	0.708	Relación de vacíos	0.723	Relación de vacíos	0.704
Grado de saturación	31.70%	Grado de saturación	33.80%	Grado de saturación	31.23%
Gravedad Especifica *	2.68	Gravedad Especifica *	2.68	Gravedad Especifica *	2.68

Fuente: Elaboración propia

* Para la Gravedad Especifica se consideró un valor de 2.68 según el historial de resultados que maneja el laboratorio para suelos similares.

En la tabla 12 se muestran las condiciones después de la consolidación y saturación para dar inicio a la etapa de corte.

Tabla 12:

Condiciones y datos iniciales después de la consolidación.

$\sigma_3 = 50 \text{ kPa}$		$\sigma_3 = 100 \text{ kPa}$		$\sigma_3 = 200 \text{ kPa}$	
Consolidación y Saturación		Consolidación y Saturación		Consolidación y Saturación	
Contrapresión (kPa)	155	Contrapresión (kPa)	210	Contrapresión (kPa)	243
Parámetro B (%)	95	Parámetro B (%)	93	Parámetro B (%)	96
Altura corregida (mm)	138.82	Altura corregida (mm)	138.75	Altura corregida (mm)	138.65
Área corregida (mm ²)	3741.25	Área corregida (mm ²)	3741.98	Área corregida (mm ²)	3741.51

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describirá todo el proceso realizado para el cálculo con el objetivo de obtener los parámetros que sirvan para determinar la capacidad admisible del suelo.

A manera de ejemplo se muestra el cálculo para poder graficar los círculos de Mohr para un esfuerzo de confinamiento inicial de $\sigma_3 = 50 \text{ kPa}$

Ensayo 1: Para un esfuerzo de confinamiento inicial de $\sigma_3 = 50 \text{ kPa}$

El volumen inicial lo calculamos con el diámetro inicial y altura inicial.

$$V_0 = \frac{3.1416 * D_0^2}{H_0}$$

$$V_0 = 519760.0112 \text{ mm}^3$$

La altura corregida H_c de la muestra después de la consolidación es determinado según la ecuación 15:

Ecuación 15: Ecuación para determinar la altura corregida.

$$H_c = H_0 - \Delta H_c$$

Donde:

ΔH_c = Cambio de altura en la consolidación.

H_0 = Altura inicial.

Con estos datos y las lecturas obtenidas en el dial del equipo después de la consolidación podremos calcular el área corregida (A_c) según lo indicado en la norma ASTM4767 en el método A.

Ecuación 16: Ecuación para determinar el Cambio de volumen durante la saturación leído en las buretas.

$$\Delta V_{sat} = 3 * V_0 * \left(\frac{\Delta H_s}{H_0}\right)$$

Donde:

ΔH_s = Cambio de altura durante la saturación.

Ecuación 17: Ecuación para determinar el área corregida después de la consolidación.

$$A_c = \frac{(V_0 - \Delta V_{sat} - \Delta V_c)}{H_c}$$

Donde:

ΔV_c = Cambio de volumen durante la consolidación leído en las buretas.

Como datos tenemos:

$$\Delta H_s = 0$$

$$\Delta H_c = 0.18 \text{ mm}$$

$$\Delta V_c = 0.40 \text{ cm}^3$$

Entonces reemplazando en las ecuaciones 15, 16 y 17 tenemos:

$$\Delta V_{sat} = 0$$

$$H_c = 139 - 0.18 = 138.82 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el Área corregida al inicio de la etapa de corte:

$$A_{co} = \frac{(519760.0112 - 0 - 0.40 * 1000)}{138.82} = 3741.25 \text{ mm}^2$$

Estos datos son calculados previo a la etapa de corte.

Los datos arrojados por el equipo del ensayo triaxial en la etapa de corte son: la deformación unitaria % (E%), Fuerza vertical (P) y la Presión de Poros.

La velocidad de corte es 0.5%/min para lo cual se va registrando los demás datos indicados anteriormente.

El Esfuerzo desviador es calculado con la *Fuerza vertical* y *Área (área corregida)*.

Por ejemplo, en la falla

Para una Deformación unitaria E %=15 (según lo sugerido en la norma ASTM 4767), la

Fuerza vertical es = 593.2575 N y la Presión de poros $u_f = 4.39 \text{ kPa}$

Por lo tanto, el esfuerzo desviador se calcula con la ecuación 18:

Ecuación 18: Ecuación para hallar el esfuerzo desviador.

$$\Delta\sigma = \frac{P}{A_c}$$

Donde:

$$A_c = \frac{A_{co}}{1 - E\%}$$

Hallamos el área corregida:

$$A_c = \frac{3741.25 \text{ mm}^2}{1 - 0.15} = 4401.4679 \text{ mm}^2$$

Reemplazando los datos en la ecuación 18, se obtiene:

$$\Delta\sigma = \frac{593.2575}{4401.4679} = 134.786 kPa$$

El esfuerzo total principal en la falla se calcula según la ecuación 3, de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma$$

Reemplazando:

$$\sigma_1 = 50 + 134.786 = 184.786 kPa$$

Esfuerzo efectivo principal mayor en la falla se calcula con la ecuación *ec.04*:

$$\sigma'_1 = (\sigma_3 + \Delta\sigma_f) - u_f$$

Reemplazando:

$$\sigma'_1 = 184.786 - 4.39 = 180.394 kPa$$

Esfuerzo efectivo principal menor en la falla se calcula con la ecuación *ec.05*:

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f$$

Reemplazando:

$$\sigma'_3 = 50 - 4.39 = 45.608 kPa$$

Luego, para calcular el centro (p) y radio (q) utilizamos las ecuaciones 6 y 7 respectivamente:

$$p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$$

$$q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$$

Por lo tanto:

$$p_1 = \frac{(184.786 + 50)}{2} = 117.393 \text{ kPa}$$

$$q_1 = \frac{(184.786 - 50)}{2} = 67.393 \text{ kPa}$$

Con los datos de centro (p') y radio (q') principales efectivos podemos graficar el círculo de Mohr.

$$p' = \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2}$$

$$q' = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2}$$

Por lo tanto:

$$p_1' = \frac{(180.394 + 45.608)}{2} = 113.001 \text{ kPa}$$

$$q_1' = \frac{(180.394 - 45.608)}{2} = 67.393 \text{ kPa}$$

Luego, se calcula el esfuerzo normal (σ) y el esfuerzo cortante (τ) mediante las ecuaciones 19 y 20 respectivamente.

Ecuación 19: Ecuación para hallar el esfuerzo normal.

$$\sigma = p - q * \cos \alpha$$

Ecuación 20: Ecuación para hallar el esfuerzo cortante.

$$\tau = q * \operatorname{sen} \alpha$$

Donde:

α : ángulo para tabular

Posteriormente se tabula para graficar los círculos de Mohr como se muestra en la figura 20 para valores totales y efectivos; así como la figura 21 que grafica los círculos de Mohr totales y efectivos.

Angulo (sexa)	Angulo(rad)	totales		efectivos	
		sigma	tao	sigma	tao
0	0.000	184.786	0.000	180.394	0.000
10	0.175	183.762	11.703	179.370	11.703
20	0.349	180.722	23.050	176.330	23.050
30	0.524	175.757	33.697	171.365	33.697
40	0.698	169.019	43.319	164.627	43.319
50	0.873	160.713	51.626	156.321	51.626
60	1.047	151.090	58.364	146.698	58.364
70	1.222	140.443	63.329	136.051	63.329
80	1.396	129.096	66.369	124.704	66.369
90	1.571	117.393	67.393	113.001	67.393
100	1.745	105.690	66.369	101.298	66.369
110	1.920	94.343	63.329	89.951	63.329
120	2.094	83.697	58.364	79.305	58.364
130	2.269	74.074	51.626	69.682	51.626
140	2.443	65.767	43.319	61.375	43.319
150	2.618	59.029	33.697	54.637	33.697
160	2.793	54.064	23.050	49.672	23.050
170	2.967	51.024	11.703	46.632	11.703
180	3.142	50.000	0.000	45.608	0.000

Figura 20. Esfuerzos normales (σ), esfuerzos cortantes (τ); totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 50 kPa.

Fuente: Elaboración propia.

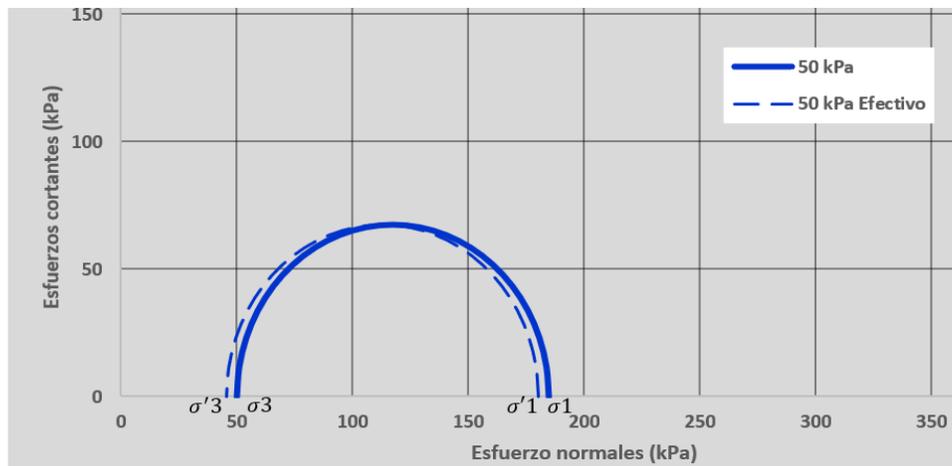


Figura 21. Círculos de Mohr totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 50 kPa.

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo 2: Para un esfuerzo de confinamiento inicial de $\sigma_3 = 100\text{kpa}$

Siguiendo el mismo procedimiento descrito en el Ensayo 1 obtenemos la figura 22 y 23.

Angulo (sex)	Angulo(rad)	totales		efectivos	
		sigma	tao	sigma	tao
0	0.000	345.018	0.000	335.258	0.000
10	0.175	343.157	21.273	333.397	21.273
20	0.349	337.630	41.901	327.870	41.901
30	0.524	328.605	61.254	318.845	61.254
40	0.698	316.356	78.747	306.596	78.747
50	0.873	301.256	93.847	291.496	93.847
60	1.047	283.763	106.096	274.003	106.096
70	1.222	264.409	115.121	254.649	115.121
80	1.396	243.782	120.648	234.022	120.648
90	1.571	222.509	122.509	212.749	122.509
100	1.745	201.235	120.648	191.475	120.648
110	1.920	180.608	115.121	170.848	115.121
120	2.094	161.254	106.096	151.494	106.096
130	2.269	143.762	93.847	134.002	93.847
140	2.443	128.662	78.747	118.902	78.747
150	2.618	116.413	61.254	106.653	61.254
160	2.793	107.388	41.901	97.628	41.901
170	2.967	101.861	21.273	92.101	21.273
180	3.142	100.000	0.000	90.240	0.000

Figura 22. Esfuerzos normales (σ), esfuerzos cortantes (τ); totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 100 kPa.

Fuente: Elaboración propia.

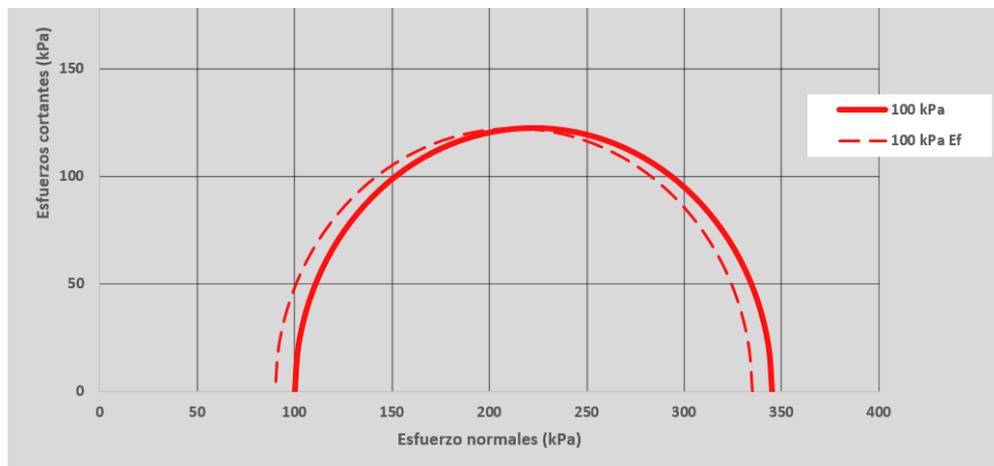


Figura 23. Círculos de Mohr totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 100 kPa.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo 3: Para un esfuerzo de confinamiento inicial de $\sigma_3 = 200kpa$

Siguiendo el mismo procedimiento descrito en el Ensayo 1 obtenemos la figura 24 y 25.

Angulo (sexa)	Angulo(rad)	totales		efectivos	
		sigma	tao	sigma	tao
0	0.000	660.753	0.000	644.161	0.000
10	0.175	657.253	40.004	640.661	40.004
20	0.349	646.860	78.793	630.268	78.793
30	0.524	629.889	115.188	613.297	115.188
40	0.698	606.855	148.083	590.263	148.083
50	0.873	578.460	176.479	561.868	176.479
60	1.047	545.565	199.512	528.973	199.512
70	1.222	509.170	216.483	492.578	216.483
80	1.396	470.381	226.877	453.789	226.877
90	1.571	430.377	230.377	413.785	230.377
100	1.745	390.372	226.877	373.780	226.877
110	1.920	351.583	216.483	334.991	216.483
120	2.094	315.188	199.512	298.596	199.512
130	2.269	282.293	176.479	265.701	176.479
140	2.443	253.898	148.083	237.306	148.083
150	2.618	230.865	115.188	214.273	115.188
160	2.793	213.893	78.793	197.301	78.793
170	2.967	203.500	40.004	186.908	40.004
180	3.142	200.000	0.000	183.408	0.000

Figura 24. Esfuerzos normales (σ), esfuerzos cortantes (τ); totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 200 kPa.

Fuente: Elaboración propia.

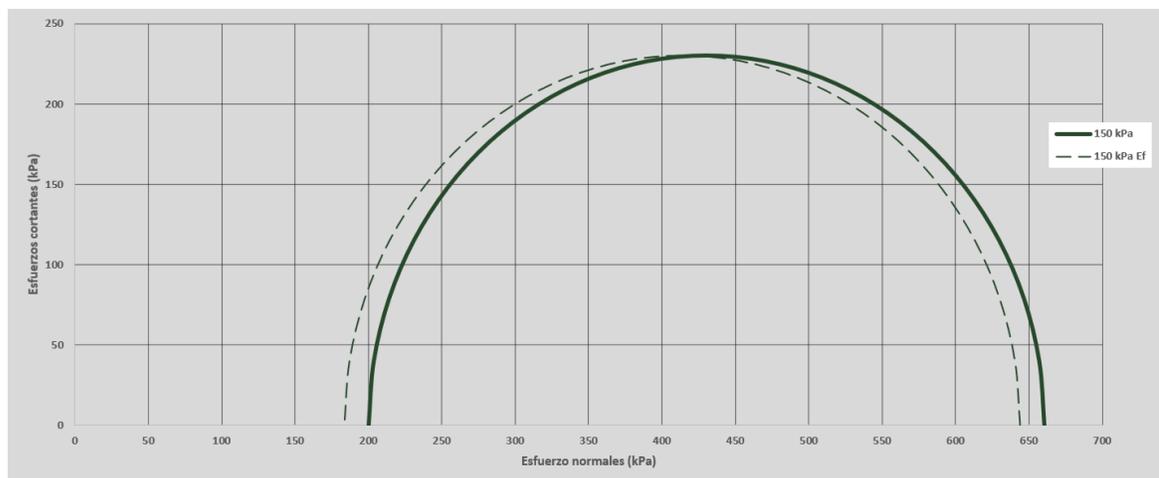


Figura 25. Círculos de Mohr totales y efectivos para un esfuerzo de confinamiento de 200 kPa.

Fuente: Propia.

Podemos notar que los círculos de Mohr para esfuerzos efectivos se mueven a la izquierda con presión de poros positiva lo que indica que el comportamiento es contractivo.

Al tener trazados los círculos de Mohr para las 3 presiones de confinamiento diferentes, podemos trazar la envolvente de falla que sería trazar una recta tangente a los 3 círculos con lo que se obtendría la cohesión y el ángulo de fricción en condiciones totales y efectivas, ver figura26.

La cohesión se obtiene en el punto donde corta la tangente sobre el eje del esfuerzo cortante y el ángulo de fricción (ϕ) se calcula como el ángulo que forma la recta tangente con el eje horizontal.

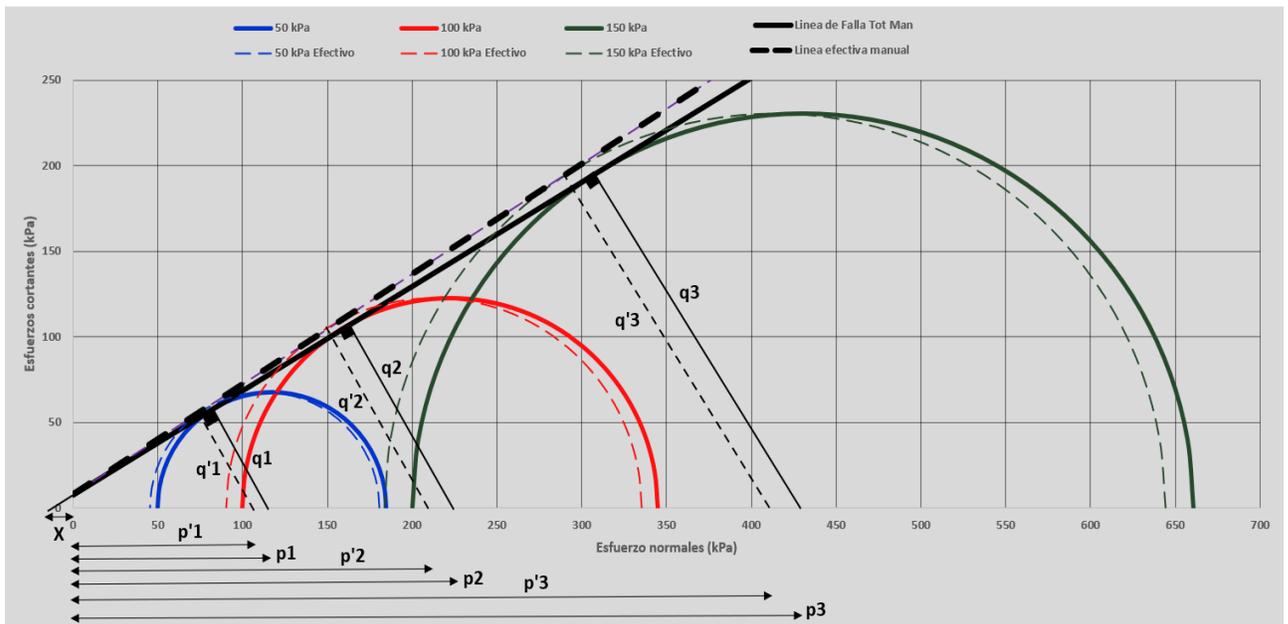


Figura 26. Círculos de Mohr totales y efectivos para las 3 presiones de confinamiento de 50 kPa, 100 kPa y 200 kPa.

Fuente: Elaboración propia.

La norma ASTM D4767 recomienda que el estado de falla se logra a un porcentaje de deformación unitaria de 15%, los datos obtenidos se muestran en la tabla 13.

Tabla 13:

Datos obtenidos al estado de falla.

Espécimen	Deformación	Esfuerzo Desviador	p	q	p'	q'
E1	15%	134.78	117.39	67.39	113.00	67.39
E2	15%	245.01	222.50	122.50	212.74	122.50
E3	15%	460.75	430.37	230.37	413.78	230.37

Fuente: Elaboración propia

A continuación, una imagen de la prueba triaxial donde la muestra se encuentra en el estado de falla.



Figura 27. *Muestra después de la falla.*

Fuente: Propia.

De la figura 26, por semejanza de triángulos:

$$\text{sen}(\phi) = \frac{q_3}{p_3+x} = \frac{q_1}{p_1+x}$$

Despejando x :

$$x = \frac{q_1 * p_3 - q_3 * p_1}{q_3 - q_1} = \frac{67.393 * 430.376 - 230.376 * 117.393}{230.376 - 67.393}$$

$$x = 12.0245$$

Entonces:

$$\text{sen}(\phi) = \frac{q_3}{p_3+x} = \frac{230.376}{430.376 + 12.0245} = 0.52074$$

$$\text{arcsen}(\phi) = 31.381^\circ$$

$$\phi = \mathbf{31.381^\circ}$$

La cohesión se calcula mediante la ecuación 1 y despejando la cohesión:

$$c = \tau_f - \sigma * \tan\phi$$

Siendo:

$$\tau_f = q * \cos\phi$$

$$\sigma = p - q * \text{sen}\phi$$

Por lo tanto, reemplazando los valores p_1, q_1 ; luego p_2, q_2 y finalmente q_3, p_3 en la ecuación 1, para luego calcular un promedio con lo que se obtiene la cohesión para valores totales:

$$\mathbf{c = 7.557 \text{ kPa}}$$

De la misma manera se calcula para los valores efectivos:

Por semejanza de triángulos:

$$\text{sen}(\phi') = \frac{q'_3}{p'_{3+x}} = \frac{q'_1}{p'_{1+x}}$$

Despejando x :

$$x' = \frac{q'_1 * p'_3 - q'_3 * p'_1}{q'_3 - q'_1} = \frac{67.393 * 413.785 - 230.376 * 113.001}{230.376 - 67.393}$$

$$x' = 11.372$$

Entonces:

$$\text{sen}(\phi') = \frac{q'_3}{p'_{3+x'}} = \frac{230.376}{413.785 + 11.372} = 0.5410$$

$$\text{arcsen}(\phi') = 32.752^\circ$$

$$\phi' = 32.752^\circ$$

Por lo tanto, reemplazando los valores p_1' , q_1' ; luego p_2' , q_2' y finalmente q_3' , p_3' en la ecuación 1, para luego calcular un promedio con lo que se obtiene la cohesión para valores totales:

$$c' = 7.974 \text{ kPa}$$

De la misma manera se ha elaborado la tabla 14 con los datos obtenidos para la cohesión y ángulo de fricción totales y efectivos en el estado de falla.

Tabla 14:

Angulo de fricción y cohesión totales y efectivos.

Totales		Efectivos	
ϕ (grados)	c (kPa)	ϕ' (grados)	c' (kPa)
31.381	7.557	32.752	7.974

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo triaxial son la *deformación unitaria* %, *Fuerza*, *Área*, *Presión de Poros*, estos datos se trasladan a una hoja de Excel donde se tiene predeterminada las fórmulas del *Esfuerzo desviador* = $Fuerza/Área$ para luego graficar el *Esfuerzo desviador* vs la *Deformación unitaria*, ver figura 28, así como la gráfica de la *Presión de poros* vs la *Deformación unitaria*, ver figura 29.

Los resultados completos del ensayo triaxial se encuentran en el Anexo 6: Resultados del ensayo Triaxial Consolidado No drenado CU.

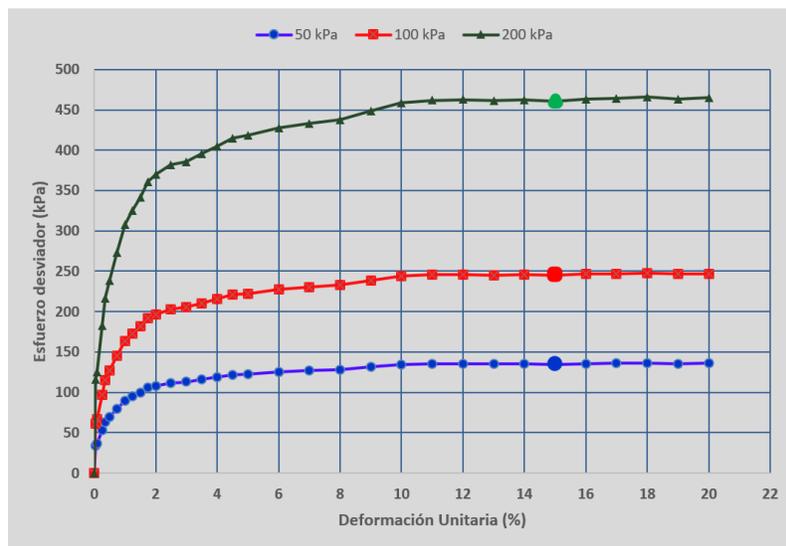


Figura 28. Esfuerzo desviador vs Deformación unitaria para las 3 condiciones de confinamiento.

Fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo desviador es obtenido a través de la fuerza axial que se aplica sobre el área a través de un pistón de carga vertical que va incrementando la presión hasta que causa la falla de corte en la muestra. (Das & León, 2012)

La deformación unitaria es el cambio de la altura en este caso la deformación vertical en relación con la altura inicial debido a la aplicación del esfuerzo desviador, se mide en porcentaje.

La presión de poros es aquella que ejercen los fluidos confinados en el espacio poroso, sobre la matriz de un suelo. (Bowers, 2002)

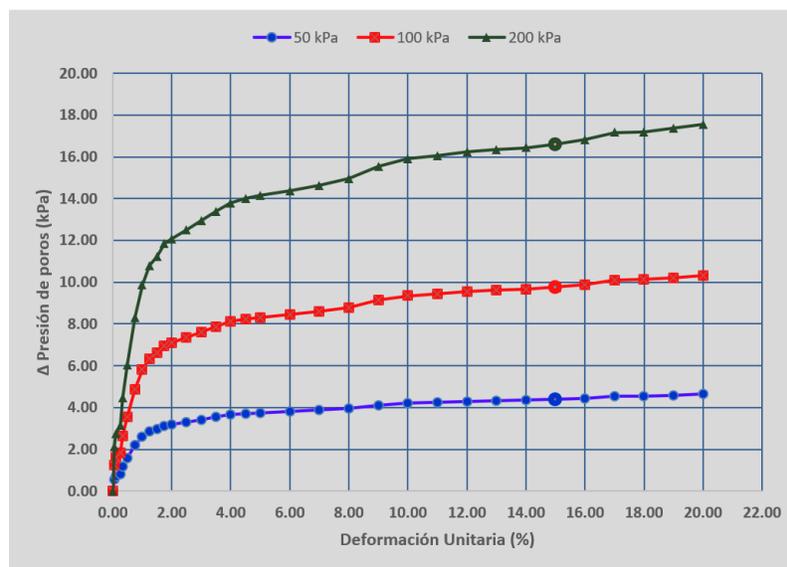


Figura 29. Presión de poros vs Deformación unitaria para las 3 condiciones de confinamiento.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Ensayos químicos

3.4.2.1. Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea.

Este ensayo tiene como finalidad determinar el contenido de sales solubles de una muestra de suelo en este caso se tomó la muestra M-02 de la calicata C-01 y se realizó siguiendo la norma NTP 339.152.

Según la norma E 0.50 las aguas subterráneas son más agresivas que los suelos al estado seco; sin embargo, el humedecimiento de un suelo seco por riego, filtraciones de agua de lluvia, fugas de conductos de agua o cualquier otra causa, puede activar a las sales solubles. La experiencia existente indica que si se supera el nivel de 15000 ppm de sales solubles totales su contenido es perjudicial ya que ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación.

3.4.2.2. Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea.

Este ensayo tiene como finalidad determinar el contenido de cloruros solubles de una muestra de suelo en este caso se tomó la muestra M-02 de la calicata C-01 y se realizó el ensayo siguiendo la norma NTP 339.177/AASHTO T291.

Según lo indicado en la norma E 0.50 los fenómenos corrosivos del ión cloro a las cimentaciones se restringe al ataque químico al acero de refuerzo del concreto armado. Cuando el contenido de ión cloro sea mayor 0.15%, el PR (Profesional Responsable) recomienda las medidas de protección necesarias. (Norma Técnica Peruana E-050, 2018)

3.4.2.3. Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea.

Este ensayo tiene como finalidad determinar el contenido de sulfatos solubles de una muestra de suelo en este caso se tomó la muestra M-02 de la calicata C-01 y se realizó siguiendo la norma NTP 339.178/AASHTO T290.

Según la norma E 0.50 la mayor parte de los procesos de destrucción del concreto causados por la formación de sales agresivas son debidos a la acción de los sulfatos.

La agresión de los sulfatos se diferencia de la causada por las aguas blandas, en que no tiene lugar una lixiviación, sino que la pasta endurecida de cemento, a consecuencia de un aumento de volumen, se desmorona y expansiona, formándose grietas y disgregación del concreto. En el Anexo 7 se muestra los Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos de la norma E 0.60.

Los resultados de todos los ensayos químicos se muestran en la tabla 15.

Tabla 15:

Resultados de ensayos químicos de la muestra M-02 de la calicata C-01.

Ensayo	Resultado		Comentario	Norma
	ppm	%		
Contenido de Sales Solubles	1060	0.106	Nivel mínimo, no supera el nivel crítico de 15000 ppm.	NTP 339.152
Contenido de Sulfatos Solubles	659	0.066	Nivel insignificante no supera el nivel crítico de 0.1%	NTP 339.178/ AASHTO T290
Contenido de Cloruros Solubles	383	0.038	Nivel insignificante no supera el nivel crítico de 0.15%	NTP 339.177/ AASHTO T291

Fuente: Elaboración propia

3.5. Determinación de la capacidad admisible y asentamiento del suelo en estudio.

Para realizar calcular la capacidad admisible se necesita primeramente los resultados obtenidos del ensayo triaxial.

Con los datos obtenidos de cohesión y ángulo de fricción efectivos obtendremos la capacidad admisible del suelo en kg/cm^2 , para cimentación con zapata corrida, según las ecuaciones 10 y 12 con factor de seguridad de $FS=3$.

$$q_u = c' * N_c + q * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_\gamma$$

Considerando que tenemos los valores de $c' = 7.974 kg/cm^2$ y con $\phi' = 32.75^\circ$ se obtienen los factores de capacidad de carga por interpolación según figura 11.

Para $\phi' = 32.75^\circ$

$$N_c = 47.45$$

$$N_q = 31.31$$

$$N_\gamma = 30.68$$

El peso específico considerando que el nivel freático se encuentra arriba de la profundidad de la cimentación, se reemplaza en el 2do y 3er termino γ por γ' y se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

$$\gamma_{sat} = 0.001000 \text{ kg/cm}^3 \text{ (peso unitario saturado)}$$

$$\gamma_w = 0.001701 \text{ kg/cm}^3 \text{ (peso unitario agua)}$$

Entonces:

$$\gamma' = 0.000701 \text{ kg/cm}^3$$

Por lo tanto, la ecuación 10 queda reducida a:

$$q_u = 3.783 + 0.02194 * Df + 0.01075 * B$$

Reemplazando en la ecuación *ec.14*.

$$q_{adm} = 1.261 + 0.007316 * Df + 0.003585 * B$$

Los resultados para distintos valores de ancho de zapata (B) y la profundidad de cimentación (Df) y se muestran en la figura 30.

qad= (kg/cm ²)		B= Ancho de zapata (m)							
		1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
Df= profundidad (m)	1.00	2.35	2.42	2.49	2.57	2.64	2.71	2.78	2.85
	1.20	2.50	2.57	2.64	2.71	2.78	2.86	2.93	3.00
	1.60	2.79	2.86	2.93	3.01	3.08	3.15	3.22	3.29
	2.00	3.08	3.15	3.23	3.30	3.37	3.44	3.51	3.58
	2.40	3.38	3.45	3.52	3.59	3.66	3.73	3.81	3.88
	2.60	3.52	3.59	3.67	3.74	3.81	3.88	3.95	4.02
	2.80	3.67	3.74	3.81	3.88	3.95	4.03	4.10	4.17
	3.00	3.81	3.89	3.96	4.03	4.10	4.17	4.24	4.32

Figura 30. Carga admisible de carga para una zapata corrida.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso que se considere cimentación con zapata cuadrada se usaran las ecuaciones 11 y 12 con factor de seguridad de FS=3.

$$q_u = 1.3 * c' * N_c + q * N_q + 0.4 * \gamma * B * N_\gamma \quad \text{ec. 13 (cimentación cuadrada)}$$

De la misma manera que para la cimentación corrida se reemplaza γ por γ' que se calcula de la siguiente manera:

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

Por lo tanto, la ecuación 11 queda reducida a:

$$q_u = 4.918 + 0.02194 * Df + 0.01075 * B$$

Reemplazando los valores calculados en la ecuación 12.

$$q_{adm} = 1.639 + 0.02194 * Df + 0.0086 * B$$

Los resultados para distintos valores de ancho de zapata (B) y la profundidad de cimentación (Df) y se muestran en la figura 31.

qad= (kg/cm ²)		B= Ancho de zapata (m)							
		1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
Df= profundidad (m)	1.00	2.66	2.72	2.77	2.83	2.89	2.94	3.00	3.06
	1.20	2.80	2.86	2.92	2.98	3.03	3.09	3.15	3.21
	1.60	3.10	3.15	3.21	3.27	3.33	3.38	3.44	3.50
	2.00	3.39	3.45	3.50	3.56	3.62	3.68	3.73	3.79
	2.40	3.68	3.74	3.80	3.85	3.91	3.97	4.03	4.08
	2.60	3.83	3.89	3.94	4.00	4.06	4.12	4.17	4.23
	2.80	3.97	4.03	4.09	4.15	4.20	4.26	4.32	4.38
	3.00	4.12	4.18	4.24	4.29	4.35	4.41	4.47	4.52

Figura 31. Carga admisible de carga para una zapata cuadrada.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, para un tipo de suelo poco cohesivo se estima el asentamiento inmediato, mediante la ecuación 14, en la presenta investigación no se realizaron pruebas en laboratorio para determinar el Módulo de Elasticidad, Relación de poisson y el Factor de forma por lo que se consideró de forma teórica los siguientes valores de Modulo de Elasticidad $E_s = 8000 \text{ Tn/m}^2$, Relación de Poisson $\mu = 0.25$ y Factor de forma $I_f = 153 \text{ cm/m}$ de la figura 13 para la cimentación con zapata corrida con relación $L/B=2$. En la figura 32 se muestran los asentamientos para una carga admisible a $D_f = 3.00 \text{ m}$ y distintos anchos de zapata corrida.

Si (Asentamiento probable)	B= Ancho de zapata (m)							
	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
qad= (kg/cm ²)	3.81	3.89	3.96	4.03	4.10	4.17	4.24	4.32
Asentamiento (cm)	0.50	0.61	0.73	0.85	0.97	1.10	1.23	1.36

Figura 32. Asentamiento probable para una zapata corrida.

Fuente: Propia.

En el caso de que la cimentación sea una zapata cuadrada se asumieron los siguientes valores de Modulo de Elasticidad $E_s = 8000 \text{ Tn}/\text{m}^2$, Relación de Poisson $\mu = 0.25$ y Factor de forma $I_f = 112 \text{ cm}/\text{m}$ de la figura 13 para la cimentación con zapata cuadrada. En la figura 33 se muestran los asentamientos para una carga admisible a $D_f = 3.00 \text{ m}$ y distintos anchos de zapata cuadrada.

Si (Asentamiento probable)	B= Ancho de zapata (m)							
	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
qad= (kg/cm ²)	4.12	4.18	4.23	4.29	4.35	4.41	4.46	4.52
Asentamiento (cm)	0.54	0.66	0.78	0.90	1.03	1.16	1.29	1.42

Figura 33. Asentamiento probable para una zapata cuadrada.

Fuente: Propia.

3.6. Contrastación de hipótesis

De acuerdo a la hipótesis planteada donde se especificó que mediante la aplicación del ensayo triaxial, se obtuvo el ángulo de fricción: 32.75° y la cohesión: 7.97 kPa , para luego determinar la óptima capacidad admisible del suelo, considerando una densidad

húmeda inicial de 1.7 gr/cc; para una zapata corrida con una profundidad de $D_f = 3$ m y ancho de zapata de $B = 2.4$ m se obtuvo una capacidad admisible de $q_{adm} = 4.32$ kg/cm² mientras que para una zapata cuadrada con la misma profundidad y ancho de zapata se obtuvo una capacidad admisible de $q_{adm} = 4.52$ kg/cm², el suelo es una *Grava bien gradada con limos y arena* GW – GM en las 3 calicatas; No plásticas; el contenido de humedad es en promedio 4.6%. Por lo tanto, podemos relacionar con los antecedentes:

Para Naranjo 2010, el resultado del ensayo de compresión triaxial arroja una cohesión: 1.98 kg/cm² y el ángulo de fricción: 39° y para una zapata cuadrada con ancho de zapata $B = 3.5$ m y profundidad $D_f = 3.5$ m se obtuvo la capacidad admisible de 2.137 kg/cm² para un suelo con clasificación SUCS: SM – arena limosa.

En su investigación Bermúdez 2007, evaluó 3 tipos de muestras: Limo orgánico - OL, Arena pómez – SM y Limo amarillento MH donde se comparó la cohesión y el ángulo de fricción con los ensayos corte directo y ensayo triaxial.

En los ensayos realizados a la arena pómez se determinó un valor de cohesión, el cual debe de ser interpretado como una fuerza de enganche entre los vértices de las partículas pues este suelo por su naturaleza es “no cohesivo”.

En los 3 materiales estudiados se observa que el ángulo de fricción interna en el corte directo es mayor que en el ensayo triaxial con una variación promedio de 12.2 grados, y la cohesión en promedio es superior en 60.3kpa del triaxial sobre el corte directo.

Propiedades mecánicas con el ensayo corte directo

ENSAYO	LIMO ORGÁNICO (EL FRUTAL)				ARENA POMEZ (VILLA LOBOS)				LIMO AMARILLENTO (MIXCO)			
	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD
	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%
1	43,9	83,4	1,61	27,9	47,4	92,0	1,69	15,7	44,6	83,5	1,54	52,6
2	43,5	73,9	1,71	26,7	49,1	83,5	1,69	14,1	43,6	89,9	1,46	44,5
3	43,6	86,5	1,62	27,5	46,1	84,4	1,68	16,0	40,7	78,6	1,45	46,2
Promedio	43,7	81,3	1,65	27,4	47,5	86,6	1,69	15,3	43,0	84,0	1,48	47,8
Desviación	0,2	6,6	0,05	0,6	1,5	4,7	0,01	1,0	2,0	5,7	0,05	4,3
Coficiente	0,5	8,1	3,3	2,2	3,2	5,4	0,6	6,7	4,7	6,7	3,3	8,9

Propiedades mecánicas con el ensayo triaxial

ENSAYO	LIMO ORGÁNICO (EL FRUTAL)				ARENA POMEZ (VILLA LOBOS)				LIMO AMARILLENTO (MIXCO)			
	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD
	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%
1	29,7	116,7	1,58	25,3	34,9	175,6	1,67	15,2	31,0	143,2	1,45	44,1
2	33,5	102,0	1,58	25,3	34,8	175,6	1,71	14,6	27,2	142,2	1,49	40,0
3	29,4	126,0	1,58	24,4	38,9	157,9	1,69	15,0	33,0	159,9	1,49	40,0
Promedio	30,9	114,9	1,58	25,0	36,2	169,7	1,69	14,9	30,4	148,4	1,48	41,3
Desviación	2,3	12,1	0,00	0,5	2,3	10,2	0,02	0,3	2,9	9,9	0,03	2,4
Coficiente	7,5	10,5	0,0	2,1	6,4	6,0	1,2	2,2	9,7	6,7	1,8	5,7

Figura 34. Comparación de resultados entre ensayo corte directo y ensayo triaxial.

Fuente: Obtenido de Bermúdez 2007.

En su investigación Rincón Gómez y Suárez Pinzón estudio el comportamiento de una arena limosa SM, de la que se obtuvo que el ángulo de fricción en el ensayo triaxial es 1.76 veces el ángulo de fricción en el ensayo de corte directo; a su vez la cohesión en el ensayo triaxial es 2.1 veces mayor a la cohesión en el ensayo de corte directo; lo que resulta que la capacidad de carga ultima en el ensayo triaxial es 20.26 veces mayor que la calculada en el ensayo de corte directo por lo que se concluye que el ensayo triaxial dará como resultado hacer una cimentación con menores dimensiones a menor costo y reduciendo el impacto ambiental por el menor uso de recursos.

En otra investigación, Camargo Caysahuana, 2019 en su tesis “Diseño de Superestructura de Puente Mixto por Estado de Limite en Rio Negro, Satipo, 2019” el estudio de suelos arroja que el suelo es clasificado como Grava pobremente gradada (GP) en un estribo y en el otro un Limo de alta plasticidad (MH) de donde se obtiene para el primer caso una capacidad admisible a $D_f = 1.4$ m de $q_{adm} = 4.27 \text{ kg/cm}^2$ mientras que para el segundo estribo una capacidad admisible a $D_f = 1.5$ m de $q_{adm} = 3.61 \text{ kg/cm}^2$.

Para Ortiz 2017, en su estudio realizado mediante un ensayo de corte directo obtuvo un ángulo de fricción de: 23.94° y una cohesión: 0.1610 kg/cm^2 con lo que se determinó la capacidad portante de: 2.09 kg/cm^2 con ancho de zapata $B = 2$ m y profundidad $D_f = 1.6$ m para un suelo con clasificación SUCS: GW- grava bien gradada con arena.

En la tabla 16 podemos observar la comparación y discusión con otras investigaciones.

Tabla 16:

Discusión y contrastación de antecedentes parte 1.

Estudios	Tipo de ensayo	Prof. Df (m)	Ancho B (m)	Capacidad Admisible (kg/cm ²)	Clasific. SUCS	Triaxial CU		Discusión
						ϕ' (grados)	c' (kg/cm ²)	
Estudio de mecánica de suelos en La Cabaña mediante ensayo triaxial para determinar la óptima capacidad admisible	Triaxial CU	3	2.4	4.32 (c. corrido) 4.52 (c. cuadrado)	GW-GM Grava bien gradada con limos y arena.	32.75	0.079	Se puede concluir que el suelo para la cimentación del puente la cabaña presenta una capacidad admisible óptima según los valores obtenidos en el ensayo triaxial, así como la granulometría y finalmente el asentamiento, aunque se calculó de forma teórica presenta resultados que no sobrepasan el máximo permisible.
		1.6	2	3.15 (c. corrido) 3.38 (c. cuadrado)				
		1.4	1.6	2.91 (c. corrido) 3.20 (c. cuadrado)				
Para Ortiz 2017.	Corte Directo	1.6	2	2.09	GW- grava bien gradada con arena.	23.94	0.161	Comparando con la presente tesis podemos decir que mediante el ensayo triaxial se obtuvo una capacidad admisible 1.5 veces mayor que con el ensayo de corte directo realizado por Ortiz lo cual concuerda con el estudio realizado por Rincón y Suaréz. Los cálculos fueron considerando el nivel freático arriba de la profundidad de cimentación.

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 17:
Discusión y contrastación de antecedentes parte 2.

Estudios	Tipo de ensayo	Prof. Df (m)	Ancho B (m)	Capacidad Admisible (kg/cm ²)	Clasific. SUCS	Triaxial CU		Discusión
						ϕ' (grados)	c' (kg/cm ²)	
En otra investigación, Camargo Caysahuana, 2019.	Corte Directo	1.4	1.6	4.27 (c. corrido) 3.88 (c. cuadrado)	GP - grava pobremente gradada	32	0.00128	Comparando con la presente tesis podemos decir que mediante el ensayo triaxial se obtuvo una capacidad admisible 1.47 veces menor que con el ensayo de corte directo realizado por Camargo, sin embargo, este ensayo fue realizado en condición drenada lo que hace que los resultados varíen considerablemente ya que se sabe que en condiciones saturadas el suelo disminuye su capacidad admisible como lo ha demostrado Ortiz en su investigación.
Para Naranjo 2010, en su investigación.	Triaxial CU	5	3.5	2.137 (c. cuadrado)	SM – arena limosa	39	1.98	La comparación de resultados en los ensayos Geofísicos, SPT y Triaxial y la poca variación de la capacidad portante entre ellos demuestra la confiabilidad y seguridad que brindan estos ensayos, si bien es cierto cada uno presenta sus dificultades y limitaciones los resultados que se presentan son óptimos.
	SPT	5	3.5	2.18 (c. cuadrado)				
	Refracción sísmica	5	4.5	2.04 (c. cuadrado)				
En la investigación de Rincón Gómez y Suárez Pinzón.	Compresión Triaxial	1.5	2	14.81 (c. cuadrado)	SM – arena limosa	44.43	0.41	Determinaron que el ángulo de fricción en el ensayo triaxial es 1.76 veces el ángulo de fricción en el ensayo de corte directo; a su vez la cohesión en el ensayo triaxial es 2.1 veces mayor a la cohesión en el ensayo de corte directo; lo que resulta que la capacidad de carga ultima en el ensayo triaxial es 20.26 veces mayor que la calculada en el ensayo de corte directo. Por lo que concluye que el ensayo triaxial dará como resultado hacer una cimentación con menores dimensiones a menor costo.
	Corte Directo	1.5	2	8.42 (c. cuadrado)				

 Fuente: *Elaboración propia*

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Las limitaciones de la presente investigación están ligadas a la variación que se podría tener al remodelar la muestra para el ensayo triaxial, en el caso de un suelo granular como es el estudiado. Es de conocimiento que los suelos granulares presentan mucha dificultad para la obtención de muestras inalteradas para ser estudiadas en el laboratorio. Esta limitación también es objeto de crítica hacia la norma E0.50 que no recomienda ningún ensayo para suelos gravosos o mixtos por lo que queda en manos de la experiencia del PR la ejecución de varias muestras y también la realización de ensayos en campo como el SPT (ensayo de penetración standard) que complementen los ensayos de laboratorio.

Actualmente, se están realizando ensayos geofísicos como el análisis multicanal de ondas superficiales MASW y de refracción sísmica para identificar las zonas de corte y compresión en los suelos por lo que se espera en un futuro que los ensayos geofísicos sean adoptados por la norma E0.50.

Las exploraciones de calicatas se realizaron siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D4220, a una profundidad de 3m que es la profundidad mínima que recomienda la norma de suelos y cimentaciones E 0.50, no se encontró el nivel de napa freática, el estrato es uniforme de medianamente suelto en las 3 calicatas.

Asimismo, los ensayos químicos determinaron que la influencia de la presencia de Sulfatos, Cloruros y Sales solubles son mínimas e insignificantes ya que no superan los límites que puedan afectar tanto al concreto como al acero.

Por otro lado, el asentamiento calculado es tolerable ya que tanto para una zapata cuadrada $S_i = 1.42$ cm y corrida $S_i = 1.36$ cm ambos asentamientos se encuentran en un nivel menor de 2.5 cm que es el máximo permisible para este tipo de cimentaciones, sin embargo, los parámetros de E_s , μ , I_f , fueron estimados según la figura 13 del libro Diseño de cimentaciones superficiales del Ing. Jorge Alva.

Para conocer de una manera más certera los asentamientos, se deja para futuras investigaciones la realización de ensayos de laboratorio del tipo de Triaxial Consolidado Drenado (CD) y/o el ensayo SPT, donde se podría obtener los valores de Modulo de elasticidad y Modulo de poisson con los que se obtendrían valores más precisos de asentamientos.

Con los valores obtenidos de capacidad admisible se concluye que el suelo es bueno y apto para la cimentación, sin necesidad de ser mejorado, sin embargo, es necesario realizar ensayos de campo o ensayos geofísicos para poder tener una gama de resultados que nos den una visión más certera del comportamiento del suelo.

REFERENCIAS

- Alva, J. (2007). Diseño de cimentaciones superficiales. *Instituto de la construcción y gerencia*.
- Basurto, D. (2010). *Diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos en el laboratorio*. <https://1library.co/document/download/y6e7n8gz>
- Bermúdez, R. (2007). Variación de la Cohesión y el Ángulo de Fricción Interna obtenidos por ensayos de Corte Directo y Triaxial con materiales granulares y arcillosos. *Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala*.
- Bowers, G. L. (2002). Detecting high overpressure. *The leading edge*, 21(2), 174-177.
- Camargo Caysahuana, A. (2019). *Diseño de Superestructura de Puente Mixto por Estado de Limite en Rio Negro, Satipo, 2019*.
- Cometa Trujillo, S., & Mendez Bohorquez, N. J. (2016). *Correlacion entre los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo y el ensayo de triaxial en un suelo arcilloso típico de la Zona Occidental de Bogotá*.
- Das, B. M., & González, S. R. C. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- Das, B. M., & León, J. C. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Cengage Learning México^ eD. F DF.

- Jaime Suárez. (2009, marzo 20). Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico. *EROSION.COM.CO* :: SITIO WEB DEL ING. JAIME SUÁREZ. <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- Jurado Guevara, A. B., & Pérez Araujo, R. F. (2019). *Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la Costa Verde-Miraflores.*
- Loaiza Choque, E., & Galloso Carrasco, A. (2010). *Actividad minera artesanal en la cuenca del río Chillón (Minería de Yangas-Canta) Región Lima-[Boletín E 9].*
- Manual de Puentes, M. (2018). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS,202019.*
- Mascia, N. T., & Sartorti, A. L. (2011). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista ingeniería de construcción*, 26(1), 05-24.
- Morales Erazo, P. A. (2014). *Estudios geotécnicos para cimentaciones de estructuras puentes, muros y edificios, en suelos y rocas.*
- Naranjo Aguay, H. X. (2010). *Análisis comparativo del cálculo de capacidad portante en base a geofísica y método convencional caso práctico Puente sobre el río Maicito.*
- Navas Maza, R. R. (2020). *Propuesta para la implementación de un ECOLODGE para mejorar el turismo vivencial en la provincia de Canta, 2018.*
- Norma Técnica Peruana E-050, N. T. (2018). *E-050 Suelos y Cimentaciones.*

- Ortiz Olivares, B. E. (2019). *Estudio geotécnico con fines de cimentación del Puente Juan Santos Atahualpa, carretera Variante Uchumayo tramo II.*
- Ortiz Quispe, R. W. (2017). *Influencia del nivel freático en la determinación de capacidad portante de suelos, en cimentaciones superficiales, distrito de Pilcomayo en 2017.*
- Otzen, T., & Manterola, C. (2021). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 1(2), 3.
- Pecho, Y. (2019). *Importancia del mantenimiento preventivo de puentes en el Perú.* I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA-LATNET.
- Rincón Gómez, B. C., & Suárez Pinzón, L. J. (2015). *Comparación de parametros de resistencia al esfuerzo cortante en el aparato de corte directo y triaxial para arenas limosas.*
- Romo, M. (2019). *PUENTES Y VIADUCTOS - CAPÍTULO IX: MONITOREO Y MANTENIMIENTO DE PUENTES.*
- Salas, O. V. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Metodos y materiales*, 1(1), 14-24.
- Salazar Martinez, J. E. (2021). *Diseño de cimentaciones para puentes en Guanajuato.*
- Verdugo, R., & De la Hoz, K. (2006). Caracterización geomecánica de suelos granulares gruesos. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2), 199.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia.

Título: Estudio de mecánica de suelos para la cimentación del puente La Cabaña en el distrito de Santa Rosa de Quives mediante ensayo triaxial CU.

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Indicadores	Instrumentos
¿Cómo con el estudio de la mecánica de suelos realizado en la cimentación del puente La Cabaña mediante ensayo triaxial se determinará la óptima capacidad admisible?	<p>General Determinar la óptima capacidad admisible de la cimentación del Puente La Cabaña mediante ensayo triaxial.</p> <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar y analizar las propiedades físico mecánicas y químicas de los suelos, mediante los ensayos en laboratorio. - Calcular los parámetros de cohesión y ángulo de fricción del ensayo triaxial para el suelo. - Determinar la capacidad admisible y asentamiento del suelo. 	<p>General Mediante la aplicación del estudio de mecánica de suelos y con el ensayo triaxial en la cimentación del puente La Cabaña se logró obtener la óptima capacidad admisible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Contenido de Humedad. - Análisis de granulometría - Límite líquido y Límite plástico. - Cohesión y ángulo de fricción. - Capacidad portante del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Horno - Tamices - Copa Casagrande - Equipo para ensayo triaxial CU.

Fuente: *Elaboración propia*

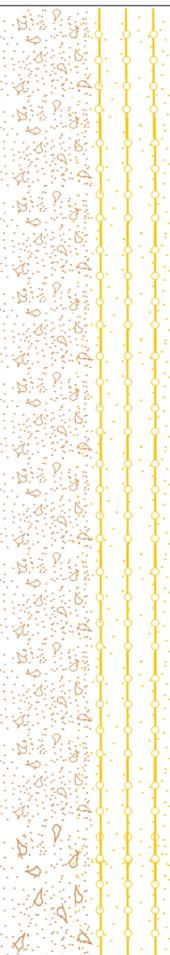
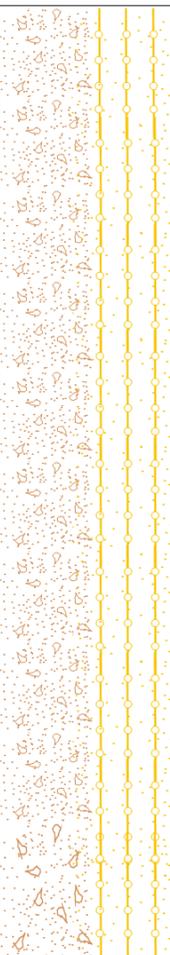
Anexo 2: Operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Ensayo triaxial.	Son las propiedades físicas y químicas que tienen todos los suelos y que mediante la estratigrafía se pueden clasificar.	Se realizará la exploración mediante calicatas para así obtener el perfil estratigráfico y las muestras para laboratorio.	%	Contenido de humedad	Nominal
			%	Limite líquido y limite plástico	Nominal
			%	Análisis granulométrico	Nominal
Variable dependiente: Capacidad Admisible	Es la capacidad de resistencia que tienen los suelos para soportar cargas aplicadas sobre él.	Mediante el ensayo triaxial en laboratorio se podrá los parámetros de cohesión y ángulo de fricción para luego calcular la capacidad admisible del suelo.	kg/cm ²	Parámetros de cohesión y ángulo de fricción.	Nominal

Fuente: *Elaboración propia*

Anexo 3: Perfiles Estratigráficos de cada calicata.

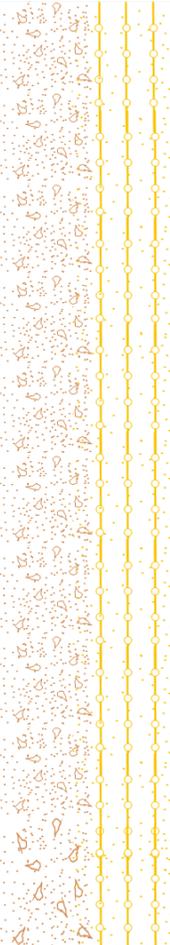
REFERENCIA	: Resultados de Laboratorio		
ELABORADO	: Junior Ali Quispe Cubas		
TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
UBICACIÓN	: Lima		
COORDENADA	: --		
CALICATA	: C-1	Fecha de ensayo:	27/05/2021
PROFUNDIDAD	: 3.00 m		

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.10		GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, NO PLÁSTICO, SEMI HUMEDO, COLOR BEIGE, CON GRAVAS DE TAMAÑO MÁYORES DE 3" Y ANGULARES, CEMENTACIÓN DÉBIL y DILATANCIA RÁPIDA.	M-1	GW GM	A-1-a (0)
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60		GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, NO PLÁSTICO, SEMI HUMEDO, COLOR BEIGE, CON GRAVAS DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 2" Y DE FOMA ANGULAR, CEMENTACIÓN DÉBIL y DILATANCIA RÁPIDA, SE ENCONTRÓ LA PRESENCIA DE GRAVAS MAYORES DE 6", NO SE ENCONTRÓ LA NAPA FREÁTICA	M-2	GW GM	A-1-a (0)
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					

OBSERVACIONES:

* Tipo de Excavación manual a cielo abierto (calicata)

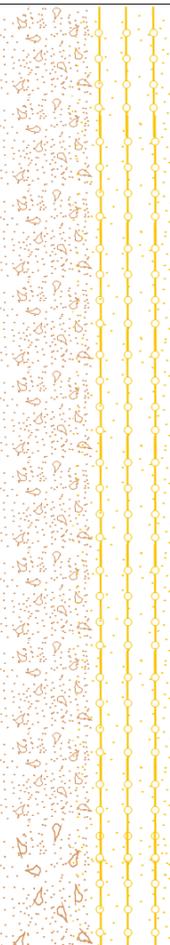
REFERENCIA	: Resultados de Laboratorio		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
UBICACIÓN	: Lima		
COORDENADA	: --		
CALICATA	: C-2	Fecha de ensayo:	27/05/2021
PROFUNDIDAD	: 3.00 m		

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.10		GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, NO PLÁSTICO, SEMI HUMEDO, COLOR BEIGE, CON GRAVAS DE TAMAÑO MÁYORES DE 3" Y ANGULARES, CEMENTACIÓN DÉBIL y DILATANCIA RÁPIDA.	M-1	GW GM	A-1-a (0)
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10		GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, NO PLÁSTICO, SEMI HUMEDO, COLOR BEIGE, CON GRAVAS DE TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE 2" Y DE FOMA ANGULAR, CEMENTACIÓN DÉBIL y DILATANCIA RÁPIDA, SE ENCONTRÓ LA PRESENCIA DE GRAVAS MAYORES DE 6", NO SE ENCONTRÓ LA NAPA FREÁTICA	M-2	GW GM	A-1-a (0)
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					

OBSERVACIONES:

* Tipo de Excavación manual a cielo abierto (calicata)

REFERENCIA	: Resultados de Laboratorio		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
UBICACIÓN	: Lima		
COORDENADA	: --		
CALICATA	: C-3	Fecha de ensayo:	27/05/2021
PROFUNDIDAD	: 3.00 m		

PROF. (m)	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.10		GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, NO PLÁSTICO, SEMI HUMEDO, COLOR BEIGE, CON GRAVAS DE TAMAÑO MÁYORES DE 3" Y ANGULARES, CEMENTACIÓN DÉBIL y DILATANCIA RÁPIDA.	M-1	GW GM	A-1-a (0)
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					

OBSERVACIONES:

* Tipo de Excavación manual a cielo abierto (calicata)

Anexo 4: Certificados de calibración de los equipos usados.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016



CERTIFICADO DE CALIBRACION

TC - 07124 - 2021

PROFORMA : 2506A Fecha de emisión : 2021-05-05

SOLICITANTE : MTL GEOTECNIA S.A.C.
Dirección : CAL.LA MADRID NRO. 264 ASC. LOS OLIVOS LIMA - LIMA - SAN MARTÍN DE PORRES

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA
Tipo : ELECTRÓNICA
Marca : DENVER INSTRUMENTS
Modelo : AA-250
N° de Serie : NO INDICA
Capacidad Máxima : 250 g
Resolución : 0,0001 g
División de Verificación : 0,001 g
Clase de Exactitud : I
Capacidad Mínima : 0,1 g
Procedencia : NO INDICA
N° de Parte : NO INDICA
Identificación : No Indica
Ubicación : LABORATORIO
Variación de ΔT Local : 3 °C
Fecha de Calibración : 2021-04-26

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II". Cuarta Edición - Abril 2010. SNM - INDECOPI.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

PGC-16-r08/ Diciembre 2019/Rev.04

Página : 1 de 3



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR



TEST & CONTROL

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACION

TC - 07121 - 2021

PROFORMA : 2506A Fecha de emisión : 2021-05-05

SOLICITANTE : MTL GEOTECNIA S.A.C.
Dirección : CAL.LA MADRID NRO. 264 ASC. LOS OLIVOS LIMA - LIMA - SAN MARTÍN DE PORRES

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA
Tipo : ELECTRÓNICA
Marca : SARTORIUS
Modelo : LC22016
Nº de Serie : 50310007
Capacidad Máxima : 2200 g
Resolución : 0,01 g
División de Verificación : 0,01 g
Clase de Exactitud : I
Capacidad Mínima : 1 g
Procedencia : ALEMANIA
Nº de Parte : No Indica
Identificación : No Indica
Ubicación : LABORATORIO
Variación de ΔT Local : 3 °C
Fecha de Calibración : 2021-04-26

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II". Cuarta Edición - Abril 2010. SNM - INDECOPI.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

PGC-16-r08/ Diciembre 2019/Rev.04

Página : 1 de 3



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN TC - 13594 - 2020

PROFORMA : 4146A Fecha de emisión: 2020 - 10 - 19 Página : 1 de 2

SOLICITANTE: MTL GEOTECNIA S.A.C.
Dirección : Cal.La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos Lima-Lima-San Martín De Porres

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : PRENSA
Marca : UTEST
Modelo : UTGM-0010
N° de Serie : 19/001329
Intervalo de Indicación : 0 - 5 KN
División de Escala : 0,001 K
Procedencia : TURKEY
N° de Parte : UTM-0108
Fecha de Calibración : 2020 - 10 - 17

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación indirecta utilizando como referencia el PIC-023 " Procedimiento para la Calibración de Prensas, celdas y anillos de -----"

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	23,0 °C	22,9 °C
Humedad Relativa	57,4 %	61,9 %

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 06446 - 2021

Proforma : 2506A Fecha de emisión : 2021-05-06 Página : 1 de 2

SOLICITANTE : MTL GEOTECNIA S.A.C.

Dirección : Cal.La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos Lima - Lima - San Martín De Porres

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MUFLA

Marca : YF
Modelo : No indica
N° de Serie : 201251
Intervalo de indicación : 0 °C a 1300 °C
Resolución : 1 °C
Fecha de Calibración : 2021-04-26
Ubicación : LABORATORIO

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa usando un patrón de temperatura calibrado.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	23,0 °C	22,9 °C
HUMEDAD RELATIVA	67,0 %hr	67,0 %hr

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad. Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento. El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico.
CFP: 0316



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

Informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 06447 - 2021

Proforma : 2506A

Fecha de emisión : 2021-05-07

SOLICITANTE: MTL GEOTECNIA S.A.C.

Dirección : Cal.La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos Lima - Lima - San Martín De Porres

EQUIPO : HORNO
 Marca : GEMMY
 Modelo : YC0-010
 N° de Serie : 510847
 Procedencia : ALEMANIA
 Identificación : No Indica
 TIPO DE INDICADOR : DIGITAL
 Alcance : Tamb + 5 °C a 250 °C
 Resolución : 1 °C
 TIPO DE CONTROLADOR : DIGITAL
 Alcance : 0 °C a 250 °C
 Resolución : 1 °C
 Fecha de Calibración : 2021-04-26

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa con nuestro sistema de medición de temperatura patrón según procedimiento PC- 018 "Procedimiento de calibración o caracterización de medios isoterms con aire como medio termostático". Segunda Edición - Junio 2009. SNM - INDECOPI.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	22,6 °C	23,2 °C
Humedad Relativa	73,5 %hr	71,6 %hr
Voltaje	219 V	220 V

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316



Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

TEST & CONTROL S.A.C.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Calle Condesa de Lemós N° 117, Urb. San Miguelito, distrito de San Miguel, provincia de Lima y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 24 de marzo de 2019
Fecha de Vencimiento: 23 de marzo de 2023



ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 230-2019-INACALDA
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°004-16/INACAL-DA
Registro N° : LC-016

Fecha de emisión: 05 de junio de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 02

Anexo 5: Análisis granulométrico y curva granulométrica.

TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
N° EXPEDIENTE	: --		
UBICACIÓN	: Lima		
Calicata	: C-1	Muestreado por:	PT
Muestra	: M-1	Ensayado por:	CJRT
Profundidad	: 0.00 - 1.50 m	Fecha de ensayo:	31/05/2021

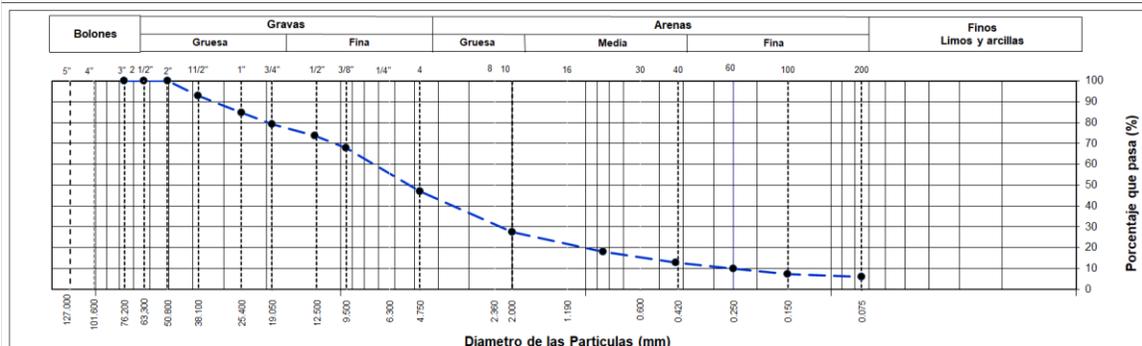
TAMIZ	AASHTO T-27	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA		
	(mm)					
3"	76.200	100.00		CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)		
2 1/2"	63.500	100.00		Contenido Humedad (%)		4.7
2"	50.800	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)		
1 1/2"	38.100	92.76		Límite Líquido (LL)		N.P.
1"	25.400	84.79		Límite Plástico (LP)		N.P.
3/4"	19.050	79.37		Índice Plástico (IP)		N.P.
1/2"	12.700	73.83		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)		
3/8"	9.530	67.72		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
N° 4	4.750	47.09		52.9	40.9	6.2
N° 10	2.000	27.55		CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
N° 20	0.850	17.99		Clasificación SUCS (ASTM D2487)		GW - GM
N° 40	0.430	13.02		Clasificación AASHTO (ASTM D3282)		A-1-a (0)
N° 60	0.250	9.98		Nombre del Grupo		
N° 100	0.150	7.33		Grava bien gradada con limo y arena		
N° 200	0.075	6.20				

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA: ASTM 2488 GW - GM Grava bien gradada con limo y arena

INDICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO:

- 1) El método de ensayo para contenido de humedad es el B y para el secado de la muestra se empleó Horno a 110 ± 5 °C.
- 2) El procedimiento de obtención de muestra para el análisis granulométrico fue Secada al horno a 110 ± 5 °C. Se realizó un tamizado Manual. Además se identificó un tipo de suelo Inorgánico.
- 3) El Límite Líquido no se calcula debido a que el suelo no es plástico.
- 4)

CURVA GRANULOMETRICA



TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
N° EXPEDIENTE	: --		
UBICACIÓN	: Lima		
Calicata	: C-1	Muestreado por:	PT
Muestra	: M-2	Ensayado por:	CJRT
Profundidad	: 1.50 - 3.00 m	Fecha de ensayo:	31/05/2021

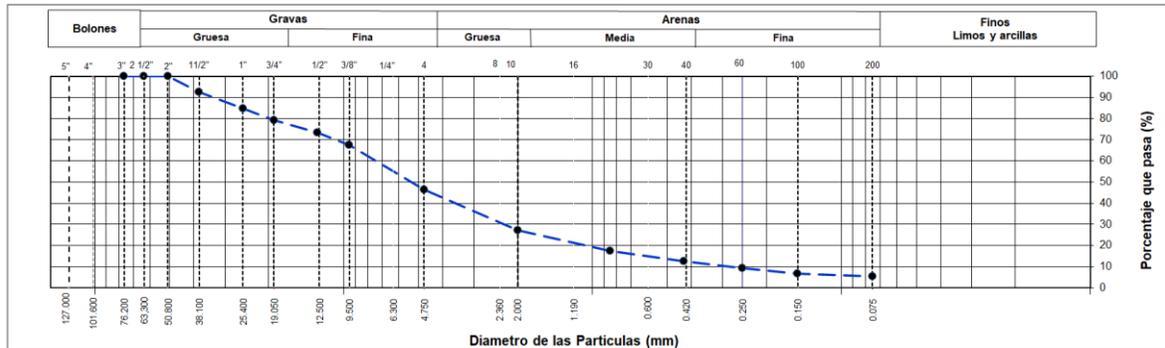
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200	100.00	/	CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)	
2 1/2"	63.500	100.00		Contenido Humedad (%)	4.6
2"	50.800	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)	
1 1/2"	38.100	92.66		Límite Líquido (LL)	N.P.
1"	25.400	84.84		Límite Plástico (LP)	N.P.
3/4"	19.050	79.30		Índice Plástico (IP)	N.P.
1/2"	12.700	73.47		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)	
3/8"	9.530	67.53		Grava (%)	53.6
N° 4	4.750	46.37		Arena (%)	40.9
N° 10	2.000	27.18		Finos (%)	5.4
N° 20	0.850	17.32		CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
N° 40	0.430	12.47		Clasificación SUCS (ASTM D2487)	GW - GM
N° 60	0.250	9.39		Clasificación AASHTO (ASTM D3282)	A-1-a (0)
N° 100	0.150	6.69		Nombre del Grupo	
N° 200	0.075	5.44		<i>Grava bien gradada con limo y arena</i>	

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA: GW - GM Grava bien gradada con limo y arena
ASTM 2488

INDICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO:

- 1) El método de ensayo para contenido de humedad es el B y para el secado de la muestra se empleó Horno a 110 ± 5 °C.
- 2) El procedimiento de obtención de muestra para el análisis granulométrico fue Secada al horno a 110 ± 5°C. Se realizó un tamizado Manual. Además se identificó u tipo de suelo Inorgánico.
- 3) El Límite Líquido no se calcula debido a que el suelo no es plástico.
- 4)

CURVA GRANULOMETRICA



TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
N° EXPEDIENTE	: --		
UBICACIÓN	: Lima		
Calicata	: C-2	Muestreado por:	PT
Muestra	: M-1	Ensayado por:	CJRT
Profundidad	: 0.00 - 1.50 m	Fecha de ensayo:	31/05/2021

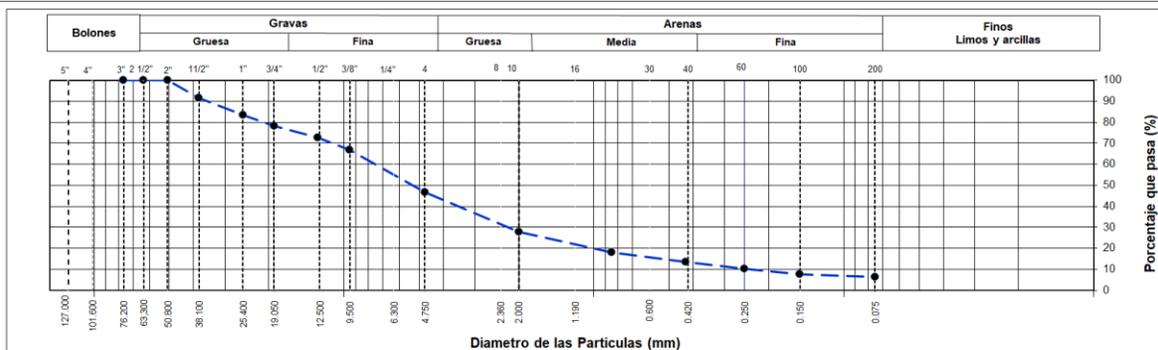
TAMIZ	AASHTO T-27	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA		
	(mm)					
3"	76.200	100.00	/	CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)		
2 1/2"	63.500	100.00		Contenido Humedad (%)	4.4	
2"	50.800	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)		
1 1/2"	38.100	91.47		Límite Líquido (LL)	N.P.	
1"	25.400	83.47		Límite Plástico (LP)	N.P.	
3/4"	19.050	78.15		Índice Plástico (IP)	N.P.	
1/2"	12.700	72.71		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)		
3/8"	9.530	66.99		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
N° 4	4.750	46.79		53.2	40.3	6.5
N° 10	2.000	27.78		CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
N° 20	0.850	18.17		Clasificación SUCS (ASTM D2487)	GW - GM	
N° 40	0.430	13.45		Clasificación AASHTO (ASTM D3282)	A-1-a (0)	
N° 60	0.250	10.38		Nombre del Grupo		
N° 100	0.150	7.76		Grava bien gradada con limo y arena		
N° 200	0.075	6.49				

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA: GW - GM Grava bien gradada con limo y arena
ASTM 2488

INDICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO:

- 1) El método de ensayo para contenido de humedad es el B y para el secado de la muestra se empleó Horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 2) El procedimiento de obtención de muestra para el análisis granulométrico fue Secada al horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Se realizó un tamizado Manual. Además se identificó el tipo de suelo Inorgánico.
- 3) El Límite Líquido no se calcula debido a que el suelo no es plástico.
- 4)

CURVA GRANULOMETRICA



TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
N° EXPEDIENTE	: --		
UBICACIÓN	: Lima		
Calicata	: C-2	Muestreado por:	PT
Muestra	: M-2	Ensayado por:	CJRT
Profundidad	: 1.50 - 3.00 m	Fecha de ensayo:	31/05/2021

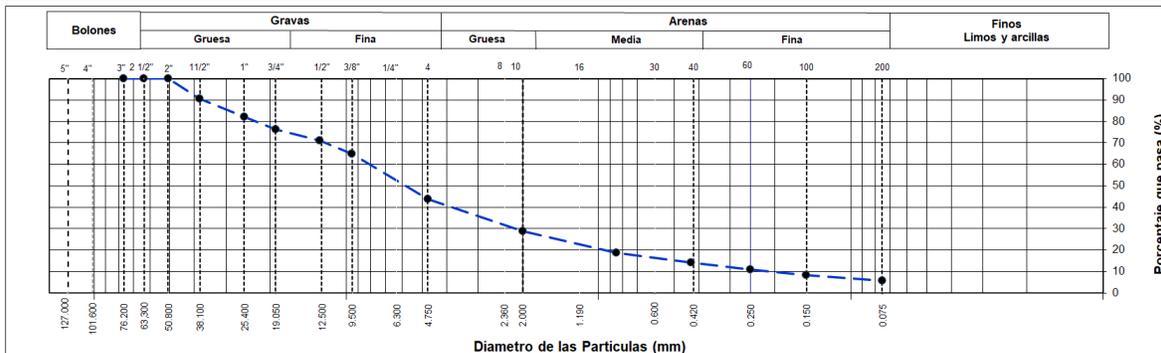
TAMIZ	AASHTO T-27	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA		
	(mm)					
3"	76.200	100.00	/	CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)		
2 1/2"	63.500	100.00		Contenido Humedad (%)	4.9	
2"	50.800	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)		
1 1/2"	38.100	90.72		Límite Líquido (LL)	N.P.	
1"	25.400	82.03		Límite Plástico (LP)	N.P.	
3/4"	19.050	76.42		Índice Plástico (IP)	N.P.	
1/2"	12.700	70.93		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)		
3/8"	9.530	65.02		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
N° 4	4.750	43.92		56.1	38.1	5.8
N° 10	2.000	28.82		CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
N° 20	0.850	18.87		Clasificación SUCS (ASTM D2487)	GW - GM	
N° 40	0.430	14.12		Clasificación AASHTO (ASTM D3282)	A-1-a (0)	
N° 60	0.250	10.97		Nombre del Grupo		
N° 100	0.150	8.37		Grava bien gradada con limo y arena		
N° 200	0.075	5.79				

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA: GW - GM Grava bien gradada con limo y arena
ASTM 2488

INDICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO:

- 1) El método de ensayo para contenido de humedad es el B y para el secado de la muestra se empleó Horno a 110 ± 5 °C.
- 2) El procedimiento de obtención de muestra para el análisis granulométrico fue Secada al horno a 110 ± 5 °C. Se realizó un tamizado Manual. Además se identificó tipo de suelo Inorgánico.
- 3) El Límite Líquido no se calcula debido a que el suelo no es plástico.
- 4)

CURVA GRANULOMETRICA



TESIS : ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU

SOLICITANTE : Junior Ali Quispe Cubas

N° EXPEDIENTE : --

UBICACIÓN : Lima

Calicata : C-3

Muestreado por: PT

Muestra : M-1

Ensayado por: CJRT

Profundidad : 0.00 - 1.50 m

Fecha de ensayo: 31/05/2021

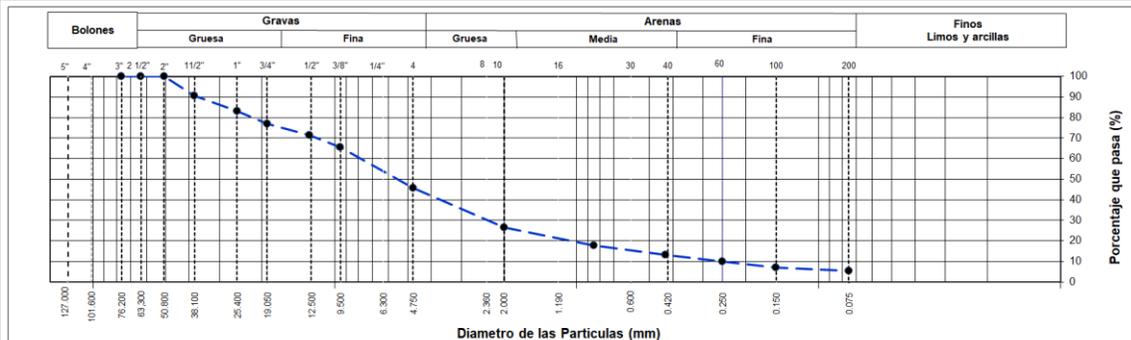
TAMIZ	AASHTO T-27	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA		
	(mm)					
3"	76.200	100.00	/	CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)		
2 1/2"	63.500	100.00		Contenido Humedad (%)		4.0
2"	50.800	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)		
1 1/2"	38.100	90.53		Límite Líquido (LL)		N.P.
1"	25.400	83.00		Límite Plástico (LP)		N.P.
3/4"	19.050	76.97		Índice Plástico (IP)		N.P.
1/2"	12.700	71.36		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)		
3/8"	9.530	65.40		Grava (%)		54.4
N° 4	4.750	45.63		Arena (%)		40.2
N° 10	2.000	26.54		Finos (%)		5.4
N° 20	0.850	17.76		CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
N° 40	0.430	13.12		Clasificación SUCS (ASTM D2487)		GW - GM
N° 60	0.250	9.82		Clasificación AASHTO (ASTM D3282)		A-1-a (0)
N° 100	0.150	7.04		Nombre del Grupo		
N° 200	0.075	5.44		Grava bien gradada con limo y arena		

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA: GW - GM Grava bien gradada con limo y arena
ASTM 2488

INDICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO:

- 1) El método de ensayo para contenido de humedad es el B y para el secado de la muestra se empleó Horno a 110 ± 5 °C.
- 2) El procedimiento de obtención de muestra para el análisis granulométrico fue Secada al horno a 110 ± 5 °C. Se realizó un tamizado Manual. Además se identificó un tipo de suelo Inorgánico.
- 3) El Límite Líquido no se calcula debido a que el suelo no es plástico.
- 4)

CURVA GRANULOMETRICA



TESIS	: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL PUENTE LA CABAÑA EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA DE QUIVES MEDIANTE ENSAYO TRIAXIAL CU		
SOLICITANTE	: Junior Ali Quispe Cubas		
N° EXPEDIENTE	: --		
UBICACIÓN	: Lima		
Calicata	: C-3	Muestreado por:	PT
Muestra	: M-2	Ensayado por:	CJRT
Profundidad	: 1.50 - 3.00 m	Fecha de ensayo:	31/05/2021

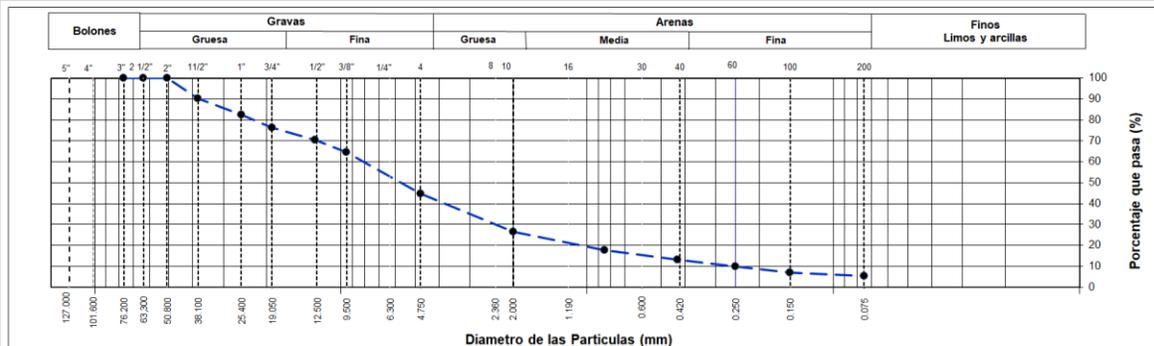
TAMIZ	AASHTO T-27	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION DE LA MUESTRA		
	(mm)					
3"	76.200	100.00	/	CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)		
2 1/2"	63.500	100.00		Contenido Humedad (%)		4.7
2"	50.800	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318)		
1 1/2"	38.100	90.40		Límite Líquido (LL)		N.P.
1"	25.400	82.55		Límite Plástico (LP)		N.P.
3/4"	19.050	76.20		Índice Plástico (IP)		N.P.
1/2"	12.700	70.36		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422)		
3/8"	9.530	64.53		Grava (%)		55.3
N° 4	4.750	44.68		Arena (%)		39.2
N° 10	2.000	26.68		Finos (%)		5.5
N° 20	0.850	17.92		CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
N° 40	0.430	13.31		Clasificación SUCS (ASTM D2487)		GW - GM
N° 60	0.250	9.97		Clasificación AASHTO (ASTM D3282)		A-1-a (0)
N° 100	0.150	7.15		Nombre del Grupo		
N° 200	0.075	5.45		Grava bien gradada con limo y arena		

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA: GW - GM Grava bien gradada con limo y arena
ASTM 2488

INDICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO:

- 1) El método de ensayo para contenido de humedad es el B y para el secado de la muestra se empleó Horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 2) El procedimiento de obtención de muestra para el análisis granulométrico fue Secada al horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Se realizó un tamizado Manual. Además se identificó un tipo de suelo Inorgánico.
- 3) El Límite Líquido no se calcula debido a que el suelo no es plástico.
- 4)

CURVA GRANULOMETRICA



Anexo 6: Resultados del ensayo Triaxial Consolidado No drenado CU.
ESPECIMEN 01

Descripción visual de la muestra: Grava bien gradada con limo y arena.
 Estado de la muestra: Muestra remoldeada
 Velocidad de corte: 0.5 %/min

CONDICIÓN		Inicial	Final
Altura	mm	139	111.24
Diámetro	mm	69	77.16
Gravedad específica		2.680	2.680
Contenido de Humedad	(%)	8.37	19.23
Densidad húmeda	(gr/cc)	1.701	1.885
Densidad seca	(gr/cc)	1.569	1.581
Relación de vacíos		0.708	0.695
Grado de Saturación		31.70%	74.18%

Datos de Ensayo		
Parámetro "B"	%	95
Presión de celda (σ_3)	kPa	205
Contrapresión	kPa	155
Esfuerzo efectivo inicial (σ_3')	kPa	50
Correcciones por saturación y consolidación		
Altura corregida	mm	138.82
Área corregida	mm ²	3741.25

Deformación Unitaria E (%)	Fuerza (Newtons)	Área (mm ²)	Esfuerzo desviador (kPa)	Presión de poros (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3' (kPa)	σ_1' (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
0.00	0.00	3741.248	0	0.00	50.000	50.000	50.000	50.000	0.000	50.000	0.000
0.05	126.65	3743.119	33.834	0.56	83.834	49.438	83.272	66.917	16.917	66.355	16.917
0.10	136.74	3744.993	36.514	0.72	86.514	49.276	85.789	68.257	18.257	67.532	18.257
0.25	200.28	3750.624	53.398	0.83	103.398	49.168	102.566	76.699	26.699	75.867	26.699
0.35	237.72	3754.388	63.319	1.19	113.319	48.812	112.131	81.659	31.659	80.471	31.659
0.50	262.55	3760.048	69.826	1.60	119.826	48.403	118.228	84.913	34.913	83.315	34.913
0.75	300.84	3769.519	79.808	2.20	129.808	47.800	127.607	89.904	39.904	87.703	39.904
1.00	339.97	3779.038	89.961	2.61	139.961	47.386	137.346	94.980	44.980	92.366	44.980
1.25	360.16	3788.605	95.065	2.86	145.065	47.143	142.207	97.532	47.532	94.675	47.532
1.50	379.94	3798.221	100.030	2.97	150.030	47.026	147.056	100.015	50.015	97.041	50.015
1.75	402.24	3807.886	105.633	3.14	155.633	46.864	152.496	102.816	52.816	99.680	52.816
2.00	413.18	3817.600	108.229	3.20	158.229	46.801	155.030	104.115	54.115	100.915	54.115
2.50	429.17	3837.177	111.844	3.31	161.844	46.693	158.536	105.922	55.922	102.614	55.922
3.00	435.48	3856.956	112.907	3.42	162.907	46.576	159.482	106.453	56.453	103.029	56.453
3.50	448.94	3876.941	115.798	3.55	165.798	46.454	162.252	107.899	57.899	104.353	57.899
4.00	461.56	3897.133	118.436	3.65	168.436	46.346	164.782	109.218	59.218	105.564	59.218
4.50	475.87	3917.537	121.471	3.71	171.471	46.288	167.759	110.736	60.736	107.023	60.736
5.00	481.76	3938.156	122.331	3.74	172.331	46.256	168.587	111.166	61.166	107.422	61.166
6.00	497.75	3980.051	125.061	3.80	175.061	46.198	171.258	112.530	62.530	108.728	62.530
7.00	509.95	4022.847	126.763	3.87	176.763	46.126	172.889	113.382	63.382	109.507	63.382
8.00	520.89	4066.574	128.090	3.96	178.090	46.045	174.135	114.045	64.045	110.090	64.045
9.00	539.82	4111.261	131.303	4.12	181.303	45.883	177.186	115.652	65.652	111.534	65.652
10.00	557.49	4156.942	134.112	4.21	184.112	45.793	179.904	117.056	67.056	112.848	67.056
11.00	568.01	4203.649	135.124	4.25	185.124	45.748	180.871	117.562	67.562	113.309	67.562
12.00	575.59	4251.418	135.387	4.30	185.387	45.703	181.089	117.693	67.693	113.396	67.693
13.00	580.21	4300.285	134.925	4.32	184.925	45.676	180.600	117.462	67.462	113.138	67.462
14.00	588.63	4350.288	135.308	4.35	185.308	45.649	180.957	117.654	67.654	113.303	67.654
15.00	593.26	4401.468	134.786	4.39	184.786	45.608	180.394	117.393	67.393	113.001	67.393
16.00	603.78	4453.866	135.562	4.45	185.562	45.550	181.112	117.781	67.781	113.331	67.781
17.00	612.61	4507.527	135.909	4.55	185.909	45.455	181.364	117.954	67.954	113.409	67.954
18.00	621.87	4562.497	136.300	4.55	186.300	45.446	181.746	118.150	68.150	113.596	68.150
19.00	626.50	4618.824	135.640	4.59	185.640	45.406	181.045	117.820	67.820	113.225	67.820
20.00	635.75	4676.560	135.945	4.64	185.945	45.356	181.301	117.972	67.972	113.328	67.972

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

ESPECIMEN 02

Descripción visual de la muestra: Grava bien gradada con limo y arena.

Estado de la muestra: Muestra remoldeada

Velocidad de corte: 0.5 %/min

CONDICIÓN		Inicial	Final
Altura	mm	139	111.25
Diámetro	mm	69	77.17
Gravedad específica	-	2.68	2.68
Contenido de Humedad	(%)	9.12	20.1
Densidad húmeda	(gr/cc)	1.697	1.884
Densidad seca	(gr/cc)	1.555	1.568
Relación de vacíos	-	0.723	0.709
Grado de Saturación	-	33.80%	75.99%

Datos de Ensayo		
Parámetro "B"	%	93
Presión de celda (σ_3)	kPa	310
Contrapresión	kPa	210
Esfuerzo efectivo inicial (σ_3')	kPa	100
Correcciones por saturación y consolidación		
Altura corregida	mm	138.75
Área corregida	mm ²	3741.98

Deformación Unitaria E (%)	Fuerza (Newtons)	Área (mm ²)	Esfuerzo desviador (kPa)	Presión de poros (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3' (kPa)	σ_1' (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
0.00	0.00	3741.982	0	0.00	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	100.00	0.000
0.05	230.27	3743.854	61.505	1.25	161.505	98.750	160.255	130.752	30.752	129.50	30.752
0.10	248.63	3745.728	66.376	1.61	166.376	98.390	164.766	133.188	33.188	131.58	33.188
0.25	364.14	3751.360	97.069	1.85	197.069	98.150	195.219	148.534	48.534	146.68	48.534
0.35	432.23	3755.125	115.103	2.64	215.103	97.360	212.463	157.551	57.551	154.91	57.551
0.50	477.36	3760.786	126.931	3.55	226.931	96.450	223.381	163.465	63.465	159.92	63.465
0.75	546.98	3770.259	145.076	4.89	245.076	95.110	240.186	172.538	72.538	167.65	72.538
1.00	618.12	3779.780	163.533	5.81	263.533	94.190	257.723	181.767	81.767	175.96	81.767
1.25	654.84	3789.349	172.811	6.35	272.811	93.650	266.461	186.405	86.405	180.06	86.405
1.50	690.80	3798.967	181.838	6.61	281.838	93.390	275.228	190.919	90.919	184.31	90.919
1.75	731.34	3808.633	192.022	6.97	292.022	93.030	285.052	196.011	96.011	189.04	96.011
2.00	751.23	3818.349	196.742	7.11	296.742	92.890	289.632	198.371	98.371	191.26	98.371
2.50	780.30	3837.930	203.313	7.35	303.313	92.650	295.963	201.656	101.656	194.31	101.656
3.00	791.78	3857.713	205.245	7.61	305.245	92.390	297.635	202.622	102.622	195.01	102.622
3.50	816.26	3877.702	210.500	7.88	310.500	92.120	302.620	205.250	105.250	197.37	105.250
4.00	839.21	3897.898	215.297	8.12	315.297	91.880	307.177	207.648	107.648	199.53	107.648
4.50	865.22	3918.306	220.814	8.25	320.814	91.750	312.564	210.407	110.407	202.16	110.407
5.00	875.93	3938.928	222.376	8.32	322.376	91.680	314.056	211.188	111.188	202.87	111.188
6.00	905.00	3980.832	227.338	8.45	327.338	91.550	318.888	213.669	113.669	205.22	113.669
7.00	927.18	4023.637	230.433	8.61	330.433	91.390	321.823	215.217	115.217	206.61	115.217
8.00	947.07	4067.372	232.846	8.79	332.846	91.210	324.056	216.423	116.423	207.63	116.423
9.00	981.50	4112.068	238.686	9.15	338.686	90.850	329.536	219.343	119.343	210.19	119.343
10.00	1013.63	4157.758	243.791	9.35	343.791	90.650	334.441	221.896	121.896	212.55	121.896
11.00	1032.75	4204.474	245.631	9.45	345.631	90.550	336.181	222.816	122.816	213.37	122.816
12.00	1046.52	4252.252	246.110	9.55	346.110	90.450	336.560	223.055	123.055	213.50	123.055
13.00	1054.94	4301.129	245.269	9.61	345.269	90.390	335.659	222.635	122.635	213.02	122.635
14.00	1070.24	4351.142	245.966	9.67	345.966	90.330	336.296	222.983	122.983	213.31	122.983
15.00	1078.65	4402.332	245.018	9.76	345.018	90.240	335.258	222.509	122.509	212.75	122.509
16.00	1097.78	4454.741	246.428	9.89	346.428	90.110	336.538	223.214	123.214	213.32	123.214
17.00	1113.84	4508.412	247.058	10.10	347.058	89.900	336.958	223.529	123.529	213.43	123.529
18.00	1130.67	4563.393	247.770	10.12	347.770	89.880	337.650	223.885	123.885	213.76	123.885
19.00	1139.09	4619.731	246.570	10.21	346.570	89.790	336.360	223.285	123.285	213.07	123.285
20.00	1155.92	4677.478	247.124	10.32	347.124	89.680	336.804	223.562	123.562	213.24	123.562

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

ESPECIMEN 03

Descripción visual de la muestra: *Grava bien gradada con limo y arena.*

Estado de la muestra: *Muestra remoldeada*

Velocidad de corte: 0.5 %/min

CONDICIÓN		Inicial	Final
Altura	mm	139	111.27
Diámetro	mm	69	77.17
Gravedad específica	-	2.68	2.68
Contenido de Humedad	(%)	8.21	18.36
Densidad húmeda	(gr/cc)	1.701	1.874
Densidad seca	(gr/cc)	1.572	1.583
Relación de vacíos	-	0.704	0.693
Grado de Saturación	-	31.23%	71.05%

Datos de Ensayo		
Parámetro "B"	%	96
Presión de celda (σ_3)	kPa	443
Contrapresión	kPa	243
Esfuerzo efectivo inicial (σ_3')	kPa	200
Correcciones por saturación y consolidación		
Altura corregida	mm	138.65
Área corregida	mm ²	3741.51

Deformación Unitaria E (%)	Fuerza (Newtons)	Área (mm ²)	Esfuerzo desviador (kPa)	Presión de poros (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3' (kPa)	σ_1' (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
0.00	0.00	3741.507	0	0.00	200.000	200.000	200.000	200.000	0.000	200.00	0.000
0.05	432.96	3743.379	115.659	2.13	315.659	197.875	313.534	257.830	57.830	255.70	57.830
0.10	467.48	3745.253	124.819	2.74	324.819	197.263	322.082	262.409	62.409	259.67	62.409
0.25	684.67	3750.885	182.537	3.15	382.537	196.855	379.392	291.268	91.268	288.12	91.268
0.35	812.69	3754.649	216.449	4.49	416.449	195.512	411.961	308.225	108.225	303.74	108.225
0.50	897.56	3760.309	238.692	6.04	438.692	193.965	432.657	319.346	119.346	313.31	119.346
0.75	1028.45	3769.781	272.814	8.31	472.814	191.687	464.501	336.407	136.407	328.09	136.407
1.00	1162.22	3779.300	307.523	9.88	507.523	190.123	497.646	353.761	153.761	343.88	153.761
1.25	1231.26	3788.868	324.969	10.80	524.969	189.205	514.174	362.484	162.484	351.69	162.484
1.50	1298.87	3798.485	341.944	11.24	541.944	188.763	530.707	370.972	170.972	359.73	170.972
1.75	1375.10	3808.150	361.094	11.85	561.094	188.151	549.245	380.547	180.547	368.70	180.547
2.00	1412.50	3817.865	369.971	12.09	569.971	187.913	557.884	384.986	184.986	372.90	184.986
2.50	1467.16	3837.444	382.327	12.50	582.327	187.505	569.832	391.164	191.164	378.67	191.164
3.00	1488.73	3857.224	385.960	12.94	585.960	187.063	573.023	392.980	192.980	380.04	192.980
3.50	1534.76	3877.210	395.842	13.40	595.842	186.604	582.446	397.921	197.921	384.53	197.921
4.00	1577.92	3897.404	404.863	13.80	604.863	186.196	591.059	402.432	202.432	388.63	202.432
4.50	1626.82	3917.809	415.237	14.03	615.237	185.975	601.212	407.619	207.619	393.59	207.619
5.00	1646.96	3938.429	418.176	14.14	618.176	185.856	604.032	409.088	209.088	394.94	209.088
6.00	1701.62	3980.327	427.507	14.37	627.507	185.635	613.142	413.753	213.753	399.39	213.753
7.00	1743.33	4023.126	433.327	14.64	633.327	185.363	618.690	416.664	216.664	402.03	216.664
8.00	1780.73	4066.856	437.864	14.94	637.864	185.057	622.921	418.932	218.932	403.99	218.932
9.00	1845.46	4111.547	448.847	15.56	648.847	184.445	633.292	424.424	224.424	408.87	224.424
10.00	1905.87	4157.231	458.447	15.90	658.447	184.105	642.552	429.223	229.223	413.33	229.223
11.00	1941.83	4203.941	461.907	16.07	661.907	183.935	645.842	430.953	230.953	414.89	230.953
12.00	1967.72	4251.713	462.806	16.24	662.806	183.765	646.571	431.403	231.403	415.17	231.403
13.00	1983.54	4300.583	461.226	16.34	661.226	183.663	644.889	430.613	230.613	414.28	230.613
14.00	2012.31	4350.590	462.537	16.44	662.537	183.561	646.098	431.269	231.269	414.83	231.269
15.00	2028.13	4401.773	460.753	16.59	660.753	183.408	644.161	430.377	230.377	413.78	230.377
16.00	2064.09	4454.176	463.406	16.81	663.406	183.187	646.593	431.703	231.703	414.89	231.703
17.00	2094.30	4507.840	464.590	17.17	664.590	182.830	647.420	432.295	232.295	415.13	232.295
18.00	2125.94	4562.814	465.928	17.20	665.928	182.796	648.724	432.964	232.964	415.76	232.964
19.00	2141.76	4619.145	463.671	17.36	663.671	182.643	646.314	431.836	231.836	414.48	231.836
20.00	2173.41	4676.884	464.713	17.54	664.713	182.456	647.169	432.357	232.357	414.81	232.357

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)
Características generales:

Estado de la muestra:	Muestra remoldeada	%/min
Velocidad:	0.5	
Gravedad específica (Gs):	2.68	

Descripción visual del suelo (D2488 ó D2487):

Grava bien gradada con limo y arena.

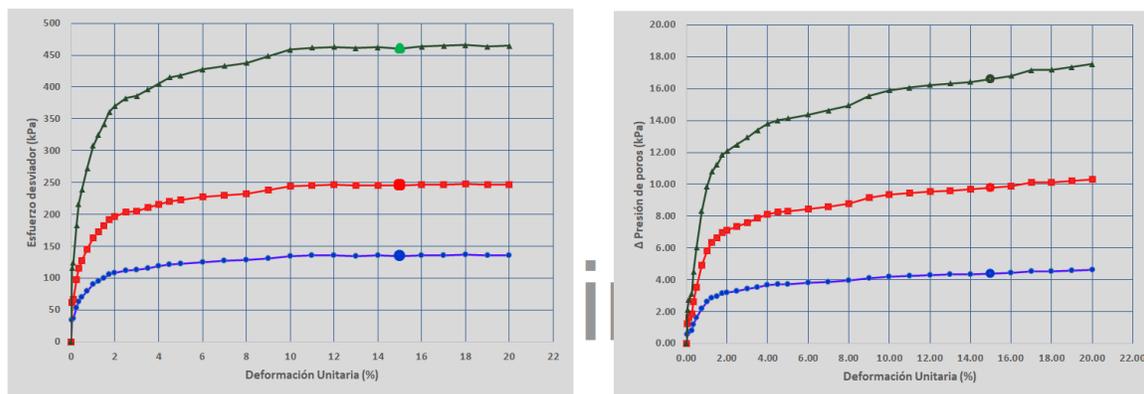
$\sigma_3 = 50 \text{ kPa}$			$\sigma_3 = 100 \text{ kPa}$			$\sigma_3 = 200 \text{ kPa}$		
CONDICIÓN	Inicial	Final	CONDICIÓN	Inicial	Final	CONDICIÓN	Inicial	Final
Altura (mm)	139	111.24	Altura (mm)	139	111.25	Altura (mm)	139	111.27
Diámetro (mm)	69	77.16	Diámetro (mm)	69	77.17	Diámetro (mm)	69	77.17
Humedad (%)	8.37	19.23	Humedad (%)	9.12	20.10	Humedad (%)	8.21	18.36
Densidad Húmeda (gr/cc)	1.701	1.885	Densidad Húmeda (gr/cc)	1.697	1.884	Densidad Húmeda (gr/cc)	1.701	1.874
Densidad Seca (gr/cc)	1.569	1.581	Densidad Seca (gr/cc)	1.555	1.568	Densidad Seca (gr/cc)	1.572	1.583
Relación de vacíos	0.708	0.695	Relación de vacíos	0.723	0.709	Relación de vacíos	0.704	0.693
Grado de saturación	31.70%	74.18%	Grado de saturación	33.80%	75.99%	Grado de saturación	31.23%	71.05%
Consolidación y Saturación			Consolidación y Saturación			Consolidación y Saturación		
Contrapresión (kPa)	155		Contrapresión (kPa)	210		Contrapresión (kPa)	243	
Parámetro B (%)	95		Parámetro B (%)	93		Parámetro B (%)	96	
Altura corregida (mm)	138.82		Altura corregida (mm)	138.75		Altura corregida (mm)	138.65	
Área corregida (mm ²)	3741.25		Área corregida (mm ²)	3741.98		Área corregida (mm ²)	3741.51	
Deformación Unitaria E (%)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Presión de poros (kPa)	Deformación Unitaria E (%)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Presión de poros (kPa)	Deformación Unitaria E (%)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	Presión de poros (kPa)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
0.05	33.834	0.56	0.05	61.505	1.25	0.05	115.659	2.13
0.10	36.514	0.72	0.10	66.376	1.61	0.10	124.819	2.74
0.25	53.398	0.83	0.25	97.069	1.85	0.25	182.537	3.15
0.35	63.319	1.19	0.35	115.103	2.64	0.35	216.449	4.49
0.50	69.826	1.60	0.50	126.931	3.55	0.50	238.692	6.04
0.75	79.808	2.20	0.75	145.076	4.89	0.75	272.814	8.31
1.00	89.961	2.61	1.00	163.533	5.81	1.00	307.523	9.88
1.25	95.065	2.86	1.25	172.811	6.35	1.25	324.969	10.80
1.50	100.030	2.97	1.50	181.838	6.61	1.50	341.944	11.24
1.75	105.633	3.14	1.75	192.022	6.97	1.75	361.094	11.85
2.00	108.229	3.20	2.00	196.742	7.11	2.00	369.971	12.09
2.50	111.844	3.31	2.50	203.313	7.35	2.50	382.327	12.50
3.00	112.907	3.42	3.00	205.245	7.61	3.00	385.960	12.94
3.50	115.798	3.55	3.50	210.500	7.88	3.50	395.842	13.40
4.00	118.436	3.65	4.00	215.297	8.12	4.00	404.863	13.80
4.50	121.471	3.71	4.50	220.814	8.25	4.50	415.237	14.03
5.00	122.331	3.74	5.00	222.376	8.32	5.00	418.176	14.14
6.00	125.061	3.80	6.00	227.338	8.45	6.00	427.507	14.37
7.00	126.763	3.87	7.00	230.433	8.61	7.00	433.327	14.64
8.00	128.090	3.96	8.00	232.846	8.79	8.00	437.864	14.94
9.00	131.303	4.12	9.00	238.686	9.15	9.00	448.847	15.56
10.00	134.112	4.21	10.00	243.791	9.35	10.00	458.447	15.90
11.00	135.124	4.25	11.00	245.631	9.45	11.00	461.907	16.07
12.00	135.387	4.30	12.00	246.110	9.55	12.00	462.806	16.24
13.00	134.925	4.32	13.00	245.269	9.61	13.00	461.226	16.34
14.00	135.308	4.35	14.00	245.966	9.67	14.00	462.537	16.44
15.00	134.786	4.39	15.00	245.018	9.76	15.00	460.753	16.59
16.00	135.562	4.45	16.00	246.428	9.89	16.00	463.406	16.81
17.00	135.909	4.55	17.00	247.058	10.10	17.00	464.590	17.17
18.00	136.300	4.55	18.00	247.770	10.12	18.00	465.928	17.20
19.00	135.640	4.59	19.00	246.570	10.21	19.00	463.671	17.36
20.00	135.945	4.64	20.00	247.124	10.32	20.00	464.713	17.54

ENSAYO TRIAXIAL CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

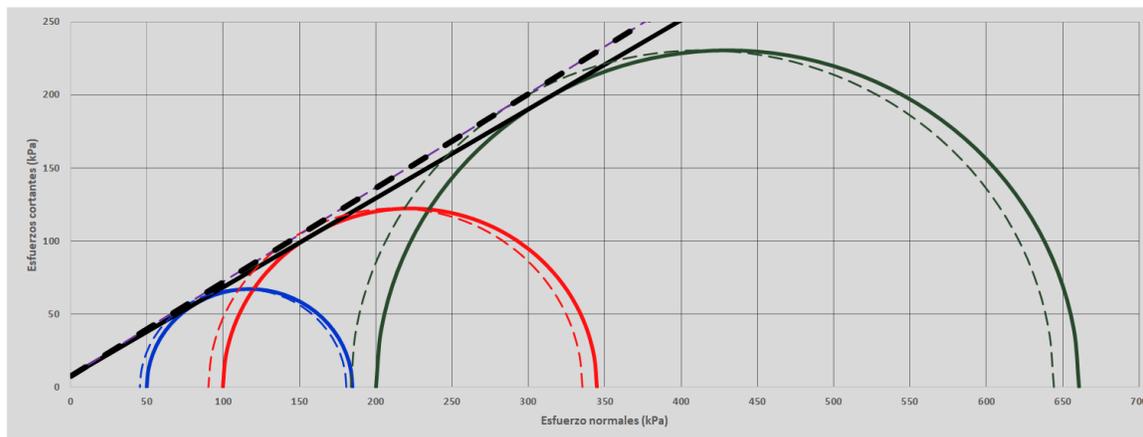
PARÁMETROS DE ESFUERZOS TOTALES

		Especimen 1	Especimen 2	Especimen 3
Esfuerzo de confinamiento (σ_3')	kPa	50	100	200
Esfuerzo desviador ($\Delta\sigma$)	kPa	134.786	245.018	460.753
Presión de poros (Δu)	kPa	4.392	9.760	16.592
Esfuerzo principal (σ_1)	kPa	184.786	345.018	660.753
Estado de falla	-	%Deformación	%Deformación	%Deformación
Deformación unitaria a la falla	(%)	15.00	15.00	15.00

GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR vs DEFORMACIÓN UNITARIA



CÍRCULOS DE MOHR- ESFUERZOS TOTALES Y EFECTIVOS



Anexo 7: Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos de la norma E 0.60.

**TABLA 4.4
REQUISITOS PARA CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES DE SULFATOS**

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	f' _c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	0,0 ≤ SO ₄ < 0,1	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderada**	0,1 ≤ SO ₄ < 0,2	150 ≤ SO ₄ < 1500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	0,2 ≤ SO ₄ < 2,0	1500 ≤ SO ₄ < 10000	V	0,45	31
Muy severa	2,0 < SO ₄	10000 < SO ₄	Tipo V más puzolana***	0,45	31

* Cuando se utilicen las Tablas 4.2 y 4.4 simultáneamente, se debe utilizar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor f'_c mínimo.

** Se considera el caso del agua de mar como exposición moderada.

*** Puzolana que se ha comprobado por medio de ensayos, o por experiencia, que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V.

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El asesor Neicer Campos Vazquez, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de Ingeniería Civil, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo del proyecto de investigación del(os) estudiante(s):

- Junior Ali Quispe Cubas

Por cuanto, **CONSIDERA** que el proyecto de investigación titulado: Estudio de mecánica de suelos en la cimentación del puente La Cabaña mediante ensayo triaxial para determinar la óptima capacidad admisible, distrito Santa Rosa de Quives 2021, para aspirar al título profesional por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al(los) interesado(s) para su presentación.

Ing. /Mg. Neicer Campos Vazquez

Asesor