

calla Mamani Quispe Subia

Efecto de la toba volcánica y el concreto reciclado en los parámetros de.pdf

 Ccalla - Quispe

 Ccalla - Quispe

 Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:477897750

Fecha de entrega

1 ago 2025, 1:58 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 ago 2025, 10:54 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Efecto de la toba volcánica y el concreto reciclado en los parámetros de.pdf

Tamaño del archivo

3.1 MB

23 páginas

12.989 palabras

57.787 caracteres

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)
- Trabajos entregados

Exclusiones

- N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	5%
2	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
3	Internet	www.journal-index.org	<1%
4	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
5	Internet	www.scribd.com	<1%
6	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
7	Internet	www.coursehero.com	<1%
8	Internet	pdfcoffee.com	<1%
9	Internet	es.slideshare.net	<1%
10	Internet	fdocuments.es	<1%
11	Publicación	HERRERA VILLAVICENCIO JUVENAL. "Programa de Reconversión y Manejo de Área...	<1%

12	Internet	rua.ua.es	<1%
13	Publicación	Willy H. Bölling. "Chapter 3 Scherfestigkeit kohäsiver Böden", Springer Science an...	<1%
14	Internet	repositorio.ulvr.edu.ec	<1%
15	Internet	core.ac.uk	<1%
16	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
17	Internet	bibdigital.epn.edu.ec	<1%
18	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
19	Internet	biblioteca.usac.edu.gt	<1%
20	Internet	doku.pub	<1%
21	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
22	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
23	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
24	Internet	vsip.info	<1%
25	Internet	ebin.pub	<1%

26	Internet	idoc.tips	<1%
27	Internet	journalingeniar.org	<1%
28	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
29	Publicación	R A García-León, W Quintero-Quintero, E Espinel-Blanco. "Technological character...	<1%
30	Internet	html.pdfcookie.com	<1%
31	Internet	www.fundacionmapfre.org	<1%
32	Internet	es.scribd.com	<1%
33	Internet	idoc.pub	<1%
34	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
35	Internet	docplayer.es	<1%
36	Internet	www.slideshare.net	<1%
37	Internet	www-hidraulica.upc.es	<1%
38	Internet	www.ipshk.org	<1%
39	Internet	fdocuments.mx	<1%

40	Internet	edoc.pub	<1%
41	Internet	prezi.com	<1%
42	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	<1%
43	Internet	repositorio.utm.edu.ec	<1%
44	Internet	www.academia.edu	<1%
45	Internet	www.clubensayos.com	<1%
46	Internet	www.hondurasbonita.com	<1%
47	Internet	www.researchgate.net	<1%
48	Publicación	Helena Fernández-Sanz, Eduardo Reséndiz. "Comparison of body temperature an...	<1%
49	Publicación	Md. Shafiqur Rahman, Mehedi Ahmed Ansary. "Development of SPT-N60 and USC...	<1%
50	Publicación	PASTOR USQUIANO JORGE ENRIQUE. "DIA para la instalación de Estación de Servi...	<1%
51	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
52	Internet	edisciplinas.usp.br	<1%
53	Internet	gala.gre.ac.uk	<1%

54	Internet	repositorio.uchile.cl	<1%
55	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
56	Internet	repositorio.untrm.edu.pe	<1%
57	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
58	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	<1%

Efecto de la toba volcánica y el concreto reciclado en los parámetros de resistencia en suelos arcillosos con fines de cimentaciones

Ccalla Mamani Rafael Vladimir¹ · Quispe Subia Yhanira Yudithza²

Resumen

La presente investigación, de carácter aplicado y experimental, tuvo como objetivo general analizar la influencia de la toba volcánica (TV) y el concreto reciclado (CR) en los parámetros de resistencia de suelos arcillosos a nivel de cimentaciones, con el fin de proporcionar información relevante que contribuya a mejorar la estabilidad y eficiencia estructural. Se emplearon agregados de CR (fracción que pasa por la malla N.º 4) en porcentajes de 30 %, 35 %, 40 % y 50 %, y TV (fracción que pasa por la malla N.º 100) en proporciones de 6 %, 8 % y 10 %. Se seleccionaron combinaciones específicas de ambos materiales, considerando la similitud de la TV con el cemento y el creciente interés en el uso de CR para suelos cohesivos. Se realizaron ensayos conforme a las normas ASTM y NTP, como la compresión no confinada y el corte directo, para determinar parámetros como la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ). Los resultados mostraron un incremento significativo en la capacidad portante, pasando de un q_{adm} de 1.813 kg/cm² en el suelo natural a un q_{adm} de 2.631 kg/cm² con incorporación de TV, a su vez también obteniendo un q_{adm} de 2.770 kg/cm² con la estabilización de CR. Al usar una combinación de TV y CR se obtuvo el valor más favorable en q_{adm} que es de 3.256 kg/cm². Se concluye que la combinación de 40 % de CR con 6 % de TV mejora considerablemente los parámetros de resistencia del suelo, constituyendo una alternativa eficaz y sostenible para cimentaciones en suelos arcillosos.

Palabras clave: concreto reciclado, toba volcánica, estabilización de suelos, compresión no confinada, capacidad portante.

1. Introducción

La creciente demanda de construcción de viviendas, impulsada por la expansión urbana, ha generado una ocupación intensiva de terrenos con suelos de baja calidad, especialmente suelos arcillosos. En muchos casos, no se concede la debida importancia al estudio de suelos durante la etapa de diseño, lo cual representa un riesgo significativo, ya que incluso estructuras bien diseñadas y construidas pueden presentar fallas si la cimentación no es adecuada. Este problema es particularmente crítico en zonas donde los suelos cohesivos tienen una baja capacidad portante, alta compresibilidad y son susceptibles a asentamientos diferenciales. Tales condiciones pueden comprometer la seguridad estructural, tal como advierte el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la Norma Técnica E.050 - Suelos y Cimentaciones.

El problema específico que aborda esta investigación es la insuficiente capacidad portante de los suelos arcillosos en cimentaciones, lo cual representa una limitación para el desarrollo de edificaciones seguras y duraderas. En respuesta, el estudio propone el uso de materiales alternativos y accesibles como el concreto reciclado (CR) y la toba volcánica (TV), con propiedades físicas y químicas que podrían mejorar los parámetros de resistencia del suelo.

La presente investigación tiene como objetivo general analizar la influencia de la adición de toba volcánica y concreto reciclado en los parámetros de resistencia de suelos arcillosos, a nivel de cimentaciones. De forma específica, se evalúa el comportamiento del suelo mediante ensayos geotécnicos normalizados y se plantea un diseño de zapata optimizado a partir de los resultados obtenidos.

Asimismo, se busca contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles, reduciendo el impacto ambiental de la construcción mediante el uso de residuos reciclados.

La incorporación de concreto reciclado en 40 % y toba volcánica en 6 % mejora significativamente la capacidad portante de los suelos arcillosos, permitiendo un diseño de cimentación más eficiente conforme a los criterios del RNE y ACI 318-19.

Islam et al. [8] La investigación analizó las propiedades geotécnicas de las muestras de suelo de dos montículos en ambas condiciones naturales y después de agregar agregados de concreto reciclado en diferentes porcentajes, así como de insertar una columna RCA en el suelo. Las partículas de RCA hacen que el suelo sea menos cohesivo y más permeable, lo que ayudará a mejorar la estabilidad de los montículos durante las lluvias y en condiciones de saturación. Para ambos montículos, la cohesión es mínima con un 30% de RCA, mientras que el ángulo de fricción es máximo.

Islam et al. [9] Se realizó para investigar la compresibilidad y el comportamiento hidráulico del suelo arcilloso en diferentes proporciones de residuos de construcción y demolición (RCD). Teniendo mezclas de 10%, 20%, 30, y 40%. Se concluyó que el límite líquido y el límite plástico del suelo se reducen con el aumento de los porcentajes de RCD en la mezcla del suelo. La muestra de suelo que contiene 40% de RCD muestra los valores más bajos de límite líquido y límite plástico. El coeficiente de consolidación aumenta con el aumento del porcentaje de.

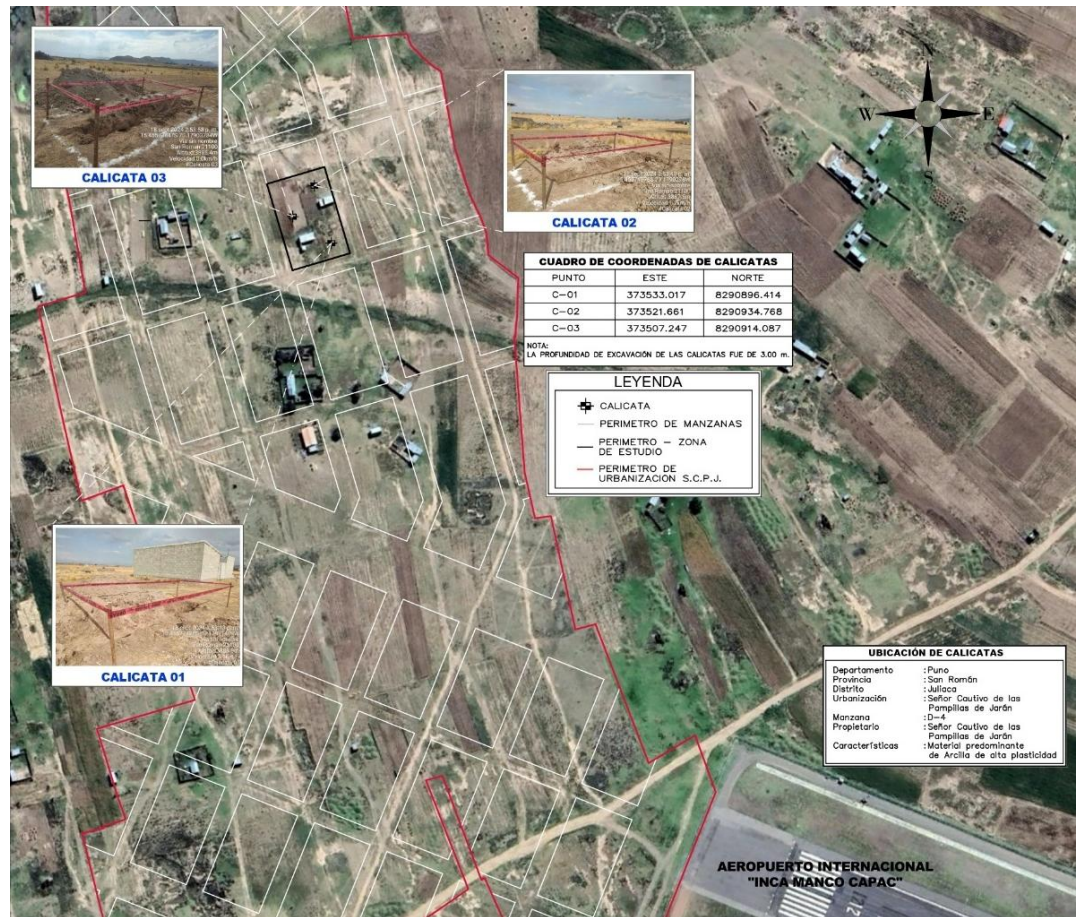


Fig. 1 Ubicación de calicatas San Román - Puno - Perú

La investigación se delimita al análisis experimental de muestras obtenidas de montículos arcillosos, bajo condiciones naturales y tratadas con proporciones específicas de CR y TV. Se analizaron parámetros como cohesión, ángulo de fricción. Adicionalmente, se modeló una vivienda multifamiliar para evaluar la aplicación práctica de los resultados.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

Suelo arcilloso (ARC)

La arcilla utilizada en la investigación fue expuesta a un proceso de secado al aire libre, después del cual se trituró y tamizó para lograr tamaños de partículas equivalentes a la arena, el cual es la fracción que pasa por la malla N°4.

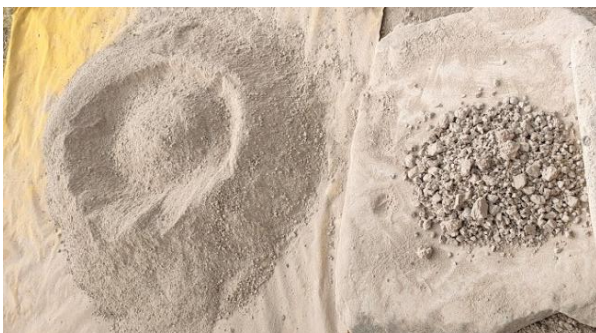


Fig. 2 Muestra de arcilla triturada y clasificada por el tamiz N°4

El suelo arcilloso usado como objeto de estudio se extrajo en Perú, Departamento de Puno, provincia de San Román, para su análisis en laboratorio se realizó 3 calicatas a una profundidad de 3.00 m.

Concreto Reciclado

Islam et al. [9] Los residuos de construcción y demolición (RCD) se producen durante la construcción de cualquier estructura de ingeniería civil o proyectos de demolición. Los RCD se han convertido en una preocupación importante debido a su gestión, costo y su impacto negativo al medio ambiente.

Se utilizó concreto reciclado a partir de probetas de concreto $f'c$ 210 kg/cm² el cual fue sometido a un proceso de trituración para reducir su tamaño y clasificarlo en partículas de arena utilizando la malla No. 4.



Fig. 3 Muestra de concreto reciclado triturada y clasificada por el tamiz N°4.

Toba volcánica (TV)

Giler Zambrano & Robles Cedeño [6] La toba se forma por la litificación de materiales pirolásticos y principalmente por la consolidación de la ceniza volcánica que es expulsada por una erupción volcánica explosiva. Cuando la ceniza se deposita sobre el suelo, poco a poco se va compactando y soldando hasta formar a la roca.

La toba volcánica se extrajo de la cantera Añashuayco 2500 msnm. de la Ruta del Sillar – Arequipa. Esta se recolecta las partículas más pequeñas comúnmente llamadas ripio, que posteriormente el material paso por un tamizado por la malla N° 100.



Fig. 4 Muestra recolectada, triturada y clasificada por el tamiz N° 100.

Varios investigadores han concluido que la estabilización con cemento del concreto reciclado tuvo resultados muy favorables; sin embargo, la producción de cemento es responsable de alrededor del 5% del total de las emisiones de CO₂ en la atmósfera. Por lo tanto, otros aglutinantes potenciales como cenizas volantes, cal fueron propuestas investigadas para sustituir al cemento.

Tabla 1 Comparación de Análisis químico entre Cemento Portland vs Toba volcánica

Parámetros Químicos	Símbolo	Cemento Portland	Toba Volcánica
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	8.51 %	13.02 %
Óxido de calcio	CaO	27.72 %	0.07 %
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	2.47 %	1.79 %
Óxido de potasio	K ₂ O	3.79 %	5.48 %
Pérdida por ignición	LOI	13.78 %	1.01 %
Óxido de magnesio	MgO	1.79 %	0.02 %
Óxido de manganeso	Mn ₂ O ₃	0.11 %	0.11 %
Óxido de sodio	Na ₂ O	0.73 %	3.69 %
Óxido de silicio	SiO ₂	41.26 %	73.6 %

Fuente. Laboratorios Analíticos del Sur - Arequipa.

Khaled Eldahrotty et al. [10] Se investigaron las utilidades y características de la toba utilizada como puzolana en compuestos cementosos. Los resultados confirmaron que las tobas demostraron ser adecuadas como sustancias suplementarias en el compuesto cementoso, según las normas aplicadas donde la toba contiene abundante SiO₂ y Al₂O₃ en su composición química y abundante contenido de fase amorfa en la textura de la roca.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterización física del suelo.

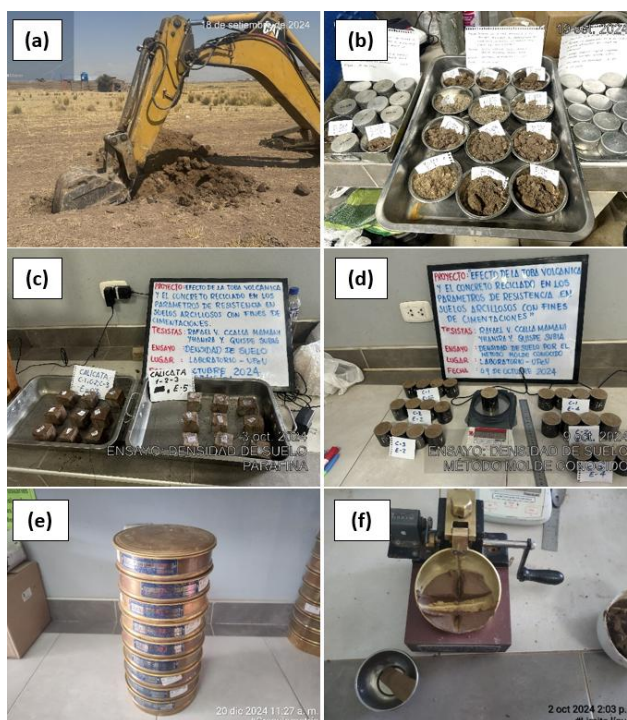


Fig. 5 (a) Exploración de suelo, (b) contenido de humedad, (c) densidad de suelo - método de inmersión en agua, (d) densidad de suelo - método de medición lineal, (e) granulometría y (f) Límites de Atterberg.

Peralta Tingal [12] La caracterización física de los suelos se define a partir de sus propiedades índice, estas permiten nombrar a los suelos y establece relaciones con sus propiedades ingenieriles. Las propiedades índices se obtienen por medio de ensayos como la clasificación visual, el contenido de humedad, densidad de suelo, granulometría, plasticidad, densidad máxima y mínima.

El conocimiento del suelo influye en cualquier obra civil es crucial para prever su comportamiento futuro, tanto durante como el proceso constructivo, con el fin de prevenir posibles contratiempos. Todas las construcciones descansan sobre el suelo de alguna manera, e incluso se emplean este elemento como material de construcción.

Tabla 2 Ensayos de caracterización física del suelo.

Ensayo de laboratorio	Normativa
Exploración de suelo	ASTM D 420
Contenido de humedad	ASTM D 2216
Densidad de masa del suelo	NTP 339.139
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	ASTM D 422
Límites de Atterberg	ASTM D 4318
Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS)	ASTM D 2487
Sistema de clasificación AASHTO	ASTM D 3282

2.2.2 Caracterización mecánica del suelo

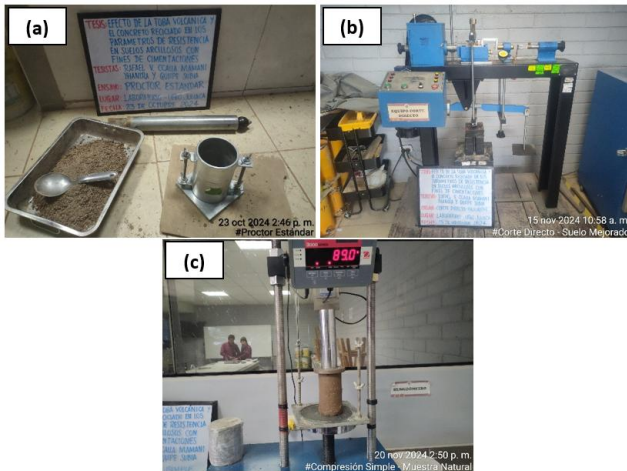


Fig. 6 (a) Proctor estándar, (b) Corte directo, (c) Compresión simple.

Peralta Tingal [12] La caracterización mecánica de los suelos son parte de las propiedades ingenieriles que influyen la compresibilidad y la resistencia al corte. Los ensayos y normativas de las propiedades mecánicas del suelo se detallan en la tabla 3.

Tabla 3 Ensayos de caracterización mecánica del suelo

Ensayo de laboratorio	Normativa
Proctor estándar	ASTM D 698
Corte directo	ASTM D 3080
Compresión no confinada	ASTM D 2166

2.2.3 Esfuerzo de masa del suelo

Rodríguez Serquén [16] Los esfuerzos dentro de un suelo se producen por el peso propio del mismo o por cargas que se encuentren sobre éste. Empezando por analizar los esfuerzos verticales que se generan en la masa de suelo por el peso propio de los materiales.

Incremento de esfuerzo (Boussinesq)

Esfuerzo vertical bajo el centro.

Rodríguez Gutiérrez & Darío Aristizabal [17] En el cálculo de los esfuerzos y asentamientos verticales en el suelo soportante de una zapata cargada excéntricamente, el primer paso es conocer la distribución de presiones bajo la zapata misma, Boussinesq nos brinda ecuaciones que nos ayudara al cálculo de esfuerzos.

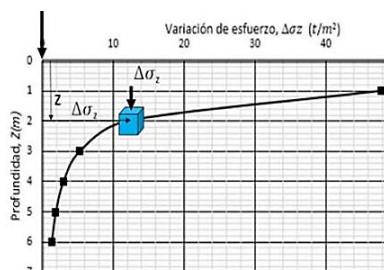


Fig. 7 Variación de esfuerzos con la profundidad, obtenidos con las ecuaciones de Boussinesq.

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

$$n = \frac{l}{z}; I = \frac{l}{z} \quad (2)$$

$$m = \frac{b}{z}; b = \frac{B}{2} \quad (3)$$

Bulbo de presiones para carga concentrada

Rodríguez Serquén [16] Boussinesq fue el primero en demostrar el cálculo de bulbo de esfuerzos. Con dichos resultados se puede obtenerse el conjunto de líneas de igual incremento de esfuerzo por carga, utilizando las ecuaciones de Boussinesq.

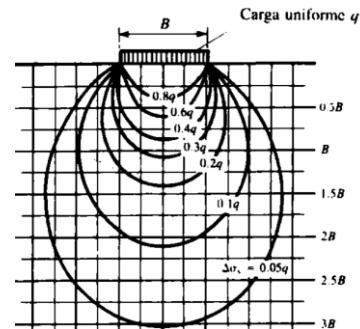


Fig. 8 Diagrama de isóbaras para carga concentrada, usando las ecuaciones de Boussinesq.

Rodríguez Serquén [16] Boussinesq, en 1883 solucionó el problema, hallando los esfuerzos normales y cortantes en todas las direcciones. Los esfuerzos normales verticales, se calculan con la ecuación.

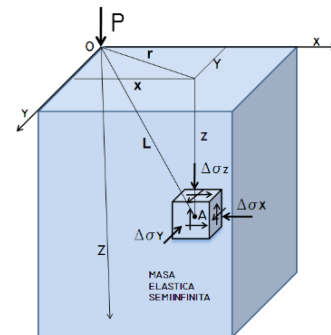


Fig. 9 El problema de Boussinesq de carga puntual.

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{2\pi} \frac{z^3}{L^5} = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{(r^5+z^2)^{5/2}} \quad (4)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

$$L = \sqrt{r^2 + z^2} \quad (6)$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \frac{1}{\left(\frac{r^2}{z^2} + 1\right)^{5/2}} \quad (7)$$

Rodríguez Serquén [16] El problema de Boussinesq, consiste en aplicar una carga puntual sobre una masa de suelo, y calcular los esfuerzos, que se producen en el interior de dicha masa de suelo. La masa es elástica, isotrópica, homogénea.

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} P_0 \quad (8)$$

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} \left\{ \frac{3}{2\pi} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2} \right]^{5/2} \right\} \quad (9)$$

$$r = \sqrt{\frac{z^{6/5}}{\left(\frac{2\pi I_0}{3} \right)^{2/5}} - z^2} \quad (10)$$

$$z = \sqrt{\frac{3}{2\pi I_0}} \quad (11)$$

$$\sigma_z = 0.1q \quad (12)$$

2.2.4 Capacidad de carga del suelo

Capacidad de carga última

De la Cruz Vega & Ccori Siello [4] Podemos encontrar diversos métodos para determinar la capacidad portante del suelo dentro de los cuales destaca el Terzaghi que considera que, si se aplica una carga en un área limitada sobre o debajo en la superficie del suelo, el área cargada se asienta.

Tabla 4 Factores modificados de capacidad de carga para las ecuaciones de Terzaghi.

θ'	N'_c	N'_q	N'_γ	θ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.590
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.880
2	6.10	1.14	0.020	28	17.13	7.07	3.290
3	6.30	1.22	0.040	29	18.03	7.66	3.760
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.390
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.830
6	6.97	1.49	0.100	32	21.16	9.82	5.510
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.320
8	7.47	1.70	0.160	34	23.72	11.67	7.220
9	7.74	1.82	0.200	35	25.18	12.75	8.350
10	8.02	1.94	0.240	36	26.77	13.97	9.410
11	8.32	2.08	0.300	37	28.51	15.32	10.900
12	8.63	2.22	0.350	38	30.43	16.85	12.750
13	8.96	2.38	0.420	39	32.53	18.56	14.710
14	9.31	2.55	0.480	40	34.87	20.50	17.220
15	9.67	2.73	0.570	41	37.45	22.70	19.750
16	10.06	2.92	0.670	42	40.33	25.21	22.500
17	10.47	3.13	0.760	43	43.54	28.06	26.250
18	10.90	3.36	0.880	44	47.13	31.34	30.400
19	11.36	3.61	1.030	45	51.17	35.11	36.000
20	11.85	3.88	1.120	46	55.73	39.48	41.700
21	12.37	4.17	1.350	47	60.91	44.45	49.300
22	12.92	4.48	1.550	48	66.80	50.46	59.250
23	13.51	4.82	1.740	49	73.55	57.41	71.450
24	14.14	5.20	1.970	50	81.31	65.60	85.750
25	14.80	5.60	2.250				

Fuente: Braja M. Das, 2010 (Fundamentos de ingeniería de cimentaciones)

Para cimentaciones que presentan el modo de falla local por corte de suelos. Terzagui sugirió la modificación siguiente para la ecuación 13.

Cimentación cuadrada:

$$q_u = 0.867c'N'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma \quad (13)$$

La variación de N'_c , N'_q y N'_γ , con el ángulo de fricción del suelo se reemplaza ϕ por:

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{2}{3} \tan \phi \right) \quad (14)$$

De la Cruz Vega & Ccori Siello [4] Los valores de los ensayos previos permiten obtener en ángulo de fricción interna y la cohesión permitiendo determinar la profundidad de desplante, el ancho de cimentación y los parámetros geotécnico para obtener la capacidad portante del suelo.

Capacidad de carga admisible

La capacidad de carga admisible, q_{adm} consiste una reducción de la capacidad de carga última con la aplicación de un factor de seguridad FS.

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S.} \quad (15)$$

Factor de seguridad (FS):

RNE E.050 [15] La RNE E.050 Suelos y cimentaciones, nos presenta el factor de seguridad mínimos que debe tener la cimentación es la siguiente:

- Para cargas estáticas: FS = 3.0

2.2.5 Análisis estructural de edificación

Metrado de cargas de edificación multifamiliar.

Se modelo la vivienda multifamiliar de 7 niveles, con el software ETABS teniendo en cuenta la RNE. E.020 Cargas.

• Carga muerta (CM):

RNE E.020 [14] Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud.

• Carga viva (CV):

RNE E.020 [14] Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación.

Tabla 5 Asignación de cargas según la RNE E.020

Asignación de cargas			
Cargas en losas			
Peso propio de losa aligerada	WD		300 kg/m ²
Peso de ladrillo	WD		90 kg/m ²
Piso terminado	WD		100 kg/m ²
Sobrecarga (S/C)	WL		200 kg/m ²
Techo y Azotea	WL		100 kg/m ²
Cargas de tabiquería			
Tabiquería	WD		150 kg/m ²
Cargas de escaleras			
Piso terminado	WD		100 kg/m ²
Sobrecarga (S/C)	WL		200 kg/m ²

2.2.6 Diseño de cimentación

Una vez establecida la capacidad de carga admisible del suelo en estudio y cuantificadas las cargas correspondientes al proyecto de la vivienda multifamiliar, procesaremos al diseño de la zapata teniendo en cuenta el RNE E.060.

Se muestran las ecuaciones usadas en el diseño de la zapata aislada.

Cálculo del área de la zapata:

$$A_z = \frac{P_s}{\sigma_n} \quad (16)$$

$$T = \sqrt{A_z} + \left(\frac{t_1 - t_2}{2} \right) \quad (17)$$

$$S = \sqrt{A_z} - \left(\frac{t_1 - t_2}{2} \right) \quad (18)$$

Cálculo de la reacción neta del terreno:

$$W_u = \frac{P_u}{A_z} \quad (19)$$

Dimensionamiento altura de zapata:

$$H_z = d + r + D_b \quad (20)$$

Verificación por cortante:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} * b * d \quad (21)$$

Verificación por punzonamiento:

$$V_c = \phi * \left(0.53 + \frac{1.1}{\beta} \right) * \sqrt{f'_c} * b_o * d \quad (22)$$

Cálculo de acero de refuerzo (diseño por flexión):

Área de acero:

$$A_s = \frac{0.85 f'_c * b * d}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0.85 f'_c * b * d^2}} \right) \quad (23)$$

Acero mínimo:

$$A_{s_{min}} = 0.0018 * b * d \quad (24)$$

Espaciamiento:

$$S = \frac{b - (2r + D_{var})}{N_{var} - 1} \quad (25)$$

3. Resultados y Discusión

3.1 Exploración de suelo

El número de puntos de exploración se determinó con RNE E.050 en función del tipo de edificación y del área de la superficie a ocupar.

Tipo de edificación: El tipo de edificación se clasificó con el RNE E.050 (tabla 1) de acuerdo a la descripción (Pórticos y/o muros de concreto).

- ✓ Tipo III, Vivienda aporticada de 7 niveles.

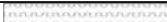
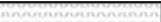
Número de puntos de exploración: El número de puntos se determinará con la tabla 6 del RNE E.050 en función al tipo de edificación y del área de la superficie a ocupar por esta.

- ✓ Tipo de edificación: III
- ✓ Un punto de exploración por cada 900 m² de área techada del primer piso
- ✓ Área de la superficie a ocupar por esta: 2400 m²

$$N = \frac{2400 \text{ m}^2}{900 \text{ m}^2} = 2.667 \quad (26)$$

En el área objeto de esta investigación se realizaron 3 calicatas, mediante las cuales, tras el análisis y la exploración del suelo, se identificaron 5 estratos. La descripción del perfil estratigráfico se encuentra detallada en la tabla 6.

Tabla 6 Descripción de perfil estratigráfico de C-01, C-02 y C-03.

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE CALICATA				
Prof. (m)	Est.	Clasificación SUCS		
		C-01	C-02	C-03
0.00	E-1			
-0.10				
-0.20				
-0.30				
-0.40				
-0.50	E-2			
-0.60				
-0.70				
-0.80				
-0.90				
-1.00	E-3			
-1.10				
-1.20				
-1.30				
-1.40				
-1.50				
-1.60				
-1.70				
-1.80				
-1.90				
-2.00	E-4			
-2.10				
-2.20				
-2.30				
-2.40				
-2.50	E-5			
-2.60				
-2.70				
-2.80				
-2.90				
-3.00				

3.2 Contenido de humedad (ASTM D 2216)

Se han recolectado muestras representativas en un estado inalterado de los estratos correspondientes a las calicatas C-01, C-02 y C-03. Estas muestras han sido cuidadosamente empacadas y conservadas en envolturas de polietileno con el fin de preservar la humedad. Los resultados de los análisis de contenido de humedad efectuados en el laboratorio se exponen en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados de contenido de humedad por calicata.

Estrato	Contenido de Humedad (ASTM D 2216)		
	C-1	C-2	C-3
EST. 01	-	-	-
EST. 02	19.27 %	19.78 %	18.60 %
EST. 03	37.92 %	37.45 %	35.49 %
EST. 04	11.61 %	12.32 %	12.55 %
EST. 05	35.33 %	33.46 %	32.35 %

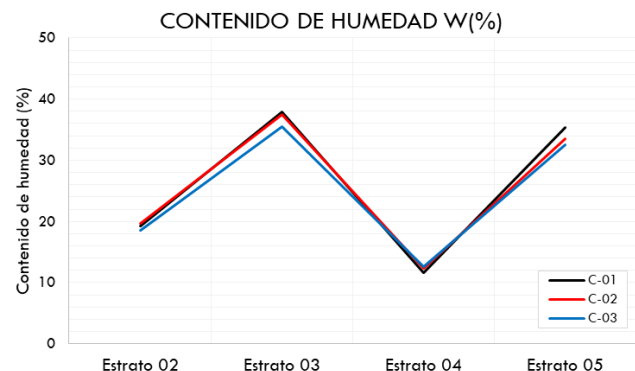


Fig. 10 Comparación resultados de contenido de humedad de las C-01, C-02 y C-03.

3.3 Densidad de masa del suelo (NTP 339.139)

Para calcular la densidad de masa del suelo de los diferentes estratos de estudio, se emplearon dos métodos: el método de medición lineal, en el cual se recolectaron muestras de los estratos 02, y 04. En el estrato 03 y 05 se usó el método de inmersión en agua, que consistió en la extracción de muestras inalteradas de forma cubica, con dimensiones de aproximadamente 25 cm.

Tabla 8 Resultados de densidad de masa del suelo por calicata.

Estrato	Densidad de masa del suelo (NTP 339.139)		
	C-01	C-02	C-03
EST. 01	-	-	-
EST. 02	1.39 gr/cm ³	1.33 gr/cm ³	1.31 gr/cm ³
EST. 03	1.27 gr/cm ³	1.29 gr/cm ³	1.35 gr/cm ³
EST. 04	1.28 gr/cm ³	1.26 gr/cm ³	1.36 gr/cm ³
EST. 05	1.28 gr/cm ³	1.34 gr/cm ³	1.33 gr/cm ³

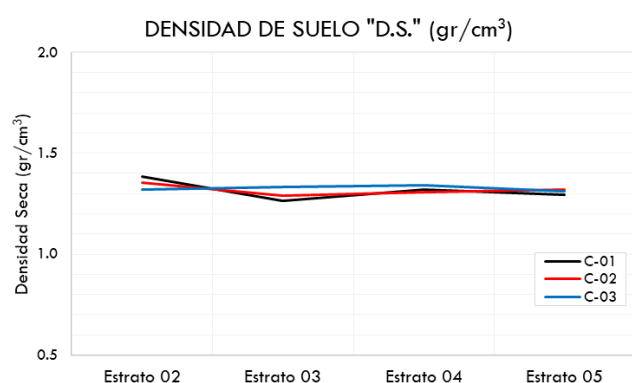


Fig. 11 Comparación de resultados de la densidad de masa del suelo C-01, C-02 y C-03.

3.4 Análisis granulométrico (ASTM D 422)

Con el propósito de llevar a cabo la presente investigación, tras la extracción de muestras de las calicatas en cuestión y su posterior traslado al laboratorio para su secado, se ha realizado un análisis granulométrico mediante el proceso de lavado a través del tamiz N° 200, seguido del tamizado de cada uno de los estratos.

En la tabla 9 presenta un resumen de resultados de análisis granulométrico por tamizado el %Que pasa del tamiz N°50 y %Que pasa por el tamiz N°200.

Tabla 9 Resultados de análisis granulométrico por calicata.

Estrato	Análisis granulométrico (ASTM D 420)					
	N°50			N°200		
	C-1	C-2	C-3	C-1	C-2	C-3
EST. 01	-	-	-	-	-	-
EST. 02	97.00	96.53	97.54	80.25	78.41	78.57
EST. 03	97.77	99.01	98.77	95.54	96.78	96.56
EST. 04	96.03	95.25	96.01	42.18	47.25	47.88
EST. 05	98.52	98.78	98.78	91.85	91.46	92.18

La figura 12 ilustra las curvas granulométricas de los estratos de calicatas examinadas, donde se observa claramente presencia de material que supera el tamiz N°200, lo que indica que el suelo es de características finas.

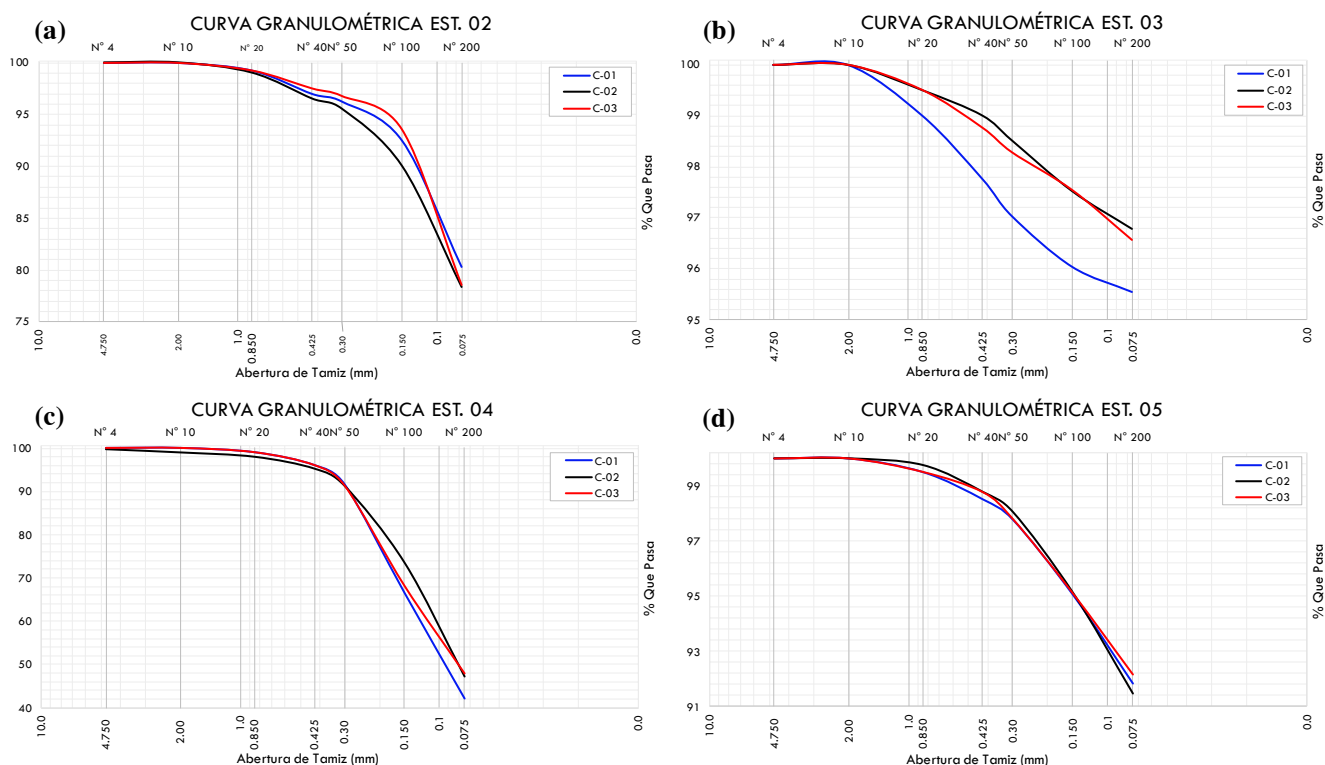


Fig. 12 (a) Curva granulométrica del EST. 02, (b) curva granulométrica del EST. 03, (c) curva granulométrica del EST. 04, (d) curva granulométrica del EST. 05

3.5 Límites de Atterberg (ASTM D4318)

Se obtuvo una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 gr. a 200 gr. de material pasante del tamiz N°40.

Tabla 10 Resultados de límites de Atterberg

Límites de Atterberg (ASTM D 4318)			
Estrato 02	L.L.	L.P.	I.P.
C-01	26.38	22.33	4.05
C-02	25.64	21.78	3.87
C-03	26.39	22.62	3.77
Estrato 03	L.L.	L.P.	I.P.
C-01	50.56	26.56	24.01
C-02	51.39	26.68	24.72
C-03	51.49	27.30	24.19
Estrato 04	L.L.	L.P.	I.P.
C-01	NP	NP	NP
C-02	NP	NP	NP
C-03	NP	NP	NP
Estrato 05	L.L.	L.P.	I.P.
C-01	49.31	26.21	23.10
C-02	48.62	26.73	21.89
C-03	49.65	26.45	23.19

En la tabla 10 expone los resultados de laboratorio correspondientes a los ensayos de límite líquido (LL), límite plástico (LP), en la que se evidencia que en el estrato 04 de las calicatas C-01, C-02 y C-03 no se presenta LL ni LP.

3.6 Clasificación de suelos

A través de los resultados obtenidos en laboratorio que evalúan las propiedades físicas de los suelos, específicamente en lo que concierne a la granulometría y a los límites de Atterberg, se ha logrado clasificar cada uno de estos suelos de manera precisa.

Clasificación de suelos según carta de plasticidad SUCS y AASHTO.

Para llevar a cabo la clasificación de suelo fino, es esencial tener en cuenta ciertos límites de consistencia, tales como los límites de Atterberg.

ASTM D2487 [2] La carta de plasticidad constituye un recurso valioso en la ingeniería geotécnica, diseñado para ilustrar las características de los suelos cohesivos. Esta carta muestra la relación entre el contenido de agua y el índice de plasticidad de un suelo, lo que permite determinar su comportamiento y clasificación.

En las figuras 13 y 14 con la ayuda de las cartas de plasticidad tanto SUCS Y AASHTO, ilustran la clasificación del suelo. Se puede apreciar que no está presente el estrato 04, dado que carece de LL y LP.

Clasificación de suelos según norma SUCS y AASHTO.

En las tablas 11 y 12, se presenta la clasificación SUCS y AASHTO correspondiente a cada uno de los estratos de las tres exploraciones llevadas a cabo.

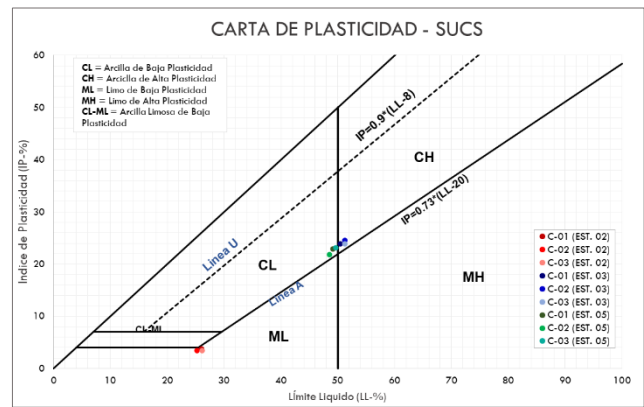


Fig. 13 Clasificación de muestras según la carta de plasticidad SUCS.

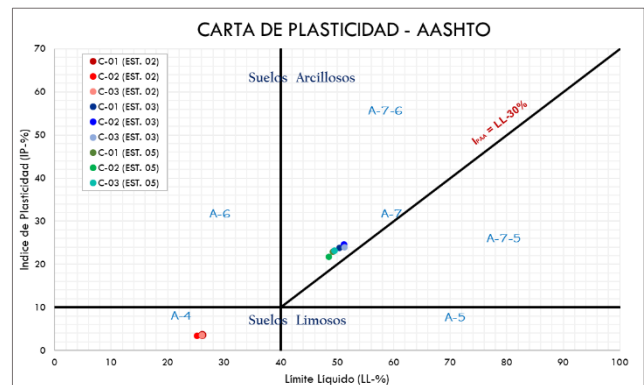


Fig. 14 Clasificación de muestras según la carta de plasticidad AASHTO.

Tabla 11 Resultados de clasificación según SUCS.

Clasificación de suelos (SUCS)					
Estrato	Profundidad	Símbolo de grupo			Nombre del grupo
	De - a	C-01	C-02	C-03	
EST. 02	0.40m - 0.90m	ML	ML	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad
EST. 03	0.90m - 2.20m	CH	CH	CH	Arcilla de alta plasticidad con arena
EST. 04	2.20m - 2.50m	SM	SM	SM	Arena limosa
EST. 05	2.50m - 3.00m	CL	CL	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad

Tabla 12 Resultados de clasificación según AASHTO.

Clasificación de suelos (AASHTO)					
Estrato	Profundidad	Símbolo de grupo			Nombre del grupo
	De - a	C-01	C-02	C-03	
EST. 02	0.40m - 0.90m	A-4 (2)	A-4 (1)	A-4 (2)	Suelo limoso
EST. 03	0.90m - 2.20m	A-7-6 (26)	A-7-6 (28)	A-7-6 (27)	Suelo arcilloso
EST. 04	2.20m - 2.50m	A-3 (0)	A-3 (0)	A-3 (0)	Arena fina
EST. 05	2.50m - 3.00m	A-7-6 (24)	A-7-6 (23)	A-7-6 (24)	Suelo arcilloso



Fig. 13 (a) Muestra de suelo arcilla triturada, homogenizada y clasificada por el tamiz N° 4. (b) Muestra de concreto reciclado CR, triturada y clasificada por el tamiz N° 4. (c) Muestra de toba volcánica clasificada con el tamiz N° 100.

3.7 Preparación de muestras

3.7.1 Arcilla (ARC)

La muestra de suelo obtenida de las 3 calicatas, tras realizar ensayos de caracterización física, fue clasificada como un solo tipo de suelo.

Homogenización de material de suelo ARC

- ✓ Secado al aire: Se extendió las muestras de las 3 calicatas en un solo conjunto su unificación.
- ✓ Trituración: Esta realizó la molienda en mortero, luego se pasan por el tamiz N°4 (4.76 mm).
- ✓ Homogenización: Se mezcla todas las porciones pasadas por el tamiz de 4.76 mm y homogenizar. Todas las fracciones generadas en el proceso de uniformización fueron almacenadas en baldes.

3.7.2 Concreto reciclado (CR)

El concreto reciclado utilizado en esta investigación fue triturado para reducir su tamaño y clasificado en partículas de arena utilizando la malla N° 4.

Este material tamizado pasante por el tamiz N° 4, se unifico y se almaceno en baldes.

3.7.3 Toba volcánica (TV)

La toba volcánica acopiada en forma de ripio (desecho de partículas finas de cantera de TV, fue sometida a un tamizado por el tamiz N° 100, el material tamizado se recolecto y almaceno en baldes para los ensayos de caracterización mecánica.

3.7.4 Proporciones de estudio

En la tabla 4 se presenta los porcentajes de evaluación de los materiales mencionados anteriormente, los cuales fueron considerados como reemplazos parciales.

Tabla 13 Porcentaje de sustitución de CR y TV.

% Concreto Reciclado	% Toba Volcánica	% Mixto (CR + TV)
30 %	6 %	Mezcla de porcentajes óptimos de CR + TV
35 %	8 %	
40 %	10 %	
50 %	-	

3.8 Muestreo de investigación

Quezada Lucio [13] En una investigación el tamaño de muestra es muy importante. Teniendo en cuenta que la calidad y validez de los resultados de una investigación dependen del tamaño de muestra. Una muestra demasiado grande implica un desperdicio de recursos y una muestra demasiado pequeña disminuye la validez de resultados.

En nuestra investigación utilizaremos el Muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot S^2}{(N-1) \cdot E^2 + Z^2 \cdot S^2} \quad (26)$$

Donde:

- n: Tamaño de muestra.
- N: Tamaño de población bajo estudio.
- Z: Valores correspondiente a nivel de significancia.
- S: Varianza de la variable.
- E: Error de tolerancia de la estimación.

• Población de estudio: (N = 3 calicatas)

El RNE E.050 (Suelos y cimentaciones) la cual establece que, como mínimo se debe realizar tres (03) calicatas por cada tipo de suelo representativo, o cada 2 000 m² de terreno.

• Nivel de confianza: 95 % (Z = 1.96)

Se garantiza un nivel de confianza del 95%, adecuado para estudios de laboratorio con alta incertidumbre.

• Margen de error: 5 % (E = 0.05)

El margen de error de $\pm 5\%$ con un nivel de confianza del 95 % indica que, en el largo plazo, el 95 % de los intervalos construidos incluirán el verdadero valor poblacional.

• Varianza: (S = 0.5)

El valor de varianza asumido S = 0.5 es estándar cuando no se cuenta con estudios previo.

53

Aplicando la ecuación 26 para determinar el tamaño de muestra el número de probetas estimadas se determinó considerando los siguientes datos:

$$n = \frac{3 \cdot 1.96^2 \cdot 0.5^2}{(3 - 1) \cdot 0.05^2 + 1.96^2 \cdot 0.5^2} = 2.98$$

Dado que el resultado del cálculo estadístico del tamaño muestral, aplicando la fórmula del muestreo aleatorio simple, arrojó un valor de 2.98, se procedió a redondear al número entero más cercano, es decir, 3 muestras.

Este número garantiza:

- ✓ Un nivel de confianza del 95%, apropiado para estudios de laboratorio.
- ✓ Un margen de error aceptable del 5%.
- ✓ El uso de una varianza estándar de 0.5, recomendada cuando no se cuenta con datos previos.

En consecuencia, la decisión de trabajar con tres muestras permite obtener datos estadísticamente representativos y técnicamente válidos, cumpliendo con los requerimientos mínimos establecidos por la Norma E.050, al mismo tiempo que se optimizan los recursos disponibles para la ejecución de ensayos vinculados al análisis del comportamiento del suelo mejorado con adición de concreto reciclado y toba volcánica.

57

41

54

3.9 Proctor estándar (ASTM D 698)

ASTM D698 [1] Este método de prueba cubre los métodos de compactación de laboratorio utilizados para determinar la relación entre el contenido de agua de moldeo y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación).

El método a usar fue el “Método A” la porción usada en la investigación es el suelo que pasa la malla N°4 (4.76mm). Con un molde de diámetro interior de 10.16 cm, volumen de molde 943.3 cm³, número de capas es de 3 y un pisón de 2.5 kg. Con una altura de caída de 30.5 cm.

2

30

4

Se llevó a cabo los ensayos conforme a las proporciones especificadas en la tabla 13. Para así hallar la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH).

Se llevaron a cabo 4 combinaciones agregando concreto reciclado para poder mejorar la arcilla de alta plasticidad con arena, adicionando el CR, en porcentajes de 30%, 35%, 40% y 50%. La combinación que dio lugar al resultado más óptimo fue con la adición de 40% CR.

1

23

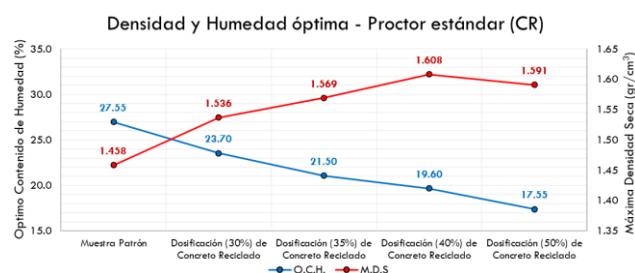


Fig. 14 Características de compactación de muestra de suelo adicionado con CR.

La figura 16 nos muestra que la MDS experimentó un incremento con la adición de CR, alcanzando su punto máximo con la inclusión de 40% de CR fue 1.608 gr/cm³ y se observa una disminución de la humedad conforme se incrementa el CR encontrando un óptimo contenido de humedad de 19.68%.

Se realizó 3 mezclas de toba volcánica con suelo arcilloso, en proporciones de sustitución de 6%, 8% y 10%. La mezcla que mostró un mejor resultado fue la compuesta con la adición de 8% TV.

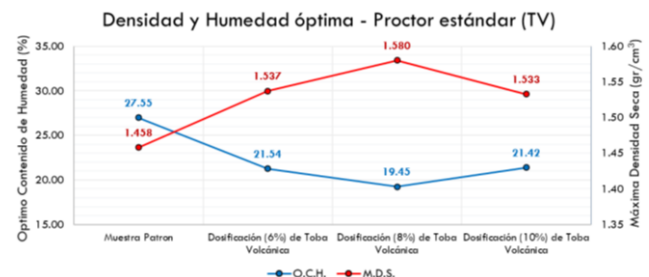


Fig. 15 Características de compactación de muestra de suelo adicionado con TV.

La figura 17 se observa que la MDS experimentó un aumento con la adición de TV, alcanzando su punto máximo con la sustitución de 8% de TV de 1.580 gr/cm³. Por otro lado, se observa una disminución en el OCH a medida que se incrementa la TV, en la proporción de 10% de TV el OCH empieza a incrementarse por la absorción que presenta este material.

Después de obtener la MDS y OCH a partir de concreto reciclado y toba volcánica, se seleccionaron las mezclas con mejores resultados para crear 2 mezclas mixtas.

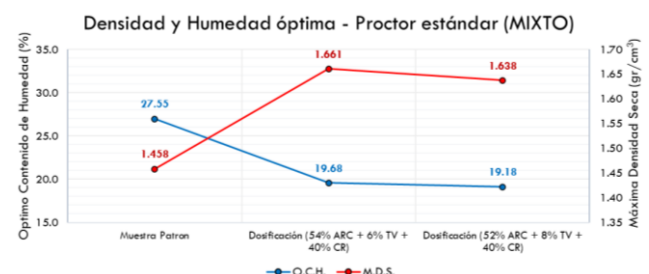


Fig. 16 Características de compactación de muestra de suelo adicionando mezcla mixta de CR y TV.

Tabla 14 Resumen de resultados de compactación MDS y OCH con diferentes dosificaciones.

Muestra	Máxima densidad seca	Óptimo contenido de humedad
Suelo natural	1.458 gr/cm ³	27.55 %
Suelo con 30% CR	1.536 gr/cm ³	23.70 %
Suelo con 35% CR	1.569 gr/cm ³	21.50 %
Suelo con 40% CR	1.608 gr/cm ³	19.60 %
Suelo con 50% CR	1.591 gr/cm ³	17.55 %
Suelo con 6% TV	1.537 gr/cm ³	21.54 %
Suelo con 8% TV	1.580 gr/cm ³	19.45 %
Suelo con 10% TV	1.533 gr/cm ³	21.42 %
Suelo con 40% CR + 6% TV	1.661 gr/cm ³	19.68 %
Suelo con 40% CR + 8% TV	1.638 gr/cm ³	19.18 %

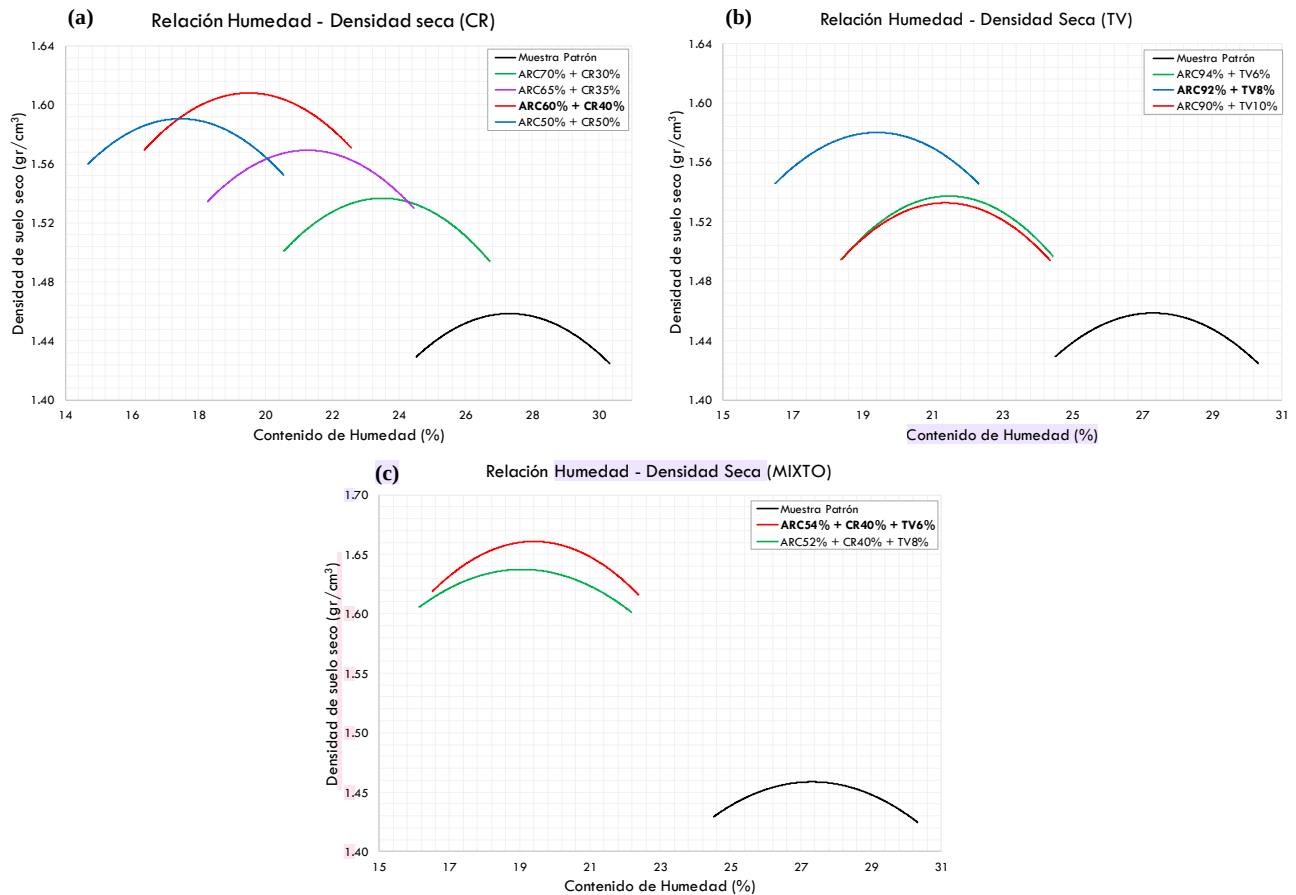


Fig. 17 (a) Curva de compactación con incorporación de CR, (b) curva de compactación con incorporación de TV, (c) curva de compactación con incorporación mixta CR + TV.

Figura 17, se presentan los resultados de las mezclas mixtas de MDS, con 40% CR y 8% TV donde se logró un incremento en la densidad de 1.638 gr/cm³. Sin embargo, al utilizar un 40% CR y 6% TV, se alcanzó una mejor densidad con un valor de 1.661 gr/cm³. Por otro lado, se observa que el OCH disminuye con la presencia de CR y la reducción de TV, en la mezcla con 40% CR y 6% TV, se registró un valor de 19.58%.

Islam et al. [9] Su investigación de “mejoramiento de propiedades de consolidación de suelos arcillosos mediante residuos de construcción y demolición de grano fino”, se llevó a cabo el ensayo de compactación del suelo original, que presentaba un contenido de humedad óptimo (OCH) del 16.1% y una densidad seca máxima (MDS) de 1.7 g/cm³. A medida que el contenido de CR se incrementó en la muestra de suelo, con el uso de 40% de CR se observó una disminución en el contenido óptimo de humedad de 14.1%, dado que el polvo de CR no cohesivo absorbió menos agua en comparación con las partículas naturales del suelo. Además, con 40% CR, la densidad seca máxima experimentó un aumento de 1.84 gr/cm³ debido a la mayor proporción de arenas que presenta el CR.

García Onorbe [5] El trabajo de investigación “Incorporación de sillar blanco para la estabilización de suelo en la Av. Universitaria, Distrito de Carabayllo – 2021” en sus muestras cuyos resultados obtenidos al incorporar sillar blanco son, para la MDS de suelo arcilloso

tiene 1.928 gr/cm³, su punto máximo se encontró con 6% de sillar blanco obtiene 1.997 gr/cm³; a su vez el contenido de humedad base es de 8.9%, y su óptimo contenido de humedad con 6% de sillar blanco fue de 13.7%, concluyendo que a más muestra de sillar se agregue el contenido de humedad seguirá en aumento debido a la absorción que posee el sillar blanco.

3.10 Corte directo (ASTM D 3080)

La prueba de corte directo es adecuada para la determinación relativamente rápida del ángulo de fricción y cohesión del suelo.

Ensayo no consolidado – no drenado (UU): Este método se realiza únicamente en suelos cohesivos arcillosos, pues no hay consolidación inicial y la rotura se realiza en condiciones no drenada.

Generalmente, se realizan tres o más pruebas en muestra de suelo, cada una bajo una carga normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y el desplazamiento.

En esta investigación se consideró el uso de las cargas verticales de 8 kg, 16 kg y 32 kg, teniendo así presiones de 0.41 kg/cm², 0.82 kg/cm² y 1.63 kg/cm².

Los resultados obtenidos en la comparación del ángulo de fricción entre el suelo natural y el suelo mejorado revelaron un incremento significativo, lo que sugiere una mejora considerable en la resistencia del suelo.

En relación con los resultados de cohesión del suelo natural comparados con la cohesión del suelo mejorado, se observa un aumento, este incremento se atribuye al material

empleado en la estabilización, que refuerza la resistencia del suelo; específicamente, el aumento de la cohesión es consecuencia del endurecimiento generado por el CR y TV.

Tabla 15 Resumen de pruebas de corte directo para diferentes muestras de suelo.

Muestra	Parámetros de resistencia	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Suelo natural	Ángulo de fricción (ϕ)	18.00°	19.98°	17.57°
	Cohesión (kg/cm ²)	0.67 kg/cm ²	0.70 kg/cm ²	0.71 kg/cm ²
Suelo con 8% TV	Ángulo de fricción (ϕ)	21.19°	20.67°	21.71°
	Cohesión (kg/cm ²)	0.87 kg/cm ²	0.89 kg/cm ²	0.88 kg/cm ²
Suelo con 40% CR	Ángulo de fricción (ϕ)	22.81°	23.99°	21.44°
	Cohesión (kg/cm ²)	0.88 kg/cm ²	0.86 kg/cm ²	0.91 kg/cm ²
Suelo con 40% CR + 6% TV	Ángulo de fricción (ϕ)	24.34°	24.96°	25.14°
	Cohesión (kg/cm ²)	0.97 kg/cm ²	0.97 kg/cm ²	0.98 kg/cm ²

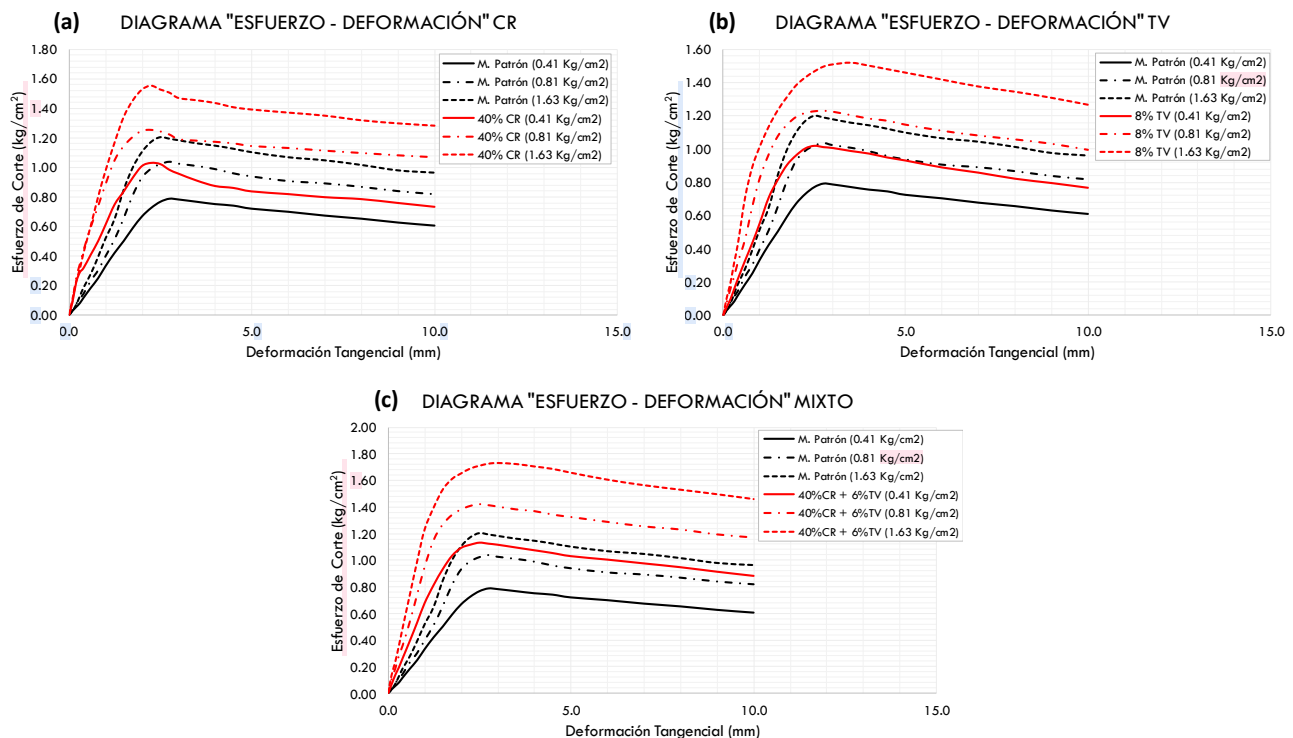


Fig. 18 (a) Diagrama esfuerzo vs deformación con incorporación de CR, (b) Diagrama esfuerzo vs deformación con incorporación de TV, (c) Diagrama esfuerzo vs deformación con incorporación mixta CR + TV.

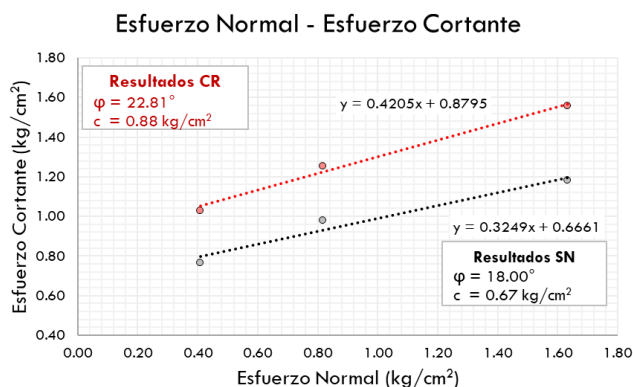


Fig. 19 Gráfico esfuerzo normal vs esfuerzo cortante (CR).

Con la adición del 40% de concreto reciclado, el ángulo de fricción del suelo estabilizado experimento un incremento a 22.81° y su cohesión fue de 0.88 kg/cm².

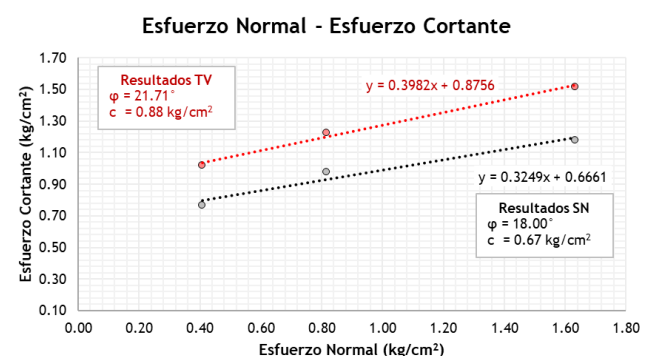


Fig. 20 Gráfico esfuerzo normal vs esfuerzo cortante (TV).

La adición de 8% de toba volcánica al suelo natural resultó en un incremento de 21.71°. Además, la cohesión a 0.88 kg/cm².

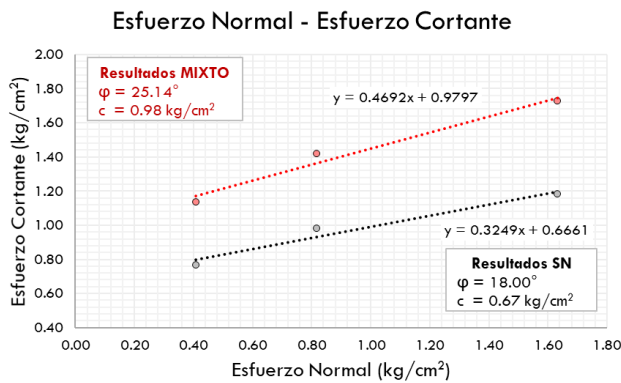


Fig. 21 Gráfico esfuerzo normal vs esfuerzo cortante (MIXTO).

Al emplear una combinación de CR y TV, se logró un incremento significativo en los resultados, que superó aquellos obtenidos de manera individual, con un aumento del ángulo de 25.14° y una cohesión de 0.98 kg/cm^2 .

Hurtado Guevara [7] En su investigación de "Análisis comparativo de resistencia de suelos cohesivos usando los ensayos de SPT, corte directo y triaxial en la urbanización Sol Naciente, provincia y distrito Jaén-Cajamarca", se exploró 7 calicatas de las cuales de determinó la calicata 1 y 3 son suelos del tipo CH (arcilla de alta plasticidad con arena). Se realizó también la prueba de corte directo, el cual se obtuvo en la calicata 1 un ángulo de fricción de 21.10° y en la calicata 3 se obtuvo un ángulo de 16.90° .

3.11 Compresión no confinada (ASTM D 2166)

Tabla 16 Resultados de compresión no confinada en muestras de suelos estabilizados.

Muestra	Parámetros de resistencia	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Suelo natural	Resistencia a la compresión no confinada (q_u)	1.60 kg/cm ²	1.40 kg/cm ²	1.41 kg/cm ²
	Cohesión (kg/cm ²)	0.80 kg/cm ²	0.70 kg/cm ²	0.71 kg/cm ²
	Consistencia de muestra según (q_u)	FIRME	FIRME	FIRME
Suelo con 40% CR	Resistencia a la compresión no confinada (q_u)	1.77 kg/cm ²	1.77 kg/cm ²	1.77 kg/cm ²
	Cohesión (kg/cm ²)	0.89 kg/cm ²	0.88 kg/cm ²	0.88 kg/cm ²
	Consistencia de muestra según (q_u)	FIRME	FIRME	FIRME
Suelo con 8% TV	Resistencia a la compresión no confinada (q_u)	1.74 kg/cm ²	1.75 kg/cm ²	1.76 kg/cm ²
	Cohesión (kg/cm ²)	0.87 kg/cm ²	0.87 kg/cm ²	0.88 kg/cm ²
	Consistencia de muestra según (q_u)	FIRME	FIRME	FIRME
Suelo con 40% CR + 6% TV	Resistencia a la compresión no confinada (q_u)	1.95 kg/cm ²	1.94 kg/cm ²	1.95 kg/cm ²
	Cohesión (kg/cm ²)	0.98 kg/cm ²	0.97 kg/cm ²	0.97 kg/cm ²
	Consistencia de muestra según (q_u)	FIRME	FIRME	FIRME

Para el ensayo de compresión simple, se emplearon las mismas mezclas utilizadas en el ensayo de corte directo.

La tabla 16 presenta resultados del ensayo los cuales se muestra en suelos estabilizados con CR y Tv, presenta una gran mejora en la resistencia a compresión comparándolos con la muestra de suelo natural.

La muestra de suelo natural con un (q_u) de kg/cm² al ser clasificada por Terzaghi según su consistencia es de "Suelo firme". Por otro lado, el suelo mejorado con CR y TV tiene una clasificación de "Suelo muy firme". La mezcla de suelo con incorporación mixta tuvo más altos resultados. Así como se muestra en la tabla 16.

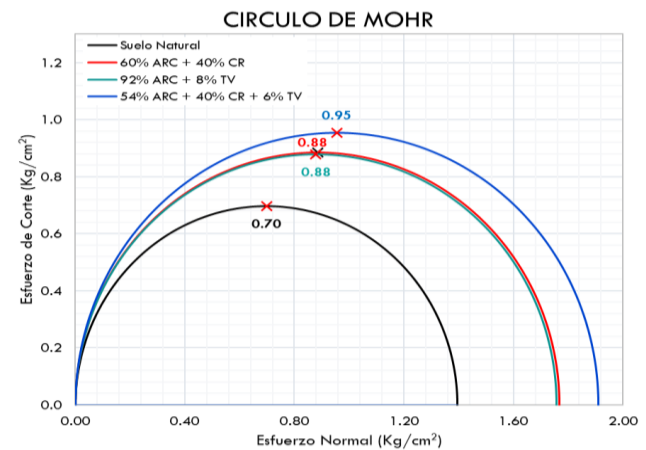


Fig. 22 Gráfico Círculo de Mohr de muestra de suelo natural, y suelos mejorados.

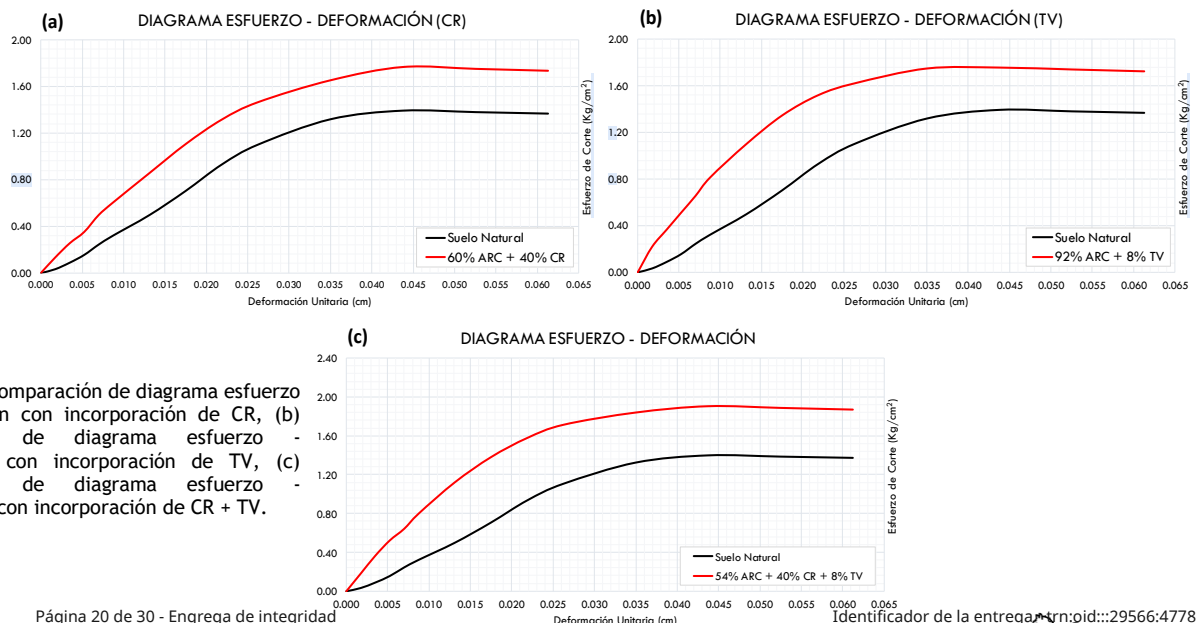


Fig. 23 (a) Comparación de diagrama esfuerzo - deformación con incorporación de CR, (b) comparación de diagrama esfuerzo - deformación con incorporación de TV, (c) comparación de diagrama esfuerzo - deformación con incorporación de CR + TV.

3.12 resultados de cohesión entre los ensayos de corte directo y compresión no confinada.

Tabla 17 Comparación de resultados en promedios de cohesión "Corte directo vs Compresión simple".

Muestra	Cohesión (c)		% Diferencia
	Corte directo	Compresión no confinada	
Suelo natural	0.693 kg/cm ²	0.737 kg/cm ²	6.3 %
Suelo con 40% CR	0.883 kg/cm ²	0.883 kg/cm ²	0.0 %
Suelo con 8% TV	0.880 kg/cm ²	0.873 kg/cm ²	0.8 %
Suelo con 40% CR + 6% TV	0.973 kg/cm ²	0.973 kg/cm ²	0.0 %

La comparación de los resultados en la cohesión de los ensayos de corte directo y compresión no confinada nos da un % diferencia notable en la muestra de suelo natural con un 6.3% entre dichos ensayos. Por otro lado, en las muestras de suelo mejorado se encontró un % Diferencia mínimo.

3.13 Capacidad de carga de suelo

Se determino el cálculo de la capacidad de carga en muestras de suelo natural y suelos mejorado. Se utilizaron resultados de ángulo de fricción y cohesión del ensayo de corte directo.

Tabla 18 Resultados de capacidad de carga (Suelo natural).

CIMENTACIÓN CUADRADA (FALLA LOCAL) - suelo natural								
Suelo Natural	Ángulo de fricción (ø)	Cohesión (c)	Profundidad de desplante (Df)	Ancho de zapata (B)	Peso específico del suelo (γ)	Q _u (kg/cm ²)	F.S.	Q _{adm} (kg/cm ²)
Prueba 1	18.00°	0.67 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.275 gr/cm ²	5.438 kg/cm ²	3	1.813 kg/cm ²
Prueba 2	19.98°	0.70 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.256 gr/cm ²	5.991 kg/cm ²	3	1.997 kg/cm ²
Prueba 3	17.57°	0.71 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.252 gr/cm ²	5.649 kg/cm ²	3	1.883 kg/cm ²

Tabla 19 Resultados de capacidad de carga (Toba volcánica).

CIMENTACIÓN CUADRADA (FALLA LOCAL) - toba volcánica								
Suelo con 8% TV	Ángulo de fricción (ø)	Cohesión (c)	Profundidad de desplante (Df)	Ancho de zapata (B)	Peso específico del suelo (γ)	Q _u (kg/cm ²)	F.S.	Q _{adm} (kg/cm ²)
Prueba 1	21.19°	0.87 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.58 gr/cm ²	7.755 kg/cm ²	3	2.585 kg/cm ²
Prueba 2	20.67°	0.89 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.58 gr/cm ²	7.758 kg/cm ²	3	2.586 kg/cm ²
Prueba 3	21.71°	0.88 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.58 gr/cm ²	7.892 kg/cm ²	3	2.631 kg/cm ²

Tabla 20 Resultados de capacidad de carga (Concreto reciclado).

CIMENTACIÓN CUADRADA (FALLA LOCAL) - concreto reciclado								
Suelo con 40% CR	Ángulo de fricción (ø)	Cohesión (c)	Profundidad de desplante (Df)	Ancho de zapata (B)	Peso específico del suelo (γ)	Q _u (kg/cm ²)	F.S.	Q _{adm} (kg/cm ²)
Prueba 1	22.81°	0.88 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.61 gr/cm ²	8.208 kg/cm ²	3	2.736 kg/cm ²
Prueba 2	21.44°	0.91 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.61 gr/cm ²	8.121 kg/cm ²	3	2.707 kg/cm ²
Prueba 3	23.64°	0.87 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.61 gr/cm ²	8.310 kg/cm ²	3	2.770 kg/cm ²

Tabla 21 Resultados de capacidad de carga (Mixto).

CIMENTACIÓN CUADRADA (FALLA LOCAL) - suelo mixto								
Suelo mixto (CR+TV)	Ángulo de fricción (ø)	Cohesión (c)	Profundidad de desplante (Df)	Ancho de zapata (B)	Peso específico del suelo (γ)	Q _u (kg/cm ²)	F.S.	Q _{adm} (kg/cm ²)
Prueba 1	24.34°	0.97 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.64 gr/cm ²	9.460 kg/cm ²	3	3.153 kg/cm ²
Prueba 2	24.96°	0.97 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.64 gr/cm ²	9.641 kg/cm ²	3	3.214 kg/cm ²
Prueba 3	25.14°	0.98 kg/cm ²	1.20 m	2.00 m	1.64 gr/cm ²	9.769 kg/cm ²	3	3.256 kg/cm ²

Sánchez Bernal [18] En su investigación de capacidad portante del suelo estabilizado mediante el ensayo de corte directo, teniendo el suelo con clasificación de arcilla de alta plasticidad CH, se estabilizó el suelo con cal y cemento con porcentajes de 4%, 6% y 8%. La calicata 4 con un suelo CH tiene una capacidad portante de 0.69 kg/cm^2 , luego de agregar 8% de cal aumento a 1.39 kg/cm^2 y con 8% de cemento subió a 2.85 kg/cm^2 . Por otro lado, la calicata 7 con un suelo CH tiene una capacidad portante de 0.75 kg/cm^2 posteriormente al incorporar 8% de cal aumento a 1.50 kg/cm^2 y con 8% de cemento subió a 3.11 kg/cm^2 .

3.14 Modelamiento de vivienda multifamiliar

Se llevó a cabo la modelación de una vivienda multifamiliar basándose en un plano arquitectónico, abarcando un área de 200 m^2 y constando de 7 niveles.



Fig. 24 Plano arquitectónico de la vivienda multifamiliar.

El predimensionamiento de columnas, vigas y losas es esencial, optimiza el proceso de diseño y disminuye la probabilidad de incurrir en errores costosos en fases posteriores.

Tabla 22 Predimensionamiento de columnas, vigas y losa aligerada.

Resultados de predimensionamiento estructural		
Descripción	Base (m)	Altura(m)
Columna 1	0.40	0.40
Columna 2	0.35	0.35
Viga principal	0.25	0.40
Viga Secundaria	0.25	0.30
Losa Aligerada	-	0.20

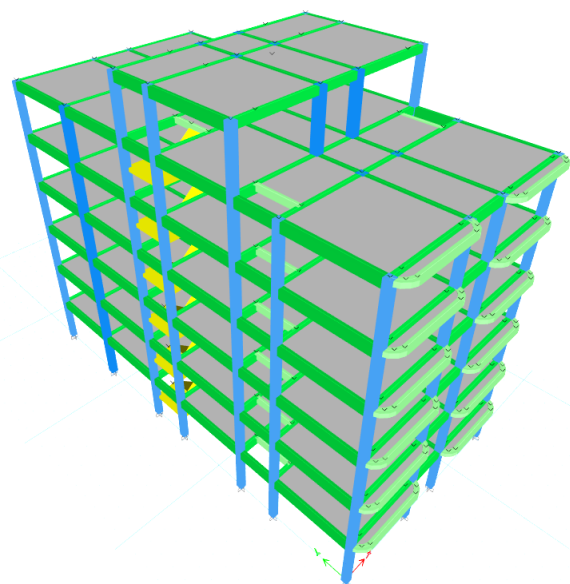


Fig. 25 Modelamiento de elementos estructurales

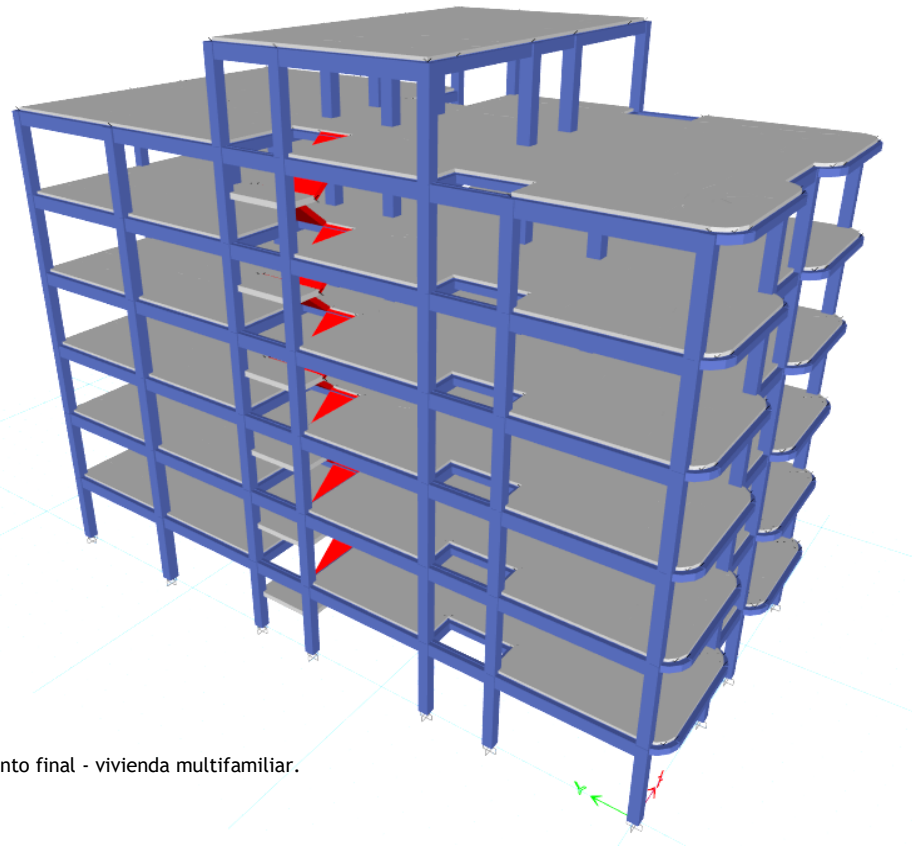


Fig. 26 Modelamiento final - vivienda multifamiliar.

El software ETABS nos proporciona un detallado análisis de cargas, desglosando el peso que soporta cada columna.

Tabla 23 Peso de columnas en la base de edificación.

Reporte de peso por columnas			
G15	G16	G17	G18
G2	G4	G2	G4
G19	G6	G12	G27
G18	G7	G11	G26
G21	G6	G10	G25
G10	G5	G9	G14
G12	G13	G14	G13
C1	88.68 tn.		
C2	88.70 tn.		
C3	68.45 tn.		
C4	68.34 tn.		
C5	67.78 tn.		
C6	69.26 tn.		
C7	66.33 tn.		
C8	71.76 tn.		
C9	67.84 tn.		
C10	69.23 tn.		
C11	66.24 tn.		
C12	71.71 tn.		
C13	47.43 tn.		
C14	47.38 tn.		
C15	36.13 tn.		
C16	39.28 tn.		
C17	39.28 tn.		
C18	49.88 tn.		
C19	45.14 tn.		
C20	46.72 tn.		
C21	48.40 tn.		
C22	44.83 tn.		
C23	45.13 tn.		
C24	46.98 tn.		
C25	47.93 tn.		
C26	49.76 tn.		
C27	44.88 tn.		
C28	36.13 tn.		

Tabla 24 Reporte de metrado de cargas ETABS.

REPORTE DE METRADO DE CARGAS (SOFTWARE ETABS)			
Descripción	Carga muerta	Carga viva	Carga total por piso
Azotea	69.31 tn	6.00 tn	75.31 tn
Piso 6	217.40 tn	26.34 tn	243.74 tn
Piso 5	217.81 tn	40.30 tn	258.11 tn
Piso 4	217.81 tn	40.30 tn	258.11 tn
Piso 3	217.81 tn	40.30 tn	258.11 tn
Piso 2	217.81 tn	40.30 tn	258.11 tn
Piso 1	217.81 tn	40.30 tn	258.11 tn
PESO DE LA EDIFICACIÓN			1609.61 tn

3.15 Diseño de cimentación

Una vez establecida la capacidad de carga admisible del suelo en estudio y cuantificadas las cargas correspondientes al proyecto de la vivienda multifamiliar, procesaremos al diseño de las zapatas superficiales utilizando la información en las tablas siguientes.

Tabla 25 Datos de columna más crítica.

Datos de columna para suelo natural y suelo mejorado		
Descripción	Unidad	
Sección	cm	40 x 40
Acero de Refuerzo	Plg.	5/8"
Resistencia al concreto	Kg/cm ²	210
Fluencia de Acero	Kg/cm ²	4200

Para el diseño de zapata aislada, consideramos la columna 2 que presenta el mayor peso. Los datos utilizados para este diseño se fundamentaron en los valores obtenidos de la mejor mejora, logrado mediante la combinación mixta de los componentes de concreto reciclado y toba volcánica con una dosificación de (54% ARC + 40%CR + 6%TV)

Tabla 26 Datos para el diseño de zapata.

Datos de diseño de cimentación - columna 2			
Descripción	Unidad	Suelo natural	Suelo mejorado
Carga Muerta	ton	75.67	75.67
Carga Viva	ton	13.02	13.02
Sobrecarga	ton/m ²	0.20	0.20
Peso Específico del Suelo	ton/m ³	1.275	1.640
Capacidad de Carga Admisible	kg/cm ²	1.813	3.256
Desplante	m	1.20	1.20

Tabla 27 Resultados de dimensionamiento de zapata.

Descripción	Unidad	Suelo natural	Suelo mejorado
Esfuerzo neto del terreno $\sigma_n = \sigma_t - \gamma_m \cdot D_f - S/C$	Ton/m ²	16.40	30.39
Peso de servicio $P_s = CM + CV$	Ton	89.69	88.69
Área de la zapata $A_z = P_s / \sigma_n$	m ²	5.41	2.92
$T = \sqrt{A_z} + (t_1 - t_2)/2$	m	2.35	1.75
$S = \sqrt{A_z} - (t_1 - t_2)/2$	m	2.35	1.75
Reacción neta del terreno $P_u = 1.4CM + 1.7CV$	Ton	128.07	128.07
$W_u = P_u / A_{zap}$	Ton/m ²	23.19	41.82
Altura de zapata $H_z = d + r + D_b$	m	0.50	0.50

Tabla 28 Verificación por cortante y Punzonamiento.

Descripción	Unidad	Suelo natural	Suelo mejorado
Verificación por cortante ($V_n < V_c$) ϕ	-	0.85	0.85
Dirección X-X $V_{du} = W_u \cdot S(L_v - d)$	Ton	30.79	19.39
$V_n = V_{du} / \phi$	Ton	36.22	22.82
$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$	Ton	74.00	55.11
Dirección Y-Y $V_{ud} = W_u \cdot S(L_v - d)$	Ton	30.79	19.39
$V_n = V_{ud} / \phi$	Ton	36.22	22.82
$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$	Ton	74.00	55.11
Verificación por punzonamiento ($V_u < \phi V_c$) $V_u = W_u \cdot A_p$	Ton	113.01	100.91
$V_c = \phi \cdot (0.53 + 1.1/\beta) \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d$	Ton	262.71	262.71
Momento último $M_u = (W_u \cdot S) L_v^2 / 2$	Ton-m	25.90	16.67
$M_u = (W_u \cdot T) L_v^2 / 2$	Ton-m	25.90	16.67

Tabla 29 Acero de refuerzo longitudinal (S).

Diseño de refuerzo longitudinal (S)			
Descripción	Unidad	Suelo natural	Suelo mejorado
Área de acero $A_s = \frac{0.85 f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{\phi \cdot 0.85 f'_c b d^2}})$	cm ²	18.29	11.73
Acero mínimo $A_{s_{min}} = 0.0018 \cdot b \cdot d$	cm ²	17.17	12.79
Recubrimiento	cm	7.5	7.5
Acero de diseño (A_s dis)	cm ²	18.29	12.79
ϕ Var	plg	5/8"	5/8"
ϕ Dvar	cm	1.59	1.59
ϕ AsVar	cm ²	1.99	1.99
Número de varillas $N^\circ \text{ var} = A_s \text{ dis} / \phi A_s \text{ Var}$	-	10	7
Espaciamiento $S = \frac{b - (2 \cdot r + D_{var})}{N^\circ_{var} - 1}$	cm	24.00	26.00

La Tabla 29 se determinó el refuerzo de acero longitudinal: Suelo natural 10 Ø 5/8" @ 0.24 m y Suelo mejorado de 7 Ø 5/8" @ 0.26 m

Tabla 30 Acero de refuerzo transversal (T).

Diseño de refuerzo longitudinal (T)			
Descripción	Unidad	Suelo natural	Suelo mejorado
Área de acero $A_s = \frac{0.85 f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{\phi \cdot 0.85 f'_c b d^2}})$	cm ²	18.29	11.73
Acero mínimo $A_{s_{min}} = 0.0018 \cdot b \cdot d$	cm ²	17.17	12.79
Recubrimiento	cm	7.5	7.5
Acero de diseño (A_s dis)	cm ²	18.29	12.79
ϕ Var	plg	5/8"	5/8"
ϕ Dvar	cm	1.59	1.59
ϕ AsVar	cm ²	1.99	1.99
Número de varillas $N^\circ \text{ var} = A_s \text{ dis} / \phi A_s \text{ Var}$	-	10	7
Espaciamiento $S = \frac{b - (2 \cdot r + D_{var})}{N^\circ_{var} - 1}$	cm	24.00	26.00

La Tabla 30 se determinó el refuerzo de acero transversal: Suelo natural 10 Ø 5/8" @ 0.24 m y Suelo mejorado de 7 Ø 5/8" @ 0.26 m.

3.15.1 Diseño final de las zapatas

Suelo Natural

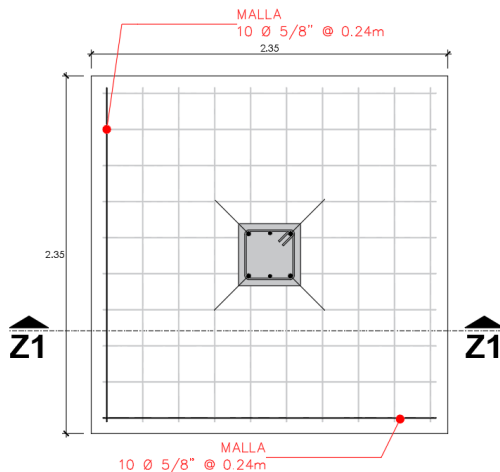


Fig. 27 Detalle en planta de zapata (suelo natural).

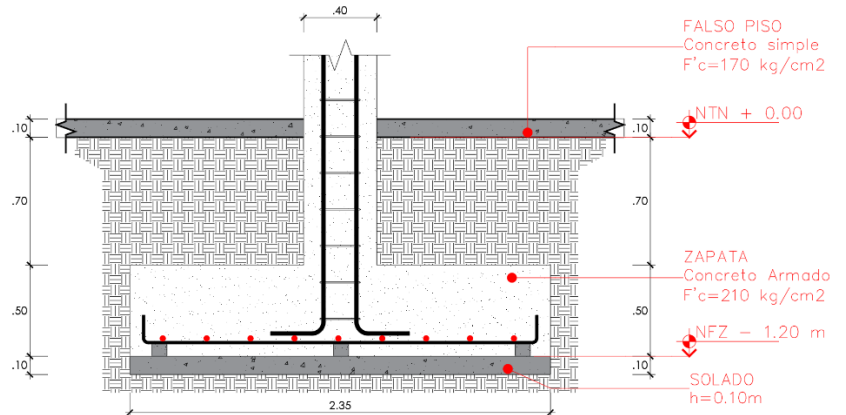


Fig. 28 Detalle de zapata (suelo natural) - Corte Z1.

Suelo estabilizado mixto (TV + CR)

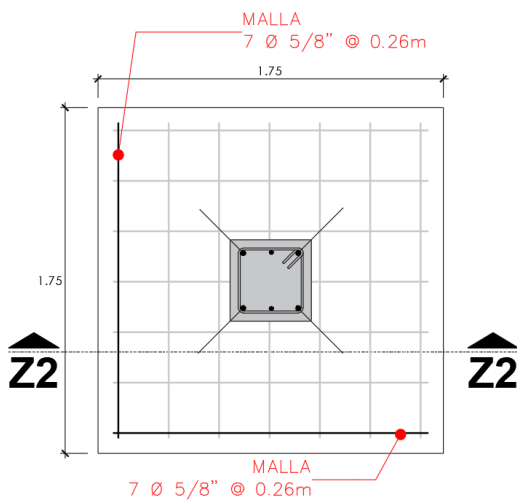


Fig. 29 Detalle en planta de zapata (suelo estabilizado).

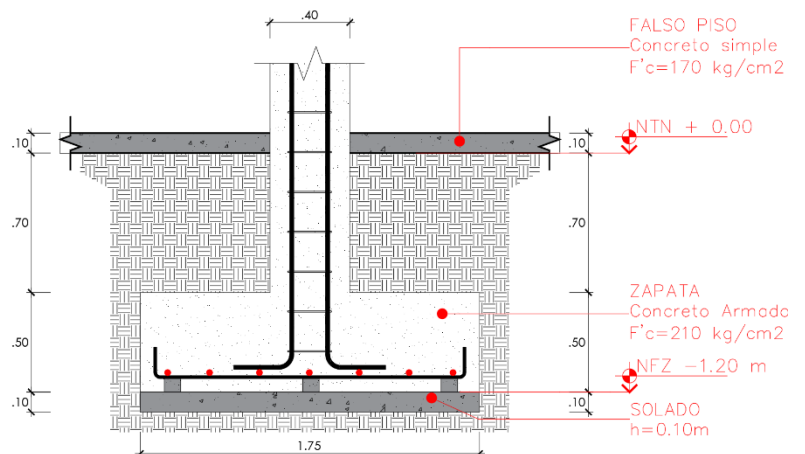


Fig. 30 Detalle de zapata (suelo estabilizado) - Corte Z2.

3.16 Esfuerzos de masa del suelo

Para revisar el incremento de esfuerzos del suelo, se usó el método de Boussinesq – esfuerzo bajo una carga rectangular, esto se hizo en el suelo natural con una propuesta de una zapata cuadrada de 1.50 m.

Tabla 31 Datos para Incremento de esfuerzo vertical de suelo natural.

Datos de carga rectangular de Boussinesq	
P columna	88.69 tn
B (Zapata)	1.50 m
L (zapata)	1.50 m
Df (desplante)	1.20 m
Peso unitario del suelo	1.275 tn/m³
q (estructura)	22.17 tn/m²
q (Efectiva suelo)	1.53 tn/m²
q final	18.13 tn/m²

En la tabla 32 se observa que nuestro suelo clasificado como CH (arcilla de alta plasticidad). Al primer análisis del

suelo natural, un q_{adm} de 18.13 tn/m². Resultó que aproximadamente hasta 1.00 bajo la zapata requiere mejoramiento de suelo.

Tabla 32 Esfuerzo bajo una carga rectangular (Método Boussinesq) - Centro de la cimentación - suelo natural.

Incremento de esfuerzo vertical para un q_{adm} 18.13 tn/m²					
z	m	n	Iz	σ_z (tn/m²)	Condición del suelo
0.0	75.00	75.00	0.2500	37.505	Requiere Mejoramiento
0.50	1.50	1.50	0.2157	32.355	Requiere Mejoramiento
1.00	0.75	0.75	0.1372	20.586	Requiere Mejoramiento
1.50	0.50	0.50	0.0840	12.606	No requiere mejoramiento
2.00	0.38	0.38	0.0543	8.152	No requiere mejoramiento
2.50	0.30	0.30	0.0374	5.603	No requiere mejoramiento
3.00	0.25	0.25	0.0270	4.054	No requiere mejoramiento
3.50	0.21	0.21	0.0204	3.055	No requiere mejoramiento
4.00	0.19	0.19	0.0159	2.379	No requiere mejoramiento
4.50	0.17	0.17	0.0127	1.902	No requiere mejoramiento
5.00	0.15	0.15	0.0104	1.553	No requiere mejoramiento

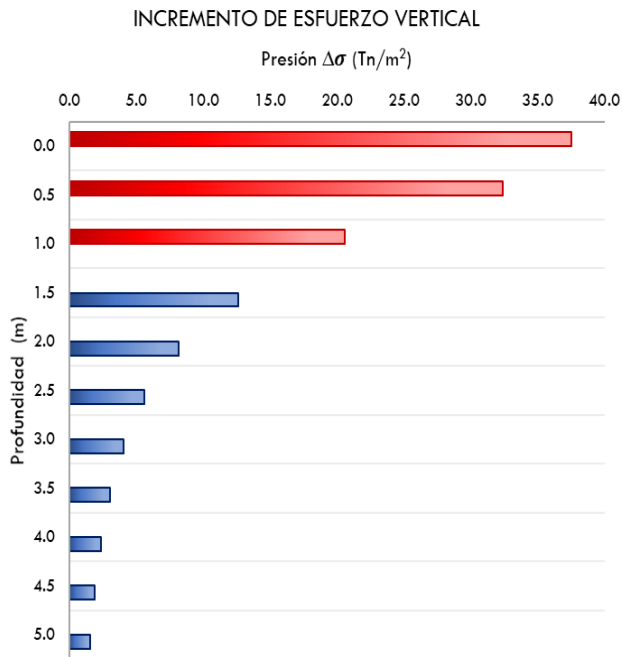


Fig. 31 Suelo natural -esfuerzo vertical del suelo

Luego de ver que nuestro suelo necesita un mejoramiento debajo de la cimentación, se estabilizó el suelo clasificado como (arcilla de alta plasticidad con arena CH). El cual tuvo resultados óptimos los cuales se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 33 Datos de incremento de esfuerzos suelo natural y suelo mejorado.

Datos para incremento de esfuerzos					
Descripción	Unid	SN	8% TV	40% CR	40% CR 6% TV
P. columna	tn	88.69	88.69	88.69	88.69
B (zapata)	m	2.35	1.95	1.90	1.75
L (zapata)	m	2.35	1.95	1.90	1.75
Df (desplante)	m	1.20	1.20	1.20	1.20
P.U.S.	tn/m³	1.275	1.58	1.61	1.64
Qadm	tn/m²	18.13	26.31	27.70	32.56

Tabla 34 Resultados del Incremento de esfuerzo de suelo natural y suelo mejorado.

Incremento de esfuerzo de suelo natural y suelo mejorado $\Delta\sigma$ (tn/m²)				
Prof.	Suelo Natural	8%TV	40%CR	40%CR 6%TV
0.00	14.530	21.428	22.636	26.992
0.50	13.853	19.829	20.836	24.379
1.00	11.255	14.750	15.286	17.074
1.50	8.322	10.080	10.330	11.142
2.00	6.051	6.949	7.072	7.468
2.50	4.470	4.960	5.027	5.240
3.00	3.386	3.674	3.712	3.839
3.50	2.631	2.811	2.836	2.917
4.00	2.093	2.212	2.229	2.284
4.50	1.698	1.782	1.793	1.833
5.00	1.403	1.463	1.472	1.502

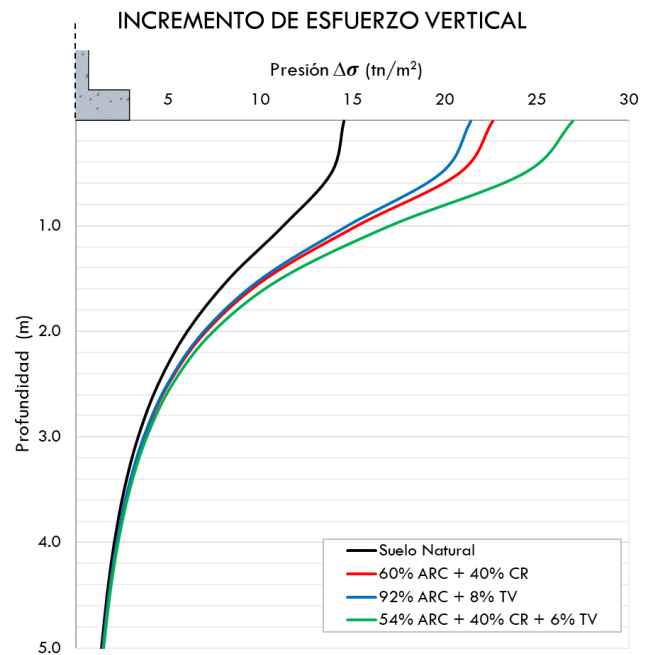


Fig. 32 Diagrama de incremento de esfuerzos mediante Boussinesq

La zona de influencia de la carga es el bulbo, y se estima arbitrariamente hasta $0,1q$.

Tabla 35 Tabla de profundidades de bulbo de presiones.

Bulbo de presiones para un $P = 88.69$ tn				
$\Delta\sigma$	Profundidades (m)			
	Suelo Natural	8%TV	40%CR	40%CR 6%TV
0.90 q	0.649	0.553	0.542	0.506
0.80 q	0.929	0.764	0.746	0.691
0.70 q	1.185	0.975	0.950	0.875
0.60 q	1.433	1.203	1.172	1.074
0.50 q	1.733	1.432	1.400	1.302
0.40 q	2.076	1.741	1.696	1.547
0.30 q	2.551	2.131	2.069	1.914
0.20 q	3.318	2.762	2.690	2.465
0.10 q	4.916	4.080	3.971	3.672

De la tabla 35 podemos resaltar las siguientes afirmaciones.

- ✓ **Suelo Natural:** Presenta la mayor profundidad de influencia del bulbo, alcanzando hasta 4.916 m cuando la presión es apenas el 10% de la carga, lo que indica una mayor deformabilidad y menor capacidad de disipar esfuerzos verticales rápidamente.
- ✓ **8% TV y 40% CR:** Ambas opciones muestran una reducción progresiva de profundidad en cada nivel de esfuerzo respecto al suelo natural, reflejando un comportamiento más rígido y eficiente en disipar esfuerzos. La profundidad máxima de influencia es menor: 4.080 m y 3.971 m, respectivamente.
- ✓ **40% CR + 6% TV (mejoramiento combinado):** Es el que mejor desempeño presenta, con la menor profundidad del bulbo a $0.10 q$ (3.672 m). Esto evidencia que este suelo mejorado distribuye las cargas en menor profundidad, lo que implica mayor rigidez, menor deformación vertical y mejor desempeño para cimentaciones superficiales.

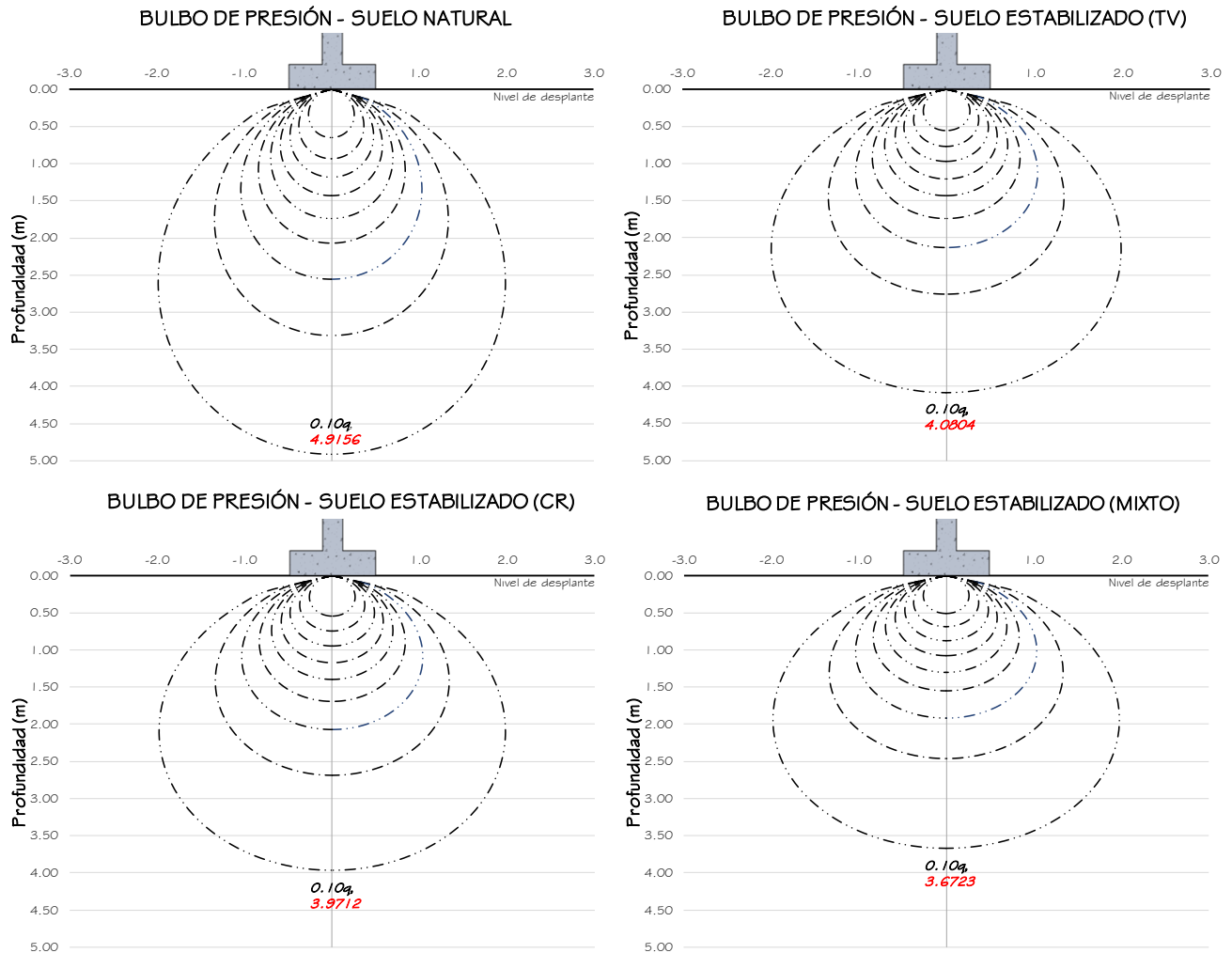


Fig. 33 Bulbo de presiones para suelo natural y suelos estabilizados con TV, CR y mixto (TV + CR).

El bulbo de presiones de una carga concentrada nos refleja los esfuerzos verticales que se producen en el suelo natural y suelo estabilizado con CR y TV. La aplicación de una carga concentra de 88.69 tn. el suelo natural es el máximo y con relación al suelo estabilizado esta disminuye significativamente al esfuerzo vertical.

3.17 Prueba de hipótesis específica de investigación

Para poder verificar si los valores de resistencia del suelo adionados con diferentes porcentajes de toba volcánica y concreto reciclado difieren significativamente se utilizará el análisis de varianza unidireccional ANOVA; cabe mencionar que para identificar las diferencias específicas entre los grupos se realizará la prueba POST HOC – Tukey.

En la tabla 36, se denominará como variable “A” a la capacidad de carga del suelo natural inalterado, la variable “B” a la capacidad de carga del suelo estabilizado con 8% de toba volcánica, variable “C” a la capacidad de carga del suelo estabilizado con 40% de concreto reciclado y la variable “D” a la capacidad de carga del suelo estabilizado con materiales mixto de 40% de concreto reciclado y 6% toba volcánica.

Tabla 36 Datos de q_{adm} (capacidad de carga del suelo) para el análisis estadístico.

Nro.	Capacidad de carga del suelo (kg/cm ²)			
	A	B	C	D
1	1.813	2.585	2.736	3.153
2	1.997	2.586	2.707	3.214
3	1.883	2.631	2.770	3.256

3.17.1 Hipótesis nula e hipótesis alterna

Para la hipótesis nula (H_0), fue planteada de la siguiente forma: “La adición de toba volcánica y el concreto reciclado a suelos arcillosos no mejora los parámetros de resistencia del suelo”.

Con respecto a la hipótesis alterna (H_a) se tiene: “La adición de toba volcánica y el concreto reciclado a suelos arcillosos mejoró significativamente sus parámetros de resistencia del suelo”. Esto nos da a entender que los parámetros de resistencia del suelo se encuentra una diferencia significativa, por arrojar resultados totalmente distintos.

Por lo tanto, se tiene:

$$H_0 : u_A = u_B = u_C = u_D$$

$$H_a : u_A \neq u_B; u_A \neq u_C; u_A \neq u_D$$

3.17.2 Análisis Estadístico ANOVA

Tabla 37 Resultados del análisis estadístico ANOVA.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	2.64	2	1.3215	457.72	0.000004	4.26
Dentro de las muestras	0.0260	9	0.0029			
Total	0.9371	11				

El nivel de significancia asumido queda establecido en 0.05 (5%).

El valor crítico, para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a la tabla estadística ANOVA, para un nivel de significancia de 0.05 queda definido de la siguiente manera:

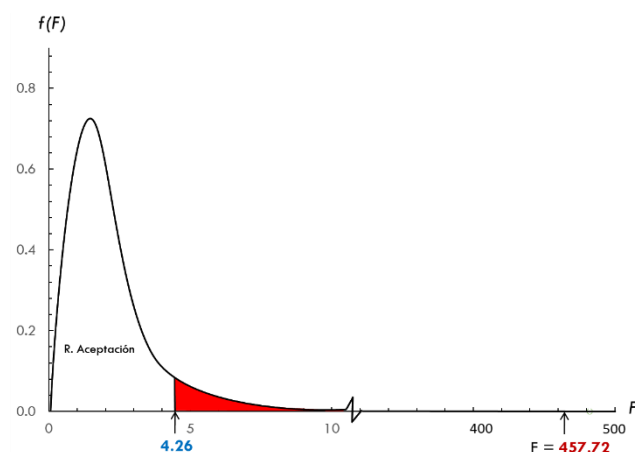


Fig. 34 Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula.

Toma de decisión

En función a nuestra figura 34 el valor estadístico de la prueba ANOVA determinado es $F_{critico} = 457.72$ la cual cae fuera de la región de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

La decisión es que se rechaza la hipótesis nula, al afirmar que “existe diferencias” entre las variables A, B, C y D con respecto a la capacidad de carga determinada.

3.17.3 Prueba POST HOC – Tukey

Tabla 38 Significancia entre los grupos A, B, C, D.

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	0.70	Significativo
$\mu_A - \mu_C$	0.84	Significativo
$\mu_A - \mu_D$	1.31	Significativo
$\mu_B - \mu_C$	0.14	Significativo
$\mu_B - \mu_D$	2.64	Significativo
$\mu_C - \mu_D$	0.47	Significativo

Toma de decisión

En función a la tabla 38, donde podemos resaltar en lo siguiente:

1. $\mu_A \neq \mu_B$, La variable A (suelo natural inalterado) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable B (suelo estabilizado con adición de 8% de toba volcánica).
2. $\mu_A \neq \mu_C$, La variable A (suelo natural inalterado) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable C (suelo estabilizado con adición de 40% de concreto reciclado).
3. $\mu_A \neq \mu_D$, La variable A (suelo natural inalterado) muestra una mayor diferencia muestral significativa a comparación de la variable D (suelo estabilizado con adición de 40% concreto reciclado y 6% de toba volcánica).

Se acepta la hipótesis alterna, que afirma que los resultados obtenidos de parámetros de resistencia del suelo, la cohesión mejora significativamente con la adición de concreto reciclado y toba volcánica.

3.18 Limitaciones

Disponibilidad local: La viabilidad económica de utilizar estos materiales depende en gran medida de su disponibilidad local. Materiales abundantes en una región pueden ser más económicos debido a menores costos de transporte.

Costos de procesamiento: Algunos materiales pueden requerir procesamiento adicional antes de su uso, lo que puede incrementar los costos.

Condiciones climáticas y geográficas específicas: Se recomienda realizar estudios en diferentes estaciones del año para evaluar el comportamiento del suelo estabilizado bajo diversas condiciones ambientales.

Limitaciones en la metodología experimental: Aunque se realizaron ensayos de laboratorio rigurosos, como la compresión no confinada y el corte directo, estos ensayos se realizaron bajo condiciones controladas que pueden diferir de las condiciones reales en campo. En un entorno natural, factores como la compactación heterogénea, la presencia de agua subterránea y las cargas dinámicas pueden influir en el desempeño del suelo estabilizado.

Asimismo, la modelación de la cimentación se basó en ciertos supuestos y simplificaciones que pueden no representar completamente la complejidad de una estructura real sometida a diversas cargas y factores ambientales.

3.19 Costos

El precio unitario del concreto reciclado por kilogramo en la ciudad de Juliaca es de S/. 0.10 soles por kilogramo y puesto en obra S/.0.13 soles/kg. El precio unitario de la toba volcánica por kilogramo en la ciudad de Arequipa es de S/. 0.14 soles por kilogramo. Y puesto en obra es de S/. 0.20 soles por kilogramo.

Tabla 39 Precio unitario de concreto reciclado.

Obtención de concreto reciclado (briquetas)					
Cuadrilla	Capataz	Operario	Oficial	Peón	
	0	0	0	2	
Rendimiento	6	m ³ /día			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
MANO DE OBRA					
Peón	HH	0.33	2.67	59.80	53.15
MATERIALES					
Concreto Reciclado (briquetas)	m ³		1	230	230.00
EQUIPOS					
Herramientas Manuales	%MO		0.03	37.64	1.13
SUB PARTIDAS					
Transporte de Material	m ³		1	20.00	20.00
Costo unitario directo por m³					304.28

Tabla 40 Precio unitario de la toba volcánica.

Obtención de toba volcánica (ripio)					
Cuadrilla	Capataz	Operario	Oficial	Peón	
	0	0	0	2	
Rendimiento	6	m ³ /día			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
MANO DE OBRA					
Peón	HH	0.33	2.67	59.80	53.15
MATERIALES					
Toba volcánica (ripio)	m ³		1	170	170.00
EQUIPOS					
Herramientas Manuales	%MO		0.03	37.64	1.13
SUB PARTIDAS					
Transporte de Material	m ³		1	100.00	100.00
Costo unitario directo por m³					324.28

Collanqui Carlosviza & Gamarra Calsin [3] “Influencia de la adición de fibra de acero reciclado producto de residuos de neumáticos en las propiedades físico mecánicas del concreto con relación $A/C = 0.45$ y en el fisuramiento por contracción plástica en losas en la ciudad de Juliaca – 2022”. Se observa un costo unitario directo por kilogramo de S/ 5.84, el costo es mínimo debido a que es un material reciclado, teniendo un gasto mayor al 50 % en el producto desoxidante para mantener el producto en buenas condiciones.

Malca Becerra [11] “Estabilización de la subrasante de suelos utilizando las cenizas del estiércol de cuy para los 14.35 km del Camino Vecinal Lambayeque - Playa Naylamp, 2022”. El análisis de precios unitario del estiércol de cuy de S/. 10.33 por kg.

Tabla 41 Cuadro comparativo de costos en estabilización de suelos.

Datos	Concreto Reciclado	Toba volcánica	Cenizas de estiércol de Cuy	Fibra de Acero
Origen	Laboratorio	Cantera	Campo Rural	Reciclaje
Precio 1 kg	0.13	0.20	10.33	5.84

4. Conclusiones

De esta investigación se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Se concluye que la adición de toba volcánica (TV) y concreto reciclado (CR) mejoran notablemente los parámetros de resistencia de los suelos arcillosos, Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa en la capacidad portante del suelo de un q_{adm} de 1.813 kg/cm² en un suelo natural a un q_{adm} de 3.256 kg/cm² en un suelo estabilizado con una combinación mixta de CR y TV.
2. Se ha establecido que la adición de TV y CR de manera individual ejerce un efecto positivo en las propiedades mecánicas de un suelo clasificado como arcilla de alta plasticidad (CH). Es importante señalar que la incorporación combinada de TV, CR presenta resultados más favorables.
3. El efecto de la inclusión de TV en proporciones del 6%, 8% y 10% demostró un aumento notable en su densidad de suelo en el ensayo de compactación (Proctor estándar), siendo la dosificación del 8% la que presento el valor más alto. Asimismo, la adición de CR en proporciones del 30%, 35%, 40% y 50% también incremento favorablemente en la densidad de suelo, teniendo el valor con mejor incremento en la dosificación de 40% de CR. Se trabajo con los valores más altos de las proporciones para hallar la capacidad del suelo, teniendo resultados muy favorables los cuales con TV se tiene un q_{adm} 2.631 kg/cm² de y con CR un q_{adm} de 2.770 kg/cm².
4. Al elaborar una mezcla compuesta por 40% CR, 6% TV, se observó que esta combinación resulto en el mayor incremento en la capacidad portante, en comparación con las muestras que fueron trabajadas de manera individual tanto de CR como de TV. Tras la mejora en la estabilidad del suelo con una combinación de 40% CR y 6% TV, las dimensiones se ajustaron a las de una zapata cuadrada de 1.75m con un peralte de 0.50m. 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.

5. Referencias

1. ASTM D698. (n.d.). D698 Proctor Estándar - Clasificación de compactación del suelo. (ASTM International, Ed.). ASTM.
2. ASTM D2487. (n.d.). D2487 Clasificación de suelos para fines de ingeniería (SUCS) (ASTM International, Ed.). ASTM.
3. Collanqui Carlosviza, L. R., & Gamarra Calsin, M. M. (2023). Influencia de la adición de fibra de acero reciclado producto de residuos de neumáticos en las propiedades físico-mecánicas del concreto con relación A/C=0.45 y en la fisura miento por contracción plástica en losas en la ciudad de Juliaca - 2022. Universidad Continental.
4. De la Cruz Vega, S. A., & Ccori Siello, V. N. (2023). Comparación de los métodos semiempíricos para determinar la capacidad admisible de suelos para cimentación de viviendas unifamiliares. J. Selva Andina Biosph, 11(2).
5. García Onorbe, E. del P. (2021). Incorporación de sillar blanco para la estabilización de suelo en la Av. Universitaria, Distrito de Carabayllo-2021. Universidad César Vallejo.
6. Giler Zambrano, F. A., & Robles Cedeño, R. A. (2021). Uso de toba volcánica como solución de suelos expansivos. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
7. Hurtado Guevara, T. M. (2024). Análisis comparativo de la resistencia de suelos cohesivos usando los ensayos de penetración estándar, corte directo y triaxial en la urbanización Sol Naciente, provincia y distrito de Jaén-Cajamarca. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
8. Islam, S., Islam, J., Hoque, N. M. R., & Hasan, K. (2023). Improving geotechnical properties of soil of hillock slope using crushed recycled concrete aggregates. Journal of Engineering Research (Kuwait), 11(4), 293–300.
9. Islam, S., Islam, J., & Robiul Hoque, N. Md. (2022). Improvement of consolidation properties of clay soil using fine-grained construction and demolition waste. Heliyon, 8(10), e11029.
10. Khaled EH Eldahroty, A.A. Farghali, Nabila Shehata, & O.A. Mohamed. (2023). Valorification of Egyptian volcanic tuff as eco-sustainable blended cementitious materials.
11. Malca Becerra, W. W. (2022). Estabilización de la subrasante de suelos utilizando las cenizas del estiércol de cuy para los 14.35 km del Camino Vecinal Lambayeque-Playa Naylamp, 2022. Universidad Cesar Vallejo.
12. Peralta Tingal, S. P. (2021). Caracterización de arcillas expansivas y mitigación. Pontificia Universidad Católica del Perú.
13. Quezada Lucio, N. (2020). Estadística para Ingenieros.
14. RNE E.020. (n.d.). Norma E.020 Cargas.
15. RNE E.050. (n.d.). Norma E.050 suelos y cimentaciones.
16. Rodríguez Serquén William. (2020). Esfuerzos en una masa de suelo usando Boussinesq y Software.
17. Rodríguez-Gutiérrez, J. A., & Darío Aristizabal-Ochoa, J. (2020). Asentamientos y esfuerzos verticales en suelos que soportan cargas verticales de distribución arbitraria settlements and stresses in soils supporting vertical loads of arbitrary distribution. Accidentes e Infraestructura Civil, 4(2), 105.
18. Sánchez Bernal, R. M. (2021). Evaluación de la capacidad portante del suelo estabilizado mediante el ensayo de Corte Directo en la Habilitación Urbana Consuelito, Chiclayo.