

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Influencia del concreto reciclado y ceniza volcánica para suelos  
cohesivos con fines de cimentación**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Jose Hector Olivera Justo

Brian Yamil Huanca Ticona

**Asesor:**

Mtro. Leonel Chahuares Paucar

**Juliaca, agosto de 2024**

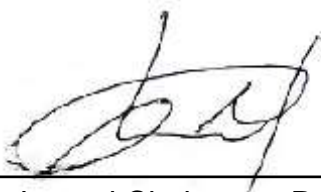
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Leonel Chahuares Paucar, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“INFLUENCIA DEL CONCRETO RECICLADO Y CENIZA VOLCÁNICA PARA SUELOS COHESIVOS CON FINES DE CIMENTACIÓN”** de los autores **Jose Hector Olivera Justo** y **Brian Yamil Huanca Ticona** tiene un índice de similitud de 11 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 12 días del mes de agosto del año 2024



---

Mtro. Leonel Chahuares Paucar

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 12 día(s) del mes de agosto del año 2024, siendo las 15:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a): Msc. Eder Mamani Chambi, el (la) secretario(a): Mg Gerardo William Pari Quipe y los demás miembros: Mg Moisés Alraza Chile y el (la) asesor(a) Mtro Leonel Chahuaroc Paucar

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Influencia del concreto reciclado y ceniza volcánica para suelos cohesivos con fines de cimentación.

del(los) bachiller(es): a) Olivera Justo Jose Hector  
 b) Huanca Zicona Brian Yamil  
 c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s/ a hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s/. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente: Bachiller (a): Olivera Justo Jose Hector

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>acceptable</u>	<u>Bueno</u>

Bachiller (b): Huanca Zicona Brian Yamil

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior  
 Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s/ a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
 Presidente/a

[Firma]  
 Asesor/a

[Firma]  
 Miembro

[Firma]  
 Secretario/a

[Firma]  
 Miembro

[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Bachiller (c)

## ÍNDICE

	Pág.
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE ANEXOS .....	viii
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
1 Introducción.....	11
1.1 Problema.....	11
2 Materiales y Métodos .....	15
2.1 Materiales.....	15
2.1.1 Extracción de materiales .....	15
2.1.2 Arcilla .....	16
2.1.3 Ceniza volcánica .....	17
2.1.4 Concreto reciclado .....	18
2.2 Métodos .....	20
2.2.1 Propiedades físicas y mecánicas .....	20
3 Resultados Experimentales y Análisis .....	21
3.1 Puntos de extracción de muestras .....	21
3.2 Resumen de resultados – propiedades físicas .....	23
3.3 Resumen de resultados – propiedades mecánicas .....	25
3.4 Capacidad de carga .....	26
3.5 Factor de seguridad .....	27
3.6 Modelo del proyecto – vivienda unifamiliar.....	28
3.7 Diseño de cimentación .....	29
3.7.1 Datos para el diseño .....	29
3.7.2 Dimensión en planta .....	29
3.7.3 Dimensión final.....	30
3.7.4 Presiones .....	30
3.7.5 Diseño.....	30
3.7.6 Corte por punzonamiento.....	31
3.7.7 Corte por flexión.....	31
3.7.8 Diseño por flexión .....	31
3.7.9 Longitud de desarrollo del acero de columna.....	32
3.7.10 Área de acero .....	32
3.7.11 Distribución de acero .....	32
3.8 Bulbo de esfuerzo por carga concentrada.....	33

3.8.1	Método por carga concentrada Boussinesq .....	33
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	35
4.1	Conclusiones.....	35
4.2	Recomendaciones .....	36
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	37
	ANEXOS .....	39

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Porcentaje de sustitución .....	16
<b>Tabla 2</b> Características químicas de la arcilla .....	17
<b>Tabla 3</b> Características químicas de la ceniza volcánica.....	18
<b>Tabla 4</b> Características químicas del concreto reciclado.....	19
<b>Tabla 5</b> Normativa de ensayos utilizados .....	20
<b>Tabla 6</b> Perfil estratigráfico del suelo C-1 .....	21
<b>Tabla 7</b> Perfil estratigráfico del suelo C-2.....	22
<b>Tabla 8</b> Perfil estratigráfico del suelo C-3.....	22
<b>Tabla 9</b> Resumen de ensayos físicos naturales .....	23
<b>Tabla 10</b> Ensayo de desgaste los ángeles .....	23
<b>Tabla 11</b> Resumen de ensayos físicos mejorados .....	24
<b>Tabla 12</b> Resumen de ensayo, Proctor .....	25
<b>Tabla 13</b> Resumen de ensayo de resistencia a la compresión no confinada .....	25
<b>Tabla 14</b> Resumen de corte directo.....	26
<b>Tabla 15</b> Capacidad de carga .....	26
<b>Tabla 16</b> Para cargas estáticas .....	27
<b>Tabla 17</b> Resumen de capacidad ultima y admisible de suelo natural .....	27
<b>Tabla 18</b> Resumen de la capacidad ultima y admisible de suelo mejorado.....	27
<b>Tabla 19</b> Factores de diseño .....	29
<b>Tabla 20</b> Cálculos de dimensión .....	29
<b>Tabla 21</b> Cálculos de dimensión final .....	30
<b>Tabla 22</b> Cálculo de presiones .....	30
<b>Tabla 23</b> Cálculos de diseño .....	30
<b>Tabla 24</b> Cálculos de corte por punzonamiento .....	31
<b>Tabla 25</b> Cálculos de corte por flexión .....	31
<b>Tabla 26</b> Diseño por flexión.....	31
<b>Tabla 27</b> Cálculos de longitud de desarrollo.....	32
<b>Tabla 28</b> Cálculos de área de acero.....	32
<b>Tabla 29</b> Datos de bulbo .....	33
<b>Tabla 30</b> Formula de Boussinesq.....	33
<b>Tabla 31</b> Profundidad .....	34
<b>Tabla 32</b> Profundidad a mejorar .....	34

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Extracción de arcilla seguida de su envoltura en polietileno .....	16
<b>Figura 2</b> Extracción de volcán Ubinas ubicado a 5672 m.s.n.m.....	17
<b>Figura 3</b> Obtención del concreto reciclado, proveniente de demolición de veredas.....	19
<b>Figura 4</b> Plano y ubicación de los puntos de extracción .....	21
<b>Figura 5</b> Ensayo de corte directo .....	26
<b>Figura 6</b> Plano de primer y segundo nivel.....	28
<b>Figura 7</b> Modelamiento usando el programa Etabs .....	28
<b>Figura 8</b> Detalle típico de zapata con capacidad portante mejorada.....	32
<b>Figura 9</b> Detalle típico de zapata con capacidad portante natural .....	33

## INDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1</b> Evidencia de sumisión de artículo.....	39
<b>Anexo 2</b> Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad.....	40
<b>Anexo 3</b> Constancia de haber realizado los ensayos de laboratorio en el laboratorio de mecánica de suelos de la Upeu.....	41
<b>Anexo 4</b> Ens. Químico y Normativa .....	42
<b>Anexo 5</b> Prop. Físicas.....	42
<b>Anexo 6</b> Prop. Mecánicas.....	43

# Influencia del concreto reciclado y ceniza volcánica para suelos cohesivos con fines de cimentación

## RESUMEN

Este artículo de investigación se centra en estudiar el impacto del uso de concreto reciclado y ceniza volcánica en suelos cohesivos para fines de cimentación. El objetivo es evaluar cómo la adición de estos materiales, en porcentajes de 15%, 20% y 25%, afecta las propiedades de tres tipos de arcillas. En la primera muestra se añade ceniza volcánica, en la segunda concreto reciclado, y en la tercera una combinación de ambos materiales. El diseño cuasiexperimental incluyó ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades físico-mecánicas del suelo natural, mejorado, con el fin de realizar el diseño de la cimentación. Se buscó determinar cómo la adición de concreto reciclado y ceniza volcánica influye en el comportamiento del suelo. Las pruebas experimentales permitieron analizar estas propiedades y comprender mejor el impacto de los materiales estabilizadores en el suelo. Finalmente, se llevó a cabo la planificación de un proyecto de concreto armado de dos niveles, considerando tanto la capacidad portante natural como la capacidad portante mejorada de la cimentación. Los resultados mostraron una dimensión inicial de 3.20 m y un peralte de 0.50 m en el estado natural de la cimentación. Tras la optimización, se lograron dimensiones mejoradas de 1.60 m y un peralte de 0.50 m.

**Palabras clave:** ceniza, volcánica, concreto, reciclado y cimentación.

# **Influence of recycled concrete and volcanic ash for cohesive soils for foundation purposes**

## **ABSTRACT**

This research article focuses on studying the impact of using recycled concrete and volcanic ash on cohesive soils for foundation purposes. The objective is to evaluate how the addition of these materials, in percentages of 15%, 20%, and 25%, affects the properties of three types of clays. In the first sample, volcanic ash is added, in the second recycled concrete, and the third a combination of both materials. The experimental design included laboratory tests to evaluate the physical-mechanical properties of the natural, improved soil, and measure the settlement, to design the foundation. We sought to determine how the addition of recycled concrete and volcanic ash influences the behavior of the soil in terms of settlement or expansion. The experimental tests allowed us to analyze these properties and better understand the impact of the stabilizing materials on the soil. Finally, the planning of a two-level reinforced concrete project was carried out, considering both the natural admissible capacity and the improved capacity of the foundation. The results showed an initial dimension of 3.20 m and a depth of 0.45 m in the natural state of the foundation. After optimization, improved dimensions of 1.60 m and a depth of 0.40 m were achieved.

**Keywords:** ash, volcanic, concrete, recycling and foundation

# 1 Introducción

## 1.1 Problema

La creciente población y el desarrollo industrial han generado una preocupación global por la gestión eficiente de los residuos municipales y de construcción. Cada año, millones de toneladas de desechos son generados, planteando un desafío significativo para numerosos países. En respuesta a esta problemática, se busca implementar estrategias inteligentes de gestión de residuos para mitigar su impacto ambiental y promover la sostenibilidad a escala mundial. (Varaprasad et al., 2020)

Las cenizas volantes, han encontrado un amplio uso en múltiples aplicaciones de construcción debido a su composición silíceo aluminosilíceo, que les confiere propiedades cementosas. Estas cenizas, en forma finamente dividida, muestran una notable capacidad para reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio presente en el ambiente y la humedad circundante, incluso a temperaturas ordinarias. Como resultado de esta reacción, se forman compuestos que exhiben propiedades similares a las del cemento, lo que las convierte en un valioso componente en la elaboración de morteros, hormigones, estabilizadores y otros materiales de construcción. (Jeevanantham & Magudeaswaran, 2016)

La rápida urbanización ha desencadenado una gran cantidad de actividades de construcción, especialmente en países desarrollados, lo que ha generado una sobreabundancia de residuos de construcción. En respuesta, la reutilización de estos residuos en varios procesos de construcción, como adición al mortero en ladrillos de ladrillos y su uso como estabilizadores, emerge como una alternativa crucial para mitigar los impactos ambientales y optimizar los recursos disponibles en el sector de la construcción. (Ujile & Abbey, 2022)

La ceniza, es fundamental garantizar un equilibrio adecuado en el contenido químico del elemento adicional propuesto para su inclusión, ya que cualquier desajuste podría provocar complicaciones futuras en las cimentaciones, como la corrosión y la

infiltración de humedad. Por tanto, es esencial realizar un análisis exhaustivo de las posibles reacciones químicas y llevar a cabo simulaciones para evaluar el impacto potencial del material en el largo plazo. (Li et al., 2023)

Aunque se han registrado mejoras en ciertas propiedades geotécnicas de suelos arcillosos mediante el uso exclusivo de cenizas, estas mejoras no son suficientes para garantizar su idoneidad en proyectos viales y diseño de cimientos. Es necesario considerar otras medidas o adiciones complementarias para asegurar la estabilidad y resistencia requeridas en tales estructuras, buscando así soluciones integrales que cumplan con los estándares de ingeniería necesarios para garantizar la durabilidad y seguridad de las obras. (Sharma et al., 2012)

En el ámbito ensayos geotécnicos, es esencial priorizar una serie de medidas para evaluar y mejorar las propiedades de los suelos. Entre estas medidas se encuentra la reducción de la plasticidad del suelo, lo cual se logra mediante la aplicación de técnicas adecuadas que disminuyan su capacidad de deformación y aumenten su estabilidad. Además, es fundamental evaluar y mejorar la resistencia en compresión simple del suelo, dado que esta propiedad es crucial para determinar su capacidad de carga y su comportamiento bajo cargas estáticas. Otro aspecto importante es la disminución del índice de hinchamiento del suelo, lo cual se logra mediante la implementación de técnicas de compactación y drenaje que reduzcan su susceptibilidad a la expansión por absorción de agua. (Berdi Inas et al., 2021)

El uso de ceniza tipo puzolánica en mezclas para la estabilización de suelos muestra un incremento progresivo en su resistencia con el paso del tiempo. Después de un período de 3670 días, estas mezclas exhiben características superiores en comparación con las estabilizaciones realizadas únicamente con cemento. En particular, se ha observado que las mezclas que contienen un 25% de ceniza y un 3% de cal presentan una mayor resistencia a la compresión simple no confinada. (Iriciuc et al., 2021)

En el procedimiento de ensayo de resistencia a la compresión no confinada, se emplean muestras cilíndricas con dimensiones específicas para garantizar resultados precisos. Estas muestras tienen un diámetro de 70 mm y una altura de 140 mm, lo que proporciona una relación de esbeltez de 2 a 1, un factor crucial para asegurar la representatividad de los resultados. Antes de la preparación de las muestras, las adiciones se humedecen de acuerdo con el contenido de humedad óptimo determinado previamente mediante el ensayo de Proctor. Este procedimiento garantiza que las muestras estén en las condiciones ideales para la compactación y la formación de una estructura homogénea. Una vez preparadas, las muestras se colocan en la máquina de ensayo y se someten a una carga axial gradual hasta que se produce la falla por compresión, permitiendo así la determinación precisa de la resistencia del material. (Alhadama et al., 2024).

Emplearon ceniza volcánica y cemento como adiciones para la mejora de las propiedades de los suelos. Para determinar el contenido óptimo de estas adiciones, se realizaron pruebas de energía estándar, que permitieron evaluar las características físicas y mecánicas de las mezclas. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión simple utilizando diferentes porcentajes de ceniza volcánica, específicamente del 0%, 3% y 6%. Los resultados de estas pruebas demostraron que la adición del 15% de ceniza volcánica condujo a la mayor estabilidad y resistencia en comparación con los otros porcentajes evaluados, sin embargo, encontrar el porcentaje adecuado será fundamental para determinar la adición a utilizar en la estabilización de suelos, asegurando así un rendimiento óptimo y duradero para proyectos viales e inmuebles (Musa et al., 2020)

El reciclaje de residuos de hormigón se vislumbra como una estrategia viable en el ámbito de la ingeniería geotécnica, ofreciendo beneficios significativos en términos de mejora de la capacidad portante de los suelos. Los ensayos realizados revelaron que una adición del 8% de residuos de hormigón resultó ser óptima, logrando aumentar la capacidad de carga del suelo de manera notable. Específicamente, se observó que la

tensión soportada por el suelo aumentó en 8 veces para la primera muestra, 4 veces para la segunda muestra y 5 veces para la tercera muestra, en comparación con las muestras sin adición de residuos de hormigón. (Awn & Abbas, 2022)

Pucará, ubicada a una altitud de 3887 metros sobre el nivel del mar, está en la región de Puno, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, con una población estimada de 5550 habitantes y un crecimiento anual promedio del 2.9%. (INEI, 2023).

El crecimiento poblacional ha generado la necesidad de construir infraestructuras en terrenos poco adecuados y con capacidad de portante limitada, lo que representa un desafío significativo. En el Perú y a nivel global, se han llevado a cabo exhaustivos estudios con el objetivo de perfeccionar las condiciones de suelos arcillosos, con propósitos de ser aplicados en las edificaciones, focalizando especialmente la atención en la explotación de subproductos químicos o naturales, la estabilización de suelos es determinado y mejorado mediante la modificación de sus propiedades físicas y mecánicas. En el contexto de la construcción de infraestructuras civiles, la evaluación del suelo emerge como un elemento crucial, ya que la resistencia del suelo, también conocida como "capacidad portante", está directamente vinculada al tipo de suelo sobre el cual se establecerá la cimentación. Esta capacidad portante del suelo es determinante para la selección adecuada del tipo de cimentación a implementar.

En situaciones donde el suelo de fundación consiste principalmente en arcilla o arena, las dimensiones de la cimentación son afectadas, exigiendo medidas más substanciales. En contraste, si el suelo de fundación presenta características rocosas o gravosas, las dimensiones requeridas para la cimentación serán considerablemente menores. (Villacís Troncoso et al., 2022)

La mejora de la capacidad portante de suelos cohesivos para propósitos de cimentación es un área de gran importancia en la ingeniería geotécnica. En, el presente estudio se enfocó en explorar la influencia del concreto reciclado y la ceniza volcánica

como agentes estabilizadores en suelos arcillosos. La combinación de estos materiales se plantea como una alternativa prometedora para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos cohesivos, contribuyendo así a la eficiencia y sostenibilidad de proyectos de construcción. La construcción de cimentaciones en este tipo de suelos resulta costosa debido a la cantidad considerable de acero de refuerzo requerido y el sobre dimensionamiento en las cimentaciones. Para abordar este problema, se han implementado diferentes estrategias para mejorar las propiedades de resistencia de los suelos de baja capacidad admisible, combinando conocimientos prácticos y teóricos. Esto ha llevado a importantes avances en la construcción de estructuras complejas y en la mejora de la calidad geotécnica de los suelos. Por lo tanto, se propone el uso de materiales como el Concreto Reciclado y las Cenizas Volcánicas para mejorar los suelos cohesivos en el distrito de Pucara, específicamente en la Urb. El Progreso. Es importante destacar que, en el Perú, la construcción es una de las actividades económicas dinámicas y constantes.

## **2 Materiales y Métodos**

### **2.1 Materiales**

#### **2.1.1 Extracción de materiales**

En este análisis, se llevó a cabo la comparación de las características entre la muestra de arcillas cohesivas en su estado natural y aquellas que fueron sometidas a estabilización, utilizando una combinación de ceniza volcánica y concreto reciclado en porcentajes de 15%, 20% y 25%. Como resultado de este procedimiento, se procedió a sustituir el suelo cohesivo.

**Tabla 1**

*Porcentaje de sustitución*

Muestra de arcilla	% Sustitución suelo por cenizas en peso	% Sustitución suelo por concreto reciclado
c-1	15%	15%
	20%	20%
	25%	25%
c-2	15%	15%
	20%	20%
	25%	25%
c-3	7.5%	7.5%
	10%	10%
	12.5%	12.5%

### **2.1.2 Arcilla**

Las muestras de arcilla que fueron objeto de estudio, recolectadas en Perú, departamento de Puno

De la extracción del material Figura1, posteriormente, estas muestras fueron sometidas a análisis químicos con el propósito de determinar con precisión su composición mineralógica y evaluar su estabilidad química.

**Figura 1**

*Extracción de arcilla seguida de su envoltura en polietileno*



De la extracción del material Figura1, posteriormente, estas muestras fueron sometidas a análisis químicos con el propósito de determinar con precisión su composición mineralógica y evaluar su estabilidad química.

**Tabla 2**

*Características químicas de la arcilla*

Parámetros químicos	Unidad	Resultado
Potencial de Hidrogeno	pH	9.39
Alcalinidad	ppm	54.76
Cloruros como Cl	ppm	36.78
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	ppm	332.80
Sales Solubles Totales	ppm	853.66

**2.1.3 Ceniza volcánica**

La obtención de ceniza volcánica se realizó a partir del Volcán Ubinas, localizado al Sur de Perú, en el departamento de Moquegua, este volcán es considerado el más activo según el Instituto Geofísico del Perú (IGP), ya que hasta la actualidad aún sigue en erupción. La obtención se llevó a cabo en las proximidades del mismo volcán, dado que debido a las recurrentes erupciones a altitudes significativas, las partículas resultantes se dispersan por todas las laderas del volcán. Este material se presenta en forma de polvo, derivado de la roca generada por la actividad volcánica, para la realización de ensayos la muestra tuvo que pasar por la malla N° 40

**Figura 2**

*Extracción de volcán Ubinas ubicado a 5672 m.s.n.m.*



**Tabla 3***Características químicas de la ceniza volcánica*

Parámetros químicos	Unidad	Resultado
Potencial de Hidrogeno	pH	4.87
Alcalinidad	ppm	10.49
Cloruros como Cl	ppm	21.39
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	ppm	224.80
Sales Solubles Totales	ppm	195.73

En consecuencia, la evaluación y gestión adecuadas de sales, sulfatos y cloruros son esenciales en el diseño y construcción de cimentaciones para garantizar la longevidad y estabilidad de las estructuras, implica la implementación de medidas preventivas y técnicas constructivas que mitiguen los efectos negativos de estos elementos, asegurando así un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

**2.1.4 Concreto reciclado**

El concreto reciclado utilizado se originó a partir de la demolición de veredas, el material de concreto fue sometido a un proceso de trituración para reducir su tamaño y homogeneizarlo. Posteriormente, para asegurar la uniformidad de las partículas, se llevó a cabo un proceso de clasificación utilizando una malla de tamaño específico, en este caso, la malla N° 4.

### Figura 3

*Obtención del concreto reciclado, proveniente de demolición de veredas*



### Tabla 4

*Características químicas del concreto reciclado*

Parámetros químicos	Unidad	Resultados
Potencial de Hidrogeno	pH	8.20
Alcalinidad	ppm	35.70
Cloruros como Cl	ppm	99.57
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	ppm	253.00
Sales Solubles Totales	ppm	768.29

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Propiedades físicas y mecánicas

**Tabla 5**

*Normativa de ensayos utilizados*

Técnica	Norma aplicable
Propiedades físicas	
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	ASTM D 422
Determinación del contenido de humedad de un suelo	ASTM D 2216
Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP)	ASTM D 4318
Clasificación de suelos método SUCS	ASTM G2487
Clasificación de suelos método AASHTO	M-145
Propiedades mecánicas	
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166
Proctor estándar	ASTM D 698
Corte directo de suelo	ASTM D 3080

### 3 Resultados Experimentales y Análisis

#### 3.1 Puntos de extracción de muestras

Figura 4

Plano y ubicación de los puntos de extracción

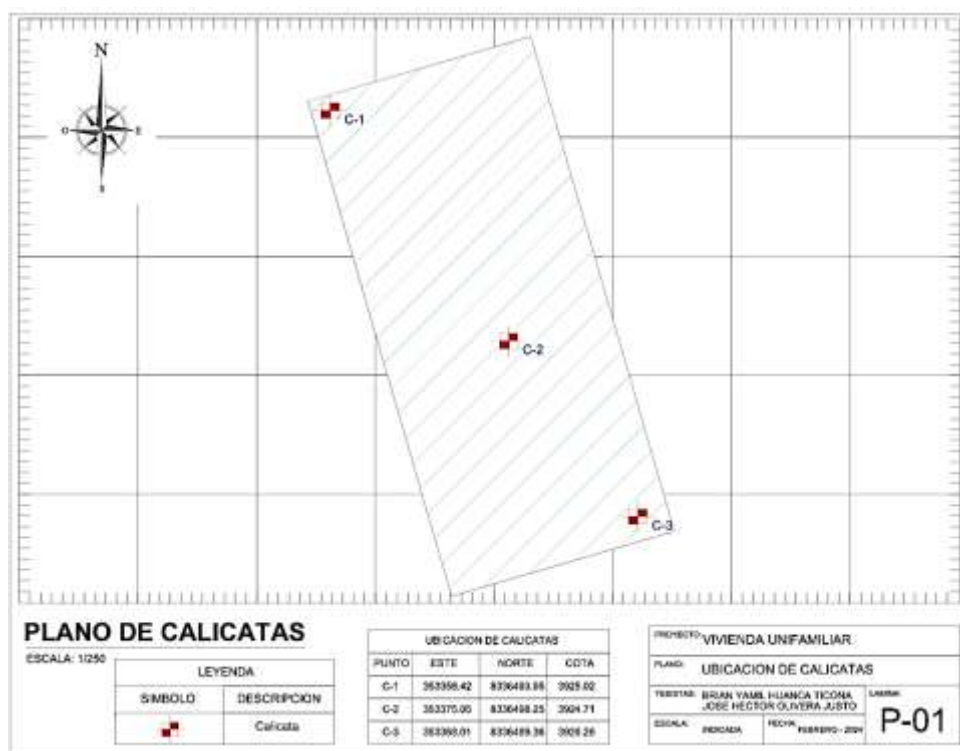





Tabla 6




Perfil estratigráfico del suelo C-1

Prof.	Cota	Estrato	Símbolo grafico	Clasificación SUCS	Descripción del suelo
0.00	3924.52				
0.50	3924.02	1			Terreno de cultivo, con pasto raíces, color café claro, ligeramente húmedo
1.50	3922.52	2		SC	Arena arcillosa con presencia de arena y arcilla
2.00	3922.02	3		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcillas francas

**Tabla 7***Perfil estratigráfico del suelo C-2*

Prof.	Cota	Estrato	Símbolo grafico	Clasificación SUCS	Descripción del suelo
0.00	3924.71				
0.50	3924.21	1			Terreno de cultivo, con pasto raíces, color café claro, ligeramente húmedo
1.50	3923.21	2		MH	Limos inorgánicos de alta plasticidad
2.00	3922.71	3		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcillas francas

**Tabla 8***Perfil estratigráfico del suelo C-3*

Prof.	Cota	Estrato	Símbolo grafico	Clasificación SUCS	Descripción del suelo
0.00	3924.97				
0.50	3924.47	1			Terreno de cultivo, con pasto raíces, color café claro, ligeramente húmedo
1.50	3923.47	2		SC	Arena arcillosa con presencia de arena y arcilla
2.00	3922.97	3		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcillas francas

### 3.2 Resumen de resultados – propiedades físicas

En el cuadro siguiente presenta los datos obtenidos en el laboratorio respecto a todas las propiedades físicas indicadas. La disposición de los datos se estructura en la primera columna correspondiente a los ensayos naturales de la muestra C-1, C-2 y C-3. Asimismo, se incluyen los resultados obtenidos para la misma muestra con adiciones naturales y adicionando de ceniza en proporciones del 15%, 20% y 25%, así como con adiciones de concreto reciclado en las mismas proporciones mencionadas

**Tabla 9**

*Resumen de ensayos físicos naturales*

Ensayo	Granulometría (%)		Limites		
	N° 40	N° 200	L.L	L.P	I.P
Concreto	159.5	40.6	-	-	-
Ceniza	21.7	180.3	-	-	-
Arcilla C-1	97.65	96.01	75.17	25.75	49.39
Arcilla C-2	97.68	96.16	66.59	22.77	43.83
Arcilla C-3	97.11	96.19	77.76	34.10	43.66

**Tabla 10**

*Ensayo de desgaste los ángeles*

Muestra	1
Procedencia	Arrastre
Tipo de muestra	Triturado
Gradación usada	E
Numero de esferas	12
Numero de revoluciones	1000
Peso muestra inicial (g)	10000
Peso muestra final (g)	8651
Perdida (g)	1349
Desgaste (%)	13.49

**Tabla 11**

*Resumen de ensayos físicos mejorados*

Ensayo	Humedad (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Granulometría (%)		Limites			Clasif. (SUCS)	Clasif. (AASHTO)
			N° 40	N° 200	L.L	L.P	I.P		
C-1 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%									
Natural	46.54	1.80	97.65	96.01	75.17	25.75	49.42	CH	a-7-6 (20)
15% - Ceni	-	-	99.06	88.14	65.74	20	45.74	CH	a-7-6 (20)
20% - Ceni	-	-	98.16	82.46	54.77	16.45	38.32	CH	a-7-6 (19)
25% - Ceni	-	-	98.63	77.89	42.57	11.51	31.06	CL	a-7-6 (16)
15% - Concreto	-	-	66.44	61.48	69.76	28.57	41.19	CH	a-7-6 (16)
20% - Concreto	-	-	54.87	50.58	58.17	27.22	30.95	CH	a-7-6 (12)
25% - Concreto	-	-	36.74	33.74	47.68	26.84	20.84	CL	a-2-7 (4)
C-2 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%									
Natural	55.43	1.83	97.68	96.16	66.59	22.77	43.82	CH	a-7-6 (20)
15% - Ceni	-	-	98.27	84.23	56.34	18.07	38.27	CH	a-7-6 (19)
20% - Ceni	-	-	98.19	79.86	46.09	15.76	30.33	CL	a-7-6 (17)
25% - Ceni	-	-	98.32	76.67	40.62	11.28	29.34	CL	a-6 (15)
15% - Concreto	-	-	60.07	56.21	58.55	23.28	35.27	CH	a-7-6 (14)
20% - Concreto	-	-	53.10	46.19	47.23	19.12	28.11	CL	a-5 (9)
25% - Concreto	-	-	45.77	35.07	32.92	14.01	18.91	CL	a-2-6 (2)
C-3 ceniza 7.5%, 10%, 12.5% y concreto 7.5%, 10%, 12.5%									
natural	48.18	1.79	97.11	96.19	77.76	34.10	43.66	CH	a-7-6 (20)
15% - Mixto	-	-	78.63	60.32	38.45	25.94	12.51	CL	a-6 (14)
20% - Mixto	-	-	72.64	49.14	26.43	16.00	10.43	CL	a-4 (4)
25% - Mixto	-	-	67.55	34.19	15.78	10.09	5.69	ML	a-2-4 (1)

### 3.3 Resumen de resultados – propiedades mecánicas

**Tabla 12**

*Resumen de ensayo, Proctor*

Ensayo	Proctor estándar (densidad suelo seco) (26%)	Proctor estándar (densidad suelo húmedo) (26%)
C-1 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%		
natural	1.500	1.891
15% - Ceniza	1.606	2.025
20% - Ceniza	1.630	2.053
25% - Ceniza	1.679	2.113
15% - Concreto	1.577	1.987
20% - Concreto	1.620	2.040
25% - Concreto	1.686	2.123
C-2 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%		
natural	1.466	1.848
15% - Ceniza	1.589	2.001
20% - Ceniza	1.634	2.058
25% - Ceniza	1.680	2.115
15% - Concreto	1.539	1.939
20% - Concreto	1.593	2.004
25% - Concreto	1.621	2.038
C-3 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%		
natural	1.466	1.848
15% - Mixto	1.599	1.963
20% - Mixto	1.694	2.132
25% - Mixto	1.734	2.178

**Tabla 13**

*Resumen de ensayo de resistencia a la compresión no confinada*

Identificación	Lectura de carga en kg	Cohesión
C-1		
Natural	20.50	0.28
15% - Ceniza	75.30	1.03
20% - Ceniza	93.20	1.28
25% - Ceniza	108.70	1.49
15% - Concreto	91.40	1.25
20% - Concreto	107.20	1.47
25% - Concreto	130.20	1.78
C-2		
Natural	17	0.26
15% - Ceniza	72.10	0.99
20% - Ceniza	89.80	1.23
25% - Ceniza	104.70	1.43
15% - Concreto	84.70	1.16
20% - Concreto	97.40	1.33
25% - Concreto	111.30	1.53

C-3		
Natural	20.5	0.29
15% - Mixto	92.30	1.26
20% - Mixto	112.50	1.54
25% - Mixto	140.10	2.01

**Tabla 14**

*Resumen de corte directo*

Identificación	Profundidad	Angulo de fricción	Cohesión
NATURAL			
C-3	2.00	11	0.247
MEJORADO 25%			
C-3	2.00	28.4	1.92

**Figura 5**

*Ensayo de corte directo*



### 3.4 Capacidad de carga

La capacidad de carga ( $q_d$ ) es la presión última o de falla por corte del suelo se determina en suelos cohesivos mediante la siguiente ecuación, determinado de la Norma E 050 Suelos y cimentaciones:

**Tabla 15**

*Capacidad de carga*

$$q_d = Sc * icC * Nc$$

Donde:

$Q_d$  = capacidad de carga

$Sc$  = coeficiente de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la cohesión

$$S_c = 1 + 0.2 * \left(\frac{B}{L}\right)$$

$i_c$  = Coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la cohesión

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

C = Cohesión del suelo ubicado bajo la zapata

$N_c$  = Coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la cohesión = 5.14

### 3.5 Factor de seguridad

La capacidad admisible se obtiene dividiendo la capacidad ultima por el factor de seguridad, tomando como valor para carga estáticas 3.0

**Tabla 16**

*Para cargas estáticas*

$$FS = \frac{\text{carga ultima}}{3} = \frac{5.55 \text{ kgf/cm}^2}{3} = 1.85 \text{ kgf/cm}^2$$

**Tabla 17**

*Resumen de capacidad ultima y admisible de suelo natural*

Capacidad ultima	Capacidad admisible
1.5 kgf/cm <sup>2</sup>	0.50 kgf/cm <sup>2</sup>

**Tabla 18**

*Resumen de la capacidad ultima y admisible de suelo mejorado*

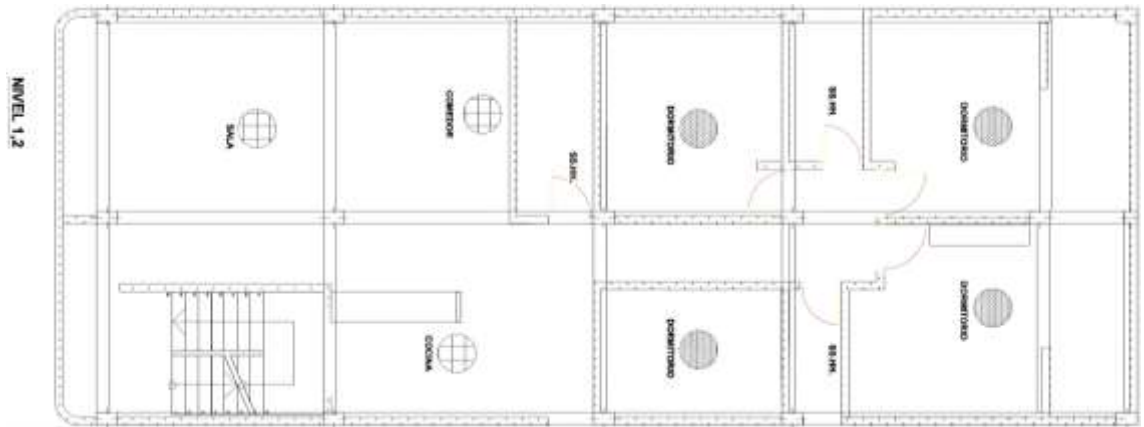
Capacidad ultima	Capacidad admisible
5.55 kgf/cm <sup>2</sup>	1.85 kgf/cm <sup>2</sup>

### 3.6 Modelo del proyecto – vivienda unifamiliar

Para el caso práctico, se desarrolló un plano arquitectónico con una superficie de 160 metros cuadrados, adaptado a las necesidades específicas del sitio. Este proyecto arquitectónico contempla la construcción de dos niveles, además de una azotea, optimizando así el uso del espacio disponible.

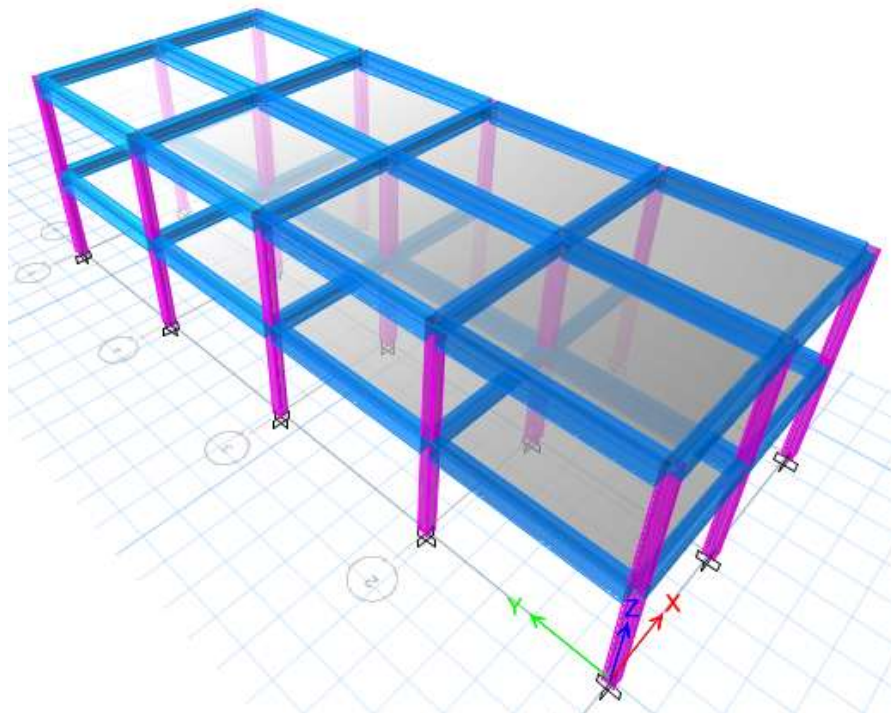
**Figura 6**

*Plano de primer y segundo nivel*



**Figura 7**

*Modelamiento usando el programa Etabs*



### 3.7 Diseño de cimentación

Para el diseño del proyecto, se decidió implementar dos enfoques distintos. En el primero, consideró en la capacidad portante natural siendo 0.5 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que en el mejorado 1.85 kgf/cm<sup>2</sup>

#### 3.7.1 Datos para el diseño

**Tabla 19**

*Factores de diseño*

Datos de diseño		Capacidad portante natural	Capacidad portante mejorado	Unidades
Columna	Sección	30 x 30	30 x 30	cm
	Acero de refuerzo	1/2"	1/2"	in
	Resistencia del concreto	210	210	kgf/cm <sup>2</sup>
	Fluencia del acero	4200	4200	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Metrado de cargas</b>				
Cargas	Cargas de servicio	p <sub>m</sub> = 27.39	p <sub>m</sub> = 27.39	tnf
		p <sub>v</sub> = 7.21	p <sub>v</sub> = 7.21	tnf
	Sobrecarga	sc= 0.20	sc= 0.20	tnf/m <sup>2</sup>
Suelo y cimentación	Peso específico del suelo	γ= 2.20	γ= 2.20	kgf/m <sup>3</sup>
	Capacidad admisible	q <sub>s</sub> = 0.5	q <sub>s</sub> = 1.85	kgf/cm <sup>2</sup>
Extra	Recubrimiento	r=10	r=10	cm
	Nivel de desplante	d <sub>f</sub> = 2.00	d <sub>f</sub> = 2.00	m

#### 3.7.2 Dimensión en planta

**Tabla 20**

*Cálculos de dimensión*

$A_z = \frac{(P_m + P_v) * f}{\sigma} = 2.1 \text{ m}^2$	P <sub>m</sub> : carga muerta P <sub>v</sub> : carga viva f: factor σ: capacidad admisible
$A = \sqrt{A_z} + \frac{1}{2}(b - t) = 1.60 \text{ m}$	A <sub>z</sub> : área de la zapata b: lado de columna t: lado de columna
$B = \sqrt{A_z} + \frac{1}{2}(b - t) = 1.60 \text{ m}$	

### 3.7.3 Dimensión final

Tabla 21

Cálculos de dimensión final

$A = 1.60 \text{ m}$ $B = 1.60 \text{ m}$ $H_z = 0.50 \text{ m}$	$A =$ lado 1 de zapata $B =$ lado 2 de zapata $H_z =$ peralte de zapata
$P_z = \gamma_s * A * B * H_z = 2.46 \text{ tonnef}$ $P_r = \gamma_s * (A * B - b * t)(D_f - H_z)$ $\quad = 8.69 \text{ tonnef}$ $P_{sc} = SC * (A * B - b * t) = 0.49 \text{ tonnef}$	$P_z =$ peso propio de zapata $P_r =$ peso específico de relleno $P_{sc} =$ peso de la sobrecarga $A =$ lado 1 $B =$ lado 2 $H_z =$ peralte

### 3.7.4 Presiones

Tabla 22

Cálculo de presiones

$P_s = P_m + P_v + P_z + P_r + P_{sc}$ $\quad = 46.32 \text{ tonnef}$	$P_s =$ carga de servicios $P_m =$ carga muerta $P_v =$ carga viva $P_z =$ peso de zapata $P_r =$ peso de relleno $P_{sc} =$ peso de sobrecarga
$\sigma_1 = \frac{P_s}{A_z} = 1.81 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_1 =$ esfuerzo $P_s =$ carga de servicio $A_z =$ área de la zapata

### 3.7.5 Diseño

Tabla 23

Cálculos de diseño

$P_u = 1.4P_m + 1.7P_v = 50.6 \text{ tonnef}$	$P_u =$ carga última $P_m =$ carga muerta $P_v =$ carga viva
$\sigma_u = \frac{P_u}{A_z} = 1.81 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_u =$ esfuerzo ultimo $P_u =$ carga última $A_z =$ área de la zapata

### 3.7.6 Corte por punzonamiento

Tabla 24

Cálculos de corte por punzonamiento

$d = H_z - 0.10 = 0.40 \text{ m}$ $b_o = 2(t + d) + 2(b + d) = 2.8 \text{ m}$ $A_o = (t + d) * (b + d) = 0.49 \text{ m}^2$ $V_{u,p} = \sigma_u * (A_z + A_o)$ $= 40.92 \text{ tonnef}$	$d =$ altura $b_o =$ perímetro de falla $A_o =$ perímetro de falla $V_{u,p} =$ cortante ultima producto del punzonamiento
$\phi_c = 0.85$ $\beta_c = \frac{\max(t, b)}{\min(t, b)} = 1$ $\alpha_s = 40$	$\Phi_c =$ factor de reducción por corte $\alpha_s =$ coeficiente, columna interior
$\phi V_{c1} = \phi_1 * 0.53 * \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) * \sqrt{F_c} * b_o * d = 219.35 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c2} = \phi_2 * 0.27 * \left(\frac{\alpha_s * d}{b_o} + 2\right) * \sqrt{F_c} * b_o * d = 287.35 \text{ tonnef}$ $\phi V_{c3} = \phi_3 * 1.06 * \sqrt{F_c} * b_o * d = 146.24 \text{ tonnef}$ $DC = \frac{V_{u,p}}{\min(\phi V_{c1}, \phi V_{c2}, \phi V_{c3})} = 0.28$	

### 3.7.7 Corte por flexión

Tabla 25

Cálculos de corte por flexión

$L_{vol} = \frac{A - b}{2} = 0.65 \text{ m}$ $b = 1 \text{ m}$ $V_{ud,f} = \sigma_u * (L_{vol} - d) * d = 4.94 \text{ tonnef}$ $\phi V_c = \phi_c * 0.53 * \sqrt{F_c} * b * d = 26.11 \text{ tonnef}$ $L_{vol} = \frac{V_{ud,f}}{\phi V_c} = 0.19$
--

### 3.7.8 Diseño por flexión

Tabla 26

Diseño por flexión

$M_u = \frac{\sigma_u * L_{vol}^2}{2} * b = 4.18 \text{ tonnef} * \text{m}$ $\phi_f = 0.90$ $A_s = \frac{0.85 * f_c * b * d}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{\phi_f * 0.85 * f_c * b * d^2}}\right)$ $= 2.78 \text{ cm}^2$ $A_{s_{min}} = 0.0018 * b * H_z = 9 \text{ cm}^2$
--

### 3.7.9 Longitud de desarrollo del acero de columna

Tabla 27

Cálculos de longitud de desarrollo

$$d_v = \frac{1}{2} = 1.27 \text{ Cm}$$

$$Ld_1 = \frac{0.06 * d_v * f_y}{\sqrt{f_c}} = 22.08 \text{ cm}$$

$$Ld_1 = 23 \text{ cm}$$

### 3.7.10 Área de acero

Tabla 28

Cálculos de área de acero

$$A_v = 1.29 \text{ cm}^2$$

$$NV = \frac{AS_{min}}{A_v} = 6.98 \text{ cm}$$

$$NV = 7 \text{ cm}$$

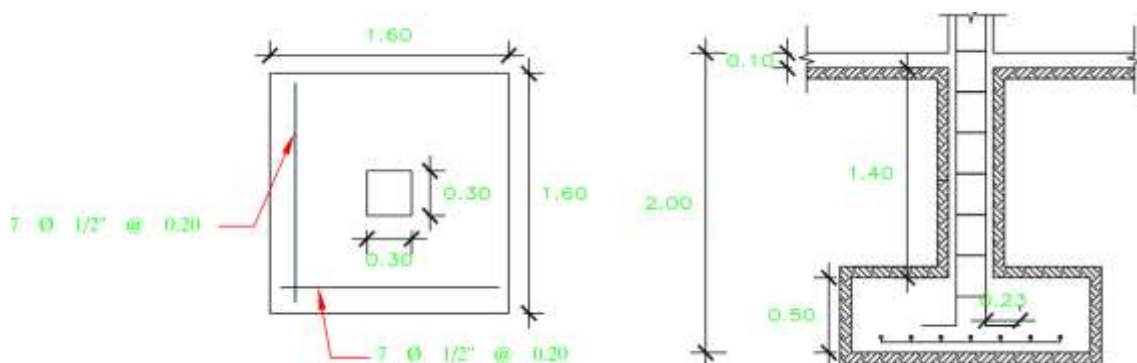
$$S = \frac{(A - 2 * r)}{N_v} = 20 \text{ cm}$$

$$S = 20 \text{ cm}$$

### 3.7.11 Distribución de acero

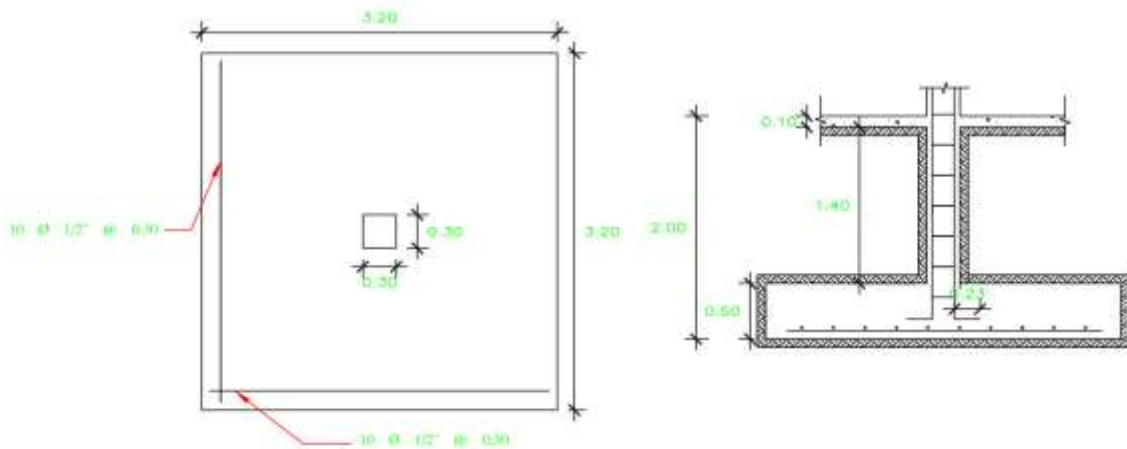
Figura 8

Detalle típico de zapata con capacidad portante mejorada



**Figura 9**

*Detalle típico de zapata con capacidad portante natural*



**3.8 Bulbo de esfuerzo por carga concentrada**

**Tabla 29**

*Datos de bulbo*

DATOS		UNIDADES
Peso (P)	27	ton
Dimensión de zapata (A)	1.60	m
Dimensión de zapata (B)	1.60	m
Desplante (Zf)	2.00	m
Peso específico del suelo	2.20	kg/m <sup>3</sup>
Estructura (q)	10.55	ton/m <sup>2</sup>
Alivio suelo (q)	4.40	ton/m <sup>2</sup>
Final (q)	6.15	kgf/m <sup>2</sup>
Admisible suelo (G)	1.85	kgf/cm <sup>2</sup>

**3.8.1 Método por carga concentrada Boussinesq**

**Tabla 30**

*Formula de Boussinesq*

$$\sigma = q_{final} * IZ * 4$$

$$W_o = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{2mm(m^2 + n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}{(m^2 + n^2 + 1) + m^2n^2} * \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{2mm(m^2 + n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}{(m^2 + n^2 + 1) - m^2n^2} \right]$$

Donde:

$$m = \frac{b}{z}; b = \frac{B}{2} \quad y \quad n = \frac{l}{z}; l = \frac{L}{2}$$

**Tabla 31***Profundidad*

PROFUNDIDAD Z	IZ	1.85 kgf/cm <sup>2</sup>
0	0.250	6.15
0.25	0.245	6.02
0.50	0.220	5.42
0.75	0.183	4.50
1.00	0.146	3.59
1.25	0.116	2.84
1.50	0.092	2.26
1.75	0.074	1.82
2.00	0.060	1.48
2.25	0.050	1.22
2.50	0.042	1.03

**Tabla 32***Profundidad a mejorar*

PROFUNDIDAD Z	G =1.85 kgf/cm <sup>2</sup>
1.75	1.82

Considerando las fórmulas y los datos disponibles sobre la estructura, el peso y la capacidad de carga, se empleó el método de carga rectangular de Boussinesq para determinar el espesor necesario para la mejora del suelo, resultó en la necesidad de mejorar el terreno hasta una profundidad de 1.75 metros. Este enfoque permite asegurar una distribución adecuada de los esfuerzos y garantizar la estabilidad de la cimentación en la zona proyectada.

## **4 Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

Este estudio ha culminado con la determinación de los parámetros físicos y mecánicos de las muestras de suelo extraídas de las calicatas C-01, C-02 y C-03, las cuales han sido clasificadas de acuerdo con las normativas AASHTO y SUCS, se identifican como suelo CH que al mejorarlas pasaron a ser suelo CL al adicionar ceniza y concreto al 25%. El análisis de contenido de humedad revela un promedio de 40.8% para la calicata C-01, 41% para la calicata C-02 y 42% para la calicata C-03. En relación con los límites de Atterberg, se ha obtenido un índice de plasticidad de 31.1, 32 y 34 para las calicatas C-01, C-02 y C-03, respectivamente.

Se evidencia que tanto el adicionamiento de ceniza volcánica y concreto reciclado tienen un impacto positivo en las propiedades físicas y mecánicas en los ensayos realizados. No obstante, se destaca que el adicionamiento mixto de ceniza y concreto muestra resultados más favorables, ya que incluso con una baja proporción de adición, se logran valores superiores al realizar el ensayo de Compresión Simple (mejorado). Específicamente, al incorporar un 25% de ceniza+ concreto (mixto), se observa un aumento significativo de 15 kg/cm<sup>2</sup> a 140 kg/cm<sup>2</sup> este fue la resistencia más alta de las C-1, C-2 y C-3

En el proceso de diseño estructural de la cimentación, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las características del suelo subyacente, considerando tanto su estado natural como las mejoras potenciales. Como resultado de este estudio, se determinó que las propiedades mecánicas del suelo natural inalterado eran desfavorables, lo que condujo a la especificación de una cimentación cuadrada con dimensiones de 3.20 metros de lado y un peralte de 0.50 metros. Sin embargo, tras implementar la adición de ceniza y concreto reciclado al suelo, se logró modificar significativamente las características de este último, lo que permitió reducir las dimensiones de la cimentación a 1.60 metros de lado, con un peralte de 0.50 metros. Este cambio refleja una optimización en el diseño estructural, aprovechando las mejoras en la capacidad

portante del suelo para ajustar las dimensiones de la cimentación de manera más eficiente.

#### **4.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar un monitoreo continuo de las propiedades físicas y mecánicas del suelo mejorado con ceniza volcánica y concreto reciclado. Este seguimiento es crucial para garantizar que las mejoras observadas se mantengan a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones ambientales.

Dado que el adicionamiento mixto de ceniza volcánica y concreto reciclado al 25% ha mostrado resultados favorables en términos de resistencia, se recomienda explorar y optimizar esta dosificación en otros proyectos con condiciones de suelo similares. Además, se sugiere realizar estudios complementarios con diferentes proporciones de adición para identificar la combinación óptima que maximice la eficiencia y minimice los costos.

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda reevaluar los diseños de cimentación existentes en proyectos que utilizan suelos con características similares, con el fin de optimizar las dimensiones y reducir costos sin comprometer la seguridad estructural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alhadama, S. H., Almaswari, A. A., & Algaboby, Z. M. (2024). Cement-Stabilized Granular Volcanic Ash Materials for Construction of Low-Traffic Roads in Yemen. *Advances in Civil Engineering*, 2024, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2024/5909337>
- ASTM D 1557. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup>(2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)).
- ASTM D 2166. (2006). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil 1. [www.astm.org](http://www.astm.org),
- ASTM D 2435. (2003). One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading 1. [www.astm.org](http://www.astm.org),
- ASTM D422. (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. <https://doi.org/10.1520/D0422-63R07E02>
- ASTM D2216. (2006). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass 1. <https://doi.org/10.1520/D2216-19>
- ASTM D4318. (2018). Designation: D4318 – 17'117'1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils 1. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
- ASTM G 2487. (2011). Standard Practice for Soil Classification for Planting Purposes Engineering (Unified Engineering Classification System) Floors. <https://doi.org/10.1520/D2487--11>
- Awn, S. H. A., & Abbas, H. O. (2022). Recycling of Construction Waste Concrete as a Stabilizer for Gypseous Soils. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 17(3), 401–406. <https://doi.org/10.18280/ijdne.170310>
- Berdi Inas, Messast Salah, Benzaid Riad, & Idoui Imane. (2021). Treatment of clay soil with paper ash.
- INEI. (2023). Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Provincia y Distrito, 2024.
- Iriciuc, S. C., Gimiga, G. R., & Gălușcă, I. N. (2021). Determination of the Physical-Mechanical Characteristics of Non-Cohesive Soils Stabilized with Fly Ash (Part II). *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iași. Construction. Architecture Section*, 67(4), 43–60. <https://doi.org/10.2478/bipca-2021-0033>
- Jeevanantham, V., & Magudeaswaran, P. (2023). Influence of Fly Ash in Strength Characteristics of Cohesive Soils. *International Journal of Civil Engineering and*

Technology, 7(6), 67–72.

<http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp>  
<http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=7&IType=6>  
<http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=7&IType=6>

- Li, L., Zhang, H., Xiao, H., Pei, Y., & Wang, J. (2023). Mechanical and microscopic properties of alkali-activated fly-ash-stabilised construction and demolition waste. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 27(8), 2661–2677. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1792351>
- Musa, A. ;, Alhaji, M. M. &, & Alhassan, M. (2020). Stabilization of Clay Soil Using Cement and Volcanic Ash for Sustainable Pavement Structure.
- Sharma, N. K., Swain, S. K., & Sahoo, U. C. (2021). Stabilization of a Clayey Soil with Fly Ash and Lime: A Micro Level Investigation. *Geotechnical and Geological Engineering*, 30(5), 1197–1205. <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9532-3>
- Ujile, M. C., & Abbey, S. J. (2022). The use of fine portions from construction and demolition waste for expansive soil stabilization: A review. In *Frontiers of Structural and Civil Engineering* (Vol. 16, Issue 7, pp. 803–816). Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1007/s11709-022-0835-z>
- Varaprasad, B. J. S., Joga, J. R., & Joga, S. R. (2020). Reuse of Municipal Solid Waste from Incinerated Ash in the Stabilization of Clayey Soils. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 28(4), 1–7. <https://doi.org/10.2478/sjce-2020-0024>
- Villacís Troncoso, E. de las M., Luna Hermosa, G., Escadeillas, G., Román Solórzano, K., Licuy Ordóñez, C., Orbe Pinchao, L., Zúñiga Morales, P., & Guerrero Barragán, V. (2022). Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 14–27. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.821>

# ANEXOS

## Anexo 1

### Evidencia de sumisión de artículo

[RDLC] Acuse de recibo de la presentación

Claudia Burbano-García <cpurbano@ucd.cl>  
Re: @Influencia

Traducido de inglés Mostrar mensaje original Activar la traducción automática

Brian Yamé Ticona:

Gracias por enviar el manuscrito, "La influencia del hormigón reciclado y la ceniza volcánica en suero de leche para fines de cementación: Evaluación de la estabilidad y durabilidad de las cementaciones" a la Revista de la Construcción, Revista de Construcción. Con el sistema de gestión de revistas en línea que estamos utilizando, podrá seguir su progreso a través del proceso editorial iniciando sesión en el sitio web de la revista:

URL de envío: <https://revistadelaconstruccion.cl/index.php/RDLC/authn/Clasiboard/submission/5077>

**Journal of Construction**

Journal of Construction is an international scientific publication, created in 2002 and edited by the Escuela de Construcción Civil of Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
[www.revistadelaconstruccion.cl](http://www.revistadelaconstruccion.cl)

Nombre de usuario: @Influencia

Si tiene alguna pregunta, póngase en contacto conmigo. Gracias por considerar esta revista como un lugar para su trabajo.

Claudia Burbano-García

---

{@cpurbano@ucd.cl}

U.C. / <http://revistadelaconstruccion.ucd.cl>

¿Es útil esta traducción?  Sí  No

## Anexo 2

*Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo aprobado por el consejo de facultad*



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

### RESOLUCIÓN N° 0554-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 26 de setiembre de 2023

#### VISTO:

El expediente de **José Hector Olivera Justo**, identificado(a) con Código Universitario N° 201520752 y **Brian Yamil Huanca Ticona**, identificado(a) con Código Universitario N° 201810057, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

#### CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **José Hector Olivera Justo** y **Brian Yamil Huanca Ticona**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Influencia del concreto reciclado y ceniza volcánica para suelos cohesivos con fines de cimentación" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 26 de setiembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

#### SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato articulo titulado "**Influencia del concreto reciclado y ceniza volcánica para suelos cohesivos con fines de cimentación**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Leonel Chahuare Paucar** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo el cual fue dictaminado por: **Mg. Moises Araca Chile** y **Mg. Gerardo William Pari Quispe**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Interesado  
-Asesor  
-Dirección General de Investigación  
-Archivo

### Anexo 3

Constancia de haber realizado los ensayos de laboratorio en el laboratorio de mecánica de suelos de la Upeu



## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y la Responsable del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

#### HACE CONSTAR:

Que los Bachilleres en Ingeniería Civil:

**BRIAN YAMIL HUANCA TICONA**

Código universitario N° 201810057

**JOSE HECTOR OLIVERA JUSTO**

Código universitario N° 201520752

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos para completar su trabajo de tesis denominado: **"Influencia del concreto reciclado y ceniza volcánica para suelos cohesivos con fines de cimentación"** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Los trabajos se realizaron entre los meses de noviembre y diciembre del 2023; y mayo del 2024. Los ensayos efectuados por los tesisistas fueron los siguientes:

- ✓ 03 Ensayos de contenido de humedad
- ✓ 03 Ensayos de densidad de suelos cohesivos
- ✓ 18 Ensayos de límite líquido y plástico
- ✓ 18 Ensayos de análisis granulométrico por tamizado
- ✓ 18 Ensayos de proctor modificado
- ✓ 03 Ensayos de compresión simple
- ✓ 02 Ensayos de corte directo no consolidado no drenado

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen por conveniente.

Juliaca Villa Chullunquiani, 24 de mayo del 2024



Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil



Ing. Yesenia Apaza Pinto  
Responsable de Laboratorio de Mecánica de Suelos

## Anexo 4

### Ens. Químico y Normativa

ENSAYOS QUÍMICOS Y NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS		
Muestra de arena	% Sulfatación suizo por carbonato en peso	18%
	% Sulfatación suizo por cemento reciclado	15%
C-1	18%	15%
	20%	20%
	18%	15%
C-2	20%	20%
	20%	20%
	7.50%	7.50%
C-3	10%	10%
	12.50%	12.50%

Características químicas de la arena		
Parámetro químico	Unidad	Resultado
Potencial de Hidrogeno	pH	8.30
Alcalinidad	ppm	54.70
Carbono como CO	ppm	56.76
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	ppm	352.8
Sales Solubles Totales	ppm	853.66

Características químicas de la ceniza volcánica		
Parámetro químico	Unidad	Resultado
Potencial de Hidrogeno	pH	4.07
Alcalinidad	ppm	15.43
Carbono como CO	ppm	23.28
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	ppm	225.8
Sales Solubles Totales	ppm	199.73

Características químicas del concreto reciclado		
Parámetro químico	Unidad	Resultado
Potencial de Hidrogeno	pH	8.2
Alcalinidad	ppm	35.7
Carbono como CO	ppm	66.07
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	ppm	253
Sales Solubles Totales	ppm	739.23

Técnica	Norma aplicada
<b>Preparación física</b>	
Análisis granulométrico de suelos por 300/425	ASTM D 422
Determinación del contenido de humedad de un suelo	ASTM D 2216
Determinación del índice de plasticidad (I.P.) de los suelos e índice de consistencia (IC)	ASTM D 4316
Cualificación de suelos método SUCS	ASTM D2487
Cualificación de suelos método AASHTO	M-140
<b>Propiedades mecánicas</b>	
Resistencia a la compresión en confiamiento	ASTM D 2108
Proctor estándar	ASTM D 698
Corte directo de suelo	ASTM D 3080

## Anexo 5

### Prop. Físicas

PROPIEDADES FÍSICAS										
Ensayo	Granulometría (%)		Límites			Unidad	Defin. (SUCS)	Defin. (AASHTO)		
	Nº 40	Nº 200	LL	LP	IP					
Control	159.5	45.0	-	-	-					
Cemento	21.7	100.3	-	-	-					
Arenilla C-1	97.85	96.04	75.17	25.75	49.39					
Arenilla C-2	97.88	96.16	66.59	22.77	43.83					
Arenilla C-3	97.11	96.19	77.70	34.1	43.60					
<b>ABRACION LOS ANGELES</b>										
Muestra	Arroz									
Obj. B (mm)	Triturado									
Gravim. masa	E									
Número de mediciones	32									
Número de ensayos	1000									
Peso muestra (total) (g)	10000									
Peso muestra final (g)	8851									
Pérdida (g)	1149									
Abstracción (%)	11.49									
<b>Características físicas de la arena</b>										
Ensayo	Humedad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Granulometría (%)		Límites		Unidad	Defin. (SUCS)	Defin. (AASHTO)	
			Nº 40	Nº 200	LL	LP				
<b>C-3 cemento 10%, 20%, 25% y concreto reciclado 10%, 20%, 25%</b>										
Natural	46.54	1.8	97.63	96.01	75.17	25.75	49.42	CH	a-7-6 (20)	
20% -Cem	-	-	99.06	88.58	65.74	20	45.74	CH	a-7-6 (20)	
25% -Cem	-	-	98.16	82.46	54.77	16.45	38.32	CH	a-7-6 (19)	
25% -Cemento	-	-	98.63	77.89	43.57	11.51	31.06	CL	a-7-6 (16)	
15% -Cemento	-	-	98.44	61.48	69.76	28.37	41.19	CH	a-7-6 (16)	
10% -Cemento	-	-	94.87	50.58	58.17	27.23	36.96	CH	a-7-6 (12)	
15% -Cemento	-	-	81.74	33.74	47.66	25.84	30.84	CL	a-7-7 (6)	
<b>C-3 cemento 5%, 10%, 20% y concreto reciclado 10%, 20%, 25%</b>										
Natural	53.48	1.89	97.68	96.19	68.55	22.72	43.82	CH	a-7-6 (21)	
10% -Cemento	-	-	98.27	84.23	56.24	18.97	38.27	CH	a-7-6 (19)	
15% -Cemento	-	-	98.19	79.89	46.09	15.76	30.68	CL	a-7-6 (17)	
20% -Cemento	-	-	98.31	70.47	40.62	11.28	26.34	CL	a-7-1 (21)	
25% -Cemento	-	-	60.07	56.21	38.55	24.38	35.77	CH	a-7-6 (14)	
20% -Cemento	-	-	53.1	46.09	47.33	19.12	38.11	CL	a-5-1 (9)	
25% -Cemento	-	-	45.77	39.07	32.02	14.65	18.91	CL	a-3-6 (2)	
<b>C-3 cemento 7.5%, 10%, 12.5% y concreto 7.5%, 10%, 12.5%</b>										
Natural	46.18	1.79	97.11	96.19	77.70	34.1	43.68	CH	a-7-6 (20)	
10% -Mista	-	-	79.63	60.32	48.45	25.94	32.51	CL	a-6 (18)	
20% -Mista	-	-	72.84	49.14	28.45	18	10.65	CL	a-4 (8)	
25% -Mista	-	-	67.53	34.19	15.78	10.09	5.69	ML	a-2-4 (1)	

## Anexo 6

### Prop. Mecánicas

#### PROPIEDADES MECANICAS

Ensayo	Proctor estándar	Proctor estándar
	(densidad suelo seco)	(densidad suelo húmedo)
	-26%	-26%
C-1 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%		
natural	1.5	1.891
15% - Ceniza	1.606	2.025
20% - Ceniza	1.63	2.053
25% - Ceniza	1.679	2.113
15% - Concreto	1.577	1.987
20% - Concreto	1.62	2.04
25% - Concreto	1.686	2.123
C-2 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%		
natural	1.466	1.848
15% - Ceniza	1.589	2.001
20% - Ceniza	1.634	2.058
25% - Ceniza	1.68	2.115
15% - Concreto	1.539	1.939
20% - Concreto	1.593	2.004
25% - Concreto	1.621	2.038
C-3 ceniza 15%, 20%, 25% y concreto reciclado 15%, 20%, 25%		
natural	1.466	1.848
15% - Mixto	1.599	1.963
20% - Mixto	1.694	2.132
25% - Mixto	1.734	2.178

Identificación	Profundidad	Angulo de fricción	Cohesión
NATURAL			
C-3	2	11	0.247
MEJORADO 25%			
C-3	2.00	28.4	1.92

Identificación	Lectura de carga	Cohesión
C-1		
Natural	20.5	0.28
15% - Ceniza	75.3	1.03
20% - Ceniza	93.2	1.28
25% - Ceniza	108.7	1.49
15% - Concreto	91.4	1.25
20% - Concreto	107.2	1.47
25% - Concreto	130.2	1.78
C-2		
Natural	17	0.26
15% - Ceniza	72.1	0.99
20% - Ceniza	89.8	1.23
25% - Ceniza	104.7	1.43
15% - Concreto	84.7	1.16
20% - Concreto	97.4	1.33
25% - Concreto	111.3	1.53
C-3		
Natural	20.5	0.29
15% - Mixto	92.3	1.26
20% - Mixto	112.5	1.54
25% - Mixto	140.1	2.01