



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE SUB RASANTE CON  
FINES DE PAVIMENTACIÓN INCORPORANDO CONCRETO  
RECICLADO EN DIFERENTES PORCENTAJES EN LA ZONA  
NORTE DE LIMA, 2021

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Victor Daniel Paico Leyva

Madeley Yohana Roca Acuña

**Asesor:**

MBA. Ing. José Luis Neyra Torres

<https://orcid.org/0000-0002-6470-2998>

Lima - Perú

**2023**

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Edmundo Vereau Miranda</b>	<b>10557797</b>
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	<b>RUBEN KEVIN MANTURANO CHIPANA</b>	<b>46905022</b>
	Nombre y Apellidos	N° DNI

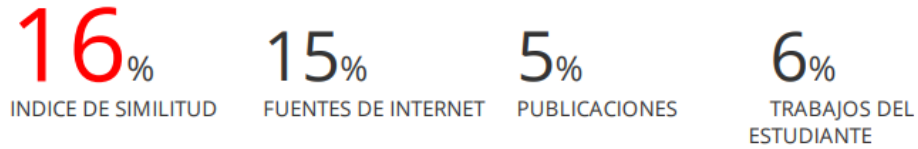
Jurado 3	<b>NEICER CAMPOS VASQUEZ</b>	<b>42584435</b>
	Nombre y Apellidos	N° DNI

## INFORME DE SIMILITUD

(

### Tesis PAICO - ROCA - BREÑA - VF

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

2%

★ [repositorio.unu.edu.pe](http://repositorio.unu.edu.pe)

Fuente de Internet

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 10 words
Excluir bibliografía	Activo		

## DEDICATORIA

El Presente trabajo está dedicado primero a Dios, ya que gracias a Él estoy pronto a ser un profesional.

A mi abuelito Adán qué se fue al cielo hace un año, y que anhelaba verme profesional. A mi abuelita María que a pesar de la distancia siempre estoy en sus oraciones, para poder seguir un camino de bien.

A mis padres que siempre estuvieron conmigo, brindándome apoyo y palabras de aliento para poder seguir en este camino.

Daniel Paico Leyva

Dedico este trabajo a mi amada familia, por ser siempre mi motivación para seguir adelante. Ustedes me incentivaron a siempre continuar formándome, ser constante y no rendirme.

Madeley Roca Acuña

## AGRADECIMIENTO

A mis padres

Que gracias a sus consejos y palabras me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, por los valores que me brindaron para de esa manera poder alcanzar esta gran meta. Los amo.

A mi asesor

Por la dedicación y paciencia en la elaboración de este documento.

Este logro también es de ustedes.

Daniel Paico Leyva

La gratitud primero a Dios, por cada oportunidad brindada y por cada situación que me ayudó a ser constante y no doblegar mi voluntad.

Gracias familia, gracias mamá, a ti siempre las gracias. Tú y mis hermanos son parte fundamental en mi vida, ustedes, mi familia son lo que más amo.

Estimado asesor Ing. José Luis Neyra, gracias por su apoyo constante y las enseñanzas brindadas.

Madeley Roca Acuña

## Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR -----	2
INFORME DE SIMILITUD -----	3
DEDICATORIA -----	4
AGRADECIMIENTO -----	5
Tabla de contenido-----	6
Índice de tablas-----	8
Índice de figuras -----	9
RESUMEN -----	10
ABSTRACT -----	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN-----	12
Realidad problemática -----	12
Formulación del problema -----	15
Objetivos -----	16
Hipótesis-----	17
Justificación-----	18
Marco teórico -----	20
Antecedentes-----	20
Bases Teóricas -----	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA -----	40
Según su enfoque-----	40
Según su alcance -----	40
Según su diseño -----	41
Unidad de estudio -----	42
Variables -----	42
Operacionalización de variables -----	42
Población y Muestra -----	43

Materiales, Equipos, Instrumentos y Técnicas -----	44
Procedimiento -----	49
Ensayos -----	51
Validez-----	52
Aspectos éticos -----	52
Limitaciones -----	53
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS -----</b>	<b>55</b>
Resultados del objetivo específico 1-----	55
Resultados del objetivo específico 2-----	63
Resultados del objetivo específico 3-----	67
Resultados del objetivo específico 4-----	69
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES-----</b>	<b>74</b>
Discusión -----	74
Conclusiones -----	76
Recomendaciones -----	78
Implicancias-----	78
<b>REFERENCIAS -----</b>	<b>80</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de suelo según su índice de plasticidad-----	36
Tabla 2 Equipos según ensayo y normativa -----	46
Tabla 3 Resultados de los ensayos realizados al agregado reciclado grueso. -----	50
Tabla 4 Ensayos realizados según normativa ASTM -----	52
Tabla 5 Análisis granulométrico del suelo por tamizado - ASTM D6913 -----	57
Tabla 6 Resultado del contenido de humedad del suelo, ASTM D2216 -----	59
Tabla 7 Resultado de los límites de consistencia, ASTM D4318 -----	59
Tabla 8 Ensayo realizado para Proctor modificado para CBR-----	60
Tabla 9 Resultados por espécimen del ensayo CBR en el suelo de la zona norte de Lima -----	63
Tabla 10 Valores de Máxima densidad seca y humedad óptima -----	65
Tabla 11 Valores de CBR al 100% correspondientes a cada mezcla -----	66
Tabla 12. Comparación del óptimo contenido de concreto reciclado al 0.1" -----	67
Tabla 13. Comparación del óptimo contenido de concreto reciclado al 0.2" -----	68
Tabla 14. Valores C.B.R. del óptimo contenido de concreto reciclado -----	68
Tabla 15. Método del cono de arena ASTM D1556 - Densidad Húmeda-----	72
Tabla 16. Máxima densidad seca - ASTM D1556-----	73
Tabla 17. Grado de compactación del suelo en campo - ASTM D1556 -----	73



## Índice de figuras

Figura 1 Signos convencionales para perfil de calicatas - Clasificación AASHTO -----	27
Figura 2 Signos convencionales para perfil de calicatas - Clasificación SUCS -----	28
Figura 3 Correlación de Tipos de Suelos AASHTO - SUCS -----	29
Figura 4 Gráfica del diseño experimental -----	41
Figura 5 Cuadro de Operacionalización de variables -----	43
Figura 6 Excavación de una calicata de suelo a nivel de sub rasante en una zona norte de Lima	56
Figura 7 Curva granulométrica del suelo utilizado en la investigación -----	58
Figura 8 Densidad seca vs Contenido de Humedad del suelo a nivel de sub rasante en la zona norte de Lima-----	61
Figura 9 Inicio ensayo CBR para la muestra de suelo -----	62
Figura 10 Curva CBR vs Densidad seca de la muestra de suelo -----	63
Figura 11 Ensayo de Proctor modificado-----	64
Figura 12. Preparación zona de ensayo -----	70
Figura 13 Ensayo de densidad natural con el método del cono de arena-----	71

## RESUMEN

Debido a la constante acumulación de residuos de construcción y demolición que diariamente se originan, surge la necesidad de volver a emplear estos elementos como alternativa para reducir y mitigar la contaminación ambiental. Ante esto, la presente tesis busca utilizar el concreto reciclado y emplearlo como material para mejorar la sub rasante de un suelo con fines de pavimentación en la zona norte de Lima, incorporando este elemento en diferentes porcentajes.

Se presentan los resultados obtenidos con el uso del concreto reciclado en proporciones del 10%, 25%, 50% y 75% a fin de analizar el comportamiento del suelo con este material, obteniendo resultados satisfactorios al aumentar el valor del CBR.

Para una verificación fuera del laboratorio se realizó el ensayo in situ evidenciando una amplia mejora en el grado de compactación, demostrando que el uso del concreto reciclado es favorable y que emplear este material significa brindar una mayor resistencia y optimizar las condiciones de un suelo de características similares al estudiado en la presente investigación. En este aspecto los resultados obtenidos aportan al estudio de los suelos a nivel de subrasante al ser muy importante a la hora de diseñar un pavimento.

**PALABRAS CLAVES:** Concreto reciclado, agregados reciclados, sub rasante, pavimentos.

## ABSTRACT

Due to the constant accumulation of construction and demolition waste that is generated daily, the need arises to reuse these elements as an alternative to reduce and mitigate environmental pollution. Given this, this thesis seeks to use recycled concrete and use it as a material to improve the subgrade of a floor for paving purposes in the north of Lima, incorporating this element in different percentages.

The results obtained with the use of recycled concrete in proportions of 10%, 25%, 50% and 75% are presented in order to analyze the behavior of the soil with this material, obtaining satisfactory results by increasing the CBR value.

For a verification outside the laboratory, the in situ test was carried out, evidencing a wide improvement in the degree of compaction, demonstrating that the use of recycled concrete is favorable and that using this material means providing greater resistance and optimizing the conditions of a soil with characteristics similar to the one studied in the present investigation. In this aspect, the results obtained contribute to the study of soils at the subgrade level as it is very important when designing a pavement.

**KEY WORDS:** Recycled concrete, recycled aggregates, subgrade, pavements.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### Realidad problemática

Las diversas actividades en el ámbito de la construcción, desde un enfoque positivo preservan la misma finalidad, brindar soluciones a las demandas de la población, sin embargo, es la industria de la construcción la que genera a nivel mundial la mayor cantidad de residuos (Bustos et al, 2017) en su mayoría provenientes del concreto, material consolidado por su uso en diversas obras y proyectos (Valdés et al, 2011).

Los residuos de construcción, son generados en los procesos de demolición de construcciones lo que a su vez propicia la presencia de escombros y durante el proceso de ejecución de nuevas obras (Broere, 2017). De esta forma, los residuos de demolición y construcción se han convertido en una problemática que no es atendida correctamente, generando un efecto ambiental negativo debido al gran volumen de deshechos y la falta de espacios creados para su disposición final. Frente a estas debilidades, el reciclaje de dichos residuos, es una elección que se va posicionando como posible, siendo los áridos gruesos los primordiales recursos conseguidos del reciclaje, el fin es darle un nuevo uso a un factor considerado deshecho y de esta forma tomarlo nuevamente como elemento de los procesos constructivos.

Por otro lado, los agregados naturales son recursos ampliamente demandados por la industria de la construcción, esto ha traído como consecuencia una fuerte degradación al medio ambiente, en el año 2014 se obtuvo una producción mundial de casi 40 mil millones de toneladas de áridos (Slattery, 2014), en el año 2017 aumentó a 45 mil millones, con estas estadísticas se espera que la demanda mundial aumente a 66 mil millones para el año 2026 (PMR, 2017).

Se han realizado investigaciones en todo el mundo, motivados por la problemática

ambiental que se describe, estudios que se han ido incrementando con el fin de dar viabilidad al uso de agregados reciclados como sustitutos de los áridos naturales (Omary et al. 2016).

Varios países son gestores del reciclado de los residuos de construcción y demolición, como indica Bedoya (2011) mediante la trituración de los escombros y residuos de concreto, los áridos se recuperan y reutilizan siendo materiales adecuados para la construcción, propiciando su uso como material para la formación de las capas granulares de carreteras y pavimentos.

En Europa los residuos generados en el año 2013 fueron de 2500 millones de toneladas, un 34% de los cuales fueron de la construcción y demolición (Silva et al, 2016) para el 2015 esta cifra había aumentado a un 40% (Marinković et al., 2015). Para el año 2017 en Asia el porcentaje de residuos de demolición y construcción (RCD) que se generó respecto del volumen total fue del 25% solo en Hong Kong y 48% en el territorio de Corea del Sur (Won et al, 2017).

En países como Bélgica, Dinamarca y Holanda la reglamentación y prácticas de reciclaje son reconocidas por su amplio alcance, con más de 75% en los RCD, España con el 15% de reciclaje de los escombros y residuos generados por las construcciones y demoliciones, reutilizó los áridos gruesos en construcción de vías como bases o sub-bases (Pasadín, 2013).

En América Latina la respuesta ante la problemática ambiental a consecuencia de los residuos de construcción y demolición es escasa, no se encuentran disponibles cifras del volumen de RCD (Chica y Beltrán, 2018), salvo en países como Brazil y Colombia, por ejemplo, en el año 2015 el volumen de producción de RCD, en Bogotá fue alrededor de 12 millones de m<sup>3</sup> (Robayo-Salazar et al, 2015).

En el Perú la problemática no retrocede, en el 2017 según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) se indicó que el sector de la construcción representaba entre un 6

y 7% del producto bruto interno (PBI). Esto a pesar de traer un impacto positivo en la economía nacional, también trajo un aumento en la generación de residuos de concreto provenientes de las demoliciones y construcciones.

En base a los datos estadísticos del INEI, es en Lima Metropolitana donde más se ha desarrollado el sector económico de la construcción, por lo cual la gestión inadecuada de los RCD en la capital es aún más evidente. A pesar de no contar con datos del volumen exacto de los residuos de construcción en el país, el distrito del Rímac en el año 2013 elaboró el Plan de Gestión de Residuos de la Construcción de Obras Menores, detallando que el 95% de sus residuos pertenecían al sector de la construcción siendo estos 2761.9 m<sup>3</sup>

En el año 2017, en una publicación del diario El Comercio en su versión digital, elaborado por Juan León señaló el negocio de la demolición como rentable comparándola con la propia construcción, en cifras de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) en Lima se producen diariamente unos 30.000 m<sup>3</sup> de desmonte.

El Plan Nacional de Infraestructura 2016-2025, elaborado por la Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN), indicó que la falta de carreteras representaba el 20% de la brecha total de infraestructura en el país, siendo esta una razón más para fomentar la viabilidad del uso de los áridos recuperados de los RCD para su utilización parcial o total en las capas granulares de los pavimentos, tomando en cuenta las diferencias que existen con los agregados naturales en cuanto a aspectos físicos y mecánicos, (Cartuxo et al, 2016).

Dado que la demanda de materiales para la construcción de las carreteras es elevada y en base a lo señalado se contempla dar un mayor sustento al enfoque de viabilidad de los agregados gruesos en el uso de reemplazo de áridos naturales en la construcción de las estructuras de

pavimentos, respetando la normativa fijada por el MTC respecto a agregados que conforman las capas de material granular de su base y bases de carreteras.

Actualmente la normativa vigente en cuanto a la gestión de los RCD, contemplado en el Reglamento para Gestión y Manejo de los Residuos de la Actividad de la Construcción y Demolición, puede considerarse poco eficiente pues, no existe un tratamiento adecuado de los desechos de concreto lo que conlleva a la poca difusión del manejo de reciclaje de los RCD como ya lo vienen aplicando en países de Europa y Asia (Courard, et al, 2020), teniendo como aplicación la utilización de agregados reciclados para ser usados como material de pavimentos.

En el Perú, esta práctica no es usual debido a la falta de conocimiento de las propiedades de dichos materiales originarios de concreto reciclado. Investigaciones respecto a la materia son escasas en el país, a pesar de no contar con mayores estudios científicos en el tema, el presente trabajo de investigación pretende contribuir a la viabilidad del uso de los áridos gruesos reciclados y su implementación en pistas y carreteras, estas prácticas no solo favorecerán la reducción de los impactos medio ambientales asociados a los residuos y explotación de canteras, sino también contribuirá a la eliminación de los residuos de concreto en botaderos clandestinos, de la misma forma se garantiza la sustentabilidad, enfocándonos en el reciclaje, reúso y sustitución de materias primas naturales sin dejar de lado la calidad.

### **Formulación del problema**

Para identificar la formulación del problema, se debe tratar de presentar en términos claros el asunto que se va a investigar, ordenando debidamente la propuesta de la investigación, de la misma forma las interrogantes se deben orientar en dirección a las respuestas que se investigan. (Hernández, et al, 2014, pp. 36 - 38).

### ***Problema General***

- ¿En qué medida el concreto reciclado mejora un suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en una zona norte de Lima?

### ***Problemas Específicos***

- ¿Qué características presenta el suelo a nivel de sub rasante en estado natural con fines de pavimentación en la zona norte de Lima?

- ¿Cómo influye el añadir concreto reciclado en diferentes porcentajes en las características del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima?

- ¿Cuál es el óptimo contenido de concreto reciclado que nos brinda la mejor resistencia a la capacidad portante del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima?

- ¿Qué grado de compactación alcanza en campo el suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima al añadir concreto reciclado en diferentes porcentajes?

### **Objetivos**

Para Guanipa (2008, p. 2) se define como objetivos en una investigación a las metas, o fines trazados por el investigador en relación con los temas que desea verificar.

### ***Objetivo General***

Mejorar la sub rasante de un suelo en la zona norte de Lima con fines de pavimentación incorporando concreto reciclado en diferentes porcentajes.



### ***Objetivos Específicos***

- Identificar las características que presenta el suelo a nivel de sub rasante en estado natural con fines de pavimentación en la zona norte de Lima.
- Identificar las características en el suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima al añadir concreto reciclado en diferentes proporciones.
- Determinar óptimo contenido de concreto reciclado que nos brinda la mejor resistencia a la capacidad portante del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima.
- Determinar in situ el grado de compactación del suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima a partir de los resultados hallados en laboratorio.

### **Hipótesis**

Sabino (2014), define la hipótesis como una respuesta «provisional» al problema que se va a investigar.

### ***Hipótesis General***

El uso del concreto reciclado mejora significativamente las características de la sub rasante de suelos con fines de pavimentación en la zona norte de Lima.

### ***Hipótesis Específicas***

- Las características que presentan los suelos en estado natural de la zona norte de Lima no superan el 15% de C.B.R.
- Con la añadidura del concreto reciclado en diferentes porcentajes, obtenemos mejoras

considerables en el C.B.R. del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima.

- El óptimo contenido de concreto reciclado que nos brinda la mejor resistencia a la capacidad portante del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima es superior al 50%

- Al realizar el ensayo de verificación en campo el grado de compactación del suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima estará en un rango mayor al 90% de lo obtenido en laboratorio.

### **Justificación**

Debido al exponencial crecimiento de la población a nivel mundial, se genera un mayor consumo de materias primas naturales en el sector construcción. Así, como se estimulan nuevas fuentes de trabajo por las labores de estas actividades, también, se generan y acumulan mayor cantidad de desechos provenientes de los escombros, demolición y diversos procesos constructivos.

Dada que la demanda por agregados naturales es alta, se pretende dar viabilidad al uso de agregados gruesos provenientes de los desechos de la construcción y emplearlos en la construcción de capas granulares de pavimentos, de esta forma se contribuye al ciclo de reciclaje que se está implementando en bienestar de nuestro planeta (Pachecos et al, 2020).

A pesar de que el desconocimiento mayoritario de las propiedades de estos materiales imposibilita crear normativas que amparen su utilización, se pretende investigar para dar mayor consistencia a lo señalado. La creencia de que el material al estar influenciado por el concreto hace negativa su inserción en los diversos proyectos constructivos (Taherkhani, 2015) debe fomentar

aún más la necesidad de investigación en el país.

Sí se demuestra la viabilidad del agregado reciclado como alternativa de material a usarse en el mejoramiento de los suelos a nivel de sub rasante y se logra ejecutar proyectos con estos materiales, se logrará reducir la contaminación proveniente de los residuos de la construcción, así como, la presencia de botadores clandestinos y se evitará la depredación de nuestros recursos naturales, que, con el tiempo, comenzarán a ser escasos como ya sucede en otros países.

### ***Justificación teórica***

El carácter teórico del estudio, aporta resultados que respaldan la información sobre el mejoramiento de suelos a nivel de subrasante. De esta forma, el presente trabajo se justifica teóricamente al proporcionar mayores conocimientos sobre las investigaciones para el uso del concreto reciclado y suelos con fines de pavimentación.

### ***Justificación Práctica***

De manera práctica esta investigación aporta de manera relevante a los estudios dentro de la ingeniería civil, enfocándose en el mejoramiento de suelos, en este aspecto los resultados obtenidos proporcionan información y sirven de apoyo a otros investigadores que deseen indagar, investigar y/o profundizar sobre las variables utilizadas.

### ***Justificación metodológica***

La validez y confiabilidad en los resultados en esta investigación, es defendida por cuanto el trabajo se basa en la aplicación de normas y procedimientos que son sometidos a un riguroso proceso de control. Consideramos que esta investigación será revisada y utilizada por profesionales

que pretendan verificar, respaldar o discutir sus resultados cuanto investiguen sobre el uso de concreto reciclado en la sub rasante de suelos con fines de pavimentación.

### ***Justificación ambiental***

Proponer el uso de concreto reciclado para ir mejorando un suelo con fines de pavimentación, no es solo por la parte técnica, o de los estudios que deriven de esta situación, que de por sí forman aportes importantes, la propuesta, se enfoca desde una percepción ambiental al buscar minimizar la contaminación existente producto de las diversas actividades constructivas al reemplazar áridos naturales por agregados reciclados, acciones como estas buscan contribuir con un impacto beneficioso para la sociedad y para el medio ambiente.

### **Marco teórico**

El marco teórico proporciona una base al tema de la investigación con los antecedentes, teorías, enfoques teóricos y estudios en general que se relacionen con el problema de investigación. (Tamayo, 2012).

### **Antecedentes**

Como antecedentes se abordaron tesis y artículos, empleándolos como guía para el presente trabajo de investigación. Se identifica mayor relación en temas internacionales en comparación a los antecedentes nacionales donde se toman temas relacionados al uso de residuos de construcción y demolición.

### ***Antecedentes Internacionales***

Se tomó en consideración tanto artículos de investigación como tesis. Tienen en común

contemplar en su estudio el uso de los materiales de construcción y demolición. Las investigaciones tomadas como antecedentes internacionales son:

Muñoz, (2018) en el artículo de investigación titulado “Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el Valle de Alburrá”, tuvo como objetivo contribuir a la reducción del material de residuos de la construcción utilizándolos como material de reemplazo para las bases o su base de carreteras. Empleo una metodología experimental, utilizando como instrumentos reglamentación de Colombia. Para el análisis granulométrico se recolectaron dos muestras de 400 gramos cada una. Los resultados indicaron que el concreto triturado proveniente de los residuos contiene un alto porcentaje de agregado grueso granular, sobrepasando el límite superior establecido en reglamentación del INVIAS, se concluye que puede ser usado como sub base granular.

Fonseca, Sánchez (2019) en su tesis “Evaluación del comportamiento de residuos de construcción y demolición como base granular en la construcción de pavimentos”, presento como objetivo el análisis de las propiedades de residuos de construcción y demolición (RCD) y el reemplazo de áridos naturales en la estructura de los pavimentos. Empleo el uso de metodología aplicada, usando como muestra el material de los RCD. Se realizó los ensayos que permitían identificar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras. Se analizó y comparo los resultados. Se indicó que la muestra de RCD cumple con ciertas características y muestra resistencia según lo descrito en las especificaciones generales de construcción de carreteras de la normativa colombiana.

Guzmán y Ramírez (2019), elaboraron la tesis “Evaluación del comportamiento del residuo

de demolición como material sub-base", con el objetivo de evaluar el comportamiento físico-mecánico de los residuos de hormigón por demolición, empleando una metodología aplicativa, se transformó en fracciones menores las muestras de residuo de hormigón pues tenían un valor mayor a las 2". Bajo los ensayos y especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS, se obtuvo como resultado el CBR obtenido al 95% del Proctor Modificado (PM) fue del 38%, porcentaje que cumple con el requisito de resistencia de material para sub-bases clase B y C, es decir, para tránsitos medio y bajo. Concluyó, que darles nuevo uso a los materiales desechados contribuye de gran manera a la sostenibilidad y ciclo de vida que los productos deben cumplir.

Chaparro (2020), en su artículo de investigación denominado "Effect of Recycled Aggregate on Performance of granular Skeleton" (Efecto del agregado reciclado sobre el rendimiento del esqueleto granular), indicó la necesidad de comprender plenamente las características del esqueleto granular, conformado por distintos porcentajes de áridos naturales y reciclados. Se tuvo como objetivo analizar los efectos de reemplazar parcialmente agregados convencionales con agregados de concreto reciclado (RCA) en mezclas granulares. La metodología empleada fue descriptiva y aplicativa. Las muestras fueron caracterizadas de manera física, química, mineralógica y mecánicamente. Los métodos de investigación evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas. Para el concreto, el límite superior fue del 75% para RCA y para las capas base e intermedia en carreteras de medio/bajo tráfico, 75% para RCA y 35% para residuos mixtos. Los resultados indicaban que los áridos reciclados analizados cumplían la mayoría de los requisitos establecidos y se encontraban en el rango de recomendaciones internacionales. Se concluyó una relación óptima entre las propiedades analizadas y las características de los agregados reciclados.

Akbas & Iyisan (2020), en el artículo de investigación denominado “Beneficial Use of Recycled Concrete Aggregate as Base and Sub base Material in Turkey” (Uso beneficioso del agregado de concreto reciclado como material de base y sub base en Turquía) señaló como objeto de estudio evaluar la validez del uso de residuos de concreto reciclado en Turquía para usarlos en la estructura granular de pavimentos en términos de propiedades mecánicas e hidráulicas. Las muestras fueron preparadas según las especificaciones de la AASHTO, así como de la Especificación Técnica de Carreteras (KTS) de la Dirección General de Carreteras (KGM) de Turquía para las capas granulares. Los resultados dan conformidad en que el material usado para ensayar en esta investigación es adecuado para su uso como material de base y / o sub base, no obstante, hace mención que las propiedades hidráulicas deben determinarse cuidadosamente, pues el origen del material afecta sustancialmente las características del material.

### ***Antecedentes Nacionales***

Se presentan los siguientes antecedentes, como registro de información nacional:

Román (2017) en la presentación de su tesis “Análisis del comportamiento de los materiales reciclados de escombros para sub base en pavimentos flexibles en la Av. Nazca, SJL, Lima”, planteó analizar el comportamiento de materiales reciclados de escombros con el objetivo de conseguir resultados óptimos y hacer viable el empleo de este material en la sub base del pavimento. El tipo de investigación es aplicada, tomando como población al material proveniente de reciclado de escombros provenientes del distrito de San Juan de Lurigancho. Se realizaron dos muestras con el 100% del material reciclado y otra con el 80% y 20% (agregado reciclado y natural respectivamente). El resultado indica una mejora en la muestra con material combinado

concluyendo que existe suficiencia técnica para hacer uso del material reciclado en las sub bases de carreteras.

Fernández (2017), mediante su tesis "Estabilización de sub rasante con material de demoliciones en Avenida Malecón Checa, San Juan de Lurigancho en el 2017", expresó como objetivo la posibilidad de incrementar la estabilización de la capa sub rasante de la Av. Malecón, empleando material de demoliciones, para esto empleó una metodología aplicativa, con un nivel de estudio descriptivo y explicativo. El terreno a investigar en la zona de las Brisas de Campoy se consideró la población y muestra, empleando porcentajes de 10%, 20% y 30% de material reciclado, en las muestras. Usó como instrumentos de estudio los diversos ensayos bajo los métodos de SUCS y AASHTO. La consolidación de la sub rasante al emplear material de demoliciones brindó resultados óptimos en el CBR. En conclusión, el emplear materiales reciclados de demolición proporcionó un aporte para la reutilización de residuos de construcción, en beneficio del medio ambiente y mejora de la sub rasante del pavimento flexible.

Machaca (2018), en su tesis de doctorado "Producción de agregado reciclado para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, año 2017", señaló como objetivo establecer una relación entre la producción de agregado reciclado y las acciones de mitigación de los impactos ambientales originados por los residuos de construcción en la ciudad de Tacna. La metodología abarco en una primera parte un enfoque descriptivo y cualitativo y en segunda instancia su diseño fue experimental. Como población se realizaron 27 muestras de concreto reciclado, divididas en 3 grupos los cuales estaban conformados en combinación con muestras de agregado reciclado al 25%, 50% y 100%. Los resultados que se obtienen a los 28 días señalan una mayor resistencia del concreto con ambos áridos en comparación con la muestra de



concreto con 100% de agregado reciclado. Se concluye que el concreto con áridos reciclados son factibles para ser usados como concreto en obras civiles debido a su factor de resistencia a su vez contribuye a mitigar el daño que produce la contaminación ambiental proveniente de los residuos de la construcción.

Velásquez (2018), en su tesis “Influencia del cemento Portland Tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la sub-rasante de la Avenida Dinamarca, sector La Molina”, tuvo por objetivo evaluar la influencia del cemento Portland Tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la sub-rasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina. Identifico características físicas y mecánicas del suelo, empleó cemento Portland Tipo I como estabilizador en porcentajes de 1, 3 y 5% del peso seco de la muestra de suelo, se realizaron los diversos ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, límite de contracción, Proctor modificado y CBR, se clasifíco como un suelo arcilloso A – 7 – 6 (37) según AASHTO y como OH según SUCS. Con la adición de 5% de cemento su índice de plasticidad se redujo de 44% a 15%, su índice de contracción se redujo de 27% a 19% y su índice CBR se incrementó de 1.30% a 13.75% al 95% DSM. Pese a la adición de cemento, en los porcentajes indicados, el suelo presentó una plasticidad media y estuvo sujeto a cambios volumétricos, según su índice CBR, este se logró incrementar solo con añadidura de 4% de cemento.

Sánchez (2019), en su tesis de grado “Análisis de residuos de construcción y demolición para su reutilización como materia prima de agregados de construcción, Lima – 2018” tuvo por objetivo estudiar la posibilidad de emplear los residuos de construcción y demolición como materia prima de agregados de construcción. La metodología empleada es de tipo aplicada, optando por un diseño de investigación experimental de tipo cuasiexperimental. Los desechos de construcción

que se obtuvieron fueron considerados la población de estudio y se realizaron dos muestras. Se realizaron pruebas generales a los agregados de tipo natural y reciclado y posteriormente se empleó este tipo de agregados como reemplazo de los finos. Como resultado la resistencia a la compresión a los 28 días de curado fue de 357.51kg/cm<sup>2</sup> para un F'c de 175kg/cm<sup>2</sup> y 366 kg/cm<sup>2</sup> para un F'c de 210kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente se concluyó que los residuos de construcción y demolición pueden ser nuevamente empleados en los procesos constructivos.

### **Bases Teóricas**

Según Arias (2012), las bases teóricas, abarcan los aspectos generales del tema investigado, en base a esta definición y con el propósito de explicar el problema planteado se presentan los siguientes conceptos:

#### ***Suelo.* –**

Para encontrar la definición que se adapte mejor a las características de lo que se busca registrar, de acuerdo a Braja (2015), nos indica que “para propósitos de ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas” (p.01), en base a lo señalado es importante conocer las propiedades del suelo, formación y características.

#### **Tipos de suelos. –**

Existen diferentes tipos de suelos, como lo señala Ramírez (1997) se conocen diferentes tipos de suelos, formación distinta, fruto proveniente de la sedimentación, la deposición eólica, la meteorización y la presencia de residuos orgánicos, identificando suelos de tipo:

- Arenosos. - Son escasos en materia orgánica y por lo tanto poco fértiles.
- Calizos. - Abundan en minerales calcáreos y por lo tanto en sales, lo cual les confiere dureza, aridez y color blanquecino.
- Humíferos. - Abunda la materia orgánica en descomposición y retienen muy bien el agua, siendo muy fértiles.
- Arcillosos. - Compuestos por finos granos, excelente retención del agua, por lo que suelen inundarse con facilidad, predominan las partículas menores a un diámetro de 0,002 mm denominadas arcillas.
- Pedregosos. – Presentan en su composición una alta cantidad de gravas.

Basándonos en las normativas que brinda el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, en el Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos (2014) indica que los suelos encontrados deben ser descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para la construcción de vías se efectuará por los métodos normados de AASHTO Y SUCS (p.29) de la siguiente manera:

**Figura 1**

*Signos convencionales para perfil de calicatas - Clasificación AASHTO*

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Fuente: Simbología AASHTO

Fuente: Simbología AASHTO. Tomado de MTC (2014) Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. Lima. pág. 33

**Figura 2**

*Signos convencionales para perfil de calicatas - Clasificación SUCS*

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediana, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias		Limo inorgánica, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico
	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

Fuente: Símbolos gráficos para suelos -Norma MTC E101. Tomado de MTC (2014) Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. Lima. pág. 34

La clasificación de los suelos permite predecir el comportamiento de los suelos, de esta forma se puede delimitar desde el punto de vista geotécnico diversos sectores. (MTC, 2014). De esta forma se presenta una correlación de los sistemas AASHTO Y SUCS (ASTM), descritos en el Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos del año 2014.

**Figura 3**

*Correlación de Tipos de Suelos AASHTO - SUCS*

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

Fuente: US Army Corps.of Engineers. Tomado de MTC (2014) Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. Lima. pág. 37

***Sub rasante. –***

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones, en el Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos (2014) indica que la sub rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras, sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado (p.24). Además, que está conformada por suelos de características similares y compactadas por capas, haciéndolo estable, de tal forma que no se vea afectada por la carga del tránsito.

***Pavimentos. –***

Según Higuera (2013), el pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados construidos sobre la sub rasante, y es capaz de resistir las cargas

impuestas por el tránsito y la acción del medioambiente. También, Montejo (2012) señaló que el pavimento es un conjunto de capas superpuestas, en formación horizontal, diseñada y construida técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Importante indicar que el pavimento deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Entonces, el pavimento es estructura interpuesta entre los vehículos y el suelo natural, con la función de distribuir los esfuerzos aplicados en la superficie para no solicitarle al suelo por encima de su capacidad portante.

Higuera (2013) señaló que las características de los pavimentos para satisfacer adecuadamente sus funciones son las siguientes:

Ser resistente a la acción de las cargas

Ser resistente a la fricción

Ser resistente al desgaste, económico y durable

### ***Concreto reciclado. –***

Existe mayor interés e investigación respecto al concreto reciclado. Como indican Cruz & Velásquez (2004) existe un gran atractivo en el reciclaje del concreto frente al empleo de materias primas naturales. Se entiende que la gran ventaja que propicia es la de solucionar paralelamente la eliminación de estos materiales (proveniente de escombros, demoliciones y restos de la construcción) y que por medio del aprovechamiento de estos materiales se reduce la cantidad de recursos primarios a extraer.

Cuando hablamos de concreto reciclado debemos tener en cuenta que “a pesar de que no se puede reciclar de nuevo sus materiales constituyentes originales o toda forma original, el

concreto es triturado convertido en agregado llamado agregado de concreto reciclado (Marinković et al., 2015). La participación de las entidades y empresas en fabricar agregados gruesos a partir de estos desechos de la construcción aportan cambios favorables, pues al sustituir a un material natural se ayuda a la conservación y mejoramiento de nuestro ambiente.

### ***Residuos de construcción y demolición. -***

En base a la definición dada por la Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314, comprende todos los desechos obtenidos con trabajos relacionados a actividades de construcción y demolición, el cual comprende desde obras nuevas, ampliación, remodelación, demolición, rehabilitación, obras menores, acondicionamiento u otros. Por otro lado, se pueden categorizar como residuos de construcción a estructuras afectadas por algún evento o fenómeno (Mattey et al (2014).

En diversos estudios suelen ser denominados abreviadamente como RCD (Residuos de Construcción y Demolición) o solo escombros, en el mismo ámbito internacional, Fatta (2013) indica que suelen ser clasificados de acuerdo a su procedencia:

Tierra, arena, grava y rocas; si son materiales de excavación

Asfalto, arena, grava, residuos de mezclas y metales; si provienen de actividades de construcción y mantenimiento de obras civiles.

Bloques de concreto, grava adherida al concreto, ladrillos, yeso; si son materiales de demolición.

En el ámbito nacional, según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.050 2017), clasifica a los residuos de la actividad de la construcción y demolición de la siguiente forma:

Excedentes de remoción, todo el conjunto de material excedente resultante del movimiento de tierras. Los clasifica en materiales reaprovechables y para disposición final.

Excedentes de obra y escombros, todo material que resulta ser sobrante en las actividades constructivas, o desechos producto de la demolición. Se dividen en materiales reaprovechables y de disposición final.

Otros residuos, todos aquellos que no son sobrantes de remoción, obra, escombros o demoliciones.

### ***Conceptos relacionados a Residuos de Construcción y Demolición. -***

#### a) Escombros. -

Generalmente son materiales considerados como desechos generados en un proyecto de obra civil, incluyendo materiales descartados, deteriorados, rechazados y aquellos derivados de actividades de excavación y demolición (Torgal & Jalali, 2011).

Sánchez (2014) define a los escombros como todo residuo sólido, que ha quedado de las actividades de construcción.

#### b) Demolición. -

La ley de Regulación de habitaciones urbanas y de edificaciones – Ley 30494, define a la demolición como la acción mediante la cual una edificación se destruye eliminada parcial o totalmente. Revines (2010) define las demoliciones como el derribo de todas las construcciones o elementos constructivos, con la finalidad de eliminar una obra.

La Norma Técnica Peruana NTP 400.053, Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción, nos brinda los siguientes conceptos:



a) Concreto de Demolición. -

Es todo fragmento obtenido por demolición. Estas demoliciones pueden ser de estructuras de concreto simple o armado, como es el caso de edificaciones, pavimentos, cimentaciones, puentes de concreto, o elementos estructurales.

b) Granulado de concreto. -

Son las partículas de tamaño similar al de los agregados, llamadas también agregados reciclados, o material secundario de construcción, pues se obtiene luego del tratamiento del concreto y mortero de demolición.

c) Concreto reciclado. -

Aquel concreto formado parcial o totalmente con material recuperado proveniente de los residuos de construcción y demolición (gravas y arena).

### ***Agregados***

La Norma Técnica Peruana define a los agregados como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, se les llama también áridos. (NTP 400.011, 2008, p. 02), entendiéndose así que los agregados son partículas de diversos tamaños que se pueden encontrar en la naturaleza; por medio de la trituración de las rocas, forman finos, arenas y gravas.

De acuerdo a la normativa peruana, los agregados se clasifican en:

a) Agregado Fino. - Aquel que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial.

b) Agregado Grueso. - Agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N.º 4) que

cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca.

c) Agregado Global. - Mezcla de agregado fino y agregado grueso, normalizado por una granulometría.

d) Agregado reciclado. - Procedente del tratamiento de materiales de desecho de la construcción (escombros), obtenidos de demolición de construcciones.

### ***Agregado de origen reciclado***

La norma técnica peruana define al agregado reciclado como un material procedente de los materiales usados en construcción, generalmente de la trituración del concreto.

Pérez (2011), lo define como “el árido resultante del proceso de machaqueo, cribado y procesado en plantas de reciclado de residuos de concreto, utilizados previamente en el proceso constructivo”. Con respecto a las características del agregado reciclado, estas están vinculadas a las características del concreto de origen.

Taherkhani (2015), indica que los áridos reciclados son heterogéneos al no tener una matriz fija, por lo tanto, sus propiedades mecánicas son variables en comparación a los áridos naturales.

***Ensayos. –***

### **Análisis Granulométrico por tamizado - ASTM D6913**

En base a la normativa ASTM D6913, este método de prueba se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partícula (gradación) de una muestra de suelo, siendo esto, que el análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes

elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

### **Contenido de Humedad - ASTM D2216**

Según la ASTM D2216 - Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, este ensayo se realiza para determinar cantidad de agua y cantidad de aire acumulado, con el fin de observar la inestabilidad mecánica, los cambios de volúmenes y cohesión. El tamaño del contenido de humedad natural permite realizar una similitud de los resultados obtenidos de la humedad óptima del ensayo del Proctor modificado para obtener el CBR del material. Cabe indicar que esta prueba se realiza en un laboratorio por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la lista obtenida en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas. (Fuente ASTM D2216). La importancia del contenido de agua es una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este, la cuales por ejemplo son el cambio de volumen, cohesión, estabilidad mecánica. (Ministerio de Transportes y Comunicación; 2014).

### **Limite Líquido – ASTM D4318**

Es el contenido de humedad, indicado en porcentaje, donde el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. De forma que, se nombra límite líquido al contenido de humedad que divide dos mitades de una fracción de suelo que se reduce a lo largo de su fondo en una longitud de 13 mm (1/2") cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a modo de dos caídas por segundo. (Fuente ASTM D4318). Este método se realiza en el conocido equipo llamado "cuchara de Casagrande".

## Limite Plástico – ASTM D4318

Es el valor que se da en el laboratorio al límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad si se sabe el límite líquido del mismo suelo. Se nombra límite plástico a la humedad inferior con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3.2 mm (1/8) de diámetro, moviéndose dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. (Fuente ASTM D4318).

## Índice de Plasticidad - ASTM D 4318

Según el La plasticidad es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por lo tanto, la plasticidad del suelo depende de sus elementos finos. (MTC, 2014). De esta descripción se desprende el concepto de índice de plasticidad, que es la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, permitiendo clasificar adecuadamente un suelo.

**Tabla 1**

*Clasificación de suelo según su índice de plasticidad*

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		Suelos poco arcillosos
IP > 7	Baja	plasticidad
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: MTC (2014) Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos. Lima. pág. 32

## **Clasificación de los suelos - AASHTO ASTM D 3282**

En base a la normativa se clasifican a su vez en dos grupos, el primer grupo están formados por los suelos granulares y el segundo grupo está constituido por los finos.

-Suelos granulares: Tienen un 35% o menos, de material fino que pasa el tamiz N.º 200, forman los grupos A -1 (A-1-a, A-2-b); A - 2 (A-2-4; A-2-5; A-2-6; A-2-7) Y A - 3.

-Suelos finos: Son aquellos suelos que contiene más del 35% del material fino que pasa por el tamiz N.º 200, las cuales constituyen a grupos tales como A-4; A-5; A-6 y A-7.

## **Clasificación de los suelos SUCS - ASTM D 2487**

Bajo esta normativa los suelos se dividen en finos y gruesos, se destaca la importancia de la malla N° 200, al analizar si el 50% de material pasa la malla N° 200 es un suelo fino y si pasa menos del 50% es un suelo grueso. Dentro de esto existe diferentes tipos de suelos como la grava(G), arena(S), limo(M), arcilla(C), la cual tiene como subgrupo suelo bien graduado(W), suelo pobremente graduado(P), suelo limoso(M), arcillosos(C), suelos de baja plasticidad (L) y suelo de alta plasticidad(H).

## **Proctor Modificado - ASTM D1557**

Según ASTM D 1557 – Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified, el ensayo de Proctor modificado es una prueba de compactación que sirve para calcular la densidad seca de un material con relación a su humedad óptima (curva de compactación), compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas de diámetro con un pistón de (44,5N) o (10 lb) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una fuerza de (2700 KN- m/m<sup>3</sup>)

o (56000 pie- lbf / pie<sup>3</sup>).

Este ensayo es desarrollado con el objetivo de determinar la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptima de un suelo bajo condiciones de compactación de alta energía (2700 kN-m/m<sup>3</sup>). Su empleo es general en suelos distintos al señalado en el ensayo de Proctor Estándar. La compactación se realiza mediante el empleo del compactador automático de suelos que permite reducir la variabilidad del proceso. (Fuente ASTM D1557)

### **Ensayo Valor de Soporte C.B.R. – ASTM D1883**

Según la ASTM D 1883 - Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. Este método se utiliza para evaluar la validez de los materiales para sub-rasante, sub-base y base de un suelo flexible, incluye materiales reciclados que se puedan utilizar. Esta norma conforma un conjunto de métodos que ayudan a analizar el contenido de humedad óptimo de compactación especificado, que serán aplicados a los materiales preparados en laboratorios con condiciones controladas de humedad y densidad, incluso se puede realizar este ensayo en campo. (Fuente ASTM D1883)

Para su análisis se toma una muestra de 500 gramos para cada molde según sea el caso de su contenido de agregados gruesos o finos, luego se realiza el tamizaje para soltar las partículas por porciones según sea la situación. La partícula que pasa por la abertura de 19 mm (3/4 pulg) toda la muestra debe ser usado para preparar la compactación, si hubiera partículas retenidas en el tamiz de 3/4 de pulgada, este obligatoriamente será removido y remplazado por la misma cantidad de partículas removidas del tamiz de 3/4 de pulgada, donde el proceso para obtener el valor de apoyo para obtener el peso unitario y el contenido de agua que se

espera encontrar, la situación más crítica se origina cuando las partículas están saturadas. Para partículas granulares el ensayo se realiza dando 56, 25, 10 golpes por capas con contenido de agua al valor óptimo, para suelos cohesivos se recomienda buscar intervalos de agua con el fin de calibrar las curvas que muestre el peso específico, humedad y capacidad de soporte. (Fuente ASTM D1883).

### **Densidad de campo (Método del cono) – ASTM D1556**

El ensayo permite determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena. Los resultados del ensayo permiten determinar el grado de compactación del terreno respecto a la densidad máxima obtenida en laboratorio. El método es muy utilizado para determinar la densidad de suelo compactado y ampliamente utilizado en la construcción de terraplenes, rellenos de carreteras, su mayor uso se da para la verificación de suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de la densidad máxima determinada por un método de ensayo estándar.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Según Tamayo (2014), la forma de validar un conocimiento es mediante el uso del método científico, en base a esto la metodología se plantea para relacionar las hipótesis con la problemática descrita. De esta forma, se justifica los procedimientos y técnicas ejecutadas en la elaboración de la investigación.

### **Según su enfoque**

Para pretender resolver la incógnita suscitada en esta investigación y tener como verídica la hipótesis planteada al problema descrito, es necesario obtener mayor conocimiento e información. En este sentido, como expresa Otero (2014), se considera que el enfoque de una investigación ayuda al investigador a encontrar respuestas al problema descrito, cumplir los objetivos de estudio trazados y llegar a una afirmación o negación de la hipótesis generada.

Tal como lo expresa, Ortega (2018), el enfoque que recolecta datos realiza mediciones, obtiene resultados concretos, dando como producto final una respuesta a un problema específico, es el enfoque cuantitativo. Tomando estas consideraciones citadas por el autor, esta investigación se relaciona con un enfoque cuantitativo, pues la recolección y procesamiento de datos se concentrará en mediciones numéricas, utilizando la observación en el proceso. A su vez, los resultados obtenidos pueden ser comparados con otros de cercana similitud o incluso replicados.

### **Según su alcance**

Hernández-Sampieri (2017), sostiene que conocer y definir el alcance de una investigación va a depender principalmente de los objetivos planteados y de la perspectiva de nuestro estudio. Tomando como criterio el punto de vista del autor, el alcance del presente estudio será de nivel



explicativo. En este sentido el mismo autor, señala que un alcance explicativo genera un sentido de comprensión, mediante un procedimiento estructurado y ordenado.

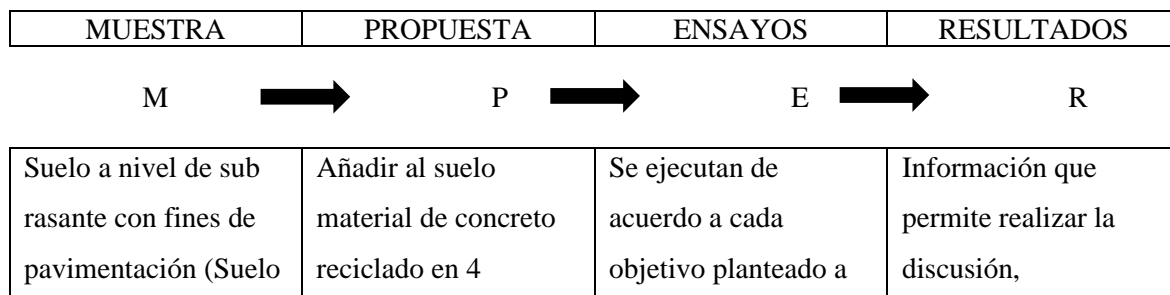
### Según su diseño

En base al objeto de estudio del presente trabajo de investigación, se recurrió a un diseño experimental, pues se busca demostrar la mejora de la sub rasante de un suelo para fines de pavimentación con añadidura de concreto reciclado en diferentes proporciones.

De acuerdo con lo indicado por Rojas (2013) las hipótesis pueden ser validadas o no según la vinculación existente entre las variables de estudio, siendo esto para efecto de un diseño experimental, las relaciones de causa y efecto que existen entre las variables. Del mismo modo, el diseño de tipo experimental identifica la intención de modificar la variable independiente con el fin de encontrar una relación de efecto en la variable dependiente (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). En base a lo descrito, se buscará confirmar la validez de la hipótesis principal al someter a la variable independiente a diversos ensayos con diferentes porcentajes de material reciclado y natural, en condiciones de control y bajo las estipulaciones dispuestas según las normas técnicas, para de esta forma garantizar desde un primer ensayo la validez de la hipótesis.

### Figura 4

#### Gráfica del diseño experimental



con CBR de 8.0% al 95% de M.D.S.)	proporciones diferentes.	fin de validar las hipótesis	conclusiones y recomendaciones
--------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Nota: Adaptado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Fases-de-la-investigacion\\_fig2\\_289238994](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Fases-de-la-investigacion_fig2_289238994)

## Unidad de estudio

Como señala Arias (2016), la unidad de investigación debe reunir atributos similares, los que nos determinen una elección homogénea de la muestra. La unidad de estudio está vinculada en función de los objetivos de la investigación.

## Variables

En el desarrollo de la presente investigación se cuenta con dos variables las cuales se explicarán con mayor detenimiento.

Variable independiente: Concreto reciclado

Variable dependiente: Suelo a nivel de sub rasante

## Operacionalización de variables

En base a la definición sobre operacionalización de variables, Carrasco (2009) en su obra “Metodología de la investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación”, muestra como un proceso metodológico la descomposición de lo más general a lo específico de cada una de las variables que son parte del problema de investigación, conceptualizando los tipos de valores que se puede asumir. Siguiendo lo mencionado por el autor se identifican la variable independiente y dependiente de este trabajo de investigación con sus dimensiones e indicadores.

**Figura 5**

Cuadro de Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
-Independiente: Concreto reciclado	Concreto reciclado Agregado reciclado Residuos de construcción	Proporciones: 10% de concreto reciclado + 90 % de suelo natural 25% de concreto reciclado + 75 % de suelo natural 50% de concreto reciclado +50 % de suelo natural 75% de concreto reciclado + 25 % de suelo natural
-Dependiente: Suelo a nivel de sub rasante	Características	Análisis granulométrico por tamizado
		Contenido de Humedad
		Límites de consistencia
		Clasificación AASHTO - SUCS
	Compactación – Proctor Modificado	Máxima densidad seca Contenido de humedad óptimo
Valor de Soporte de California - CBR	Resistencia	
Densidad de Campo - Ensayo del cono de arena	Grado máximo de compactación	

Fuente: Elaboración propia

## Población y Muestra

### Población

Según el autor Arias (2006, p. 81) define población como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. En base a lo expuesto, la población está determinada por todos los suelos de la zona norte de Lima de

características similares al estudiado en la presente investigación.

### ***Muestra***

Según Otzen & Manterola (2017), las muestras de tipo no probabilística se basan en la conveniente accesibilidad y proximidad del investigador al objeto de estudio, por ello consideramos que la muestra de esta investigación es de tipo no probabilística por conveniencia, pues se realizó el estudio en una zona identificada en la que se iban a realizar trabajos de pavimentación y se nos permitió sacar las muestras, realizar los ensayos y luego realizar in situ el ensayo del cono de arena para la verificación en campo de los porcentajes de compactación que se proyectaban en laboratorio.

### **Materiales, Equipos, Instrumentos y Técnicas**

#### ***Materiales***

##### **Suelo. –**

Se identificó un tramo en una urbanización de la zona norte de Lima dónde se llevó a cabo la extracción de suelo. El material obtenido in situ sirve para realizar los ensayos correspondientes en base a los objetivos del presente trabajo de investigación. La extracción del suelo se realiza de manera manual. Se empleo las normas ASTM

##### **Concreto Reciclado / agregado grueso. –**

Para la presente tesis el concreto reciclado fue obtenido en las instalaciones de la planta de producción de agregado reciclado de Fomento Obras y Contratas SAC - FOCSAC, la cual se

encuentra ubicada en el distrito de Villa el Salvador, siendo una empresa de libre comercio de estos materiales, si bien no se pudo documentar el proceso de trituración en la planta debido a políticas de la empresa, se nos brindó material visual del proceso de trituración y obtención de los áridos reciclados. Se pudo evidenciar la magnitud del acopio de los residuos y de los agregados finales, así como los contenedores en los que llegan los residuos de las diferentes obras, los que posteriormente serán procesados, los materiales recepcionados son residuos tales como: gravas, restos de concreto, mezcla endurecida y todo material producto de las actividades de construcción. Se indica que todos los materiales como cartón, plásticos o fierro son almacenados en otros contenedores para su disposición final y no forman parte de esta investigación.

#### **Arena Ottawa. –**

Sílice natural, clasificada especialmente para que pueda pasar por un tamiz 20 y ser retenida en el #30. Está compuesta en su mayoría por granos redondeados de cuarzo puro, que sirven para la preparación de cemento hidráulico. Es un material puramente granular, que proviene de la extracción y procesamiento cercano a los ríos Illinois y Fox en los Estados Unidos. También se pueden encontrar en las formaciones geológicas de Minnesota. Su importancia radica en que es uno de los medios utilizados como control en los laboratorios.

#### ***Equipos***

Equipos considerados en la investigación y que se deben emplear para realizar las mediciones respectivas.

**Tabla 2**
**Equipos según ensayo y normativa**

Equipos	Norma	Ensayo
Conjunto de tamices	ASTM D6913	Análisis Granulométrico por tamizado
Balanza digital (6000 x 0,1 g)		
Horno digital de laboratorio (0°x a 300°)	ASTM D2216	Contenido de humedad
Bandejas, espátula.		
Cazuela Casagrande		
Recipiente contenedor de agua	ASTM D4318	Límites de Consistencia
Balanza. Calibre. Contenedores		
Cuadro de Plasticidad - Clasificación SUCS	ASTM D2487	Clasificación del suelo
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	Clasificación del suelo para Sub rasante
Índice de plasticidad	ASTM D4318	Índice de plasticidad
Martillo para prueba de compactación.		Compactación de suelos en laboratorio Proctor
Molde para prueba de compactación	ASTM D1557	Modificado
Balanza. Horno de secado		
Molde para prueba de compactación CBR		Prueba estándar para CBR de suelo compactado en laboratorio
Prensa manual para ensayos CBR	ASTM D1883	
Juego de pesas con placa de expansión en bronce para CBR		

Equipo para densidades: Incluye: frasco 1 gl, cono rebordeado en bronce de 6 ½, plato base en aluminio inyectado.	ASTM D1556	Densidad de campo – Método del cono de arena
---	------------	--

---

Fuente: Elaboración propia

### ***Técnicas***

Arias (2016), considera a las técnicas como el recurso mediante el cual se logra la obtención de información, es decir las herramientas para recoger los datos.

#### **La observación**

Está técnica es fundamental pues nos permitirá medir y registrar todo el procedimiento que se llevará a cabo a fin de cumplir con los objetivos de estudio. Además, servirá para reunir información y corroborar el eficiente manejo en los ensayos. Mediante el uso de esta técnica determinaremos qué es lo que se está haciendo, el desarrollo, en qué lugar se ejecuta, el tiempo que toma, así como también seleccionar, detectar y tomar registro de los acontecimientos y cambios que sufran las variables. Está técnica se ejecuta siguiendo la normativa señalada los ensayos correspondientes.

#### **La documentación**

Utilizar esta técnica permitirá la revisión de documentos relacionados a la presente investigación, mediante la lectura de manuales, especificaciones técnicas, tesis, artículos científicos y otro material relacionado. Se establecerá los procedimientos a seguir en la ejecución del presente trabajo para cumplir la hipótesis planteada. A su vez, los resultados obtenidos, serán

resumidos en cuadros, tablas y gráficos para que puedan ser analizados y procesados de manera cuantitativa.

### ***Instrumentos***

Sabino (1992) señala al respecto que los instrumentos, son todos aquellos recursos que ayudan a resolver los problemas planteados en base a la obtención de información de diversas fuentes de investigación. De esta forma los instrumentos a emplearse en esta investigación permiten recabar la información precisa y clara para el logro de los objetivos.

#### **Para el registro inicial**

Se basará en los registros de los resultados y datos primarios de los ensayos propuestos, permitiendo recabar la información para ser plasmada en un medio físico, así la información será de accesible, podrá ser tratada, estudiada, analizada y discutida.

El instrumento inicial a usarse en este estudio es la ficha de observación y recolección de datos, registrándose de esta forma los datos obtenidos en campo y laboratorio. Se seleccionan todos los datos obtenidos de cada ensayo realizado en el laboratorio, para generar resultados y poder tener el control de la investigación.

#### **Para el registro de resultados finales**

Como indica Arias (2016), un instrumento de recolección nos permite recabar y guardar datos, por ejemplo, el uso de formatos de tipo digital o físico, el cual se emplea para registrar toda la información que se ha obtenido.



Al realizar ensayos en el proceso de investigación del presente trabajo, los registros nos permiten poder verificar los resultados comparándolos con los estipulados en las normas, el instrumento que registrará toda la información final serán las fichas o certificados técnicos.

### ***Análisis de los datos***

Para la realización y culminación de esta tesis, se empleó para el análisis y presentación de los resultados, programas como Excel y Microsoft. La finalidad es dar a conocer de forma gráfica los resultados de los ensayos realizados en laboratorio.

### **Procedimiento**

Para el desarrollo de esta investigación en primer lugar se obtuvo información documentaria de diversas fuentes que son tesis, proyectos de investigación nacionales e internacionales, artículos científicos, que tienen información del problema y tema planteado, así como revisión de las normas correspondientes.

### ***Muestreo y Obtención de los materiales***

Villardón (2014) expresa que los criterios de la representatividad de la muestra dependerán de cada investigador y diversos factores atendiendo como finalidad a los objetivos del estudio de su investigación. Siguiendo el lineamiento de lo mencionado por el autor, la unidad o elemento de muestreo ha sido seleccionada en base a la disponibilidad.

Para el desarrollo de la presente investigación se tuvo facilidad para acceder a un sitio en la zona norte de Lima, se procedió a realizar la extracción de la muestra en una zona libre de acceso, en base a nuestra elección se efectuó la extracción del material in situ obteniendo lo

necesario para realizar los ensayos requeridos de acuerdo a lo establecido por las normas ASTM.

### ***Obtención de concreto reciclado***

Se coordinó con el área de ingeniería de la planta de Fomento Obras y Contratas SAC – FOCSAC, para gestionar la trituración de escombros para la obtención de agregados reciclados, en respuesta el área a cargo indicó que para la cantidad que requeríamos no era necesario llevar escombros o residuos de demolición por nuestros propios medios, debido a que la planta cuenta con una amplia cantidad de material de desecho proveniente de obras de construcción.

Se programó la visita a planta solicitando mayor información sobre el proceso y recojo del material (agregado grueso), se hizo una inspección visual del proceso de trituración, para fines informativos. El material requerido para la realización de los diferentes ensayos en la presente tesis fue de aproximadamente 160 kg de agregado de concreto reciclado. Se realizaron ensayos para determinar las condiciones del agregado, al ser un material reciclado, se infiere que en el proceso de trituración mecánica que se realiza para obtener áridos del material reciclado, el proceso afecta la morfología de la grava, aun así, los resultados son aceptables.

### **Tabla 3**

#### **Resultados de los ensayos realizados al agregado reciclado grueso.**

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultado agregado reciclado</b>
Abrasión	ASTM C131	35%
Partículas con una cara fracturada	ASTM D5821	39.90%
Partículas con dos caras fracturadas	ASTM D5821	46.90%
Partículas chatas y alargadas	ASTM D4791	6.56%
Sales solubles totales	ASTM D1888	0.09%

Nota: Los ensayos realizados están basados en la normativa vigente de especificaciones

técnicas del MTC que deben cumplir los materiales que serán usados como sub base y base en pavimentos, tomado como referencia para tener los valores de este material.

### ***Obtención de suelo***

Una vez realizada la revisión bibliográfica se dispuso la obtención de los materiales para el desarrollo de este estudio para lo cual se extrajo material del suelo de un distrito en la zona norte de Lima, la excavación a cielo abierto fue de 3,00 m de profundidad, en el cual mediante una inspección visual se encontró pequeños rastros de raíces solo en la superficie. Obtenido el material necesario, se trasladó hasta el laboratorio ubicado en San Martín de Porres. El material se acopio en sacos, en el laboratorio se dispuso una zona libre de sustancias o agentes contaminantes para su almacenamiento.

### **Ensayos**

Se realizaron los ensayos requeridos a fin de determinar la granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad y la resistencia del material en base al ensayo de Proctor modificado y CBR para determinar las condiciones del suelo.

Posteriormente se realizó los ensayos del suelo natural con añadidura de concreto reciclado (agregado grueso) con las dosificaciones que son: 10%, 25%, 50% y 75% de concreto reciclado, obteniendo en laboratorio la información del comportamiento de los materiales en conjunto. Finalmente, para obtención de los resultados de la resistencia de los materiales de estudios se realizó dos ensayos fundamentales que son el ensayo de Proctor Modificado y CBR, para verificar la relación de la densidad seca y húmeda y resistencia al esfuerzo cortante.

**Tabla 4**
*Ensayos realizados según normativa ASTM*

Norma	Ensayo
ASTM D6913	Análisis Granulométrico por tamizado
ASTM D2216	Contenido de humedad
ASTM D4318	Límites de Consistencia
ASTM D2487	Clasificación del suelo
ASTM D3282	Clasificación del suelo para Sub rasante
ASTM D4318	Índice de plasticidad
ASTM D1557	Compactación de suelos en laboratorio Proctor Modificado
ASTM D1883	Prueba estándar para CBR de suelo compactado en laboratorio
ASTM D1556	Densidad de campo – Método del cono de arena

Fuente: Elaboración propia

### Validez

Condición mediante la cual el instrumento evalúa la variable que se requiere evaluar (Hernández [et al.], 2014, p. 200).

La validez del instrumento pasa por dos momentos:

1. Al corroborar los resultados con los datos obtenidos en los estudios realizados por otros autores, los cuales sirven como fuente de consulta tomando sus planteamientos como referencia.
2. Al realizar los ensayos en un laboratorio con instalaciones debidamente equipadas, donde el instrumental a usarse para los ensayos ha sido sometido a calibración y revisión. Los certificados emitidos por el laboratorio donde se realizó las pruebas, garantizan los procesos seguidos de los lineamientos dados por las Normas ASTM.

### Aspectos éticos

La información de brinda soporte a los conceptos señalados en esta investigación se ha

reunido de diferentes formatos de investigación, como lo son: artículos científicos, tesis, libros, documentos y otras fuentes de información que se relacionan al problema de investigación y brindan información de consulta y respaldan los puntos descritos.

Todas las fuentes de información han sido debidamente citadas, como es descrito en la norma APA.

### ***Honestidad y confiabilidad***

La realización y profundización de este proyecto, se basa en la investigación, recolección de datos, resultados y análisis de los mismos. De esta forma el trabajo se realizará con valores de honestidad y confiabilidad aplicando el uso de material de estudio de fuentes confiables para el soporte teórico (normas) del proyecto.

### ***Respeto***

El respaldo de la información brindada en este proyecto de investigación, está dado por la información debidamente citada de diversos autores, de los cuales se ha recopilado conceptos y resultados consignados como verdaderos y concisos. En base a esto, se busca respetar la autoría de los investigadores señalados en este proyecto.

### **Limitaciones**

Las limitaciones de la presente investigación se centran en tres puntos:

1. Respecto al proceso de selección, trituración y obtención de un agregado reciclado, la participación del presente estudio se limitó a solo adquirir un material reciclado, sin participar activamente en todo el proceso inicial de recuperación hasta la obtención del

árido reciclado, esto debido a las políticas de las empresas consultadas para realizar un proceso de segregación de material y trituración selectiva, que no tomaban en cuenta solicitudes consideradas menores por la cantidad solicitada.

2. No se llegó a contar con los permisos para el uso de información del distrito y calle del lugar donde se tomó la muestra, por lo que la presente investigación no menciona a detalle este aspecto.
3. Respecto al objetivo específico: Determinar in situ el grado de compactación del suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima a partir de los resultados hallados en laboratorio, se debe indicar que si bien se desarrolló de forma representativa en el lugar y se siguieron los lineamientos y pautas del método no se pudo contrastar con otro estudio los resultados que se obtuvo, se deja la indicación que los resultados que brinda este ensayo brindan señales claras de que el material posee óptimas propiedades de compactación.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

El presente capítulo se desarrolla en base a lo planteado en los objetivos específicos descritos en el presente trabajo de tesis, los que permitirán recabar información para validar el objetivo general.

### Resultados del objetivo específico 1

Respecto al objetivo específico 1, identificar las características que presenta el suelo a nivel de sub rasante en estado natural con fines de pavimentación en la zona norte de Lima, se presentan los siguientes resultados:

La excavación a cielo abierto o calicata fue de 0,80 m x 1,20 m de dimensiones y 3,00 m de profundidad, en el cual mediante una inspección visual se encontró pequeños rastros de raíces solo en la superficie. En el proceso de excavación se evidencio un tipo de suelo es decir que no presento diferente coloración ni textura.

El material se acopio en sacos, en el laboratorio se dispuso una zona libre de sustancias o agentes contaminantes para su almacenamiento.

Los ensayos a realizar serán de granulometría para determinar características del material como el contenido de humedad, así como la clasificación SUCS, fundamentalmente ensayo de Proctor Modificado Y el CBR para determinar las condiciones del suelo y si este por sí solo es apto para trabajos de pavimentación.

**Figura 6**

Excavación de una calicata de suelo a nivel de sub rasante en una zona norte de Lima



Fuente: Elaboración propia. Abril, 2021

***Análisis Granulométrico del suelo por tamizado. -***

Para el ensayo de granulometría se siguió la metodología de la norma ASTM D6913.

Al preparar el material, este se disgregaba rápidamente, terminando en partículas muy finas al frotarlo. Para este ensayo se utilizó 749,8 gramos de muestra, luego la muestra es llevada al horno para el secado a  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, la muestra de suelo es nuevamente pesada dando como nueva masa total seca el valor de 726,7 gramos, con este nuevo peso se realiza el análisis granulométrico por tamizado manual.

Los resultados indicados en la tabla 10, demuestran que solo existe presencia mínima de



grava (1.2%) lo restante es considerado arenas y finos, 53.9% y 44.9% respectivamente lo que corrobora la disgregación del material evidenciado al inicio del ensayo.

**Tabla 5**

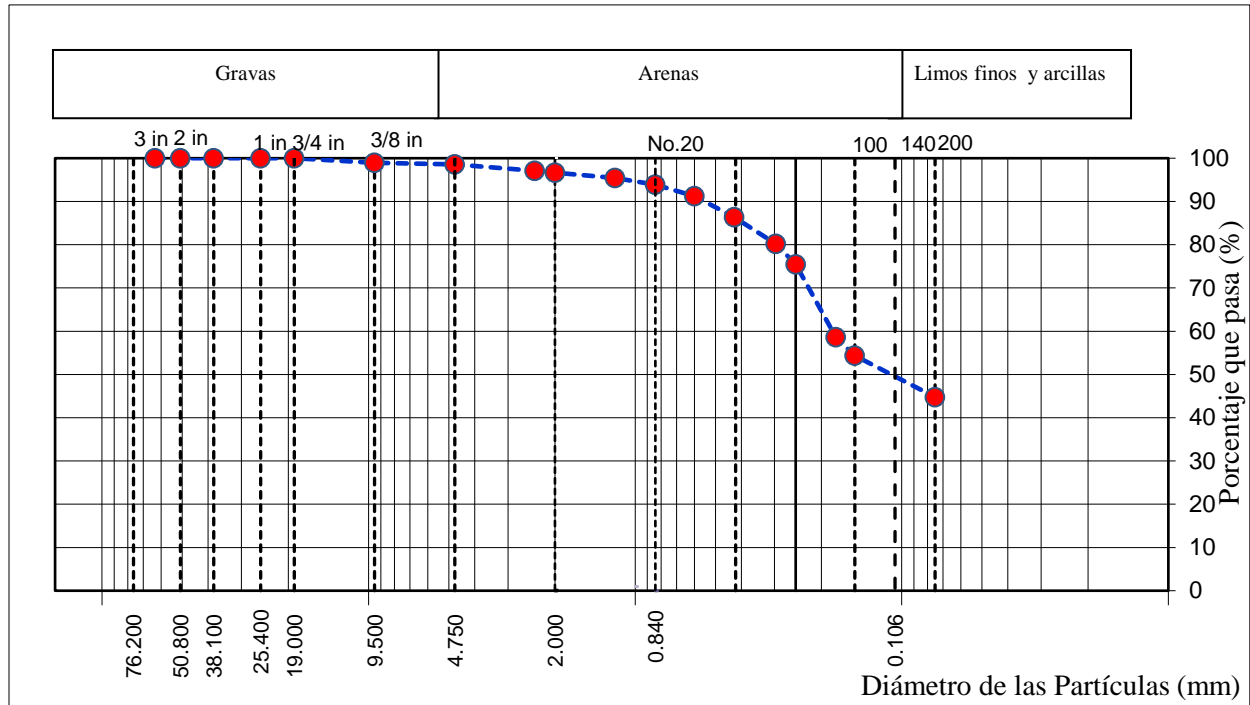
*Análisis granulométrico del suelo por tamizado - ASTM D6913*

Tamiz	Abertura (mm)	Fracción Gruesa de Separación (0,1 g)	Fracción Fina Tamizado Simple (0,01 g)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que Pasa
2 1/2 in.	63.300	0.0		0.00	0.00	100.00
2 in.	50.800	0.0		0.00	0.00	100.00
1 -1/2 in.	38.100	0.0		0.00	0.00	100.00
1 in.	25.400	0.0		0.00	0.00	100.00
3/4 in.	19.000	0.0		0.00	0.00	100.00
3/8 in.	9.500	7.6		1.05	1.05	98.95
No. 4	4.750	2.9		0.40	1.44	98.56
No. 8	2.380		10.80	1.49	2.93	97.07
No. 10	2.000		3.10	0.43	3.36	96.64
No. 16	1.190		8.90	1.22	4.58	95.42
No. 20	0.840		11.30	1.55	6.14	93.86
No. 30	0.600		18.90	2.60	8.74	91.26
No. 40	0.425		35.80	4.93	13.66	86.34
No. 50	0.297		44.70	6.15	19.82	80.18
No. 60	0.250		34.60	4.76	24.58	75.42
No. 80	0.177		122.30	16.83	41.41	58.59
No. 100	0.150		30.60	4.21	45.62	54.38
No. 200	0.075		69.90	9.62	55.24	44.76
Fondo	---		325.30	44.76	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7**

*Curva granulométrica del suelo utilizado en la investigación*



Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio.

En la curva granulométrica se observa que el material en su estructura tiene una alta composición de arenas y finos, además el material ensayado es definido según la clasificación SUCS como SC - arena arcillosa de mediana plasticidad de color marrón oscuro, en condición poco húmeda.

***Ensayo de contenido de humedad***

El presente ensayo se realizó bajo la metodología de la norma ASTM D2216, se indica que el suelo tiene un 3.2% de contenido de humedad, como se observa en la tabla 06.

**Tabla 6**
*Resultado del contenido de humedad del suelo, ASTM D2216*

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Método de secado	Horno a 110 +/-5°C
materiales excluidos	Ninguno
Masa total húmeda (g)	749,8
Masa total seca (g)	726,7
Contenido de humedad (%)	3.2

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio.

***Ensayo de límites de consistencia. -***

El ensayo ASTM D4318, refiere los límites correspondientes, en cuanto a límite líquido e índice de plasticidad determinando el grado de sensibilidad que presenta el suelo en relación al contenido de humedad.

**Tabla 7**
*Resultado de los límites de consistencia, ASTM D4318*

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Límite líquido	23.53
Límite plástico	11.36
Índice de plasticidad	12.18

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio.

Se observa que el Índice de plasticidad del suelo IP= 12.18, se encuentra dentro del rango considerado como suelo de plasticidad media. Este tipo de suelo en estas condiciones presenta un riesgo si se realiza trabajos de pavimentación, pues es considerado suelo arcilloso.

### *Compactación de suelos en laboratorio Proctor Modificado*

Con la finalidad de conocer la densidad máxima y humedad óptima del suelo, se realiza el ensayo de Proctor modificado según los requerimientos de la norma ASTM D1557.

Los resultados del ensayo de compactación mediante son como máxima densidad seca 1,845 g/cm<sup>3</sup> y un 13.7% de contenido de humedad.

**Tabla 8**

*Ensayo realizado para Proctor modificado para CBR*

Número de ensayos		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	5,924	6,014	6,102	6,282	6,260
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr.	1,608	1,698	1,786	1,966	1,944
Peso Volumétrico Húmedo	gr.	1.682	1.776	1.868	2.056	2.033
Recipiente Numero		D1	H1	A1	W1	J5
Peso de la Tara	gr.	70.3	93.2	154.1	91.8	70.3
Peso Suelo Húmedo + Tara	gr.	384.6	334.7	380.4	295.2	313.1
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	367.3	317.5	361.0	272.6	280.3
Peso del agua	gr.	17.3	17.2	19.4	22.6	32.8
Peso del suelo seco	gr.	297	224	207	181	210
Contenido de agua	%	5.8	7.7	9.4	12.5	15.6
Densidad Seca	gr/cc	1.589	1.650	1.708	1.828	1.759

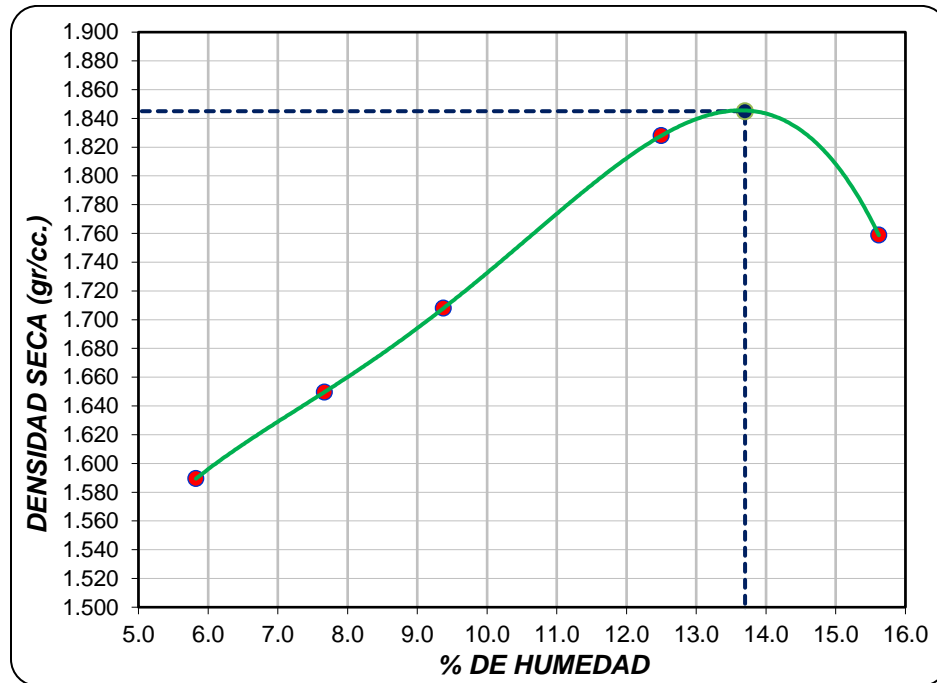
Máxima densidad seca = 1,845 g/cm<sup>3</sup>

Contenido de humedad = 13.7%

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio.

**Figura 8**

*Densidad seca vs Contenido de Humedad del suelo a nivel de sub rasante en la zona norte de Lima*



Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio.

***Prueba estándar para CBR de suelo compactado en laboratorio***

El presente ensayo, más conocido como CBR, nos brinda como resultado la capacidad de soporte, la que a su vez es la propiedad más importante del suelo. El ensayo se realizó bajo los lineamientos de la norma ASTM D1883, para suelos compactados en laboratorio. Se utilizó 3 muestras de 6 kilos cada una para realizar el ensayo (A), las cuales se saturaron con 822 ml de agua c/u (correspondiente al 13.7% de humedad óptima) (B), previo a realizar el ensayo de CBR, se tomó una muestra representativa de cada espécimen y se llevó al horno (C) para el secado a 110±5°C.

**Figura 9**

*Inicio ensayo CBR para la muestra de suelo*



Fuente: Elaboración propia. Mayo, 2021

Luego de los ensayos realizados, en la tabla número 13 se muestra los resultados obtenidos con un CBR característico de 13.6% al 100% de máxima densidad seca. También tenemos como resultados, que al 95% de máxima densidad seca al 0.1” el C.B.R. llega a 8,0%. De esta forma no supera al mínimo establecido de 30% para ser clasificado como una subrasante excelente por la normativa del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio

de Transportes y Comunicaciones.

**Tabla 9**

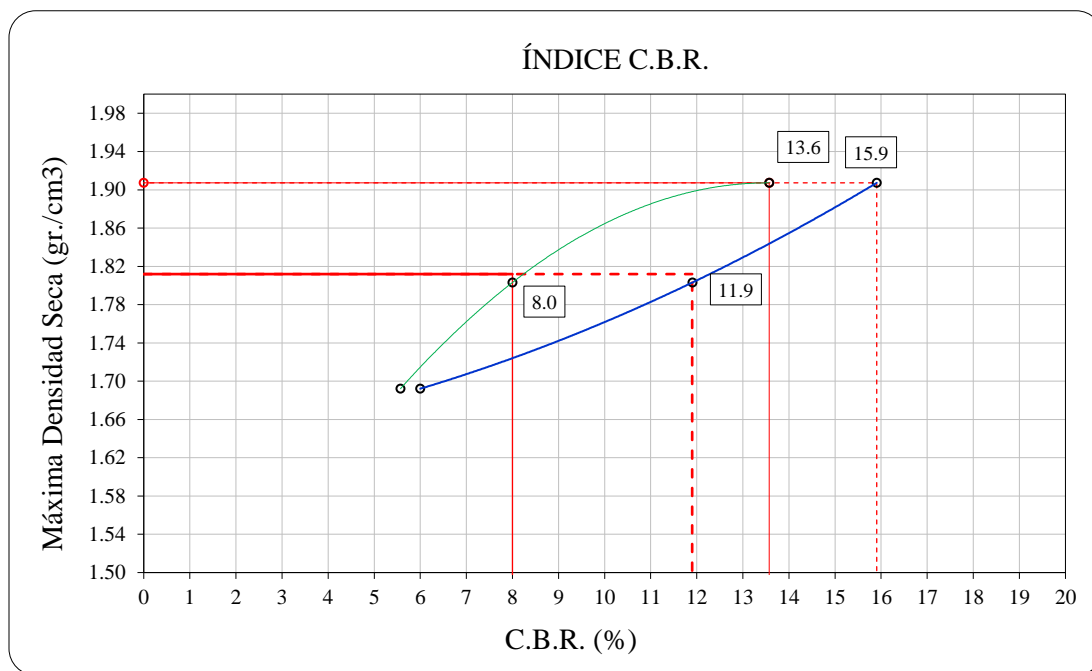
*Resultados por espécimen del ensayo CBR en el suelo de la zona norte de Lima*

Espécimen	# 1	# 2	# 3
Golpes por capa	10	25	56
C.B.R. al 0.1" de penetración	5.60%	8.00%	13.60%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 10**

*Curva CBR vs Densidad seca de la muestra de suelo*



Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

## Resultados del objetivo específico 2

Respecto al objetivo específico 2, identificar las características en el suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima al añadir concreto reciclado en

diferentes proporciones, se presentan los siguientes resultados:

Las proporciones a usar de concreto reciclado serán de 10%, 25%, 50 % y 75 % en conjunto, en el suelo de la zona norte de Lima; con la finalidad de determinar que el concreto reciclado mejora las propiedades de compactación y máxima densidad seca del suelo.

### ***Relación Humedad – Densidad***

Para evaluar los valores de compactación del suelo se empleó el ensayo Proctor modificado. En base a la normativa ASTM D 1557, se determina mediante este ensayo la densidad seca del material, en relación a la humedad óptima del mismo.

### **Figura 11**

*Ensayo de Proctor modificado*



Fuente: Elaboración propia. Mayo, 2021

El árido grueso reciclado es homogenizado con el suelo de la zona norte de Lima para evaluar el efecto de la compactación, las muestras fueron compactadas con un pisón de 44,5 N que



cae de una altura de 457 mm (18 pulgadas), con una energía producida de 56000 pie-lbf /pie<sup>3</sup>.

En la tabla 14 se presentan los resultados de densidad máxima seca y humedad óptima obtenidos en base a cada combinación de concreto reciclado y suelo natural.

**Tabla 10**

*Valores de Máxima densidad seca y humedad óptima*

Mezcla	Máxima densidad seca(g/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
# 1 Concreto reciclado 10% + suelo natural 90%	1,867	11,5
# 2 Concreto reciclado 25% + suelo natural 75%	1,978	9,6
# 3 Concreto reciclado 50% + suelo natural 50%	2,139	9,2
# 4 Concreto reciclado 75% + suelo natural 25%	2,176	8,6

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

Respecto a los resultados descritos en la tabla 14 se observa un cambio en los valores de máxima densidad seca y humedad óptima a medida que cambian los porcentajes de agregado grueso en las combinaciones.

El valor de la máxima densidad seca aumenta proporcionalmente en relación al aumento de árido reciclado que se adiciona al suelo, esto debe relacionarse a que las gravas en la mezcla se acomodan y distribuyen mejor a medida que aumenta el porcentaje en la mezcla, de esta forma se genera un incremento de densidad.

Caso contrario el contenido de humedad óptima disminuye al incrementar el porcentaje de

concreto reciclado en las mezclas, esto da a entender que el suelo para lograr su máxima densidad seca requiere menor contenido de agua.

### ***Ensayo de Capacidad de Soporte - C.B.R.***

Los ensayos de C.B.R. (Capacidad de Soporte California) se hicieron bajo el procedimiento de la norma ASTM D 1883. Se analizaron tres especímenes por cada porcentaje de agregado reciclado a usarse (10%, 25%, 50% y 75% respectivamente) lo que nos da un total de doce cuerpos de prueba (tres por cada energía de Proctor).

En primer lugar, cada muestra fue dosificada de acuerdo a los porcentajes correspondientes, cada espécimen fue compactado en 5 capas y energías diferentes, es decir, se compacto las muestras con 10 golpes, 25 golpes y 56 golpes cada una. El ensayo se realizó con el porcentaje de humedad óptima correspondiente a cada mezcla.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de CBR obtenidos para las mezclas usadas en el presente trabajo.

**Tabla 11**

*Valores de CBR al 100% correspondientes a cada mezcla*

Mezcla	C.B.R. (100% M.D.S. al 0.1")
# 1 Concreto reciclado 10% + suelo natural 90%	23.1%
# 2 Concreto reciclado 25% + suelo natural 75%	27.1%
# 3 Concreto reciclado 50% + suelo natural 50%	44.3%
# 4 Concreto reciclado 75% + suelo natural 25%	82.9%

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

Para el caso del C.B.R. el comportamiento mejora a medida que incrementa el porcentaje de agregados reciclados gruesos en el suelo, logrando de esta forma mejorar su capacidad de soporte. En síntesis, el agregado reciclado grueso mejora el valor de soporte del suelo, según los resultados se puede deducir que el suelo ha tenido un significativo mejoramiento de soporte a nivel de subrasante con fines de pavimentación lo que da una clara idea de la mejora en la calidad del suelo y el efecto de soporte que ha aumentado bajo la influencia del concreto reciclado analizados en esta investigación.

### Resultados del objetivo específico 3

Respecto al objetivo específico 3, determinar óptimo contenido de concreto reciclado que nos brinda la mejor resistencia a la capacidad portante del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima, se presentan los siguientes resultados:

**Tabla 12.**

*Comparación del óptimo contenido de concreto reciclado al 0.1"*

Proporciones	C.B.R. (100% M.D.S. al 0.1")	C.B.R. (95% M.D.S. al 0.1")
Suelo natural	13.6%	8.0%
# 1 Concreto reciclado 10% + suelo natural 90%	23.1%	17.1%
# 2 Concreto reciclado 25% + suelo natural 75%	27.1%	24.3%
# 3 Concreto reciclado 50% + suelo natural 50%	44.3%	40.3%
# 4 Concreto reciclado 75% + suelo natural 25%	82.9%	71.4%

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

**Tabla 13.**
*Comparación del óptimo contenido de concreto reciclado al 0.2"*

Proporciones	C.B.R. (100% M.D.S. al 0.2")	C.B.R. (95% M.D.S. al 0.2")
Suelo natural	15.9%	11.9%
# 1 Concreto reciclado 10% + suelo natural 90%	24.5%	19.5%
# 2 Concreto reciclado 25% + suelo natural 75%	28.6%	26%
# 3 Concreto reciclado 50% + suelo natural 50%	42.9%	39.2%
# 4 Concreto reciclado 75% + suelo natural 25%	85.2%	78.1%

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

En base a los valores señalados, se puede determinar que el óptimo contenido de concreto reciclado que brinda la mejor resistencia a la capacidad portante del suelo es la que proporciona la mezcla de 75% de concreto reciclado + 25 % de suelo natural, tanto para valores al 0.1" y 0.2"

**Tabla 14.**
*Valores C.B.R. del óptimo contenido de concreto reciclado*

	C.B.R. (100% M.D.S. al 0.1")	C.B.R. (95% M.D.S. al 0.1")	C.B.R. (100% M.D.S. al 0.2")	C.B.R. (95% M.D.S. al 0.2")
Concreto reciclado				
75% + suelo natural 25%	82.9%	71.4%	85.2%	78.1%

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

## Resultados del objetivo específico 4

Respecto al objetivo específico 4, determinar in situ el grado de compactación del suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima a partir de los resultados hallados en laboratorio, se presentan los siguientes resultados:

Para el desarrollo del presente objetivo, se realizará el ensayo del Método del Cono de Arena para el control de la densidad de compactación en el lugar de origen de extracción del suelo, es decir, se pretende verificar in situ la idoneidad del uso del concreto reciclado en un suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima, proyectando ahora el estudio de su comportamiento en un ambiente real, es decir fuera de un laboratorio.

### *Preparación. -*

El suelo natural será previamente reemplazado con los mismos porcentajes de concreto reciclado, los cuales tienen la misma procedencia que el material analizado en el laboratorio. Se realizará una excavación de 15 cm de profundidad, la cual se utilizará para conformar una capa con nuevo material, es decir suelo con concreto reciclado. Se realizarán en 4 tramos, cada tramo será conformado por una mezcla diferente de suelo y concreto reciclado. Las muestras de suelo con 10, 25, 50 y 75% de concreto reciclado respectivamente serán ubicadas en orden decreciente para tener un mejor orden y control.

Una vez lista las dosificaciones del material se pasarán a ubicar cada mezcla, en su tramo correspondiente, adicionando el contenido de humedad que amerita a cada proporción.

Para lograr una compactación estable el personal del laboratorio empleó una máquina vibradora.

**Figura 12.**

*Preparación zona de ensayo*



Fuente: Elaboración propia. Junio,2021

### ***Método del Cono de Arena. -***

Este ensayo está basado en la normativa ASTM D 1556, siguiendo sus lineamientos se realizó lo siguiente:

La placa base del Cono de Arena se fijó en el espacio destinado a realizar el ensayo, se limpió el espacio para evitar material extra que no formaba parte del ensayo, luego se procedió a cavar en el sector, la profundidad a excavar fue de 15 cm.

El material que se retira se almacena en una bolsa para posteriormente pasar a pesarlo, para calcular la densidad.

Se coloca el cono de arena en el hueco de la placa, esta arena de densidad conocida nos va

a permitir mediante el cálculo correspondiente, obtener el volumen del hueco.

Se toma una muestra de la mezcla para obtener los valores de humedad del suelo, a modo de ejemplo el personal de laboratorio empleo el instrumento llamado Speedy por su rapidez para determinar el contenido de humedad.

### Figura 13

*Ensayo de densidad natural con el método del cono de arena*



Fuente: Elaboración propia. Junio,2021

En la siguiente tabla se señala los valores de grado de compactación obtenidos en el suelo por capa mezcla realizada.

Se demuestra que el concreto reciclado a mayor porcentaje de material, mejora el grado de compactación del suelo.

A partir de un suelo tratado con 50 % de material grueso reciclado se llega a un 95% de compactación.

**Tabla 15.**
*Método del cono de arena ASTM D1556 - Densidad Húmeda*

<b>Prueba N°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Adición de Concreto Reciclado		0%	10%	25%	50%	75%
Espesor		15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
Progresiva / Ubicación		Zona norte de Lima				
Peso Del Frasco + Arena	g	7982	7845	7895	7912	7824
Peso Del Frasco + Arena Que Queda	g	2045	2244	2612	2971	2982
Peso De Arena Empleada	g	5937	5601	5283	4941	4842
Peso De Arena En El Cono	g	1747	1747	1747	1747	1747
Peso De Arena En Excavación	g	4190	3854	3536	3194	3095
Densidad De La Arena	g/cm <sup>3</sup>	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41
Volumen De Material Extraído	cm <sup>3</sup>	2972	2733	2508	2265	2195
Peso Del Recipiente + Material Extraído	g	5212	5179	5234	5182	5237
Peso Del Recipiente	g	113	113	113	113	113
Peso Del Material Extraído	g	5099	5066	5121	5069	5124
Densidad Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	1.72	1.85	2.04	2.24	2.33

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio



**Tabla 16.**
*Máxima densidad seca - ASTM D1556*

<b>Prueba N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Adición de Concreto Reciclado	0%	10%	25%	50%	75%	
Lectura Corregida De Speedy (ASTM D4944-18)	11.2	10.5	8.9	9.1	8.5	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	1.543	1.677	1.875	2.051	2.151
Máxima Densidad Seca Proctor	g/cm <sup>3</sup>	1.845	1.867	1.978	2.139	2.178
Óptimo Contenido De Humedad Proctor	%	13.7	11.5	9.6	9.2	8.6

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

**Tabla 17.**
*Grado de compactación del suelo en campo - ASTM D1556*

<b>Prueba N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Adición de Concreto Reciclado	0%	10%	25%	50%	75%	
Grado De Compactación	%	83.64	89.84	94.80	95.89	98.78

Fuente: Elaboración propia. Basado en resultados del laboratorio

La hipótesis es favorable, al realizar el ensayo de verificación en campo el grado de compactación del suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima alcanzó un rango mayor al 90% de lo obtenido en laboratorio.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Discusión

En base a los estudios realizados por Guzmán y Ramírez (2019), en su tesis "Evaluación del comportamiento del residuo de demolición como material subbase", obtuvieron como resultado el CBR obtenido al 95% del Proctor Modificado fue del 38%, porcentaje que cumple con el requisito de resistencia de material para subbases clase B y C, es decir, para tránsitos medio y bajo, indicaron bajo este resultado que darle un nuevo uso a los materiales eliminados contribuye de gran manera a la sostenibilidad y rentabilidad que los productos en todo su ciclo deben cumplir. Estamos de acuerdo con esa premisa, pues en base a los resultados de este estudio al 95% de máxima densidad seca con el 0,1", se obtuvieron C.B.R mayores al 40.3% y 71.4%, lo que no solo sobre pasa el 30% que pide la norma para que una sub rasante sea considerada excelente, sino que ya se visualiza el material como conformación para capas sub base según nuestra normativa, lo que evidenciaría el buen uso de este material si se siguen continuando futuros estudios.

Respecto a los estudios de Velásquez (2018), en su tesis "Influencia del cemento Portland Tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la sub-rasante de la Avenida Dinamarca, sector La Molina", clasifico la muestra como un suelo arcilloso A – 7 – 6 (37) según AASHTO y como OH según SUCS. Con la adición de 5% de cemento su índice CBR se incrementó de 1.30% a 13.75% al 95% DSM. Pese a la adición de cemento, en los porcentajes indicados, el suelo presentó una plasticidad media y estuvo sujeto a cambios volumétricos, según su índice CBR, este se logró incrementar solo con añadidura de 4% de cemento. En base a esto podemos indicar que efectivamente los cambios que se producen en la mejora de C.B.R. son evidentes, en nuestro caso

el Índice de plasticidad del suelo de una zona norte de Lima presenta  $IP= 12.18$ , el cual se encuentra dentro del rango considerado como suelo de plasticidad media, en estas condiciones presenta un riesgo si se realiza trabajos de pavimentación, pues es considerado suelo arcilloso, es por eso que a partir de la primera combinación (10% concreto reciclado +90% de suelo natural) se mejoró la capacidad portante del suelo, pasando de regular a una condición buena según los valores de la normativa del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, de la misma forma al realizar el estudio in situ, quedo demostrado el grado de compactación superior a lo estimado en laboratorio.

Tomando en cuenta a Fernández (2017) mediante su tesis “Estabilización de sub rasante con material de demoliciones en Avenida Malecón Checa, San Juan de Lurigancho en el 2017”, expresó como objetivo la posibilidad de incrementar la estabilización de la capa sub rasante de la Av. Malecón, empleando material de demoliciones, determino estabilizar al 10%, 20% y 30% de cada material agregado, como es el caso el más crítico al 95% como mejor CBR de  $SN+20%=78.30\%$  DMS en el material de concreto, tomando como base el CBR del suelo natural. Sin embargo, todos los resultados si cumplen, aun teniendo resultados por debajo del valor de CBR del suelo natural, además de ello los resultados son óptimos y recomendable porque está en los rangos de resistencia de CBR, de acuerdo la tabla en mención del MTC. En nuestro caso el incremento de C.B.R. al 95 % de máxima densidad seca se da en un máximo valor de 82.9 % al 0.1”, en una combinación dada por 75% de concreto reciclado y 25 % de suelo del lugar escogido. El incremento del C.B.R. en ambos estudios puede deberse al origen del concreto reciclado, ya que la fuente de obtención es similar, en ambos casos los áridos reciclados obtenidos de trabajos

de construcción y demolición en general han sido parte de elementos estructurales como vigas y columnas. También cabe destacar que en campo el máximo grado de compactación obtenido fue de 98.78% para una añadidura del 75% de concreto reciclado.

## **Conclusiones**

En cuanto al desarrollo de los objetivos específicos se puede concluir lo siguiente:

De acuerdo al objetivo 1 “Identificar las características que presenta el suelo a nivel de sub rasante en estado natural con fines de pavimentación en la zona norte de Lima”, se identificaron las propiedades físicas del suelo extraído, a través de los ensayos de laboratorio propuestos por las normas internacionales ASTM. Se identificó contenido de humedad, Granulometría, Límites de consistencia y su respectiva Clasificación según SUCS y AASHTO según la normativa correspondiente; encontrándose un suelo predominante de arena arcilla de media plasticidad (SC), como lo indica la clasificación SUCS; en cambio en base a la clasificación AASHTO, la predominación del suelo es de tipo A-6(2)

También el ensayo de Proctor modificado y CBR, con un máximo de 8.0% al 95% de su máxima densidad seca y al 13.6% al 100% de su máxima densidad seca, ambos indicadores no superan al mínimo establecido de 30% para ser clasificado como una subrasante excelente por la normativa del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

De acuerdo al objetivo 2 “Identificar las características en el suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima al añadir concreto reciclado en diferentes proporciones” se identificaron las propiedades mecánicas mediante los ensayos de Proctor

modificado (ASTM D 1557) y CBR (ASTM D 1883) de la muestra de suelo extraída en combinación con las diferentes proporciones de concreto reciclado de 10% ,25%, 50% y 75%. Los resultados brindan amplias mejoras en cuanto al valor de la relación de soporte, los valores de C.B.R. fueron en ascenso tomando como referencia al 95% de máxima densidad seca con el 0,1". En forma ascendente los valores fueron: 17,1%, 24.3%, 40.3% y 71.4% y al % 100 de máxima densidad seca con el 0,1". los valores fueron: 23.1%, 27.1%, 44.3% y 82.9%

De acuerdo al objetivo 3 "Determinar el óptimo contenido de concreto reciclado que nos brinda la mejor resistencia a la capacidad portante del suelo a nivel de sub rasante con fines de pavimentación en la zona norte de Lima", se concluye que el porcentaje óptimo a añadir de concreto reciclado es de 50% , con esto se mejoran las propiedades de CBR del suelo con fines de pavimentación a un 44.3% de C.B.R. de máxima densidad seca al 0.1", ya que su valor supera al mínimo establecido de 30% para ser clasificado como una subrasante excelente por la normativa del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Con un 75% de concreto reciclado mejoramos ampliamente el valor de C.B.R. hasta un 82.9% lo que nos permite plantearnos la idea de poder con este porcentaje reemplazar también la sub base del pavimento.

De acuerdo al objetivo 4 "Determinar in situ el grado de compactación del suelo a nivel de subrasante con fines de pavimentación" se lograron determinar valores superiores al 90% de grado de compactación a partir de un 25% de concreto reciclado + 75% de suelo natural, superando ampliamente a los resultados obtenidos en laboratorio.

## Recomendaciones

Es importante conocer la procedencia de los áridos reciclados, por ejemplo, una variación en la densidad que se infiere es producto de los vacíos en las mezclas con mayor presencia de material reciclado, muchas veces ese factor determina el valor cuantificable que se toma al evaluar ciertas propiedades.

Teniendo en cuenta que el agregado reciclado grueso favoreció el incremento de la capacidad de soporte del suelo y lo hizo apto para ser usado como material para base y subbase de pavimentos, es recomendable realizar mayores estudios, llevando a la práctica los ensayos y diversificando su posible utilización a distintos tipos de suelo, con el fin de obtener un indicador real de su respuesta ante las diversas condiciones de lugar.

Como parte del seguimiento del estudio se recomienda a futuro realizar una investigación que tenga que ver con el ámbito económico respecto a alternativas tradicionales, empleándose como una alternativa para mitigar los efectos negativos que se presenta como resultados de las obras de construcción, llegando no solo a generar una disminución de la presencia de botaderos informales sino como alternativa para disminuir gastos generados en la producción de pavimentos, en base también de una evaluación a nivel económico.

## Implicancias

El presente estudio busca mejorar el comportamiento del suelo, considerando que en la zona norte de Lima predominan los suelos de arena arcillosa. Se trata de utilizar material reciclado a fin de que se contribuya en la protección del medio ambiente.

La demanda de materiales para fines de pavimentación es elevada y en base a lo señalado con el fin de mejorar un suelo a nivel de sub rasante, se busca a dar una solución al mejorar suelos con material reciclado para de esta forma evitar los sobre costos que la estructura de pavimentos demanda.

No se hallaron estudios que presenten en sus resultados, un ensayo de densidad en campo, por el método del cono de arena, por lo que no se pudo realizar contrastaciones con otras investigaciones, partiendo de características similares.

## REFERENCIAS

- Pacheco Bustos, Carlos Albeiro, Fuentes Pumarejo, Luis Guillermo, Sánchez Cotte, Édgar Humberto, & Rondón Quintana, Hugo Alexander. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 533-555. Retrieved November 15, 2020
- Broere, Peter. (2017). Use of recycled aggregate - The best road base material.
- Omary, S., Ghorbel, E., Wardeh, G. (2016). Relationships Between Recycled Concrete Aggregates Characteristics and Recycled Aggregates Concretes Properties. *Construction and Building Materials*, 108 (163,173), 163 – 174.
- Slattery, K., «Global Develments in the Aggregate Industry», *Global Aggregates Information, Network*, 2014.
- PMR, 2017. Estudio de mercado global sobre áridos de construcción: piedra triturada, Persistence Market Research, Nueva York, EE. UU., Pág. 235.
- B. Bedoya, "Propuesta para el manejo integral de los residuos de la construcción y la demolición caso de aplicación: Medellín", Bachelor Thesis, Facultad de ingeniería, Ingeniería Ambiental, Universidad de San Buenaventura, 2011.
- Silva, R.V., de Brito, J. and Dhir, R.K., Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. *Construction and Building Materials*, 105, pp. 400-415, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.171



- Won, J. and Cheng, J., Identifying potencial opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. Automatization in Construction, 2017. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.02.002
- Braja, M. Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015. Cuarta edición
- Marinković S. B., Malesev M., Ignjatović I. (2015). Life Cycle Assessment (LCA) of Concrete Made Using Recycled Concrete or Natural Aggregates. Universidad de Belgrado. República de Serbia.
- Fatta, D., Papadopoulos, A., Avramikos, E., Sgourou, E. Loizidou, M. (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece—an existing challenge. Resources, Conservation and Recycling, 40, 81–91.
- PASADÍN, A.M., Sensibilidad al agua y propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas en caliente, fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición, 2013.
- Chica-Osorio, L.M. and Beltrán-Montoya, J.M., Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso. DYNA, 85(206), pp. 338-347, September, 2018
- Ramírez R. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Editorial Produmedios.
- Robayo-Salazar, R.A., Matthey-Centeno, P.E., Silva-Urrego, Y.F., Burgos-Galindo, D.M. and Delvasto-Arjona, S., Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. Tecnura, pp.157-170, 2015.

- Courard, L., Mélanie Rondeux, & Frédéric Michel. (2020). Use of recycled fine aggregates from C&DW for unbound road sub-base. *Materials*, 13(13), doi:<http://dx.doi.org/10.3390/ma13132994>
- Huisa Huahuasoncco, E. W. (2015). Manejo de los residuos de la Construcción y Demoliciones para su reciclado y empleo en Construcciones de vías de la Ciudad de Juliaca.
- Machaca Mamani, E. B. (2018). Producción de agregado reciclado para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, año 2017
- Muñoz, Sebastián & Builes-Jaramillo, Alejandro & Zuluaga, Ubany & Puerta, Juan & Sánchez, Jhony & Cañola, Hernán. (2018). Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el Valle de Aburrá. Cuaderno Activa.
- Carrasco, S. (2009). Metodología de investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Lima: San Marcos.
- Franco Guzmán, C. A., & Serna Ramírez, J. A. (2019). Evaluación del comportamiento del residuo de demolición como material sub-base (Doctoral dissertation).
- Akbas, M., Yalcin Dayioglu, A., Hatipoglu, M., & Iyisan, R. (2020, August). Beneficial Use of Recycled Concrete Aggregate as Base and Subbase Material in Turkey. In *International Conference on Transportation and Development 2020* (pp. 226-236). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Perez Benedicto, J. (2011). Estudio experimental sobre propiedades mecánicas del hormigón reciclado con áridos procedentes de la no calidad en prefabricación. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.

- Taherkhani, H. (abril de 2015). Evaluation of the Physical Properties of Unbound Base Layer Containing Recycled Aggregates. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(4), 279-285.
- GUANIPA, M. Objetivos de investigación en las ciencias sociales. 2008. [en línea]. Disponible en: Consultado en mayo 2008.
- Tamayo, M. (2012) El Proceso de la Investigación Científica. México: Limusa, p. 148
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. Mc Graw-Hill Interamericana de México.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras:" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos"2014. Lima, Perú
- Cruz García, J. A., & Velázquez Yáñez, R. (2004). Concreto Reciclado. (Tesis de pregrado), Instituto Politécnico Nacional, México.
- Ortega, A. (2018). Enfoques de Investigación (Vol. 14). doi:[https://www.researchgate.net/profile/Alfredo\\_Otero\\_Ortega/publication/326905435\\_ENFOQUES\\_DE\\_INVESTIGACION\\_TABLA\\_DE\\_CONTENIDO\\_Contenido/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACIONTABLA-DE-CONTENIDO-Contenido.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alfredo_Otero_Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION_TABLA_DE_CONTENIDO_Contenido/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACIONTABLA-DE-CONTENIDO-Contenido.pdf)
- Otero, A. (2014). Ciudad intermedia, sustentabilidad urbana y ordenamiento territorial, Tesis. Universidad del Zulia, Maracaibo, República Bolivariana de Venezuela.
- Arias-Gómez, Jesús y Villasís-Keever, Miguel Ángel y Miranda Novales, María Guadalupe (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*,

63 (2), 201-206. [Fecha de Consulta 19 de Abril de 2021]. ISSN: 0002-5151. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>

- Roberto Hernández-Sampieri, F.-C. C.-L. (2017). Alcance de la Investigación (6 ed.). México: McGraw-Hill.
- Rojas, R. (2013). Guía para realizar investigaciones sociales (38 ed.). España: Plaza y Valdés.
- Tamayo, M. T. (2014). El proceso de la investigación científica (Sexta Edición ed.). México: Limusa Noriega Editores.
- Hurtado, Y. (2015). El Proyecto de investigación. (Octava Edición) Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Quirón – Sypal.
- OTZEN, T. & MANTEROLA C. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. Int. J. Morphol., 35(1):227-232, 2017.
- Villardón, J. (2014). Introducción a la inferencia estadística: muestreo y estimación puntual y por intervalos. España: Universidad de Salamanca. Recuperado de <http://biplot.usal.es/problemas/confianza/estimacion.htm>
- Sabino, Carlos. El proceso de investigación [en línea]. Revista Panamericana. [Fecha de consulta: 17 de mayo, 2021]
- Velásquez, C (2018). Influencia Del Cemento Portland Tipo I En La Estabilización Del Suelo Arcilloso De La Subrasante De La Avenida Dinamarca, Sector La Molina