



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Residuos de construcción y demolición para reducir los costos en el  
movimiento de tierras en carreteras

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Copitan Deudor, Javier Eulogio  
ORCID: 0000-0001-6211-4095

Espinoza Hilarion, Brayam Antony  
ORCID: 0000-0003-4494-580X

**ASESOR**

Arevalo Lay, Victor Eleuterio  
ORCID: 0000-0002-2518-8201

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Copitan Deudor, Javier Eulogio

DNI: 76530319

Espinoza Hilarion, Brayam Antony

DNI: 70804038

### **Datos de asesor**

Arevalo Lay, Victor Eleuterio

DNI: 04434662

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

#### **JURADO 2**

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

ORCID: 0000-0002-7722-8711

#### **JURADO 3**

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Dedicado para mis padres Iván y Violeta por su apoyo, comprensión, esfuerzo y amor. A mis hermanos(as) quienes en todo momento me brindaron su apoyo. A mi tía Eglantina en el cielo, por sus consejos y apoyo incondicional.

Espinoza Hilarión Brayam Antony.

Dedico esta tesis a mis padres Javier y Elizabeth que fueron la fuente de inspiración para seguir adelante y por su apoyo incondicional. A mi querida compañera Katherine por sus consejos y motivación en este camino.

Copitan Deudor Javier Eulogio

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento al Ingeniero Víctor Arévalo Lay por su apoyo y motivación para la elaboración y desarrollo de esta Tesis. También al Ingeniero Joaquín Tamara Rodríguez por su disposición y colaboración durante la elaboración de nuestra tesis.

Copitan Javier y Espinoza Brayam

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
1.1 Formulación y delimitación del problema .....	4
1.1.1 Problema general .....	7
1.1.2 Problemas específicos .....	7
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Importancia y justificación del estudio.....	7
1.3.1 Importancia .....	7
1.3.2 Justificación teórica .....	8
1.3.3 Justificación metodológica .....	8
1.3.4 Justificación práctica.....	8
1.3.5 Justificación social .....	8
1.4 Limitaciones del estudio .....	9
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Marco histórico .....	10
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema .....	11
2.2.1 Investigaciones internacionales .....	11
2.2.2 Investigaciones nacionales.....	14
2.3 Estructura teórica y científica .....	17
2.3.1 Residuos de Construcción y Demolición.....	17
2.3.2 Movimiento de Tierras.....	26
2.3.3 Costos.....	32
2.3.4 Marco Normativo.....	36
2.4 Definición de términos básicos.....	44
2.4.1 Movimiento de tierra .....	44
2.4.2 Terraplén .....	44
2.4.3 Mejoramiento.....	45
2.4.4 Afirmado.....	45

2.4.5	Sub rasante .....	45
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>		<b>46</b>
3.1	Hipótesis .....	46
3.1.1	Hipótesis general.....	46
3.1.2	Hipótesis específicas.....	46
3.2	Variables .....	46
3.2.1	Definición conceptual de variables.....	46
3.2.2	Operacionalización de variables .....	47
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE ESTUDIO .....</b>		<b>48</b>
4.1	Tipo y nivel.....	48
4.2	Diseño de investigación.....	48
4.2.1	Población .....	48
4.2.2	Muestra .....	48
4.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	49
4.3.1	Instrumento de recolección de datos.....	49
4.3.2	Métodos y técnicas.....	49
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>50</b>
5.1	Diagnostico aplicación de residuos de construcción en el Perú .....	50
5.1.1	Aspectos Teóricos.....	50
5.1.2	Aspecto Normativo .....	51
5.1.3	Experiencias.....	52
5.2	Resultados de la investigación.....	61
5.2.1	Aplicación de RCD en la estructura del terraplén y su incidencia en los costos.....	61
5.2.2	Tipos de residuos de construcción y demolición que son aplicables en los terraplenes y su incidencia en los costos .....	65
5.2.3	Comparación de costos del uso de RCD y material transportado en terraplenes.....	75
5.3	Análisis de resultados .....	79
5.3.1	Análisis de la aplicación de RCD en la estructura del terraplén y su incidencia en los costos.....	79
5.3.2	Análisis del tipo de RCD aplicables en los terraplenes y su incidencia en los costos .....	80

5.3.3	Análisis de la comparación de costos del uso de RCD y material transportado en terraplenes .....	85
5.4	Contrastación de hipótesis .....	86
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>90</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>91</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>
	<b>Anexo 1: Matriz de consistencia .....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El sector de los áridos en 2019 y perspectivas 2020 .....	5
Figura 2: % Reciclados de RCDs .....	10
Figura 3: Composición de los RCD en España.....	18
Figura 4: Ciclo de vida de la construcción .....	18
Figura 5: Uso de suelos en función de la zonificación del terraplén, según PG-3 .....	27
Figura 6: El desarrollo de los esfuerzos de acuerdo con la teoría de Boussinesq para carga puntual .....	30
Figura 7: El desarrollo de los esfuerzos de acuerdo con la teoría de Boussinesq para carga uniformemente distribuida.....	30
Figura 8: Medición de desempeño.....	33
Figura 9: Análisis de la utilidad.....	33
Figura 10: Costo de los productos y servicios .....	33
Figura 11: Factores que Intervienen en la Representación del Costo.....	34
Figura 12: Zonificación del relleno tipo terraplén de acuerdo al artículo 330 del PG-3.....	37
Figura 13: Propuesta metodológica para el uso de residuos de construcción en sub-bases y bases de carreteras secundarias y terciarias .....	50
Figura 14: Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024.....	51
Figura 15: Terraplenes con suelos marginales mediante.....	53
Figura 16: Viabilidad del uso de agregados reciclados mixtos no ligados de CDW sobre subrasante de arcilla expansiva en caminos rurales sin pavimentar. ....	56
Figura 17: Figura experimental de las 3 secciones .....	57
Figura 18: Distribución de tamaño de partículas .....	59
Figura 19: Sección hecha de RCD reciclado y pavimento hecho de agregado de cantera. ....	61
Figura 20: Ecuaciones empíricas de correlación entre valores del CBR y el módulo de elasticidad .....	62
Figura 21: Modelos de semi eje de cargas .....	63
Figura 22: Estructura del terraplén con RCD .....	64
Figura 23: Clasificación de los residuos de construcción y demolición.....	66
Figura 24: Procesos del tratamiento de los RCD en una planta de valorización .....	67
Figura 25: Estimación de composición de RCD.....	70
Figura 26: Sección transversal y dimensiones del campo. ....	71



Figura 27: Entrega de árido CDW a obra. ....	72
Figura 28: Ejecución de las bandas de prueba. ....	73
Figura 29: Esfuerzo máximo vertical vs Profundidad .....	79
Figura 30: Profundidad vs Esfuerzos.....	80
Figura 31: Proporción del agregado de RCD artificial satisfactoria.....	84
Figura 32: Composición RCD de viviendas. ....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de RCD en espacio público en el Perú .....	6
Tabla 2: Clasificación de los RCD generados por la demolición. ....	21
Tabla 3: Clasificación de los RCD generados por la construcción.....	21
Tabla 4: Densidad del AGR según diferentes autores. ....	23
Tabla 5: Absorción en áridos reciclados (AR) en comparación con áridos naturales (AN) según varios autores.....	24
Tabla 6: Desgaste Los Ángeles del agregado reciclado (AGR) según varios autores....	25
Tabla 7: Requisitos de los materiales. ....	27
Tabla 8: Terraplenes en carreteras según MTC. ....	27
Tabla 9: Clases de uso para rellenos según grado de exigencia técnica. ....	38
Tabla 10: Viabilidad de aplicación por categoría de árido y clase de uso.....	39
Tabla 11: Condiciones granulométricas para los áridos. ....	39
Tabla 12: Condiciones granulométricas adicionales para los áridos reciclados. ....	40
Tabla 13: Categorías de los áridos reciclados procedentes de RCD.....	40
Tabla 14: Resistencia a la fragmentación de los áridos reciclados. ....	40
Tabla 15: Plasticidad de los áridos reciclados. ....	41
Tabla 16: Calidad de los finos de los áridos reciclados.....	41
Tabla 17: Índice CBR de los áridos reciclados.....	42
Tabla 18: Asiento en ensayo de colapso de los áridos reciclados. ....	42
Tabla 19: Hinchamiento libre de los áridos reciclados.....	42
Tabla 20: Contenido en materia orgánica de los áridos reciclados.....	43
Tabla 21: Contenido de sales y yeso de los áridos reciclados .....	43
Tabla 22:Resumen de requisitos. ....	44
Tabla 23: : Operacionalización de variables.....	47
Tabla 24: Normativas Nacionales para los RCD. ....	52
Tabla 25: Artículos y Normas Internacionales para RCD .....	52
Tabla 26: Requisitos mínimos para el material INVIAS.....	54
Tabla 27: Recopilación de resultados de ensayos de laboratorio. ....	55
Tabla 28: Datos de las densidades. ....	55
Tabla 29: Propiedades físicas, mecánicas y químicas. ....	58
Tabla 30: Composición de áridos gruesos reciclados.....	59
Tabla 31: Modulo elástico en Mpa. ....	60

Tabla 32: Resultados de los esfuerzos máximo vertical a diferentes profundidades.....	63
Tabla 33: Comparación de esfuerzos verticales .....	64
Tabla 34: Presupuesto de obra para el tramo de una vía usando agregado natural y reciclado.....	65
Tabla 35: Opciones de aplicaciones para los RCD.....	67
Tabla 36: Composición de áridos gruesos reciclados.....	68
Tabla 37: Estimación cantidad de material para base.....	69
Tabla 38: Estimación cantidad de material para subbase.....	69
Tabla 39: Cantidad total de material reciclado.....	69
Tabla 40: Porcentaje de material aprovechado.....	70
Tabla 41: Características de diseño de las bandas de prueba con NFU.....	74
Tabla 42: Valores de los componentes según UNE EN 933-11 .....	74
Tabla 43: Fortalezas y debilidades sobre la utilización de los cuatro residuos en terraplenes.....	75
Tabla 44: Metrados de la conformación del terraplén con material de préstamo.....	76
Tabla 45: Análisis de precios unitarios del relleno compactado con material de préstamo.....	76
Tabla 46: Presupuesto de la conformación del terraplén.....	77
Tabla 47: Metrados de la conformación de terraplén con material de préstamo y reciclado.....	77
Tabla 48: Análisis de precios unitarios del relleno compactado con material reciclado.....	78
Tabla 49: Presupuesto de la conformación del terraplén con material reciclado.....	78
Tabla 50: Composiciones MRA-NS y MRA-S para 3 secciones .....	81
Tabla 51: Tipos de áridos reciclados mixtos considerados en el estudio del CEDEX ...	82
Tabla 52: % de cada RCD utilizado en el ensayo.....	83
Tabla 53: Resumen comparativo del presupuesto .....	86

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Esfuerzo vertical máxima admisible.....	31
Ecuación 2: Esfuerzo vertical mediante la teoría de Bussinesq.....	32

## RESUMEN

La presente tesis titulada como “Residuos de construcción y demolición para reducir los costos en el movimiento de tierras en carreteras”, tiene como objetivo determinar el uso de los residuos de construcción y demolición para reducir costos en el movimiento de tierra en carreteras. Se investigó el uso de RCD en la estructura de los terraplenes, estudiando los diferentes tipos de residuos y analizar en qué parte de la estructura es posible utilizarlos, para luego realizar una comparativa de costos respecto al uso del material convencional en terraplenes.

El modelo elástico de Boussinesq nos permitió conocer los esfuerzos verticales que actúan en la estructura del terraplén a diferentes profundidades, permitiéndonos conocer el posible uso de RCD en su estructura y como este influye en los costos. De acuerdo a otras investigaciones nacionales e internacionales también se pudo determinar qué tipo de RCD es posible usar y de qué manera incide en los costos, también se realizó la comparación de costos del uso de RCD y material convencional en base a datos de un proyecto de conformación de terraplenes.

Se concluyó que el uso de los RCD en movimiento de tierras no reduce los costos.

**Palabras claves:** Movimiento de tierras, Residuos de construcción y demolición, Costos, Presupuesto, Terraplenes, Carreteras

## **ABSTRACT**

This thesis entitled "Construction and demolition waste to reduce the costs of moving earth on roads", aims to determine the use of construction and demolition waste to reduce costs in moving earth on roads. The use of CDW in the structure of embankments was investigated, studying the different types of waste and analyzing in which part of the structure it is possible to use them, and then make a cost comparison with respect to the use of conventional material in embankments.

Boussinesq's elastic model allowed us to know the vertical stresses that act on the embankment structure at different depths, allowing us to know the possible use of CDW in its structure and how this influences costs. According to other national and international investigations, it was also possible to determine what type of CDW it is possible to use and how it affects costs. The cost comparison of the use of CDW and conventional material was also carried out based on data from a project of formation of embankments. It was concluded that the use of CDW in earthworks does not reduce costs.

**Keywords: Earthworks:** Construction and demolition waste, Costs, Embankments, Roads.

## INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad ambiental en la actualidad es un objetivo prioritario y que engloba todas las áreas de la ingeniería. Esta es protagonizada principalmente por la cantidad de población y directamente relacionada con el índice de crecimiento poblacional, debido a este aumento las personas necesitan lugares donde vivir y muchas de ellas, en especial en el Perú, donde según CAPECO más del 80% de viviendas son construcciones informales y estas generan residuos de construcción y demolición. Esta problemática es acompañada de la falta de gestión ya que la gran mayoría de estos residuos termina generando contaminación al suelo y agua, esto debido a que terminan siendo arrojados en laderas de ríos y de gran manera al ambiente.

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente en el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos detallaron el estudio del Banco Mundial, donde se estimó con cifras económicas la degradación ambiental, el agotamiento de los recursos naturales, los desastres naturales y los servicios ambientales inadecuados en 8.200 millones de soles, equivalente al 1% del PBI. De esta manera surge la necesidad de aprovechar el alto volumen de residuos de construcción y demolición, en proyectos que requieran rellenos como movimientos de tierras, ya que apoyaría en la nueva disposición de material para carreteras, ya que en algunos casos se puede justificar un precio menor al material convencional.

La presente investigación pretende extender el conocimiento sobre el uso de RCD en carreteras y como estas se puede aprovechar, volviéndola una opción distinta donde se pueda economizar el presupuesto, además es una buena forma de reutilizar la materia desecha o reciclada.

La tesis presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se muestran el planteamiento del problema y los objetivos de esta tesis, describiendo la delimitación y su justificación. En el capítulo II se desarrolló el marco teórico, tomando como referencia las investigaciones extranjeras y nacionales, las bases teóricas y las normas nacionales e internacionales. En el Capítulo III se plantean las Hipótesis general y específicas. En el capítulo IV se describe el tipo de metodologías de estudios, diseño de investigación, población y muestra. En el Capítulo V se muestran la presentación de resultados, los análisis de resultados y las contrataciones de Hipótesis.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Formulación y delimitación del problema

Actualmente, la industria constructiva es uno de los sectores que mayor residuo sólido genera a nivel mundial, por ende, afecta directamente al medio ambiente. Así mismo estos residuos de construcción o escombros de demolición son dispuestos en lugares inadecuados o son mal utilizados, provocando el agotamiento de varios recursos no renovables. Los principales problemas en el manejo de los RCD (residuos de construcción y demolición) es el destino de estas, principalmente por la falta de infraestructura conocida como rellenos sanitarios y los altos costos de disposición adecuada en los rellenos sanitarios. (Sevilla & Chinchilla, 2019) Esta problemática de residuos sólidos ha sido una constante preocupación para la Unión Europea (UE). “Debido a su investigación realizada en 2014, cuantificó la cantidad de toneladas a nivel mundial llegando a alcanzar los 2.503 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición” (Suárez, Molina, 2018, p.11). Esto conlleva a la adopción de medidas, en este caso mediante normativas de gestión de residuos; en el caso de España siendo el Real Decreto 105/2008. “Debido a esta normativa del año 2009 al 2013 la producción de RCD en España descendió en 56 %” (Garrido, 2016).

A España se le suma países como: Bélgica o Alemania que presentan una eficiente gestión de residuos sólidos. Por el lado contrario los países de la Unión Europea como: Dinamarca, Holanda y Reino Unido se han visto en la necesidad de mejorar su gestión sostenible. (Carlos, 2017)

De igual manera en América Latina se empieza a notar un marco legal. En países como Colombia que presenta normativas vigentes como resolución N°541 de 1994 o la 0115 de 2012 que regula el tratamiento o aprovechamiento de escombros en el distrito capital. De igual forma Brasil según la resolución N° 307/2002 considerando la política urbana menciona. “Árido reciclado: material granulado procedente del tratamiento de residuos de la construcción que posea características técnicas para aplicación en obras de edificación, infraestructura, rellenos sanitarios u otras obras de ingeniería” (Resolución CONAMA N°307,2002).



En la figura 1, comprenden estudios desde 1980 actualizado con proyección a 2022 se puede apreciar la estadística.



*Figura 1:* El sector de los áridos en 2019 y perspectivas 2020

Fuente: ANEFA, 2020

En el Perú acuerdo con el INEI (Instituto nacional de estadísticas e informática), informó que el sector construcción creció un 23,07% debido a un incremento en el consumo interno de cemento (21,8%) y la inversión pública en la construcción (25,52%). Entre las construcciones privadas, se destacan las obras en minas, proyectos de viviendas y oficinas, así como las obras destinadas a mejorar las condiciones de vida. El mayor avance en términos de construcciones reales se registró en las áreas de gobierno local (5,8%), regional (7, %) y nacional (5,5%). Por tipo de obra, se destacan la construcción, ampliación y remodelación de hospitales, clínicas, escuelas; prevención de riesgos; así como saneamiento e infraestructura vial. Carbajal (2018).

De acuerdo con los estudios realizados por la OEFA, SINIA, MINAM, SIGERSOL y MVCS:

Tabla 1:  
Cantidad de RCD en espacio público en el Perú

<b>REGIONES</b>	<b>CANTIDAD DE RCD (m3)</b>	<b>CANTIDAD DE PUNTOS</b>
<b>Amazonas</b>	66,535.0	22.0
<b>Áncash</b>	1,600,439.0	304.0
<b>Apurímac</b>	415.0	27.0
<b>Arequipa</b>	177,642.0	474.0
<b>Ayacucho</b>	6,698.0	65.0
<b>Cajamarca</b>	31,162.0	61.0
<b>Callao</b>	607,777.0	162.0
<b>Cusco</b>	72,923.0	88.0
<b>Huancavelica</b>	14,201.0	9.0
<b>Huánuco</b>	686.0	42.0
<b>Ica</b>	592,197.0	828.0
<b>Junín</b>	23,116.0	357.0
<b>La libertad</b>	145,465.0	745.0
<b>Lambayeque</b>	23,661.0	179.0
<b>Lima Metropolitana</b>	887,918.0	2,246.0
<b>Lima Provincias</b>	109,098.0	328.0
<b>Loreto</b>	164.0	12.0
<b>Madre de dios</b>	-	-
<b>Moquegua</b>	302,729.0	536.0
<b>Pasco</b>	198,632.0	182.0
<b>Piura</b>	38,995.0	746.0
<b>Puno</b>	2,487.0	81.0
<b>San Martín</b>	7,089.0	164.0
<b>Tacna</b>	128,730.0	969.0
<b>Tumbes</b>	7,508.0	31.0
<b>Ucayali</b>	965.0	151.0
<b>Total</b>	<b>5,047,232.0</b>	<b>8,809.0</b>

Fuente: MVCS (2015)

Se observó que las ciudades con más presencia de RCD son las regiones de Áncash seguido de Lima, el cual sumado a las falencias de aprovechamiento por la falta de lineamientos o pautas técnicas requeridas. Si bien existe un decreto supremo de vivienda en creado en el 2013, para el manejo de los residuos de construcción y demolición, no son los suficientemente bastas para aprovechar el volumen importante de residuos. Es por ello que la finalidad es buscar rehabilitar el uso de esos residuos sólidos para poder darles una segunda oportunidad en proyectos de ingeniería, así mismo esta reutilización índice directamente en el coste de obra

### 1.1.1 Problema general

¿En qué medida el uso de residuos de construcción y demolición inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras?

### 1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿En qué parte de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición para incidir en los costos de movimiento de tierra en carreteras?
- b) ¿Cuáles son los tipos de residuos de construcción y demolición que inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras?
- c) ¿Cuál es el costo del uso de residuos de construcción y demolición con los costos de terraplenes con material transportado?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Determinar el uso de los residuos de construcción y demolición para reducir costos en el movimiento de tierra en carreteras.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Describir en qué parte de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición para incidir en los costos de movimiento de tierra en carreteras.
- b) Determinar los tipos de residuos de construcción y demolición que inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras.
- c) Comparar el costo del uso de residuos de construcción y demolición con los costos de terraplenes con material transportado.

## 1.3 Importancia y justificación del estudio

### 1.3.1 Importancia

Diversos estudios realizados en el tema de residuos sólidos las aplican principalmente y para este estudio lo que aporta es un nuevo uso en terreno natural o terraplén de una carretera. Compartiendo lo dicho en el artículo según el PG-3 español. “Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este

artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto” (Santayana, 2020).

Para todo proyecto de ingeniería es muy importante el factor económico y social, sobre todo tratándose de una obra vial, ya que estos mueven la economía de un país. Para este estudio describe la construcción del terreno natural o terraplén reduciendo el impacto ambiente mediante la utilización de residuos de construcción y demolición, siendo esta una implementación sostenible. De igual forma se da una iniciativa para que otras investigaciones a futuro puedan ampliar y buscar nuevas formas de aprovechar los residuos solidos

#### 1.3.2 Justificación teórica

En distintos países vecinos como europeos existen normativas para el aprovechamiento de residuos sólidos y en Perú existen algunas que nos orientan, pero no al no ser tan aplicativo en el área de la ingeniería específicamente, como en este estudio, que busca la descripción de la utilización de las normativas extranjeras para utilizarlas en el movimiento de tierras aplicándolas en el cuerpo de un terraplén para optimizar los costos.

#### 1.3.3 Justificación metodológica

El estudio busca clasificar los residuos sólidos mediante sus características y propiedades, para así darle un uso.

#### 1.3.4 Justificación práctica

Este estudio pretende sugerir el uso de residuos de construcción y demolición para reducir el coste en movimientos de tierras para carreteras, se utilizarán en el cuerpo de un terraplén en reemplazo de material tradicional.

#### 1.3.5 Justificación social

Es relevante normalizar la utilización de residuos sólidos en distintos proyectos de ingeniería que contribuyan con la sociedad. De igual manera reducir el impacto ambiental que genera sobre las zonas aledañas y el suelo en la zona.

#### 1.4 Limitaciones del estudio

Una de las dificultades en la obtención de información fue en teoría de costos, debido a que no muchos autores profundizan más que del uso de los RCD, mas no en su importancia económica. De igual forma no se profundizan en la aplicación del cuerpo donde se ubica el terraplén o terreno natural; así mismo la normativa de residuos sólidos no se encuentra lo suficientemente desarrollada para describir un método específico.

Otro limitante sería el acceso a los vertederos, playas o ex canteras donde se arrojan estos residuos al ser un sitio de privados no se es accesibles, o no es autorizando por la municipalidad de Lima y Callao.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

Los Cuando se inició la segunda guerra mundial en 1945 empezaron los problemas con los residuos sólidos, siendo los siguientes factores los que dieron inicio a disparar la cantidad de residuos sólidos. Esto porque todos los ataques de bombardeos crearon montañas de escombros en varias de la ciudad de Europa, por otro lado, las maquinarias pesadas y modernas, por la capacidad de mover grandes volúmenes con poco esfuerzo, crearon grandes vertederos de escombros. Varios de estos eran reaprovechados pero el volumen era tan grande pero no se pudo acabar, esto dio origen a los que hoy llamamos vertederos. (Santos, Monercillo & Garcías,2014, p.11).

De acuerdo con lo que explica en su tesis Bolívar y Coronado (2018), un análisis de la Unión Europea, realizado en el 2013, concluyó que Holanda es el primer puesto siendo el país que más recicla residuos sólidos, y Bélgica consecutivamente ocupa el segundo lugar con un porcentaje de 87 %. Este estudio brinda un dato curioso como el que Alemania es el país que más promueve e impulsa normas de reutilización de RCD, pero solo recicla un 17 %.

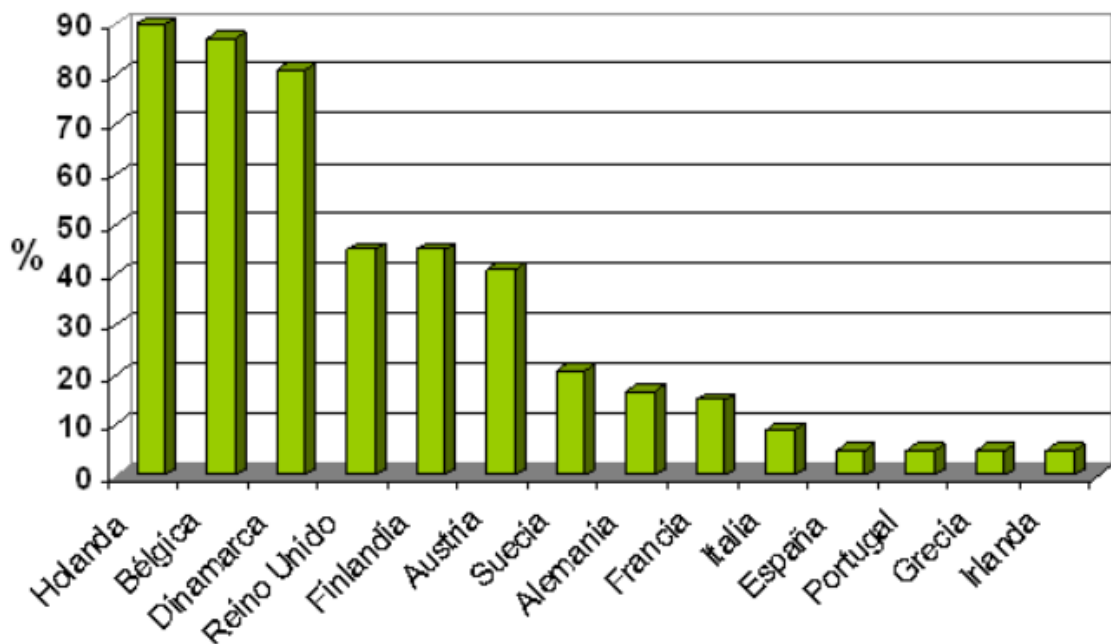


Figura 2: % Reciclados de RCDs

Fuente: Junta de Andalucía, 2014

En el mundo los países que más generan residuos de construcción y demolición (RCD) por el crecimiento en el urbanismo y los distintos proyectos de renovación, estimándose según estudio 2.3 billones de toneladas RCD en China, 800 millones en toda la Unión Europea y 700 millones en Estados Unidos. Aumentando la cantidad de políticas que busquen mitigar el impacto ocasionado. (Agudelo, 2022, p.178)

De acuerdo con la máster Flores. (2020), en su trabajo de tesis, explica que después de más de 20 años de haber promulgado una ley de residuos sólidos, el Perú aún seguía sufriendo de la falta de gestión de estos. Según el Sistema nacional de información ambiental (SINIA) y el sistema de información de gestión de residuos sólidos en el año 2008 hasta el 2018 se generaron más de 7 millones de toneladas en residuos sólidos municipales

## 2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

### 2.2.1 Investigaciones internacionales

Riveros & Rojas (2019) en la presente investigación tiene como objetivo: Plantear una propuesta metodológica a partir de la factibilidad técnica, comercial y económica sobre el uso de los residuos de construcción en la subbase y base de carreteras de segundo y tercer orden. El proyecto tuvo como delimitación del caso desarrollado en Sopo, Cundinamarca, en cual consistió en determinar si los residuos sólidos podrían ser usados en la construcción de bases o sub bases. En cuanto a la factibilidad técnica, se determina en base a los resultados obtenidos de la recopilación de información debido a que no se han realizado pruebas de laboratorio para determinar el comportamiento de los residuos de construcción, el examen comercial se limita a analizar la oferta de residuos y la demanda. para los materiales de construcción de la vía y para determinar la viabilidad económica, teniendo en cuenta únicamente la comparación entre el presupuesto de la vía a construir con materiales convencionales y los presupuestos de la vía utilizando residuos de construcción como porcentaje de materiales granulares. La investigación concluye que acuerdo con la investigación básica realizada, se ha demostrado que los residuos de construcción son aptos para su uso en la construcción de carreteras, eliminan los residuos antes mencionados en la estructura granular del pavimento (base y subbase), conservan las mismas propiedades mecánicas que los materiales convencionales e incluso, deformación reducida en las capas

superiores. En cuanto al análisis económico se evidenció que utilizando los RC en la construcción de carreteras se logra una reducción de cerca del 12% en relación al costo de la una vía construida con materiales convencionales.

Jiménez & García (2016) manifiestan en su investigación que el objetivo planteo, generar un procedimiento técnico para que permita establecer directrices para el uso óptimo del RAP en proyecto viales urbanos. En el presente trabajo se realizó una revisión de la Normativa IDU, en cuanto a desarrollo de las actividades, diseño de mezclas, extensión y compactación de materiales y actividades de curado entre otros. Dar pasos para desarrollar una fórmula de trabajo y diseñar una mezcla para reutilizar o reciclar el betún o capa bituminosa, dependiendo del uso final programado del material. en este trabajo de grado, se propone el planteamiento para la ejecución de ensayos de laboratorio tales como: Clasificación granulometría y límites de Atteberg, ensayos de extracción sobre asfalto para determinar el porcentaje de asfalto residual, ensayos de resistencia a la compresión simple. El presente estudio no tiene como alcance la ejecución de ensayos de laboratorio, sino su planteamiento de ejecución y análisis. El estudio concluye en para un aprovechamiento óptimo del RCD RAP, es necesaria la actualización del Código Técnico de Construcción y Conservación de Materiales Administrados en el Condado, ya que las especificaciones actuales están orientadas fundamentalmente al uso de materiales nuevos o regulares. Como lo son las etapas de pre factibilidad, factibilidad, estudios y diseños, construcción y conservación de pavimento; lo anterior con el fin de optimizar su reutilización, dando la posibilidad de reutilizar estos materiales, obteniéndose beneficios desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Harloff (2020) con su investigación sobre seguimiento y control de calidad a la construcción de terraplenes con suelos marginales tiene como objetivo el seguimiento y control de calidad a la construcción de terraplenes con suelos marginales mediante la aplicación de la especificación particular para la concesión "Vías del Nus". SP Ingenieros forma parte de la franquicia de calles "Vías del Nus". Para desarrollar sus cualidades como constructor, optó por utilizar los materiales existentes a lo largo de la disposición geométrica del proyecto para formar los terraplenes necesarios, utilizando la especificación técnica Técnicas específicas desarrolladas por los ingenieros de BASA y



políticas aplicadas de desarrollo sostenible, reduciendo los impactos ambientales con proyectos. en el área. El control de calidad estructural de los terraplenes con materiales de contorno comienza con su clasificación y caracterización, demostrando la viabilidad técnica del futuro relleno en campo. En esta etapa se verifica la humedad y el porcentaje de compactación, comparando la unidad de masa obtenida por el ensayo rotatorio de laboratorio y la unidad de masa obtenida por el ensayo de cono de arena in situ, para seguir liberando la clase permitida. la formación del siguiente. Concluyendo que en el uso de suelos marginales en la formación de terraplenes se realizan en laboratorio tasas de compactación superiores al 95 % del supervisor obteniéndose una alta densidad máxima, por lo que este método puede comenzar a ser utilizado con mayor frecuencia en nuestro territorio, por lo que menos, para formar el núcleo del terraplén se requiere de materiales con las propiedades mínimas permisibles, de esta manera se comenzaron a adoptar políticas de desarrollo sostenible generando el menor impacto posible, evitando el uso de canteras y vertederos como materiales que provocan cambios negativos en los alrededores. suministros de agua, aportando una gran cantidad de sedimentos.

Suárez Y. (2018), de acuerdo con sus tesis doctor teniendo como objetivo la optimización de la compensación del movimiento de tierra en obras lineales utilizando como prioridades la sostenibilidad ambiental, económica y velar por el interés social. En esta investigación la autora toma como ejemplo la Autovía ruta de la plata A-66 donde se estudió 3 tramos para realizar los cálculos de compensación con métodos tradicionales y utilizando el método ICom.

Detalla que, para poder asignar a los suelos, estos de deben clasificar según el artículo del PG-03 en la cual, detalla las prescripciones complementarias que deben poseer los suelos tolerables, marginales para ser considerados. Concluyendo que para los movimientos de tierra la clasificación de los materiales se debe tener en cuenta el cumplimiento de la normativa para la selección en construcciones de carreteras y así mismo poder emplearlos en distintos tipos de rellenos. Además, esta práctica ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así mismo decrece el número de vertederos, generando menor volumen de residuos.

Garrido L. (2015), con su investigación de tesis sobre el contexto de construcción sostenible y teniendo en cuenta la problemática cada vez mayor de encontrar más recursos naturales, así como el aumento de vertederos de residuos, tiene como objetivo es estudiar los materiales reciclados de residuos de construcción y demolición. Concluyendo en que es viable técnicamente la utilización de los reciclados RCD y zahorras en construcción de carreteras, pero siempre bajo unos controles de niveles óptimos.

### 2.2.2 Investigaciones nacionales

Se recapitulo las investigaciones presentadas por los investigadores nacionales para entender y darle contexto a la problemática de nuestra investigación.

Díaz & Linares J (2021) en su investigación, en la ciudad de Moyobamba. se estudió los efectos generados por los áridos reciclados como estabilizador de suelos arena limosa, esta investigación tiene como objetivo estabilizar la subrasante incorporando áridos gruesos reciclados, el cual contempla extraer muestras de 02 calicatas a una profundidad de 1.50m, ubicadas de forma no probabilística por conveniencia en la circunvalación Edmundo del Águila, para luego realizar los ensayos de laboratorio pertinentes tales como la granulometría por tamizado, el contenido de humedad, los límites de atterberg, Proctor modificado y CBR, con el fin de obtener las propiedades físicas y mecánicas del suelo, adicionándole áridos reciclados en los porcentajes de 10%, 15% y 20% respecto al peso de la muestra. Finalmente concluyeron que es posible estabilizar la subrasante adicionando áridos gruesos reciclados y recomendaron para futuras investigaciones, la adición de un ligante el cual permita obtener buenos resultados en combinación con los áridos gruesos reciclados.

Bazán (2018) en su investigación se basó en el análisis de resultados sobre un estudio de las características de los residuos de construcción y demolición (RCD) de una edificación y un puerto. En primer lugar, se realizó en la construcción del edificio Clement, ubicado en Lima y el otro en la remodelación del terminal muelle del Callao. Esto con el objetivo de conocer la composición, cantidades, volúmenes, características, densidades y la gestión de los residuos, que realizan los constructores. Para cumplir con el objetivo que se propuso, empleó como fuente principal de datos, los manifiestos de

disposición de residuos y para el control de la incertidumbre de los datos declarados, diseñó una muestra, bajo el modelo “aleatorio simple” y en base a los resultados obtenidos discutió la razonabilidad de las diferentes proporciones, tipos o clases de residuos. Luego, realizó la comparación de ambos casos de estudio, estableciendo volúmenes y proporciones de los residuos que se generaron en la construcción de ambos proyectos, cuyos resultados fueron controlados estadísticamente. Finalmente, elaboró una matriz de impacto para la evaluación del impacto ambiental, social y económico que ocasionaron los residuos de cada proyecto.

Escalante & Tito (2021) en su investigación siguieron la metodología de tipo descriptivo. La población usada en esta investigación son el concreto reciclado en suelos arcillosos mejorando la estabilización de suelos de baja calidad. La técnica será la recolección de datos mediante fichas bibliográficas, libros del tema, programas relacionados al tema (Excel, Método AASHTO), métodos de investigación, casos registrados en Perú y a nivel internacional, estudios previos que tiene relación a la variable de la investigación, indicaron lo siguiente: Esta investigación tiene como finalidad, estabilizar suelos arcillosos con concreto reciclado en la vía vecinal Empalme LO-103 hasta el centro poblado de Santo Tomás, Loreto (00+000Km hasta 6+500Km). Para estabilizar un suelo arcilloso de baja estabilidad, tuvieron que encontrar el porcentaje óptimo del concreto reciclado recolectando toda la información relacionada con el tema, una vez teniendo la base de datos del CBR de cada investigación procedieron a analizar uno por uno y ver como varía el CBR natural con el CBR mejorado (estabilizado con concreto reciclado); por lo tanto, escogieron el porcentaje óptimo con que trabajaron esta tesis. Una vez hallado el porcentaje óptimo y el CBR estabilizado, procedieron a hallar los nuevos espesores de la estructura del pavimento flexible e hicieron una comparación con el expediente técnico para verificar en cuanto había variado, este desarrollo se utilizó bajo la Metodología AASHTO 1993. Luego procedieron a hacer un análisis comparativo de propuesta económica del pavimento flexible para diseños  $Tr=10$  años y  $Tr=20$  años, tanto de la consultora como la propuesta de investigación. Por último, realizaron un análisis comparativo financiero tanto del expediente técnico y de la propuesta

de la tesis de acuerdo a los espesores de la nueva estructura del pavimento flexible.

Barahona (2021), en su investigación realizada. La metodología de la investigación es de tipo aplicada. La población es la Avenida Universitaria, Los Olivos. La técnica es la de recolectar y analizar datos y presentarlos de forma conjunta, basándonos en el Manual de Carreteras EG-2013, indicó lo siguiente: Su investigación tiene como objetivo general realizar el diseño de una mezcla asfáltica con material reciclado, con el objetivo de optimizar costos en un tramo de la Avenida Universitaria, en el distrito de Los Olivos, departamento de Lima. Esto como consecuencia de los altos costos de ejecución y la sobreexplotación de recursos no renovables. Concluyó que el diseño de un nuevo pavimento mejorado cumple con las especificaciones establecidas para un pavimento convencional, añadiéndole materiales reciclados con la finalidad de cumplir sus respectivas especificaciones.

Balboa (2019) según su investigación sobre las 02 canteras ubicadas en tramo de la carretera (Cerro Blanco – Chasquitambo), los más utilizados en el Terraplén del afirmado de la vía. Las principales técnicas que se utilizó en este estudio fueron: Se ubicó las canteras de mayor volumen y explotados en la construcción de la carretera de penetración Cerro Blanco – Chasquitambo, se realizó calicatas en la parte donde existe mayor volumen de material afirmado con una profundidad de 02 metros por 01 metro de diámetro, se obtuvo muestra representativa de 150 kilos por única vez en una bolsa impermeable y formatos del laboratorio de mecánica de suelos. El objetivo de esta tesis fue determinar las fuentes de materiales de donde se extraen el material afirmado para mejoramientos de suelos, en el uso de terraplenes, agregados para rellenos, sub-base y base granular, agregados para tratamientos bituminosos y agregados para mezclas asfálticas. Para el mantenimiento rutinario del tramo de la carretera Cerro Blanco - Chasqui tambo. Además de determinar si los materiales de afirmado de las canteras Huaricanga y Chiquichanca eran o no aptos para el tipo de obra a emplear, en tal sentido determinó sus características físicas y mecánicas mediante la realización de los ensayos de laboratorio para la base, cuerpo y corona del terraplén. Concluye que las canteras de material afirmado de Huaricanga y Chiquiahuanca si cumplen con las normas técnicas peruanas, las normas ASTM y AASHT

## 2.3 Estructura teórica y científica

### 2.3.1 Residuos de Construcción y Demolición

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son considerados como materiales de desecho, producto de las actividades de construcción y demolición, de una edificación, obra civil y espacios públicos, además de ser considerados inertes no peligrosos y poseer alta posibilidad de ser reutilizados como materia prima de agregados para la fabricación de nuevos productos. (Manrique, 2020, p. 18).

Bazán I. (2018) considera a los materiales que se generan durante la ejecución de una obra civil, los cuales pueden variar en volumen, cantidad y proporción de acuerdo al tipo de proyecto que se realiza (renovación, construcción o ampliación).

Bazán (2018) explica sobre como los residuos se clasifica según su origen y naturaleza. Por origen, los residuos provienen del desbroce del terreno; por ejemplo, ramas de árboles, material excavado, residuos inertes de naturaleza rocosa, residuos de obras viales, como adoquines o asfalto, y residuos de reparaciones estructurales. Por otro lado, por su propia naturaleza, tenemos los residuos inertes, que no presentan riesgo de contaminar el agua, el suelo o el aire; Asimismo, pueden ser considerados residuos no peligrosos; Residuos domésticos y residuos especiales, como combustibles o sustancias peligrosas. (p. 7).

CEDEX. (2020) nos dice que los residuos proceden de la demolición de edificios o del vertido de materiales de construcción de obras de rehabilitación o urbanización de viviendas, comúnmente conocidos como escombros.

Flores (2020) establece que la composición de los residuos de construcción y demolición dependerá de las técnicas de construcción, el tipo de construcción, la ubicación y otros factores; es un poco difícil determinar su composición exacta, ya que pueden ir desde una mezcla muy simple, hasta mezclas muy complejas con diferentes materiales en su composición.

De acuerdo a estudios realizados por “el centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX) determinaron que en España el 75% de los residuos de construcción y demolición son compuestos de cerámicos,

hormigón, piedra, arena, grava y áridos; el resto de materiales representa el 25%” (Flores, 2020, p. 23).

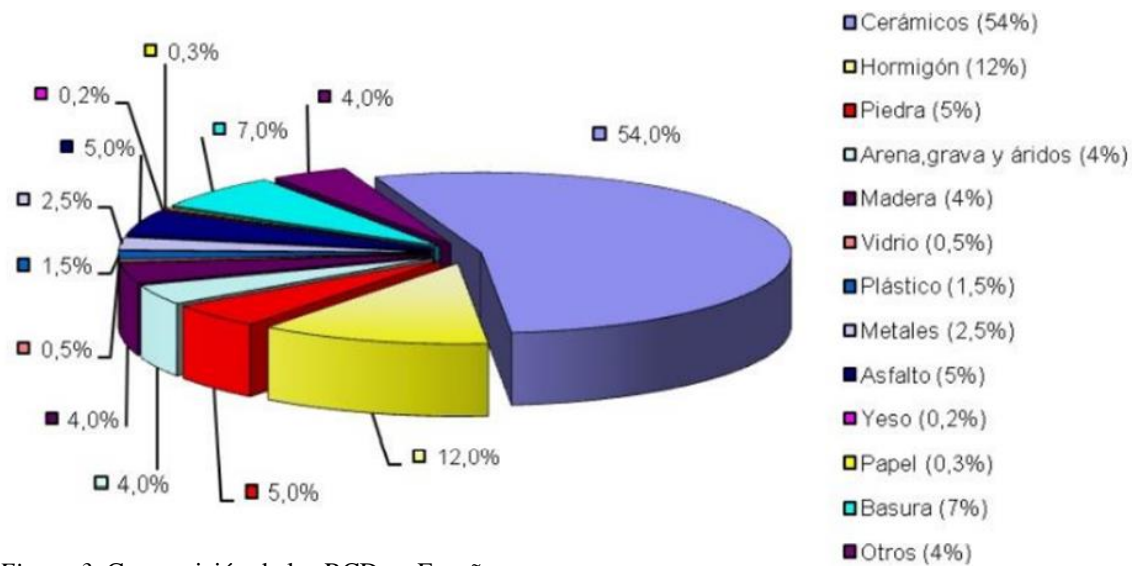


Figura 3: Composición de los RCD en España  
Fuente: CEDEX (2020)

Bazán I. (2018) nos muestra un diagrama que ilustra el ciclo de vida de la construcción, en el cual considera cinco fases: extracción de recursos, elaboración de productos, construcción y uso del edificio y, por último, su demolición.



Figura 4: Ciclo de vida de la construcción  
Fuente: Bazán (2018)

Burgos (2010), nos dice que los diferentes tipos de residuos que se generen en una obra dependerán de los materiales usados durante la etapa de su construcción. Y los clasifica así:

A) Según su peligrosidad

- Residuos peligrosos

Generalmente los residuos de construcción están formados por materiales con características específicas que los hacen potencialmente peligrosos. Estos pueden producir daños irreparables a la salud de las personas y a determinados ecosistemas.

Burgos (2010) nos dice que los residuos peligrosos generados en la construcción provienen del uso de insumos o sustancias peligrosas que, por diferentes motivos, se convierten en residuos. Este tipo de residuos necesita un tratamiento especial con el único fin de aislarlos y facilitar así un tratamiento específico o disposición controlada. En general, se considera residuo peligroso si tiene una o más de las siguientes características:

- Reactividad

Se considera como residuo con reactividad si es inestable bajo condiciones normales. “Esto es, que pueda causar explosión, humos tóxicos, gases o vapores cuando se combina con el agua. Un ejemplo claro de este tipo de residuos son las baterías de sulfato de litio y los explosivos” (Burgos, 2010, p. 7).

- Toxicidad

Llamamos “residuo tóxico cuando genera efectos nocivos sobre los seres vivos por contacto físico, ingestión o inhalación” (Burgos, 2010, p. 7). Como ejemplo están los compuestos o productos que contienen plomo y mercurio.

- Inflamabilidad

Se considera “residuo inflamable si genera fuego (entra en combustión) bajo algunas condiciones o en forma espontánea. Ejemplos: aceites residuales y solventes” (Burgos, 2010, p. 7).

- Corrosividad

“Se considera como residuos corrosivos a los ácidos o bases que están en la capacidad de corroer el metal de estanques,

almacenamiento y contenedores. Las baterías que contienen ácido son un ejemplo de residuos corrosivos” (Burgos, 2010, p. 7).

- Residuos no peligrosos

Burgos (2010) considera a aquellos residuos que pueden ser acondicionados en el mismo entorno que los residuos domésticos, estos pueden ser reciclables y ser utilizados nuevamente como parte de los materiales específicos de la construcción o de otros productos de la industria en general. (Ej.: Metales, maderas, plásticos, papeles y cartón).

- Residuos inertes

“Residuos que no presentan algún riesgo de contaminación de las aguas, de los suelos y del aire. En general están conformados por elementos minerales estables o inertes, en el sentido de que no son corrosivos, inflamables, tóxicos, reactivos, etc.” (Burgos, 2010, p. 9).

Burgos (2010) Muestra que puede ser reutilizado en la propia obra o reciclado en una planta de reciclaje de áridos mediante un proceso mecánico. (Ejemplos: ladrillos, tejas, baldosas, hormigón, mortero fraguado) Este tipo de residuos son principalmente residuos de construcción, demolición, modificación y reparación de pavimentos y otras infraestructuras incluyendo materiales de excavación y piezas cerámicas.

## B) Según su procedencia

Los RCD se derivan de la construcción, demolición de edificios, obra pública y urbanización, a partir de lo cual se pueden categorizar según las actividades de las que se derivan. Estos desechos resultan de la construcción o demolición de estructuras, reconstrucción de superficies, reparación de puentes y actividades de limpieza relacionadas con desastres naturales o provocados por el hombre, como terremotos, inundaciones y huracanes. Los residuos en esta categoría incluyen asfalto, yeso, baldosas, madera, metal y más. (Aneiros, 2008, p. 39-40).

- Demolición

“Son aquellos residuos producidos por actividades de desmontaje, desmantelamiento y derribo de edificaciones. También pueden ser



considerados los residuos originados por trabajos de reparación o de reacondicionamiento” (Burgos, 2010, p. 10).

Tabla 2:  
*Clasificación de los RCD generados por la demolición.*

<b>Objeto</b>	<b>Elementos principales</b>	<b>Consideraciones</b>
<b>Viviendas</b>	Antiguas: marroquinerías, ladrillo, madera, yeso, tejas Recientes: ladrillo hormigón, hierro, acero, metales y plásticos	Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo, en el caso de los servicios
<b>Otros edificios</b>	Industriales: hormigón, acero, ladrillo, mampostería. Servicios: hormigón, ladrillo, mampostería, hierro, madera	
<b>Obras públicas</b>	Mampostería, hierro, acero, madera, hormigón armado	Los materiales dependen mucho de la edad y del tipo de infraestructura demoler. No es una actividad frecuente

Fuente: Aneiros (2008)

- **Construcción**

Se considera a aquellos residuos que se originan en el proceso de ejecución de una obra, tanto de construcciones nuevas como de trabajos de reparación y reacondicionamiento, además se considera que “el origen de estos residuos es diverso: Los que se originan por la acción de construir, provenientes de los materiales sobrantes: Hormigones, morteros, cerámicas, despuntes de fierros etc.” (Burgos, 2010, p. 10).

Tabla 3:  
*Clasificación de los RCD generados por la construcción.*

<b>Objeto</b>	<b>Elementos principales</b>	<b>Consideraciones</b>
<b>Edificación y obras públicas</b>	Hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no férreos	Normalmente se reutilizan en gran parte
<b>Reparación y mantenimiento</b>	Suelo, roca, hormigón, productos, bituminosos	Originados básicamente por recortes, materiales
<b>Reconstrucción y rehabilitación</b>	Viviendas: Cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillos Otros: hormigón, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera	Generación de materiales poco significativos en caso de edificaciones

Fuente: Aneiros (2008)

## **Propiedades de los residuos de construcción y demolición**

CEDEX. (2020), las propiedades de los residuos de construcción y demolición varían considerablemente en función a su origen y composición. Debido a lo mencionado anteriormente, es importante y necesario diferenciar o separar los materiales que tienen su origen en la construcción y demolición de una edificación o estructura, de los que proceden de capas de firmes, ya que algunos de estos pueden ser peligrosos y conllevar a la contaminación de los demás materiales.

Flor, G. (2012) nos dice que las propiedades físicas y químicas, serán motivo de estudio, debido a que en la construcción de carreteras es necesario definir las para el correcto uso de los materiales a usarse.

### **A) Propiedades físicas de los residuos**

Estas propiedades nos permiten tener una idea de la calidad del residuo, generalmente se conocen sus características físicas mediante: color, olor, forma y tamaño del grano.

- **Granulometría**

Flor, G. (2012) define como la división del suelo o material en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas que la componen, considerando que estos tamaños deben estar comprendidos dentro de un rango, en forma correlativa para cada fracción, de modo que el máximo de una fracción sea el mínimo de la que le sigue correlativamente.

El tamaño de partícula del residuo está directamente relacionado con el tipo de trituración que ha recibido, y se puede estimar que su composición granulométrica es independiente del grado de resistencia del residuo que se obtiene.

- **Densidad**

Una de las propiedades físicas más diferentes de los agregados naturales es la densidad de la porosidad contenida en estos agregados. Después de la trituración, las piezas finas obtenidas contienen una gran cantidad de mortero, por lo que la densidad es la más baja.

Flor G. (2012), en la siguiente tabla 4 se muestra valores de densidades tanto del agregado natural (AGN) como del agregado reciclado (AGR)

de acuerdo a su tamaño, tipo de agregado, relación a/c o resistencia a la compresión del hormigón del cual se obtuvo el agregado reciclado (AGR), todo ello en base a diferentes investigaciones.

Tabla 4:  
Densidad del AGR según diferentes autores.

Referencia	Fracción (mm)	Densidad AGR	Densidad AGN	Tipo de AGR	Observaciones
Hansen y Narud, 1963	4-8	2,34; 2,35; 2,34	2,50	Calizo	Razón a/c 0,40; 0,70; 1,20 respectivamente
	8-16	2,45; 2,44; 2,42	2,62		
	16-32,0	2,48; 2,49; 2,48	2,61		
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	2,44; 2,46; 2,44	2,67	Granítico	Razón a/c: 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarajah et al, 1988	4,75-9,5	2,54	2,67	Granítico	f'c: 60 MPa.
	9,5-13,2	2,52			
	13,2-19,0	2,46			
	>19,9	2,47			
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0	2,41; 2,26	2,63	Calizo	f'c: 50 y 44 MPa, Respectivamente
Poon et al, 2004	4,75-10,0	2,33	2,62	Granítico	
	10,0-20,0	2,37	2,62		
Machado y Latterza, 1997	4,75-9,5	2,45	2,88	Basalto	f'c: 22 MPa; a/c: 0,68
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-20,0	2,49	2,72	Granítico	Laboratorio Planta
	6-20,0	2,41	2,72	Granítico	
Cuneo Simian y Duran, 1995	4,75-19,0	2,55	2,75	Granítico	a/c: 0,56
	4,75-19,0	2,45	2,65	Silíceo trit	
	4,75-19,0	2,66	2,98	Basalto	
Katz, 2003	2,36-9,5	2,35; 2,38; 2,32			AGR a edades 13 y 28 días
	9,5-25,0	2,59; 2,60; 2,55			

Fuente: Flor G. (2012)

Las características de los áridos naturales dependen principalmente de la característica de la roca, mientras que los áridos reciclados dependerán de la característica de la roca, así como también del mortero adherido al árido. La diferencia entre las densidades del árido natural con respecto al árido reciclado puede variar entre 5 a 15%.

- Absorción de agua

La absorción de los agregados reciclados es muy superior a la absorción del agregado natural, esto debido a la presencia del mortero que presenta dicho árido. En áridos naturales los valores de la absorción oscilan entre un 0 % y un 4 %, mientras que la absorción de los áridos reciclados va desde 3,5 % hasta un 13 %. Flor (2012)

La mayoría de autores indican que el tamaño del árido reciclado influye considerablemente sobre la propiedad de absorción, esto debido a que en fracciones más finas la absorción es mayor debido a la cantidad de mortero adherido en ellas es superior que en las fracciones más gruesas (Ver tabla 5).

Tabla 5:  
Absorción en áridos reciclados (AR) en comparación con áridos naturales (AN) según varios autores.

	4-8	8,5; 8,7; 8,7	3,70		Razón a/c
Hansen y Narud, 1983	8-16	5,0; 5,4; 5,7	1,8	Calizo	0,40; 0,70; 1,20
	16-32,0	3,8; 4,0; 3,7	0,8		respectivamente
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	5,4; 4,5; 4,7	0,3	Granítico	Razón a/c 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
	4,75-9,5	6,4			
Sri Ravindrarajah et al, 1988	9,5-13,2	5,5	0,35	Granítico	f c: 60 MPa.
	13,2-19,0	5,4			
	> 19,9	5,4			
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0	4,5; 8,1	2,0	Calizo	f c: 50 y 44 MPa, respectivamente
	4,75-25,0	3,6; 6,6	1,0		
Gómez et al, 2001	5-10,0	7,0	1,1	Calizo	
	10-20,0	6,0	0,9		
Poon et al, 2004	4,75-10,0	7,6	1,2	Granítico	
	10,0-20,0	6,3	1,2		
Buyle-B y Hadjieva-Z, 2002	6-20,0	6,0	0,2	Silíceo triturado	
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-20,0	5,0	0,5	Granítico	Laboratorio
	6-20,0	5,1	0,5	Granítico	Planta
	4,75-19,0	5,5	0,2	Granítico	
Cuneo Simian y Duran, 2002	4,75-19,0	6,8	0,8	Silíceo triturado	a/c: 0,56
	4,75-19,0	5,8	0,6	Basalto	
Katz, 2003	2,36-9,5	9,7; 8,1; 8,0			AGR a edades 1, 3 y 28 días
	9,5-25,0	3,7; 4,1; 4,9			
	4,75-10,0	4,6; 4,8; 5,0	0,3		f c: 34, 48, 55 MPa, respectivamente
Padmini et al, 2009	4,75-20,0	3,7; 4,1; 4,9	0,3	Granítico	
	4,75-40,0	2,2; 2,5; 2,8	0,3		

Fuente: Flor (2012)

- Resistencia al desgaste

Flor (2012) afirma: “este ensayo nos muestra una idea de la resistencia y tenacidad del agregado debido a la pérdida de peso del árido. En este ensayo el agregado es sometido a la abrasión entre partículas y al desgaste provocado por las esferas de fundición de hierro” (p. 47).

En la siguiente tabla 6 se muestra el desgaste del agregado reciclado en función al tamaño de la partícula, característica del hormigón de origen y tipo de agregado natural.

Tabla 6:  
*Desgaste Los Ángeles del agregado reciclado (AGR) según varios autores.*

Referencia	Fracción (mm)	Desgaste AGR	Desgaste AGN	Tipo de AGN	Observaciones
Hansen y Narud, 1983	4-8	30,1; 32,6; 41,4	25,9	Calizo	Razón a/c 0,40; 0,70; 1,20 respectivamente
	8-16	26,7; 29,2; 37,0	22,7		
	16-32	22,4; 25,4; 31,5	18,8		
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	37,2; 40,8; 40,8	18,1	Granítico	Razón a/c 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarajah et al, 1988	4,75-9,5	36,2	18,5	Granítico	f'c: 60 MPa.
	9,5-13,2	31,6			
	13,2-19,0	27,7			
	> 19,0	28,8			
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0	26,4; 41,7	22,9	Calizo	f'c: 50 y 44 MPa, respectivamente
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-25,0	28,7; 42,7	22,9	Granítico	Laboratorio Planta
	6-20,0	40,0	19,0		
Cuneo Simian y Duran, 1995	4,75-20,0	32,0	19,0	Granítico	a/c: 0,56
	4,75-19,0	29,2	22,0	Granítico	
	4,75-19,0	42,5	37,0	Silíceo trit	
Gómez et al, 2001	4,75-19,0	31,9	21,6	Basalto	
	5-10,0	29,9	21,2	Calizo	
Tabsh y Abdelfatah, 2009	10-20,0	33,4	21,6	Calizo	f'c: 50; 30 MPa, respectivamente
	4,75-25,0	28,0; 33,0	24,0		

Fuente: Flor G. (2012)

## B) Propiedades químicas de los residuos

Todos los materiales tienen la característica de deteriorarse por la acción del tiempo y de los agentes naturales o artificiales que los rodean. Esta acción hace que las propiedades iniciales del material vayan variando paulatinamente. Entre las causas de deterioro se destacan la acidez y la alcalinidad

- Acidez

Balboa (2019) afirma: “Se considera a la concentración de iones de hidrógeno en una solución, que se expresa con un valor en la escala del pH. Es la capacidad que posee una sustancia para liberar protones. Una

solución es ácida si la concentración de hidrógeno (H) es mayor que la de iones de hidróxido (OH)” (p. 21).

- Alcalinidad

Balboa (2019) afirma: “Se considera al contenido en iones de hidrógeno de una solución. Se consigna en el indicador de pH. Se opone a la acidez. Es la capacidad que posee una sustancia para neutralizar los ácidos al combinarse con ellos” (p. 21).

### 2.3.2 Movimiento de Tierras

Se denomina al “conjunto de operaciones que se realiza en los terrenos naturales con el propósito de modificar las formas de la naturaleza o de aportar agregados útiles a las obras viales, de minería o de la industria” (Cherné & Gonzáles, 2010, p. 10).

Esteve, P & Esteve, G (2008) afirma: “En el movimiento de tierras se considera dos tipos de movimientos, uno consiste cuando la tierra se excava y se retira del sitio donde estaba; y otro de terraplén el cual consiste en aportar tierra sobre el terreno natural” (p. 90).

#### A) Terraplén

Balboa (2019) considera a la escarificación, nivelación y compactación del terreno donde se colocará el terraplén nuevo, realizando previamente trabajos de desmonte, limpieza, drenaje, humedecimiento o secamiento, conformación y compactación de los materiales apropiados.

Yepes (2021) distingue el terraplén en tres partes o zonas; el cimient, formada por la zona del terraplén que está en la parte inferior de la superficie original del terreno, la que ha sido variada por el movimiento o retiro del material inadecuado. El núcleo, formada por la parte del terraplén comprendida entre el cimient y la coronación. coronación, parte superior del terraplén, construida generalmente con un espesor de treinta centímetros, salvo especificaciones indiquen un espesor diferente.

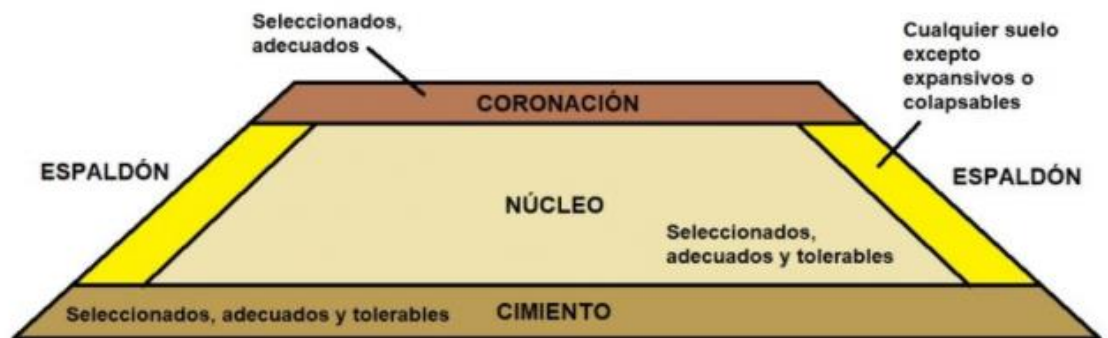


Figura 5: Uso de suelos en función de la zonificación del terraplén, según PG-3

Fuente: Yepes V. (2021)

Balboa (2019) Se recomienda que los materiales utilizados en la construcción de un terraplén cumplan con los requisitos que se dan en la siguiente tabla:

Tabla 7:  
Requisitos de los materiales.

CONDICIONES	Partes del terraplén		
	Base	Cuerpo	Corona
Tamaño máximo (cm)	15	10	7.5
% Máximo de fragmentos de roca > 7.62 cm	30	20	0
índice de plasticidad (%)	<11	<11	<10

Fuente: MTC (2015)

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los espesores máximos de cada estructura que conforma el terraplén son:

Tabla 8:  
Terraplenes en carreteras según MTC.

SITUACION	ESPEJOR MAXIÑO (cm)	CAPAS
Corona	30	Una
Cuerpo	30	Varias
Base	30	Varias

Fuente: MTC (2015)

## B) Fallas en terraplenes

A causa de muchos factores que influyen en su construcción son muy variadas las fallas en terraplenes, estos se pueden comportar de diferentes maneras. La geometría, el terreno de fundación, el agregado con el cual se construye y los procedimientos para llevar a cabo su materialización son agentes que intervienen y, sin las debidas precauciones, pueden ser el origen de un amplio espectro de fallas (Navarro, 2010).

Dicho esto, a continuación, los problemas más frecuentes con relación a la estabilidad de terraplenes.

- Erosión y deslizamientos locales

Son fallas locales por corte. Esto como el resultado del desplazamiento y grietas de tracción en la parte de la corona del terraplén. La principal causa de este fenómeno es la acción del agua superficial, el cual se infiltra en el material de relleno, produciendo algunos de los siguientes efectos: baja resistencia del suelo, exceso de peso de la masa de suelo, se genera la presión hidrostática y fuerzas de flujo, debilitamiento de la superficie resistente al corte por socavación (Navarro, 2010).

- Corrimientos en laderas

Navarro, G (2010) afirma: “Esta falla se produce debido a que durante la construcción del terraplén ocurre un debilitamiento en el plano de contacto entre el terraplén y el suelo natural, ocasionado por la acción del agua. Este tipo de fenómeno es específicamente en secciones mixtas (corte-terraplén), donde la sección de corte permanece estable” (p. 12).

- Densificación de los rellenos

Esta falla se da debido al acomodo de las partículas sólidas durante su largo tiempo de vida, aun después del post-proceso mecánico de compactación, ocasionando una deformación superficial de la rasante trayendo como consecuencia asentamientos diferenciales y agrietamientos. La magnitud de esta deformación dependerá de la altura del terraplén y del grado de compacidad inicial (Navarro, 2010).

- Asentamiento por consolidaciones

Cuando se le aplica una carga constante a un suelo compresible completamente saturada, este comienza a disminuir su volumen debido a la eliminación del agua comprendida en los vacíos y al reacomodo de sus partículas. Se distinguen dos fases: consolidación primaria, provocada por la disminución de volumen, por la expulsión del agua; consolidación secundaria, debido al reacomodo adicional de su estructura interna, el cambio de volumen después que la carga haya sido transferida del agua al suelo (Navarro, 2010).

- Flujo plástico o falla por corte



Navarro, G (2010) afirma: “Se presenta como una deformación continua, debido a la acción de un constante esfuerzo de corte. Esta falla se produce por una concentración de esfuerzos en una parte del suelo de fundación del terraplén que alcanza el valor del esfuerzo máximo de resistencia de corte del suelo” (p. 13). Cabe indicar que, a diferencia de la consolidación, la deformación se produce sin disminución de volumen.

- **Asentamiento dinámico y licuación**  
Los suelos sometidos a vibraciones, impactos, sismos, etc., suelen densificarse disminuyendo su volumen. Si estos suelos presentan baja permeabilidad, se dará el aumento de presión de la fase fluida, el cual puede aumentar hasta un nivel que iguale a la presión total, llegando a eliminar a presión de contacto entre los granos. En estas condiciones el suelo granular pierde completamente su capacidad de soporte (Navarro, 2010).
- **Cimentación de terraplenes en suelos inestables**  
Navarro, G (2010) afirma: “La construcción de una obra vial muchas veces exige el cruce por depósitos lacustres, terrenos coluviales o suelos orgánicos. Todos estos materiales presentan características de compresibilidad muy altos y su consistencia ofrece una resistencia al esfuerzo cortante muy baja, que los hace susceptibles a sufrir fuertes hundimientos o bien de fluir plásticamente” (p. 13).

### C) Modelo elástico – Boussinesq

Arroyo, A (2021) afirma: “La forma más sencilla de describir un sistema de pavimentos es la de un semiespacio. Boussinesq presentó un procedimiento para determinar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en un semiespacio elástico lineal homogéneo e isótropo” (p. 37). En la figura 6 podemos observar los esfuerzos que se aplican a un material

elástico, y los esfuerzos a una profundidad “z” bajo la superficie, sometido a una carga puntual.

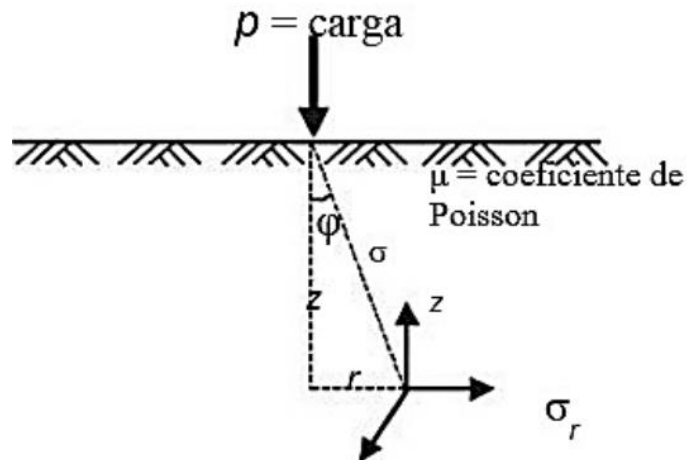


Figura 6: El desarrollo de los esfuerzos de acuerdo con la teoría de Boussinesq para carga puntual

Fuente: Arroyo A. (2021)

Al inicio, las ecuaciones de Boussinesq se realizaron para una carga puntual, pero a través de la integración se derivó las ecuaciones para una carga distribuida estática bajo un área circular (ver figura 7).

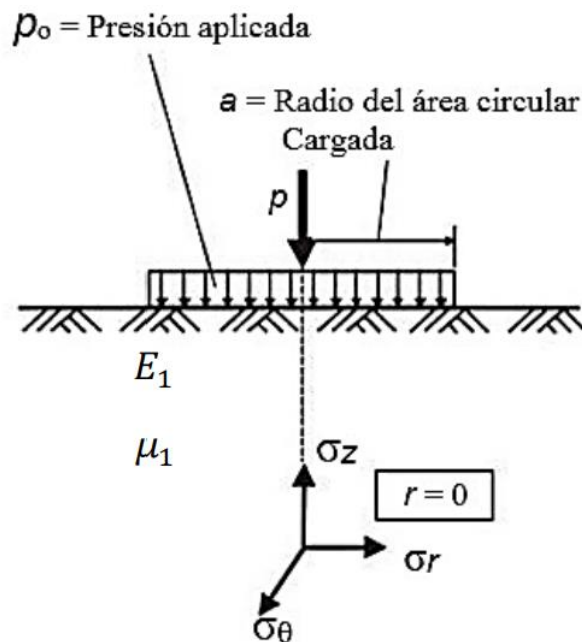


Figura 7: El desarrollo de los esfuerzos de acuerdo con la teoría de Boussinesq para carga uniformemente distribuida.

Fuente: Arroyo A. (2021)

D) Determinación de los espesores de mejoramiento según el modelo elástico de Boussinesq

Boussinesq propuso calcular los esfuerzos asumiendo que toda la estructura del pavimento y la subrasante en un sistema de una sola capa, así como un espacio elástico y homogéneo, el cual es sometido a un sistema de carga concentrada. En caso el esfuerzo máximo vertical es demasiado alto, se desarrolla una deformación excesiva en la fundación, a lo cual podríamos considerar como un causante principal de fallo en la estructura (Arroyo, 2021).

Este diseño se realiza, basado en el esfuerzo vertical y el esfuerzo vertical máximo admisible en el plano horizontal superior de la estructura, con el fin de limitar el fallo y reducir el esfuerzo a un nivel admisible.

- Esfuerzo vertical máximo admisible

Este esfuerzo vertical máxima admisible se determinará según el criterio de Dormon Kerhoven. Mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_{Zadm} = \frac{Cx E_1}{1 + 0.7x \log N} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$\sigma_{Zadm}$  : Esfuerzo vertical admisible (Kg/cm<sup>2</sup>)

N: Transito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño

$E_1$  : Módulo elástico (Kg/cm<sup>2</sup>)

C: 0.008 (Jeuffroy)

C: 0.007 (Dormon y Herhoven)

C: 0.006 (ACUM & FOX)

- Cálculo del esfuerzo máximo vertical (en el eje vertical)

Para calcular el esfuerzo vertical mediante la teoría de Bussinesq, se utilizará la siguiente ecuación:

$$\sigma_z = q \left\{ 1 - \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Z: Profundidad a la que se debe determinar el esfuerzo (cm)

q: Intensidad del esfuerzo superficial (Kg/cm<sup>2</sup>)

a: Radio de contacto equivalente de la carga superficial (cm)

Por lo tanto, al sustituir valores en la ecuación planteada por Boussinesq, obtendremos como resultado la profundidad requerida del mejoramiento en un sistema homogéneo.

### 2.3.3 Costos

Ruiz (2015) Muestra que para medir los costos es necesario tomar en cuenta el consumo de unidades físicas como técnica, horas de trabajo por persona y kilogramos de materia prima. El consumo físico económico se expresa en moneda.

Degollar (2012) refiere que la información de costos en los trabajos de Ingeniería Civil es usada para dos propósitos: brindar información para estimar el desarrollo de los trabajos en construcción y evaluar los costos de producto o servicio que la empresa pueda disponer o proveer a otros.

La información de costos se puede usar de las siguientes maneras: a. Medición de desempeño

Degollar (2012) refiere que se realiza haciendo la comparación de los costos actuales con aquellos que eran esperados (costos presupuestados) con el propósito de saber cuáles de ellos han sido controlados.

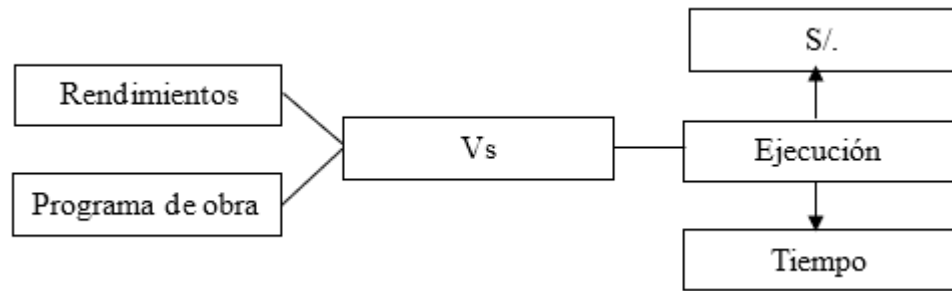


Figura 8: Medición de desempeño.

Fuente: Degollar D. (2012)

### Análisis de utilidades:

Degollar (2012) refiere que es necesario para evaluar la utilidad que genera un producto, para las actividades de movimiento de tierra la utilidad final se obtendrá comparando el costo programado y el costo ejecutado. Para toda empresa el único fin es el lucro, el cual se ve reflejado por medio de las utilidades que se obtiene en la ejecución de un proyecto.

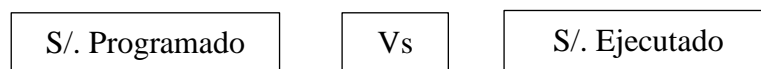


Figura 9: Análisis de la utilidad

Degollar D. (2012)

### Costo de los productos y servicios:

Degollar (2012) refiere que un sistema de costos debe calcular todos los costos que forman parte de las actividades de movimientos de tierras y de esa manera asignar a cada partida que integra dicha actividad. Dentro de ello se encuentran los costos indirectos y los costos directos.

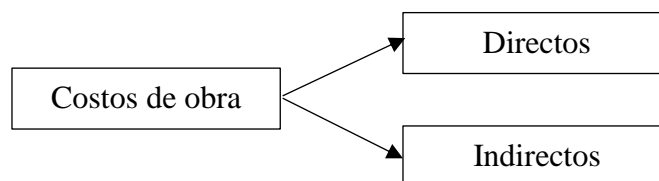


Figura 10: Costo de los productos y servicios

Fuente: Degollar D. (2012)

### Costo directo:

Ruiz (2015) Se puede observar que el costo directo corresponde a la ejecución de los siguientes proyectos: Materiales, mano de obra, herramientas, equipos, máquinas. El análisis de estos costos se realiza para cada ítem que conforma el proyecto.

El costo en movimiento de tierras está representado de la siguiente manera:

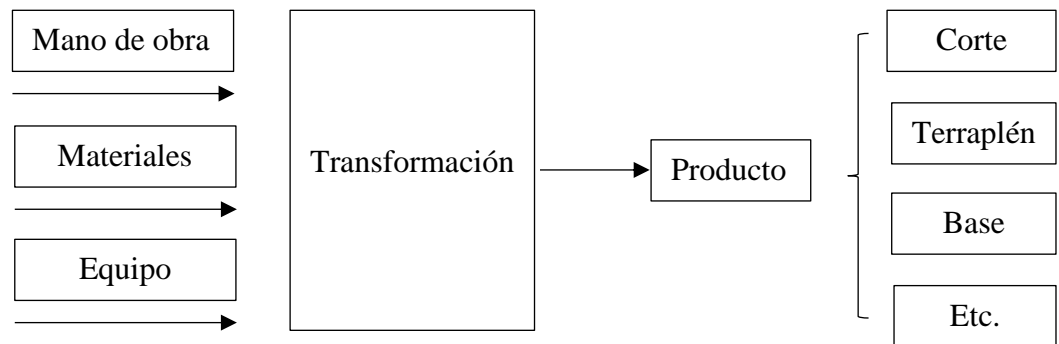


Figura 11: Factores que Intervienen en la Representación del Costo

Fuente: Degollar D. (2012)

A) Costo directo de mano de obra:

Ruiz (2015) menciona que se obtiene de la relación entre el costo de “hora – hombre” originado por la cuadrilla para una determinada partida; y el rendimiento de mano de obra se toma de publicaciones de “rendimientos de mano de obra” o de datos recolectados de trabajos anteriores.

Ruiz (2015) afirma que: “El rendimiento es la cantidad de que se obtiene cuando un grupo de personas capacitadas completa una jornada de trabajo. Este parámetro depende de numerosos factores como la edad del personal, su capacidad física, la habilidad natural y su experiencia, la ubicación geográfica de la obra, etc.” (p. 30).

B) El costo directo de los materiales

Ruiz (2015) afirma: “la cantidad que se requiere por unidad de medida. Este aporte de materiales se expresa en unidades de comercialización, por ejemplo, cemento (bolsas), arena(m3), los pisos (m2), asfalto RC-250 (gln), etc” (p. 30).

El cálculo se basa en la inspección directa de la obra y las especificaciones del sistema constructivo seleccionado, con resultados muy realistas. También utiliza datos teóricos para agregar y estimar un conjunto específico de residuales. Este desperdicio representa una cantidad adicional de material y generalmente se mide como un porcentaje.

C) El costo directo de equipos:

Ruiz G. (2015) afirma: El costo directo se expresa como el costo directo por hora de máquina dividido por la producción por hora de la máquina. El rendimiento depende de una variedad de factores, que incluyen: B.

Capacidades del operador, visibilidad del área de trabajo, accesibilidad del área de trabajo, pendientes del terreno, altura del área de trabajo y tipos de materiales a manejar, etc. (p. 31)

Los equipos inciden considerablemente en el costo de las carreteras, sobre todo en trabajos de movimiento de tierras, en referencia a ello se considerará las características del equipo como potencia, capacidad, modelo, etc. Ya que en base a esa información se determina el rendimiento diario (Degollar, 2012).

### **Productividad de Equipos de Movimientos de Tierras:**

Para conocer la productividad de cualquier equipo o maquina es necesario obtener y calcular los componentes que intervienen en ella, los cuales son generales para el análisis de rendimientos y análogo para cualquier tipo de trabajo que se realice (Degollar, 2012).

Los principales equipos que se usan en los trabajos de movimiento de tierras, son los siguientes: Tractor de oruga, camiones o volquetes, retroexcavadoras, cargador frontal, motoniveladoras y rodillos. Para conocer la productividad de estos es necesario conocer los siguientes factores de incidencia:

#### **A) Capacidad de la Maquina:**

Degollar (2012) afirma: “Lo primero es determinar la capacidad de la máquina, la cual se medirá por ciclo. ¿Cuánto cargaría o conduciría la maquina en cada ciclo? Para esta operación, es necesario conocer la capacidad indicada la cual puede hallarse en las especificaciones técnicas del equipo o maquinaria” (p. 26).

#### **B) Tiempo del Ciclo:**

Degollar (2012) afirma: “La segunda operación es determinar el tiempo del ciclo de la máquina, que normalmente se divide en los siguientes movimientos: extracción, carga, acarreo, maniobras, descarga y regreso. calculando el tiempo del ciclo, podemos hallar el número de ciclos por hora” (p. 26).

#### **C) Producción por Hora:**

Degollar (2012) afirma: “El tercer punto consiste en determinar la producción por hora mediante el producto de la carga por ciclo por el número de ciclos por hora. Con lo cual obtendremos una producción por

hora al 100% de eficiencia. Luego dicho resultado se multiplica por la eficiencia real en el trabajo” (p. 26).

D) Factores de Corrección:

Degollar (2012) afirma: “Estos factores se basan en la aptitud del operador, los métodos de producción, el tiempo atmosférico, el tránsito de vehículos y causa de fuerza mayor. Estos factores influyen en la productividad, emplear estos factores de corrección, tendrá gran influencia en el éxito de las operaciones” (p. 27).

#### 2.3.4 Marco Normativo

A) Normativa Peruana:

Para nuestro país existen algunos principios para el manejo y gestión de los residuos que se encuentran establecidos en la siguiente normatividad.

- Ley General del Ambiente 28611 (2013). Establece las normas básicas para garantizar el derecho a un medio ambiente sano y apropiado para el desarrollo de la vida, con el objeto de mejorar la calidad de vida de la población y desarrollar el país de manera sostenible.
- La Ley general de residuos sólidos 27314 (2000), las normas aprobadas por la Ley suprema establecen el derecho y la obligación de garantizar el manejo y manejo adecuado de los residuos sólidos, higiénicos y ambientalmente amigables.
- Ley 28245 (2004), La Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y su reglamento tienen por objeto asegurar el cumplimiento de los objetivos ambientales de las instituciones públicas. Mejorar los mecanismos intersectoriales en la gestión ambiental
- Ley N 27446 (2012), El objetivo es crear un sistema nacional de evaluación de impacto ambiental como un sistema único y coordinado para la detección temprana de posibles impactos ambientales negativos derivados del comportamiento humano expresado a través de proyectos de inversión.
- NTP 400.050 (2017), En lo que respecta a la gestión de residuos de construcción y demolición, el objetivo es dar pautas para la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición.



B) Normativa española:

En la década de los años 80 se llevaron a cabo, en el Laboratorio de Geotecnia del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), estudios bastante completos sobre la posibilidad de utilizar determinados residuos en terraplenes de carretera, por iniciativa de la propia Dirección General de Carreteras.

Los requisitos técnicos y medioambientales sobre el uso de los áridos reciclados se encuentran en las normas técnicas generales para los áridos naturales y artificiales. En particular, a nivel del Estado, hay que señalar las diversas órdenes del Ministerio de Fomento de actualización de los artículos del “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para las Obras de Carreteras y Puentes (PG3)”, que han incorporado la definición de “árido reciclado” además de incluir alguna prevención y limitación a su uso.

La versión vigente del PG-3, Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, es un documento con rango normativo de Orden Ministerial, en ella se actualizaron determinados artículos del pliego relativos a la construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones.

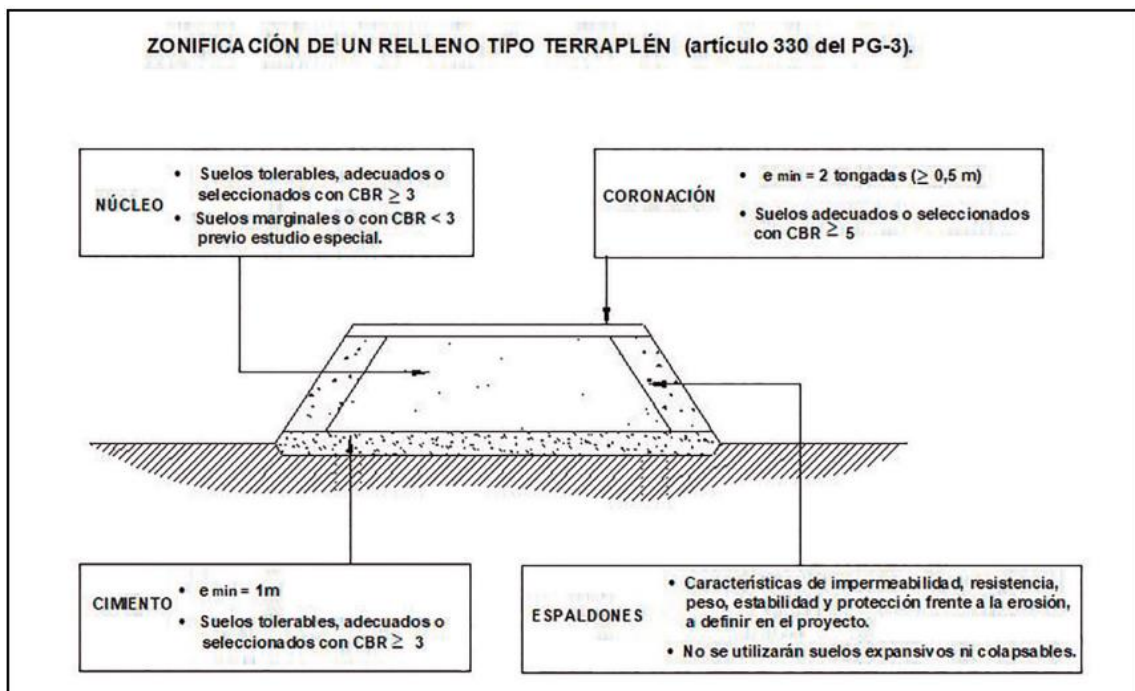


Figura 12: Zonificación del relleno tipo terraplén de acuerdo al artículo 330 del PG-3.

Fuente: Parrilla (2019)

De las cuatro zonas que conforman el terraplén (coronación, núcleo, espaldones y cimienta), es el núcleo la que demanda más volumen de material.

**La Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición (2018)**

Comprende un conjunto de propuestas de recomendaciones técnicas referidas a las aplicaciones de los residuos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) en España. El propósito de estas recomendaciones es la de presentar requisitos detallados que se deben cumplir para el uso de los áridos reciclados en las distintas aplicaciones recomendadas, y describir las condiciones de su aplicación y los controles de calidad que se deben establecer.

**Ámbito de aplicación.**

Aplicables a los áridos reciclados, los cuales serán utilizados como material granular en la construcción de terraplenes o rellenos.

**Categorías de áridos utilizables y clases de uso.**

Pueden utilizarse los siguientes áridos reciclados: Áridos Reciclados de Hormigón (ARH), Áridos Reciclados Mixtos de Hormigón (ARMh), Áridos Reciclados Mixtos Cerámicos (ARMc) y los Áridos Reciclados Mixtos con Asfalto (ARMa).

Estos áridos reciclados son divididas según su grado de exigencias técnicas en la siguiente tabla.

Tabla 9:  
*Clases de uso para rellenos según grado de exigencia técnica.*

Viabilidad de aplicación		Categoría del Árido Reciclado				
		ARH	ARMh	ARMc	ARMa	MI
Clases de uso	Clase 1	X	X	X	X	
	Clase 2	X	X	X	X	
	Clase 3	X	X	X	X	
	Clase 4	X	X	X	X	
	Clase 5	X	X	X		

Fuente: GEAR (2012)

En la tabla 10 muestran las categorías de áridos reciclados aptas para las aplicaciones según clase de uso, teniendo en cuenta las propiedades del material por cada categoría de áridos reciclados.

Tabla 10:  
Viabilidad de aplicación por categoría de árido y clase de uso.

Viabilidad de aplicación		Categoría del Árido Reciclado				
		ARH	ARMh	ARMc	ARMa	MI
Clases de uso	Clase 1	X	X	X	X	
	Clase 2	X	X	X	X	
	Clase 3	X	X	X	X	
	Clase 4	X	X	X	X	
	Clase 5	X	X	X		

Fuente: GEAR (2012)

#### a) Requisitos de los áridos

##### Granulometría

Tabla 11:  
Condiciones granulométricas para los áridos.

Clase / Aplicación	Granulometría - UNE 103101
Clase 1	Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE mayor del 70 por 100 por ciento ( # 20 > 70 %), según UNE 103101.
Clase 2	
Clase 3	Cernido, o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE mayor o igual del treinta y cinco por ciento ( # 0,080 ≥ 35 %), según UNE 103101.
Clase 4	
Clase 5	El tamaño máximo no será, en ningún caso, superior a 76 mm, y el cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,080 UNE no rebasará el 5 %

Fuente: GEAR (2012)

Tabla 12:

*Condiciones granulométricas adicionales para los áridos reciclados.*

Clase / Aplicación		Tamaño máximo	Cernido acumulado (% en masa)		
			2	0.4	0.08
Clase 1	Opción 1	≤ 100mm	-	≤ 15	-
	Opción 2	≤ 100mm	< 80	≤ 75	< 25
Clase 2		≤ 100mm	< 80		< 25

Fuente: GEAR (2012)

## Composición

Tabla 13:

*Categorías de los áridos reciclados procedentes de RCD.*

Categoría	Descripción	Cantidad de elementos (% del peso total)			
		Ru (Productos pétreos)	Rc (Hormigón y mortero)	Rb (Cerámico)	Ra (Asfalto)
ARH	Árido reciclado de hormigón	≥ 90%		≤ 10%	≤ 5%
ARMh	Árido reciclado mixto de hormigón	≥ 70%		≤ 30%	≤ 5%
ARMc	Árido reciclado mixto de cerámico	< 70%		> 30%	≤ 5%
ARMa	Árido reciclado mixto con asfalto	-		-	5%-30%

Fuente: GEAR (2012)

## Resistencia a la fragmentación

La resistencia a la fragmentación debe cumplir con las siguientes condiciones presentadas a continuación.

Tabla 14:

*Resistencia a la fragmentación de los áridos reciclados.*

Clase / Aplicación	Coeficiente Los Ángeles (%) - UNE-EN 1097-2	
	L1	L2
Clase 1	-	-
Clase 2	-	-
Clase 3	-	-
Clase 4	-	-
Clase 5	<40	<45

Fuente: GEAR (2012)

## Plasticidad

La plasticidad debe cumplir con las siguientes condiciones presentadas a continuacion

Tabla 15:  
*Plasticidad de los áridos reciclados.*

<b>Clase / Aplicación</b>	<b>Límite líquido - UNE 103103</b>	<b>Índice de Plasticidad - UNE 103104</b>
Clase 1	< 30	< 10
Clase 2	< 40	Si LL > 30, IP > 4
Clase 3	< 65	Si LL > 40, IP > 0.73(LL-20)
Clase 4	-	Si LL > 90, IP > 0.73(LL-20)
Clase 5	No plástico	No plástico

Fuente: GEAR (2012)

## Calidad de los finos

La calidad de los finos debe cumplir con las siguientes condiciones presentadas a continuacion

Tabla 16:  
*Calidad de los finos de los áridos reciclados.*

<b>Clase / Aplicación</b>	<b>Equivalente de arena (%) - UNE - EN 933 - 8</b>
Clase 1	-
Clase 2	-
Clase 3	-
Clase 4	-
Clase 5	> 30

Fuente: GEAR (2012)

## Índice de CBR

El índice CBR de los áridos debe cumplir las siguientes condiciones presentadas a continuacion.

Tabla 17:  
Índice CBR de los áridos reciclados.

Uso específico		Clase / Aplicación	CBR (%) - UNE 103502
Terraplenes	Núcleo	Todas las clases	> 3
	Cimiento		> 3
	Coronación		> 5
Rellenos localizados		Clase 1	> 10 ó
		Clase 2	> 20 (para trasdós de obra de fábrica)
		Clase 3	-
		Clase 4	-
		Clase 5	-
Explanadas		Clase 1	> 10 (*)(**) ó > 20 (*)(**)
		Clase 2	> 5 (*)(**)
		Clase 3	> 3(*)
		Clase 4	-
		Clase 5	-

Fuente: GEAR (2012)

### Asiento en ensayo de colapso

Se debe cumplir las condiciones presentadas en la siguiente tabla

Tabla 18:  
Asiento en ensayo de colapso de los áridos reciclados.

Clase / Aplicación	Asiento en ensayo de colapso (%) - NLT 254 (*)
Clase 1	-
Clase 2	-
Clase 3	< 1
Clase 4	-
Clase 5	-

Fuente: GEAR (2012)

### Hinchamiento libre

Se debe cumplir las siguientes condiciones presentadas a continuación

Tabla 19:  
Hinchamiento libre de los áridos reciclados.

Clase / Aplicación	Hinchamiento libre (%) - UNE 103601 (*)
Clase 1	-
Clase 2	-
Clase 3	< 3
Clase 4	< 5
Clase 5	-

Fuente: GEAR (2012)

### Contenido en materia orgánica

El contenido en materia orgánica de los áridos debe cumplir las siguientes condiciones presentadas a continuación.

Tabla 20:

*Contenido en materia orgánica de los áridos reciclados.*

Clase / Aplicación	Materia Orgánica (%) - UNE 103204
Clase 1	< 0,2 ó < 2, para árido ARMa
Clase 2	< 1 ó < 3, para árido ARMa
Clase 3	< 1 ó < 3, para árido ARMa
Clase 4	< 5
Clase 5	-

Fuente: GEAR (2012)

### Sales solubles y yeso

Las sales solubles y yeso de los áridos debe cumplir las siguientes condiciones presentadas a continuación.

Tabla 21:

*Contenido de sales y yeso de los áridos reciclados*

Clase / Aplicación	Sales solubles (%) - NLT 114	Yeso (%) - NLT 115
Clase 1	< 0,2 (sales y yeso) ó < 1, si contenido en yeso es < 1	
Clase 2	< 0,2 (sales y yeso) ó < 1, si contenido en yeso es < 2	
Clase 3	< 2	< 5
Clase 4		-
Clase 5		-

Fuente: GEAR (2012)

A continuación se presenta un resumen de los requisitos técnicos que deben cumplir los áridos reciclados para ser usados en terraplenes o rellenos.

## Resumen de los requisitos técnicos

Tabla 22:  
Resumen de requisitos.

Requisitos técnicos		Clase / Aplicación					
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	
<b>Granulometría</b>		Tabla 3	Tabla 3	Tabla 3	Tabla 3	Tabla 3	
<b>Composición</b>		Todas las categorías	Todas las categorías	Todas las categorías	Todas las categorías	Todas las categorías	
<b>Coefficiente de los Ángeles</b>		-	-	-	-	< 45	
<b>Límite líquido</b>		< 30	< 40	< 65	-	No plástico	
<b>Plasticidad</b>		< 10	Sí LL > 30, IP > 4	Sí LL > 40, IP > 0.73*(LL-20)	Sí LL > 40, IP > 0.73*(LL-20)	No plástico	
<b>Equivalente de arena</b>		-	-	-	-	> 30%	
<b>CBR</b>	<b>Terraplén</b>	<b>Núcleo</b>	> 3%	> 3%	> 3%	> 3%	-
		<b>Cimiento</b>	> 3%	> 3%	> 3%	> 3%	-
		<b>Coronación</b>	> 5%	> 5%	> 5%	> 5%	-
	<b>Rellenos localizados</b>	> 10% > 20% en el caso de trasdós de obra de fábrica	> 10% > 20% en el caso de trasdós de obra de fábrica	-	-	-	-
	<b>Explanada</b>	> 10% o > 20%	> 5%	> 3%	-	-	-
<b>Asiento en ensayo de colapso</b>		-	-	< 1%	-	-	
<b>Hinchamiento libre</b>		-	-	< 3%	< 5%	-	
<b>Compuestos solubles en agua</b>		< 0,2 % (incl. Yeso) <1% si yeso <1%	< 0,2 % (incl. Yeso) <1% si yeso <1%	<2 % Yeso <5%	-	-	
<b>Sulfatos solubles en agua</b>		-	-	< 1%	-	-	

Fuente: GEAR (2012)

## 2.4 Definición de términos básicos

### 2.4.1 Movimiento de tierra

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), en su publicación: “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial”, definen como el conjunto de actividades que se realiza con el nivel de terreno natural con el fin de modificar su forma natural o de añadir materiales útiles a una obra vial, de minería o de la industria.

### 2.4.2 Terraplén

Se denomina terraplén a la tierra o material con el que se rellena un terreno o área para levantar el nivel de éste y de esa forma conseguir un plano o superficie de apoyo conveniente con el fin de realizar una obra.



#### 2.4.3 Mejoramiento

Barahona (2021) considera a los trabajos o actividades de mejora que se realiza en todo tipo de carreteras ya sea en estado bueno, regular o mal estado, con la finalidad de dotarla de mejores condiciones de servicio y trabajabilidad de las que tenía inicialmente.

#### 2.4.4 Afirmado

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), en su publicación: “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial”, definen al afirmado como un material granular de procedencia natural o procesada, que cumple con una gradación requerida por el diseño; que conformará la estructura del pavimento y contribuirá a soportar las cargas y esfuerzos del tránsito.

#### 2.4.5 Sub rasante

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), en su publicación: “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial”, definen como subrasante a la superficie terminada de una carretera o camino a nivel de movimiento de tierras, sobre la cual se puede colocar la estructura del pavimento o afirmado

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis general

Los residuos de construcción y demolición reducen los costos en el movimiento de tierras en carreteras

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- a) En el cuerpo de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición el cual incide en los costos de movimiento de tierra en carreteras.
- b) Al determinar los tipos de residuos de construcción y demolición, podremos saber si estos inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras.
- c) El costo del uso de residuos de construcción y demolición en terraplenes es menor frente al costo del uso de material transportado.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 Definición conceptual de variables

**Variable Independiente:** Residuos de Construcción y Demolición

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son una mezcla de materiales excedentes generados durante la nueva construcción, renovación y demolición de edificios, carreteras, puentes y otras estructuras

**Variable Dependiente:** Costos

Se define como un gasto económico, el cual representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio. En otras palabras, podemos decir que el costo es el esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo operativo.

### 3.2.2 Operacionalización de variables

Tabla 23: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	ESCALA DE MEDICION
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICION</b>	Los residuos de construccion y demolicion (RCD) son una mezcla de materiales excedentes generados durante la nueva construcción, renovación y demolición de edificios, carreteras, puentes y otras estructuras	Los residuos de construccion y demolicion pueden estar compuestos de una gran cantidad de materiales según el tipo de proyecto del cual se ha obtenido, en base a su composicion el uso del RCD estará condicionado a sus propiedades físicas y mecánicas de sus materiales constituyentes y a las proporciones de los mismos.	Clasificacion	Peligrosidad	Residuos peligrosos	-
					Residuos no peligrosos	-
					Residuos inertes	-
				Procedencia	Demolición	-
					Construcción	-
			Propiedades	Excavación	-	
				Físicas	Granulometria	%/mm
					Densidad	g/cm3
					Absorcion de Agua	%
				Químicas	Resistencia al Desgaste	%
Acidez	ph					
<b>COSTOS</b>	Se define como un gasto económico, el cual representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio. En otras palabras, podemos decir que el costo es el esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo operativo.	Los costos pueden ser clasificados desde diversas perspectivas. Dentro de esta clasificacion se encuentra el costo directo, el cual son atribuibles a la ejecución del proyecto tales como: materiales, mano de obra, herramientas, equipo y maquinaria.	Directos	Mano de obra	-	horas-hombre(hh)
				Materiales	-	Bolsas, Kg, m, m2, m3
				Equipos	-	horas-máquina(hm)

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

### **4.1 Tipo y nivel**

El método de investigación utilizado es deductivo ya que varía de lo general a lo concreto. Es decir, comparar la justificación y el costo de los residuos de construcción y demolición. La dirección de aplicación de la investigación es aplicada porque tiene como objetivo la solución del problema. En este caso, reduce el costo del movimiento de tierras en la carretera. El enfoque de investigación es cuantitativo porque utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis basadas en mediciones numéricas y análisis estadístico.

La naturaleza del estudio es descriptivamente correlacionada en el sentido de que, además de evaluar la relación entre las dos variables para probar la hipótesis, se explican en detalle los parámetros de cada variable.

El nivel de investigación es exploratorio debido al uso de referencias nacionales e internacionales en libros, tratados y artículos. Es descriptivo ya que describe y explica los costos directos, costos de mano de obra, materiales y equipos. La clasificación y las características de los residuos de construcción y demolición se divulgan y deben explicarse

### **4.2 Diseño de investigación**

El diseño del estudio es no experimental y transversal. El momento exacto se describe y analiza en función del documento, y los datos también se generan a través de la investigación, lo cual es prometedor

El Población y muestra

#### **4.2.1 Población**

La población que estará siendo investigada está compuesta por los residuos sólidos

#### **4.2.2 Muestra**

Todos los residuos de construcción y demolición que son usados en carreteras

### 4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 4.3.1 Instrumento de recolección de datos

La información existente sobre los temas de investigación fue recolectada de Internet, bibliotecas (artículos, libros, artículos científicos, etc.), categorizada y utilizada en el desarrollo de los trabajos. También se usaron métodos de investigación, casos registrados en nuestro país y a nivel internacional, estudios previos que tiene relación a la variable de nuestra investigación.

#### 4.3.2 Métodos y técnicas

Se fundamentaron en la búsqueda y recopilación de información acerca de los residuos de construcción y demolición, teniendo en cuenta sus principios, análisis y procedimientos de su uso. Se usó como instrumento para el procedimiento y evaluación de resultados los manuales nacionales e internacionales, específicamente la española.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se estudió la viabilidad de los diversos casos en los países donde se aplican residuos sólidos en diferentes proyectos de carreteras y evaluando la metodología en la que consiste la utilización de este material, para así proporcionar la cantidad o porcentaje exacto de material a utilizar y comparar la diferencia en el costo de un proyecto elaborado de forma tradicional.

### 5.1 Diagnóstico aplicación de residuos de construcción en el Perú

#### 5.1.1 Aspectos Teóricos.

De acuerdo con la European Environment Agency, (2009) demuestran cómo se debe jerarquizar el proceso del manejo de residuos sólidos, como sería: Prevenir, Reutilizar, Reciclar.

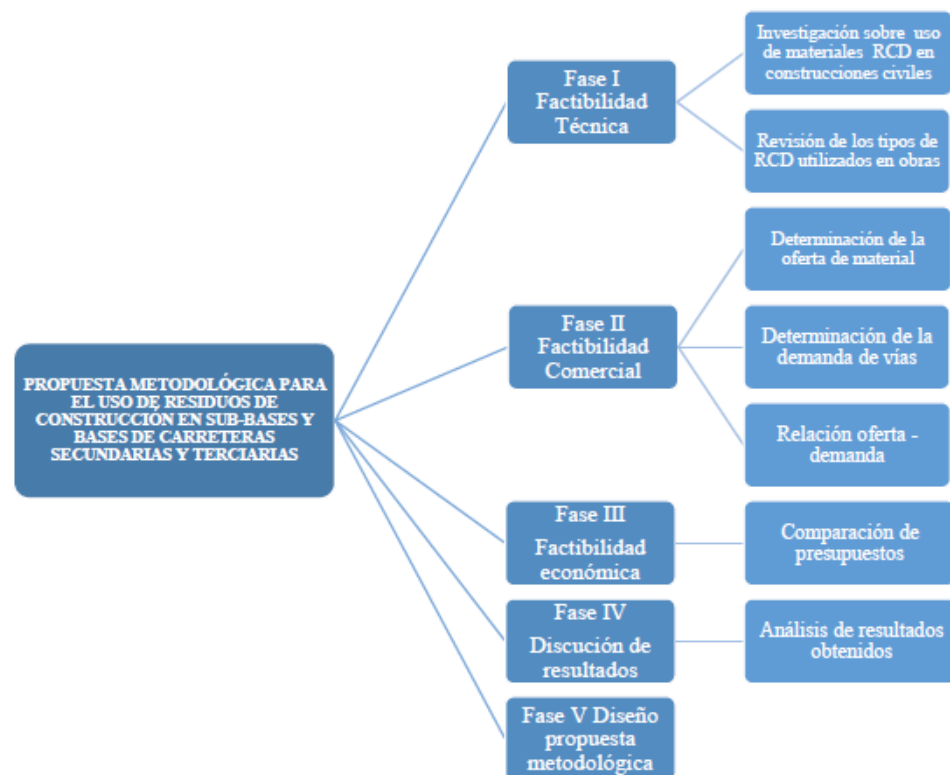


Figura 13: Propuesta metodológica para el uso de residuos de construcción en sub-bases y bases de carreteras secundarias y terciarias

Fuente: Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019)

Sin embargo, cabe recalcar que de todos los residuos no se pueden reaprovechar todos los materiales, así mismo elegir los más convenientes para el tipo de proyecto, en este caso para carreteras.

La contaminación y la degradación ambiental no solo están asociadas a la escasez de repositorios de residuos sólidos a nivel nacional, sino que también tienen costos económicos. Reconociendo esto, expertos nacionales e internacionales liderados por el Banco Mundial han realizado un análisis ambiental del Perú. Su objetivo es presentar un marco analítico para ayudar a los esfuerzos del gobierno peruano para integrar y lograr los principios del desarrollo sostenible en los programas de políticas peruanas. Esto puede revertir la pérdida de recursos ambientales. El estudio estimó que los costos económicos de la degradación ambiental, el agotamiento de los recursos naturales, los desastres naturales y los servicios ambientales inadecuados ascendieron a 8.200 millones de soles, equivalentes a 3,9 litros del producto interno bruto en 2003. Si el PIB de Perú fue de \$202.3 mil millones en 2013, el valor de la degradación ambiental debido a la 'recolección de residuos municipales' sería de \$1115 millones. 19 mil millones a \$26 mil millones, con una estimación promedio de S/. 21,8 mil millones. Este costo equivale a 3,5-5,0L del PBI de Perú en 2012, con un promedio estimado de ,1%.

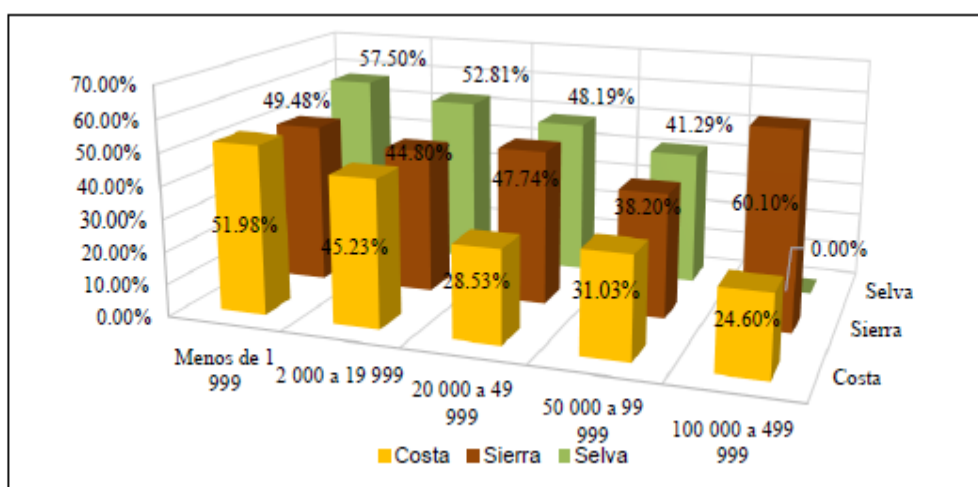


Figura 14: Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024

Fuente: Ministerio del Ambiente (2016)

### 5.1.2 Aspecto Normativo

Con respecto a los RCD que se encuentra en el Perú, estos poseen reglamentos acordes a cada distrito o nacional para el manejo adecuado y de ser posible su re aprovechamiento.

Con respecto a las normas nacionales se tienen las siguientes:

Tabla 24:  
Normativas Nacionales para los RCD.

Artículo	Año	Descripción
DECRETO SUPREMO N° 003-2013-VIVIENDA	2013	Aprueban Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición
Decreto Supremo n.° 004-2011-MINAM	2021	Residuos sólidos, que tiene una meta prioritaria: 100 % de residuos sólidos del ámbito municipal son manejados, reaprovechados y dispuestos adecuadamente.
NT 400.050 (2017)	2017	la gestión de residuos de construcción y demolición, el objetivo es dar pautas para la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las normas internacionales se tienen las siguientes:

Tabla 25:  
Artículos y Normas Internacionales para RCD

País	Artículo	Año	Descripción
España	Real decreto 105/2008	2008	Regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición
España	Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo	2021	Establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos
España	GUÍA ESPAÑOLA DE ÁRIDOS RECICLADOS	2012	Especificaciones técnicas para el uso de materiales reciclados de RCD
España	Real Decreto 210/2018	2017	la gestión de residuos de construcción y demolición, el objetivo es dar pautas para la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición.
Colombia	Resolución 0472	2017	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición - RCD y otras disposiciones
Colombia	Resolución 1138	2013	Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de La Construcción y se toman otras determinaciones
Colombia	Resolución 1115	2012	Por medio de la cual se adoptan lineamientos Técnico-Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los RCD en el Distrito Capital
Mexico	NADF-007-RNAT-2013	2013	clasificación de los residuos de la construcción y demolición y sus posibles usos

Fuente: Elaboración propia

Es indispensable recalcar la variedad de normativa que se aplica al uso de RCD, Sobre todo, como se implementa, acorde a sus especificaciones técnicas. Es necesario mencionar que en la normativa peruana existen, pero de forma general.

### 5.1.3 Experiencias

Referente a los proyectos existentes

Colombia: Corredor vial Medellín:



De acuerdo con el autor Harloffjan. (2020). El control de calidad estructural de los terraplenes con materiales de contorno comienza con su clasificación y caracterización, demostrando la viabilidad técnica del futuro relleno en campo. En esta etapa se verifican las tasas de humedad y compactación, comparando la masa unitaria obtenida por el ensayo rotatorio de laboratorio y la masa unitaria obtenida por el ensayo de cono de arena in situ, para seguir liberando la clase permitida. la formación del siguiente. Por lo anterior, se han mantenido los estándares de calidad colocando el material en la porción adecuada del relleno de acuerdo a las pruebas de laboratorio realizadas y asegurando un índice de compactación mayor al 95%.



*Figura 15:* Terraplenes con suelos marginales mediante.  
Fuente: Harloffjan. (2020).

De acuerdo con el autor Harloffjan. (2020). El hecho de que los materiales provenientes de los desmontes no cumplieran con los requisitos del artículo 220-13 del INVIAS inició una búsqueda de estándares internacionales bajo los cuales estos suelos pudieran ser utilizados para formar terraplenes, lo que llevó a la Federación Mundial para el Desarrollo de la Carretera (PIARCAIPCR) que viene impulsando el uso de este tipo de suelo en el marco de su nueva política de desarrollo sostenible.

Los materiales deben cumplir con los requisitos especificados en la documentación técnica del proyecto, por lo tanto, si la documentación no especifica se debe considerar las siguientes especificaciones, las cuales se utilizaron.

Tabla 26:  
*Requisitos mínimos para el material INVIAS.*

Característica	Norma de Ensayo INVIAS	Material tipo 1	Material tipo 2	Material tipo 3
		Corona y Cimiento	Cimiento y Nucleo	Nucleo
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	75
% que para por el Tamiz N°10	E-123	80	80	NA
% que para por el Tamiz N°200	E-123	25	35	60
Contenido de materia orgánica %	E-121	1	3	7
Límite Líquido	E-125	30	40	55
Índice de plasticidad máxima	E-126	10	15	25
CBR de laboratorio %	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR %	E-148	0	2	2
Índice de colapso %	E-157	2	2	2
Contenido de sales %	E-158	0.2	0.2	NA

Fuente: Harloffjan (2020)

De esta manera las muestras de suelo las tomaron directamente de cortes de taludes y se colocaron en bolsas Ziploc selladas para retener la humedad natural y garantizar una distribución uniforme en toda la muestra durante el transporte y el procesamiento posterior. El material proveniente fue obtenido en el tamo KM 18+000 por los cortes de taludes y para los ensayos se obtuvieron 3 muestras, clasificándolas por tipos, como se indica en la tabla 26.

Una vez obtenida la muestra, procedieron a realizar los ensayos acordes a los protocolos por puestos por el INVIAS.

Tabla 27:  
Recopilación de resultados de ensayos de laboratorio.

Fecha	Origen	Característica	Unidad	Norma ensayo	Resultado	Criterio	Cumple	Registro.
21/01/2020	Zona Préstamo K21+320	Determinación Tamaño Máximo.	mm	INV E-123	4.8	< 75 / 100 / 150	SI	20-01-21_12X_220_866
21/01/2020	Zona Préstamo K21+320	Porcentaje pasa tamiz N° 10	%	INV E-123	97.7	< 80 / 80 / -	SI TIPO 3	20-01-21_12X_220_866
21/01/2020	Zona Préstamo K21+320	Porcentaje pasa tamiz N°200	%	INV E-123	30.4	< 25 / 35 / 60	SI TIPOS 2 Y 3	20-01-21_12X_220_866
21/01/2020	Zona Préstamo K21+320	LL	%	INV E-125	33	< 30 / 40 / 55	SI TIPOS 2 Y 3	20-01-21_12X_220_866
21/01/2020	Zona Préstamo K21+320	IP	%	INV E-126	5	< 10 / 15 / -	SI	20-01-21_12X_220_866
21/01/2020	Zona Préstamo K21+320	Contenido de Materia Orgánica	%	INV E-121	0.18	< 0,0 / 1,0 / 1,0	SI TIPOS 2 Y 3	20-01-21_12X_220_866
21/01/2020	Corte K18+000	Determinación Tamaño Máximo.	mm	INV E-123	12.5	< 75 / 100 / 150	SI	20-01-21_12X_220_867
21/01/2020	Corte K18+000	Porcentaje pasa tamiz N° 10	%	INV E-123	75.5	< 80 / 80 / -	SI	20-01-21_12X_220_867
21/01/2020	Corte K18+000	Porcentaje pasa tamiz N° 200	%	INV E-123	22.7	< 25 / 35 / 60	SI	20-01-21_12X_220_867
21/01/2020	Corte K18+000	LL	%	INV E-125	36	< 30 / 40 / 55	SI TIPOS 2 Y 3	20-01-21_12X_220_867
21/01/2020	Corte K18+000	IP	%	INV E-126	10	< 10 / 15 / -	SI TIPOS 2 Y 3	20-01-21_12X_220_867
21/01/2020	Corte K18+000	Contenido de Materia Orgánica.	%	INV E-121	0.04	< 0,0 / 1,0 / 1,0	SI	20-01-21_12X_220_867

Fuente: Harloffjan (2020)

De las muestras obtenidas, de acuerdo a los resultados de límite líquido e índice de plasticidad, se puede decir que es utilizable para el núcleo del terraplén, el material de tipo 2 y 3.

Tabla 28:  
Datos de las densidades.

Fecha	Material	Espec. Técnica	$\rho$ Máx. (g/cm <sup>3</sup> )	Abscisa	Capas teóricas	Capa	Lado	% Compact.	CUMPLE ( $\rho \geq \rho_{diseño}$ )
24/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+500	20	12	der	95.9	SI
24/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+510	20	12	izq.	97.5	SI
24/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+520	20	12	eje	96.8	SI
24/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+530	20	12	der	95.2	SI
25/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+500	20	13	der	98.1	SI
25/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+510	20	13	izq.	101.6	SI
25/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+520	20	13	eje	100.7	SI
25/01/2020	Terraplén núcleo	ART. 220-13	1.680	K25+530	20	13	der	99.2	SI

Fuente: Harloffjan (2020)

Con el uso de suelos marginales en la formación de terraplenes se obtienen índices de compactación superiores al 95%, Proctor realizados en alta práctica en laboratorios y pueden ser utilizados con mayor regularidad, al menos en nuestra región. Los núcleos de terraplén, el material con menos propiedades, comenzaron a adoptar una política de minimización de impactos, reduciendo el uso de canteras que impactan negativamente los recursos hídricos cercanos y contribuyen a la contaminación por sedimentos en grandes cantidades.

Córdoba – España:

Este proyecto se desarrolló en España. Los tres tramos, de 5 metros de ancho y 2,75 metros de largo, se construyeron sobre una gran superficie de suelo arcilloso clasificado por AASHTO como suelo A-7-6, apto para la construcción de carreteras según la normativa local PG-3. Para cada sección se consideró una capa base de 30 cm y una base de 20 cm. Esta figura muestra como son las tres secciones de prueba utilizadas para realizar el estudio.



*Figura 16:* Viabilidad del uso de agregados reciclados mixtos no ligados de CDW sobre subrasante de arcilla expansiva en caminos rurales sin pavimentar.

Fuente: Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016)

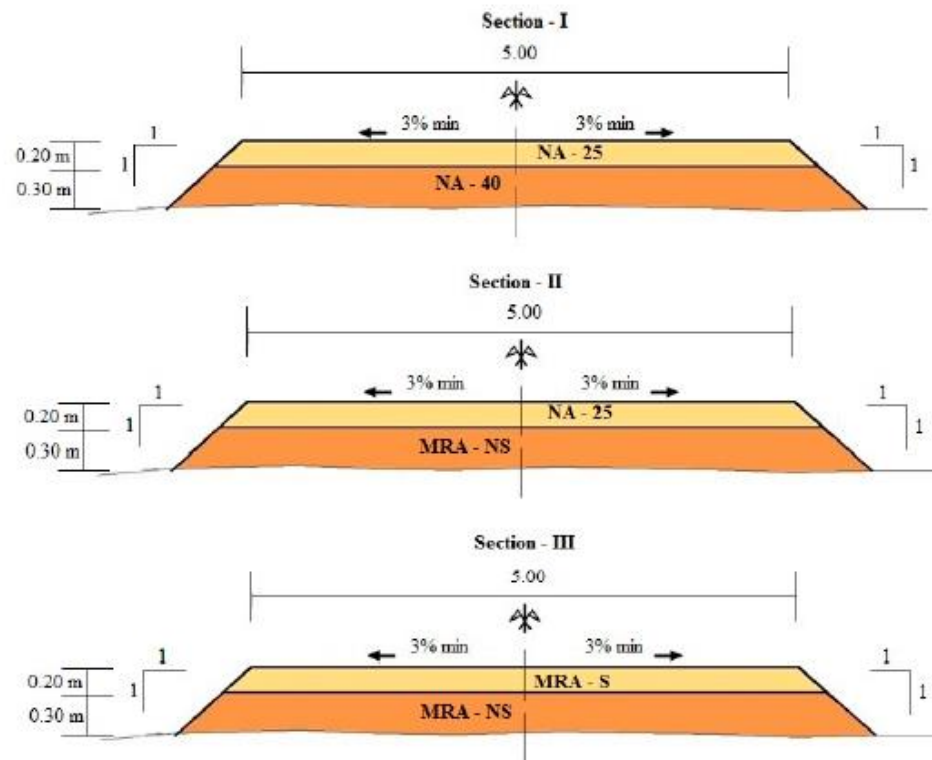


Figura 17: Figura experimental de las 3 secciones

Fuente: Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016)

Referente a las Sección I esta se extiende del KM 0+00 al 0+270. El material reciclado fue distribuido a 40 mm en la subbase y 25 mm en la base con respecto al tamaño máximo nominal. En el proyecto esta sección fue la de referencias para el comportamiento de material. La distribución es igual para la sección 2 y 3.

Los materiales reciclados utilizados en las dos secciones eran productos de residuos de construcción, y los materiales no deseados (hierro, madera, plástico, PVC, tablaroca) se separaban manualmente de los materiales que podían ser utilizados como árido granular, este último triturado hasta desmenuzarlo. Una vez que los sustratos y sustratos tenían la granularidad requerida para su uso, luego de triturarlos, se realizó otra limpieza manual para retirar cualquier material que no se pudo retirar al inicio del procedimiento. Los productos granulares no han sufrido ningún mantenimiento o tratamiento antes de ser incorporados a la estructura vial.

Los autores (Del Rey, Ayuso, Galvín, Jiménez, & Barbudo, 2016). Afirman que En las parcelas experimentales se utilizaron dos áridos mixtos de escombros, cada uno con un proceso de tratamiento diferente. Los MRA-NS se obtuvieron sin pretratamiento. La basura mixta se trituró sin clasificar y se eliminó la basura

innecesaria. Por el contrario, MRA-S proviene de residuos seleccionados. Además, la roca mezclada se tamizó previamente (20 mm) para eliminar impurezas no deseadas y sobrecarga (secciones de 0-20 mm) que podrían crear plasticidad y aumentar el contenido de sulfato. Después de la molienda, MRA-NS y MRA-S se tamizaron a 0 mm y 25 mm, respectivamente. El agregado retenido en la criba se devolvió a la trituradora para su trituración. En ambos materiales reciclados se utilizaron cintas transportadoras magnéticas para retirar los elementos metálicos. Los materiales ligeros se eliminaron con un soplador. Previo al proceso de trituración, se realizaba una inspección visual para retirar manualmente plástico, madera, papel y otro tipo de materiales no aptos. En base al artículo 330 del PG-03, se clasifico las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales en sub rasante, como se observará en la siguiente tabla.

Tabla 29:  
*Propiedades físicas, mecánicas y químicas.*

Properties	Particle Size	SG-1	NA-40	NA-25	MRA-NS	MRA-S
Water absorption (%)	>4 mm	-	4.3	3.8	8.9	9.4
	<4 mm	-	3.8	3.7	7	7.2
Density-SSD (g/cm <sup>3</sup> )	>4 mm	-	2.423	2.393	2.11	2.18
	<4 mm	-	2.467	2.471	2.25	2.24
Liquid limit (LL)	-	52.7	-	-	-	-
Plastic limit (PL)	-	29.3	-	-	-	-
Plasticity index (PI)	-	23.4	No	No	No	No
Sand equivalent (%)	-	-	35	37	45	68
Clean coefficient (%)	-	-	2.7	1.4	8.7	7.3
Los Angeles (L.A.) Coefficient (%)	-	-	30.3	31.6	47	40
Flakiness index (%)	-	-	10.5	13.5	24	12.8
Crushed particles (%)	-	-	100	100	91	97
Maximum dry density (MPT) (g/cm <sup>3</sup> )	-	-	2.29	2.28	1.91	1.85
Maximum dry density (SPT) (g/cm <sup>3</sup> )	-	1.52	-	-	-	-
Optimum moisture content (%)	-	27.3	7.4	6.4	11.4	11.6
CBR (%)	-	2.7	48.9	78.4	67.3	63.7
Free swelling (%)	-	6.96	-	-	-	-
Collapse (%)	-	1.93	-	-	-	-
Organic matter (%)	-	0.74	0	0	0.02	0.01
Water soluble sulphate (% SO <sub>4</sub> )	-	0.01	0.01	0.01	0.27	0.22
Total sulphur content (% S)	-	0.27	0.02	0.01	1.15	0.65

Fuente: Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016)

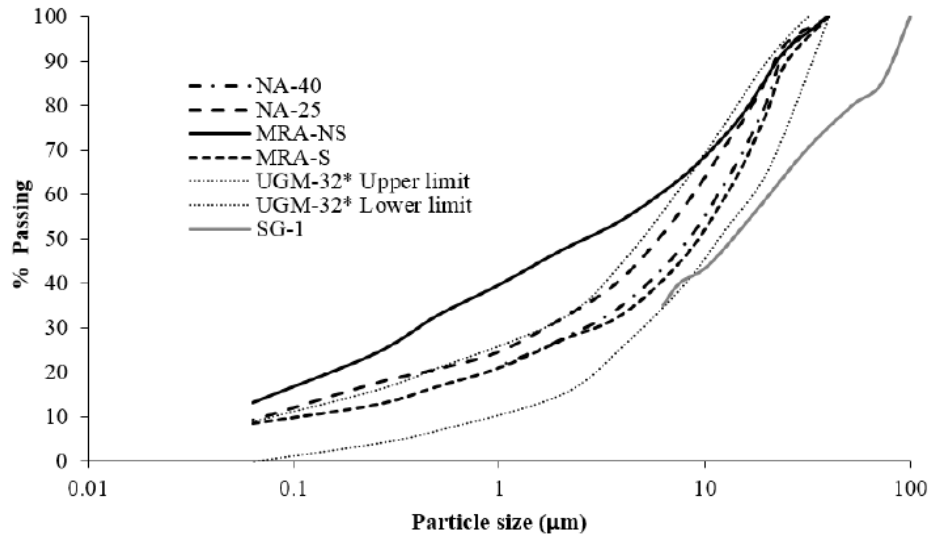


Figura 18: Distribución de tamaño de partículas

Fuente: Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016)

Como se ve en la Figura 18, MRA-NS estaba fuera de la zona granulométrica impuesta por PG-3. Los residuos reciclados no seleccionados, conllevan una alta proporción de multas exigidas por el Código español. UGM-32 = Material granular no ligado. El tamaño máximo de árido es de 32 mm.

Los materiales utilizados en el experimento incluyeron dos NA mixtos y dos MRA. Las propiedades físicas, mecánicas y químicas de NA y RA se determinaron de acuerdo con la Sección 510 de PG-3 Reglamentando español.

En la siguiente tabla se apreciará la composición obtenida de los áridos reciclados.

Tabla 30:

*Composición de áridos gruesos reciclados.*

Composiciones	MRA-NS	MRA-S
% Ra (Asfalto)	0.9	1.6
% Rb (Cerámica)	28,9	33.7
% Rc (Hormigón y mortero)	45.7	40.7
% Ru (Árido natural)	22.4	23.2
% Rg (Vidrio)	0.0	0.0
FL (partículas flotantes) (cm <sup>3</sup> /kg)	2.4	1.0
% X1 (yeso)	0.8	0.3
% X2 (Madera, plástico y metales)	0.9	0.4

Fuente: Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016)

En la tabla 30 el autor obtuvo resultados del promedio de dos mediciones por sección, siendo que la sub rasante tenía una capacidad portante por debajo de los 30MPa requeridos por el PG-3.

Tabla 31:  
*Modulo elástico en Mpa.*

Sección	subrasante			subbase			Base		
	ev1	ev2	ev2/Ev1	ev1	ev2	ev2/Ev1	ev1	ev2	ev2/Ev1
Sección I	13.7	28.4	2.1	77.5	162.0	2.1	83.1	170.1	2.1
Sección II	10.8	19.3	1.2	52.6	101.4	1.9	73.2	159.2	2.2
Sección III	13.9	25,9	1.9	45,9	95,9	2.1	70.0	144.7	2.1

Fuente: P. Galvín, R. Jiménez, I. Barbudo, J. Ayuso (2016).

El módulo de elasticidad de las capas base de los tres tramos, que se midió con un FWD, cumplió con los requisitos para camino rural no pavimentado, este valor superó los 100 MPa en los tres tramos.

Según (Del Rey, Ayuso, Galvín, Jiménez, & Barbudo, 2016), concluyeron que con los datos experimentales obtenidos en este estudio recomiendan el uso de AR en caminos rurales sin pavimentar con poco tráfico. AR puede reducir la cantidad de residuos de construcción y demolición que se envían a los vertederos y aumentar las tasas de reciclaje. El resultado es un incremento en el valor comercial de estos materiales reciclados al mismo tiempo que se logra un desarrollo ambientalmente sostenible en el sector de la construcción y la ingeniería.

Málaga – España:

Para el estudio de viabilidad se presenta el siguiente estudio realizado por Herrador, R., Pérez, P., Garach, L., & Ordóñez, L.J. (2019). En el cual los autores realizaron pruebas de ensayos Proctor con el CBR de 95%. Una mezcla de residuos de construcción como material en la subbase de una vía ubicada en Ardales en Málaga.

De acuerdo con los autores Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019).

Manifiesta la utilización de los residuos de construcción, con el clasificado de la composición de estos, primeramente, los estima tomando en cuenta un estado de la ciudad de Villavicencio, en el cual logró calcular la cantidad de RCD en m<sup>2</sup> construidos y así determinó un factor de generación de residuos; siendo 0.08 m<sup>3</sup> para construcción comercial y 0.144 m<sup>3</sup> para residencial.



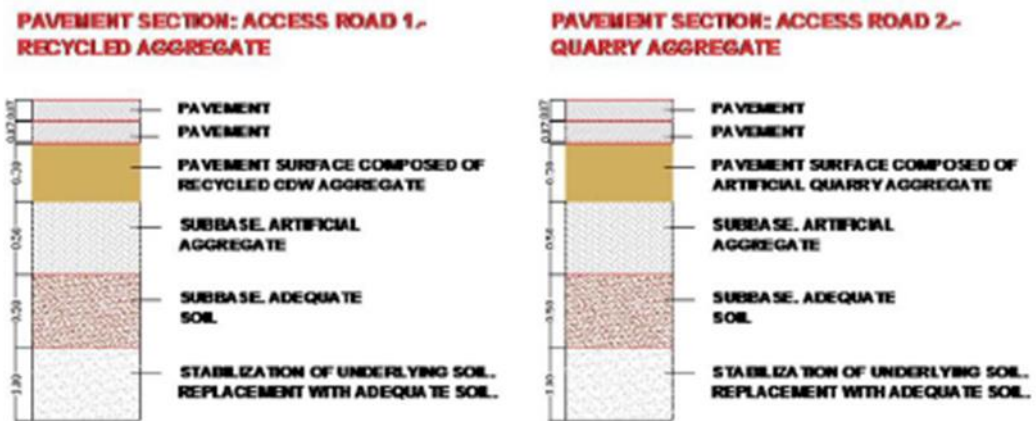


Figura 19: Sección hecha de RCD reciclado y pavimento hecho de agregado de cantera.

Fuente: P. Galvín, R. Jiménez, I. Barbudo, J. Ayuso (2016).

## 5.2 Resultados de la investigación

Para la presentación de los resultados de nuestra investigación, se tomó como referencia la investigación “Evaluación del control de calidad en terraplenes de la carretera panamericana sur, progresiva km.59+840 al km.60+380”, el cual fue desarrollado en base al expediente técnico: “Obras de la segunda etapa del contrato de concesión del tramo vial Puente Pucusana – Cerro Azul – Ica, Red Vial 6 (Sub tramo 5)”

### 5.2.1 Aplicación de RCD en la estructura del terraplén y su incidencia en los costos

Para saber en qué parte de la estructura del terraplén podemos aplicar los residuos de construcción y demolición, utilizaremos el modelo elástico de Boussinesq, para saber de qué manera incide la sobrecarga que se aplican en la plataforma del terraplén a distintas profundidades, a la profundidad donde el esfuerzo sea cero será posible aplicar los RCD y ver como estos inciden en los costos.

#### a) Esfuerzo vertical máximo admisible

De acuerdo a los datos obtenidos, tenemos un CBR= 10% a nivel de la coronación del terraplén.

El módulo de elasticidad E, calcularemos de acuerdo a los criterios de la siguiente figura.

<b>Autores</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Comentarios</b>
Heukelom & Klomp, (1962), AASHTO 1993	$E(Psi) = 1500 * CBR$	Para: $CBR \leq 10\%$
Heukelom & Foster, 1960	$E(MPa) = 10 * CBR$	-Para suelos no expansivos de grano fino, CBR sumergido
Witczak, 1995	$E(MPa) = 9.79 * (CBR)$	-Para suelos de subrasante de grano fino
Powell et al y NCHRP, 2002	$E(MPa) = 17.6 (CBR)^{0.64}$	Para: $2 < CBR < 12\%$
NAASRA 1950	$E(MPa) = 16.2 (CBR)^{0.7}$	Para: $CBR \leq 5\%$

Figura 20: Ecuaciones empíricas de correlación entre valores del CBR y el módulo de elasticidad

Fuente: Arroyo (2021)

Para nuestro CBR=10% utilizaremos la siguiente ecuación:

$$E = 17.6 ( CBR^{0.64} )$$

$$E = 17.6 ( 10^{0.64} )$$

$$E = 76.83 \text{ Mpa}$$

$$E = 783.42 \text{ kg/cm}^2$$

El número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño para un periodo de diseño de 20 años es  $1.53E+06$ .

Para el valor de C, se adoptó 0.006 según ACUM y FOX.

Por lo tanto, reemplazando los valores en la ecuación 1 se obtiene el esfuerzo máximo admisible:

$$\sigma_{zadm} = \frac{0.006 \times 783.42}{1 + 0.7 \times \log 1530000}$$

$$\sigma_{zadm} = 0.88 \text{ kg/cm}^2$$

b) Esfuerzo máximo vertical

Para los valores del radio de contacto de la carga de la rueda “a” y la presión de contacto de la carga de la rueda “q”, lo obtendremos del análisis realizado por Arroyo (2019) en su tesis “Evaluación de la influencia del CBR en el terreno de fundación vial limo arcilloso para determinar espesores de mejoramiento mediante Modelos elásticos y la metodología AASHTO 1993”

Modelo	P (Ton.)	A (cm)	D (cm)	q (kgf/cm <sup>2</sup> )
MOPT Unicauca	8.200	10.8	32.4	5.594
Asphalt Institute	8.164	11.5	34.5	4.912
Shell Oil	8.156	10.5	31.5	5.887
Guía Francesa	13.26	12.5	37.5	6.752

Figura 21: Modelos de semi eje de cargas

Fuente: Arroyo (2021)

Para los valores de la profundidad a la que se debe determinar el esfuerzo “z”, empezaremos con 25 cm, esto debido a que el espesor de la corona del terraplén es de 30 cm.

Remplazando valores en la ecuación X, tendremos:

$$\sigma_z = 5.59x \left[ 1 - \frac{1}{\left(1 + \left[\frac{10.8}{25}\right]^2\right)^{3/2}} \right]$$

$$\sigma_z = 1.27 \text{ kg/cm}^2$$

Haciendo los cálculos para otras profundidades, tenemos los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 32:

Resultados de los esfuerzos máximo vertical a diferentes profundidades.

a (cm)	z (cm)	q (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_z$
10.8	30	5.59	0.93
10.8	31	5.59	0.88
10.8	32	5.59	0.84
10.8	40	5.59	0.56
10.8	50	5.59	0.37
10.8	60	5.59	0.26
10.8	70	5.59	0.19
10.8	80	5.59	0.15
10.8	90	5.59	0.12
10.8	100	5.59	0.10
10.8	200	5.59	0.02
10.8	300	5.59	0.01
10.8	400	5.59	0.01
10.8	450	5.59	0.00

Fuente: Elaboración propia

Para limitar el esfuerzo vertical en la parte de la coronación del terraplén, los valores de esfuerzo vertical calculados mediante el modelo elástico de Boussinesq deben ser menores al valor del esfuerzo vertical máxima

admisible. Es decir, para todos los casos deberá cumplir la siguiente condición:

$$\text{Esfuerzo vertical } (\sigma_z) < \text{Esfuerzo vertical máxima admisible } (\sigma_{z \text{ adm}})$$

En la siguiente tabla presentamos el cuadro de comparación de los esfuerzos calculados.

Tabla 33:  
Comparación de esfuerzos verticales.

CBR	$\sigma_{adm}$	z (cm)	$\sigma_z$	Condicion
10	0.88	30	0.93	no cumple
10	0.88	31	0.88	no cumple
10	0.88	32	0.84	cumple
10	0.88	40	0.56	cumple
10	0.88	50	0.37	cumple
10	0.88	60	0.26	cumple
10	0.88	70	0.19	cumple
10	0.88	80	0.15	cumple
10	0.88	90	0.12	cumple
10	0.88	100	0.10	cumple
10	0.88	200	0.02	cumple
10	0.88	300	0.01	cumple
10	0.88	400	0.01	cumple
10	0.88	450	0.00	cumple

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la Tabla N° 33, que a partir de la profundidad de 3m a más, el esfuerzo vertical es prácticamente cero.

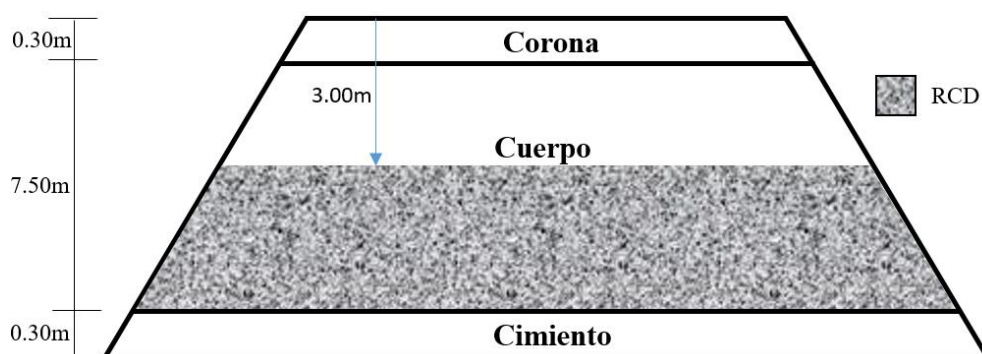


Figura 22: Estructura del terraplén con RCD

Fuente: Elaboración propia

### c) Incidencia en los costos

En la actualidad el costo de los residuos de construcción y demolición representa un valor menor en el mercado respecto al agregado natural o

convencional, el cual también se ve reflejado en los presupuestos de una obra, principalmente en carreteras, en nuestro país el costo promedio del m<sup>3</sup> de residuo de construcción y demolición sin IGV es de S/. 15.00 soles, siendo una alternativa positiva para la optimización de costos en construcción de carreteras a nivel de subrasante, subbase o base.

Flor G. (2012) en su tesis titulada “Aprovechamiento de hormigón reciclado en obras viales” realiza la comparativa presupuestal del uso de material reciclado y material granular natural para la reconstrucción de una vía a nivel de la subbase, análisis realizado en la siguiente tabla.

Tabla 34:

*Presupuesto de obra para el tramo de una vía usando agregado natural y reciclado.*

Ítem	Descripción	U.	Cant.	Oferta		Incidencia
				P U	Importes	
1	Demolición de losas de hormigón	m <sup>2</sup>	4.000,00	48,23	192.920,00	7,49%
2	Perfilado y Recompactación de la subrasante	m <sup>2</sup>	4.000,00	3,27	13.080,00	0,51%
3	Excavación a máquina	m <sup>3</sup>	1.000,00	36,81	36.810,00	1,43%
4	Subbase granular con AN (e = 0,20 m)	m <sup>2</sup>	4.000,00	188,44	753.760,00	29,27%
5	Pavimento de hormigón simple H30N (e = 0,25 m)	m <sup>2</sup>	4.000,00	394,73	1.578.920,00	61,31%
<b>PRECIO TOTAL DE LA OBRA</b>					<b>\$ 2.575.490,00</b>	<b>100,00%</b>
1	Demolición de losas de hormigón	m <sup>2</sup>	4.000,00	48,23	192.920,00	10,86%
2	Perfilado y Recompactación de la subrasante	m <sup>2</sup>	4.000,00	3,27	13.080,00	0,74%
3	Excavación a máquina	m <sup>3</sup>	1.000,00	36,81	36.810,00	2,07%
4	Subbase granular con AR (e = 0,20 m)	m <sup>2</sup>	4.000,00	50,90	203.600,00	11,46%
5	Pavimento de hormigón simple H30R (e = 0,25 m)	m <sup>2</sup>	4.000,00	332,48	1.329.920,00	74,87%
<b>PRECIO TOTAL DE LA OBRA</b>					<b>\$ 1.776.330,00</b>	<b>100,00%</b>
<b>AHORRO ECONOMICO</b>					<b>\$ 799.160,00</b>	<b>31,00%</b>

Fuente: Flor, G. (2012)

### 5.2.2 Tipos de residuos de construcción y demolición que son aplicables en los terraplenes y su incidencia en los costos

Diversos autores coinciden en clasificar a los residuos de construcción y demolición de acuerdo a su composición y su procedencia. La importancia de conocer los componentes y procedencia de estos residuos radica en su posible reutilización, utilizando como agregados en construcción y mejoramientos de carreteras, reemplazando materiales convencionales y optimizando los costos, pasando previamente por procesos de clasificación y transformación.

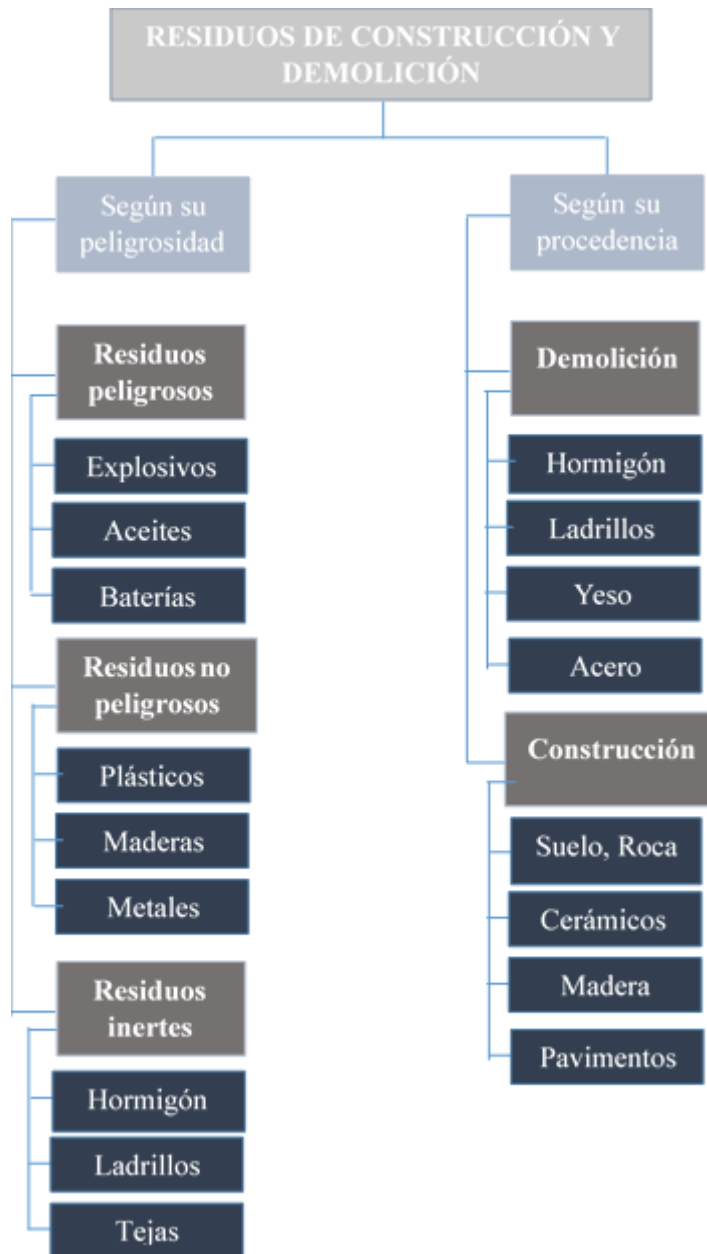


Figura 23: Clasificación de los residuos de construcción y demolición

Fuente: Elaboración propia

Para poder utilizar los residuos de construcción y demolición, previamente son llevados a las plantas de valorización de RCD, donde se seleccionan, clasifican y valorizan las diferentes fracciones valorizables, con el propósito de obtener productos aptos para su uso.



Figura 24: Procesos del tratamiento de los RCD en una planta de valorización

Fuente: Flores (2020)

Flores (2020) en su tesis propone distintas opciones de aplicación de los residuos de construcción y demolición, los cuales generalmente son usados en la construcción de carreteras. A continuación, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 35:  
Opciones de aplicaciones para los RCD.

Residuo	Aplicaciones
Hormigón	Agregados para base caminos y lotes de estacionamiento, áridos para nuevas mezclas de hormigón, cubierta de botaderos municipales
Agregados	Sub bases de caminos, llenos para drenaje y hormigones
Poliestireno, cenizas volantes, escorias de alto horno	Aditivos para el hormigón
asfalto	Mezclas calientes para pavimento, rellenos de baches y caminos sin pavimento.
Madera	Combustible de calderas y placas de madera de densidad media
Material de excavación	Relleno
Yeso de placas de yeso-cartón	Mejoramiento de drenajes, producción de fertilizantes, operaciones de compostaje
Ladrillos	Trituración para relleno, cubierta de botaderos municipales
Vidrio	Sustituto de arena y áridos para cama de tuberías
Metal	Nuevos metales
Plástico	Maderas de plástico

Fuente: Flores (2020)

En la actualidad el uso de residuos reciclados procedentes del hormigón es usado principalmente como material granular en la conformación de terraplenes, explanaciones y diversos rellenos en carreteras, teniendo en cuenta la homogeneidad de sus componentes, así como la ausencia de armaduras y contaminantes (materia orgánica, yeso, etc.).

Los resultados obtenidos de materiales reciclados utilizados en terraplenes son: De acuerdo con los autores (Del Rey, Ayuso, Galvín, Jiménez, & Barbudo, 2016) en su investigación correspondiente a la viabilidad de “agregados reciclados mixtos no ligados de CDW sobre subrasante de arcilla expansiva en caminos rurales sin pavimentar” menciona que fue proyectado en la carretera de Córdoba en el que se construyeron 3 secciones de 5 m de ancho y 2.8 m largo. En todas las secciones se consideraron 30 cm de subbase y 20 cm de base. En el estudio se construyó el primer tramo con agregados naturales (NA), en el segundo el agregado reciclado mixto MRA en la subbase y NA en la base y para la tercera sección completamente MRA. De estos mismo se clasificaron en 2, MRA-S que es un agregado seleccionado y son residuos tamizados previamente a 0 a 20mm para quitar impurezas, mientras que el MRA-NS se obtuvieron sin ningún tratamiento previo y fueron tamizados a 40mm y 25 mm. Finalmente se obtuvo la proporción a utilizar:

Tabla 36:  
*Composición de áridos gruesos reciclados.*

<b>Composiciones</b>	<b>MRA-NS</b>	<b>MRA-S</b>
% Ra (Asfalto)	0.9	1.6
% Rb (Cerámica)	28,9	33.7
% Rc (Hormigón y mortero)	45.7	40.7
% Ru (Árido natural)	22.4	23.2
% Rg (Vidrio)	0.0	0.0
FL (partículas flotantes) (cm <sup>3</sup> /kg)	2.4	1.0
% X1 (yeso)	0.8	0.3
% X2 (Madera, plástico y metales)	0.9	0.4

Fuente: Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016)



En el siguiente estudio, el cual se realizó para la Alcaldía de Sopó – Bogotá (Riveros Roa & Rojas Porras, 2019). Con base en los resultados de un estudio de oferta y demanda de escombros realizado en la ciudad de Sopó, se estima que durante la construcción de unidades residenciales se generaron aproximadamente 7.700 m<sup>3</sup> de escombros a partir de mortero, hormigón, agregados finos y gruesos. En este caso se dispuso el 100% de los escombros se pueden eliminar ya que el gobierno local gestiona este esquema de eliminación de residuos. Para la construcción de 6 tramos de vías proyectadas, porque se necesitarán 1190 m<sup>3</sup> para la subbase y 790 m<sup>3</sup> para la base granular con un total de 1980 m<sup>3</sup>. Esto se resumen en los cuadros estimados por el autor:

Tabla 38:  
*Cantidad total de material reciclado.*

Tipo de Vía	Capa granular	Cnt material (m3)	Total (m3)
Asumida	Subbase	750	1250
	Base	500	
Secundaria	Subbase	1230	2050
	Base	820	
Terciaria	Subbase	1050	1750
	Base	700	

Fuente: Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019)

Tabla 37:  
*Estimación cantidad de material para subbase.*

Sub-Base				
Tipo de vía	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Total (m3)
Asumida	1000	5	0,3	1500
Secundaria	1000	8,2	0,3	1050
Terciaria	1000	7	0,3	870

Fuente: Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019)

Tabla 39:  
*Estimación cantidad de material para base.*

Base				
Tipo de vía	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Total (m3)
Asumida	1000	5	0,2	1000
Secundaria	1000	8,2	0,2	1640
Terciaria	1000	7	0,2	1400

Fuente: Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019)

Considerado que se reemplazará el 50% del material de las subbase y base por material reciclado del granular la cantidad de material que se demanda para la construcción.

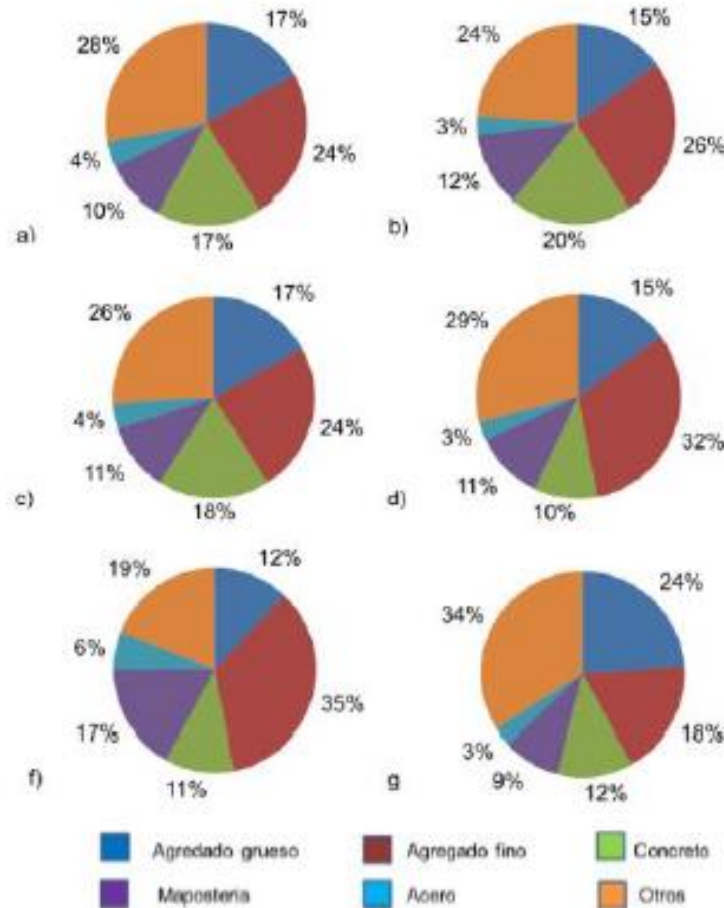


Figura 25: Estimación de composición de RCD  
Fuente: Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019)

Finalmente, el porcentaje aprovechado

Tabla 40:  
Porcentaje de material aprovechado.

	a	b	c
<b>Agregado grueso</b>	17%	17%	15%
<b>Agregado fino</b>	24%	24%	26%
<b>Concreto</b>	17%	18%	20%
<b>SUMATORIA</b>	58%	59%	61%
<b>PROMEDIO</b>	59%		

Fuente: Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019)

El estudio internacional realizado por (Sangiorgi, Lantieri, & Dondi, 2014), ellos utilizaron los materiales CDW utilizado en este estudio fue fabricado en una fábrica en el norte de Italia. La planta procesa y recicla principalmente los siguientes tipos de residuos: ladrillos, hormigón asfáltico, hormigón armado y no armado, traviesas de hormigón, tejas, residuos de construcción, areniscas y escorias. Gestionar sistemáticamente los materiales de entrada para eliminar residuos peligrosos y suelos naturales. Se realiza una prueba de lixiviación de 24 horas para confirmar la presencia y consistencia de compuestos orgánicos, sulfatos, metales pesados o asbesto. El terraplén experimento consta de 4 vanos contiguos, de 15m de largo y 5 metros de ancho, estos eran preparados con mezcla CDW hechas de agregado extraídos de planta y la norma utilizada fue ( 132 1, Anexo ZAyNE 13285)

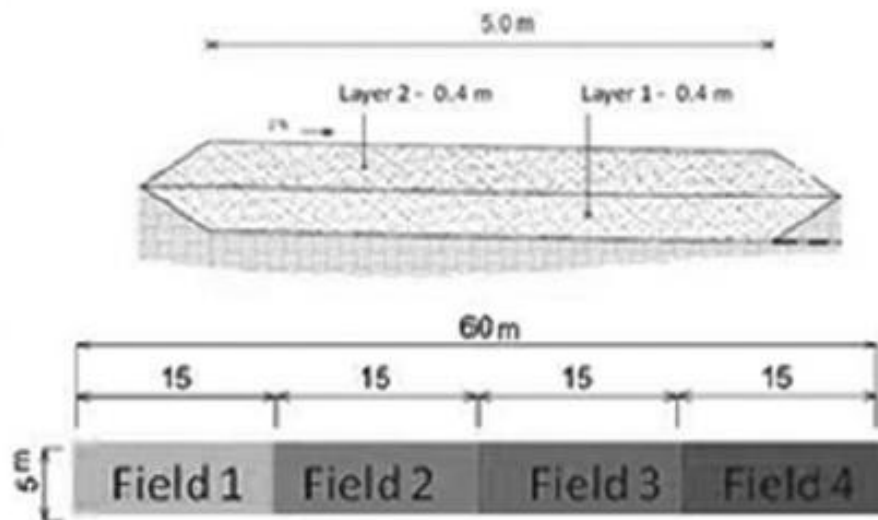


Figura 26: Sección transversal y dimensiones del campo.  
Fuente: Sangiorgi, Lantieri, & Dondi (2014)

Todo el proceso experimental de compactación y prueba del terraplén se realizó con un rodillo vibratorio Mono tambor de 15 toneladas. El rodillo estaba equipado con un sistema de Control de Compactación Continuo (CCC), que registra el módulo de vibración (aquí llamado Evib) y describe el valor de rigidez de la superficie en estudio (Mooney2010, dondiet al.2013). La compactación se logró en dos pistas adyacentes sosteniendo el acelerómetro de tambor en el centro del terraplén mientras se movía en modo de vibración (ver Figura 3a). Después de cada avance, un retorno estático devolvía la máquina al punto de partida del siguiente impulso de vibración. Se realizaron un total de 10 corridas (5 vibraciones  $\times$  5 estáticas) en ambos carriles de la planta baja

(lados A y B), pisos 1 y 2, independientemente de los valores de rigidez registrados, la planitud de las curvas Evib y los materiales rurales.

Los materiales CDW seleccionados colocados usando el mismo proceso de compactación contribuyen de manera diferente a la capacidad de carga de una presa de dos niveles construida sobre un terraplén existente de 10 m de profundidad. En concreto, la cancha realizada con material 50% RAP, 50% hormigón fue la de mayor dureza tanto al final de la construcción como a los 5 meses.

Para la investigación realizada por los autores (Herrador, Perez, Garach, & Ordoñez, 2012). Para el estudio se utilizaron tres materiales en diferentes proporciones. El hormigón representó el 75,0% de la mezcla producida, los residuos cerámicos del entrepiso representaron el 5,0% de la mezcla y los residuos asfálticos de las obras de renovación representaron el 20,0% de la mezcla. Los materiales se limpiaron mecánica y manualmente para eliminar la suciedad y los materiales no deseados como metal, plástico, madera y papel. De esta manera se asegura de que el producto final no tenga plasticidad.

La mezcla de desecho se trituró hasta obtener aglomerados de hasta 32 mm de diámetro. Se construyeron dos tramos de ensayo de 80 m de longitud, uno de los cuales se construyó con árido reciclado presente en una subbase de 0,3 m de espesor, la subbase se realizó con árido artificial y el pavimento de 0,15 m de espesor. La sección transversal fue de 0,5 m de cimiento de árido artificial, 0,3 m de árido triturado para lecho de carretera y 0,15 m de capa superficial.



*Figura 27: Entrega de árido CDW a obra.*

Fuente: Herrador, Perez, Garach, & Ordoñez (2012)

Los autores concluyeron que la resiliencia de la roca artificial RCD reciclada es suficiente. Esto permite el reciclaje mixto a nivel de investigación (75 % de residuos de hormigón, 20 % de asfalto y 5 % de materiales cerámicos) siempre que el agregado de CDW reciclado esté libre de impurezas y contenga solo concreto.

Se confirma que el agregado tiene un rendimiento similar al árido natural de cantera, asfalto y materiales cerámicos. Además, se debe agregar una gran cantidad de agua (en comparación con los agregados naturales) para lograr el grado de compactación requerido.

El coste del árido reciclado es superior al del árido natural. La diferencia de precio se debe a que el coste de la piedra reciclada incluye limpieza y eliminación de residuos (2,35 € = t). Es más cara que la detonación con explosivos (1. 7 € = t) y es una partida presupuestaria que constituye una parte necesaria del coste de los áridos naturales.

Por parte de la empresa CEDEX, realizó una iniciativa privada consistió en una franja de ensayo de 4 m de ancho y 20 m de largo utilizando una mezcla de NFUt y NFUt y suelo preparado y almacenado colocado en un área debidamente preparada. Realización de terraplén. Dado que actualmente no existe normativa técnica que regule el uso de este tipo de material en España, se utiliza la citada norma americana ASTM D 6270, tanto rodillos lisos (93 kN en vibración) como bulldozers de 40 cm de espesor. Como capa compresora. Como resultado de estos estudios, CEDEX ha producido un conjunto de recomendaciones para el diseño y construcción de subbases utilizando NFUt, contenidas en CEDEX (2012b) y estrechamente alineadas con las recomendaciones de ASTM D 6270.



*Figura 28:* Ejecución de las bandas de prueba.

Fuente: Pardo de Santayan, Cano Linares, Santana Ruiz de Arbulo, & Rodríguez Abad (2020)

Tabla 41:  
Características de diseño de las bandas de prueba con NFU.

Banda	Material	Compactador	Velocidad (km/h)	Espesor de tongada	N° de tongada
1	NFU	Rodillo liso de 93 kN con vibracion	1,5	40 ± 10 cm	4
2	Mezcla NFU - suelo seleccionado	Rodillo liso de 93 kN con vibracion	1,5	40 ± 10 cm	1
3	NFU	Buldócer	1,5	40 ± 10 cm	3
4	Mezcla NFU - suelo marginal	Rodillo liso de 93 kN con vibracion	1,5	40 ± 10 cm	3

Fuente: Pardo de Santayan, Cano Linares, Santana Ruiz de Arbulo, & Rodríguez Abad (2020)

Composición ensayo de clasificación según UNE EN 933-11 (UNE, 2010). Permite clasificar los componentes del árido grueso reciclado: Rc: Hormigón, Ru: Piedra natural, Rb: Elemento pétreo, Rg: Material bituminoso, Rg: Vidrio, FL: Float, X: Yeso, etc. Esta clasificación describe brevemente los componentes principales (hormigón o cerámica) y su grado de pureza/tratamiento

Tabla 42:  
Valores de los componentes según UNE EN 933-11

Planta	Tipo	Rc (%)	Ru (%)	Rb (%)	Ra (%)	Rg (%)	FL (%)	X (%)
1	I	58	21	18	0	0	2	1
	II	48	18	25	3	0	5	1
	III	46	22	18	4	0	8	2
2	I	40	14	32	1	1	9	3
	II	36	18	31	6	0	6	3
	III	28	19	8	8	1	30	6
3	I	35	34	21	2	0	5	3
	II	42	24	23	3	0	6	2
4	I	42	31	19	6	0	1	0
	II	52	25	6	13	0	3	1
	III	40	31	7	14	0	8	0
5	I	43	20	24	4	0	8	1
	II	47	24	19	2	1	7	0
	III	32	24	22	1	0	10	11
6	I	28	29	39	1	1	2	0
	II	17	29	46	2	3	2	1
	III	34	20	27	1	1	15	2

Rc: hormigón, Ru: piedra natural, Rb: ladrillos y azulejos, Ra: material bituminoso, FL: flotantes, X: metales, plástico y yeso.

Fuente: Pardo de Santayan, Cano Linares, Santana Ruiz de Arbulo, & Rodríguez Abad (2020)

El éxito de la evaluación de la basura en los terraplenes de las carreteras, que es esencial para la realización de investigaciones previas, también depende de aspectos prácticos y económicos, especialmente si existen otras aplicaciones favorables.

Tabla 43:  
*Fortalezas y debilidades sobre la utilización de los cuatro residuos en terraplenes.*

Residuo	Fortalezas	Debilidades
Cenizas volantes	Caraterísticas mecánicas buenas e incluso ventajosas en algunos aspectos. Buenas características ambientales.	Gran demanda para la fabricación de cementos y hormigones que absorbe casi toda la producción. Descenso acusado de la producción.
Estériles de carbón	Caraterísticas mecánicas y ambientales, en principio, satisfactorias.	Desaparición de los estériles de mina y lavadero. Disponibilidad localizada (escombreras). Necesidad de estudios en cada caso.
NFUt	Producción continua. Sistema integrado de gestión.	Reglas de ejecución peculiares y restrictivas. Desarrollo de otras formas de valorización (polvo de neumáticos)
ARM	Material localmente abundante. Buenas características mecánicas. Existencia de red de plantas de tratamiento.	Variabilidad del material. Incertidumbres relativas a los criterios de caracterización ambiental.

Fuente: Pardo de Santayan, Cano Linares, Santana Ruiz de Arbulo, & Rodríguez Abad (2020)

5.2.3 Comparación de costos del uso de RCD y material transportado en terraplenes  
Realizaremos el análisis para ambos casos, para ellos realizaremos el metrado, análisis de precios unitarios y su respectivo presupuesto.

a) Presupuesto de la conformación del terraplén con material granular.

El análisis lo realizaremos para 100m longitudinales.

#### **Metrados.**

Los metrados están en base a 0.30m de altura en la coronación, 4.80m de altura del cuerpo y 0.30m de altura del cimiento del terraplén.

Tabla 44:  
Metrados de la conformación del terraplén con material de préstamo.

Partida	Descripción	Unidad	Metrado
<b>1.0.0.0</b>	<b>Movimiento de tierras</b>		
<b>1.1.0.0</b>	<b>Terraplén</b>		
<b>1.1.1.0</b>	<b>Corona del Terraplén</b>		
1.1.1.1	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00
<b>1.1.2.0</b>	<b>Cuerpo del Terraplén</b>		
1.1.2.1	Relleno compactado con material de préstamo	m3	11850.50
<b>1.1.3.0</b>	<b>Cimiento del Terraplén</b>		
1.1.3.1	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00

Fuente: Elaboración propia

### Análisis de precios unitarios.

Los precios unitarios están de acuerdo al expediente técnico.

Tabla 45:  
Análisis de precios unitarios del relleno compactado con material de préstamo.

Sub partida	1.00.00.00	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO				
Rendimiento	m3/DIA	200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : m3	72.14	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.2400	17.29	4.15
0101010004	OFICIAL		1.0000	0.0400	19.13	0.77
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0400	29.08	1.16
						<b>6.08</b>
<b>Materiales</b>						
02070400010006	MATERIAL GRANULAR PARA RELLENO	m3		1.3000	29.66	38.56
						<b>38.56</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	6.08	0.30
0301100010	RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	1.0000	0.0400	190.00	7.60
03011800020006	TRACTOR SOBRE ORUGAS 140-160HP	hm	0.5000	0.0200	240.00	4.80
03011800020005	MOTONIVELADORA 125HP	hm	1.0000	0.0400	230.00	9.20
0301220009	CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2000GL	hm	1.0000	0.0400	140.00	5.60
						<b>27.50</b>

Fuente: Elaboración propia

### Presupuesto.

El presupuesto a presentar esta en base al costo directo ya que los demás costos y gastos serán lo mismo en ambos casos.



Tabla 46:  
Presupuesto de la conformación del terraplén.

Partida	Descripción	Unidad	Metrado	Precio U. S/.	Precio P. S/.
<b>1.00.00.00</b>	<b>Movimiento de tierras</b>				<b>890,386.72</b>
<b>1.01.00.00</b>	<b>Terraplén</b>				<b>890,386.72</b>
<b>1.01.01.00</b>	<b>Corona del Terraplén</b>				
1.01.01.01	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00	72.14	17,746.42
<b>1.01.02.00</b>	<b>Cuerpo del Terraplén</b>				
1.01.02.01	Relleno compactado con material de préstamo	m3	11850.50	72.14	854,893.88
<b>1.01.03.00</b>	<b>Cimiento del Terraplén</b>				
1.01.03.01	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00	72.14	17,746.42
<b>Costo Directo</b>					<b>890,386.72</b>

Fuente: Elaboración propia

- b) Presupuesto de la conformación del terraplén con residuos de construcción y demolición

#### **Metrado.**

La parte del cuerpo de terraplén estará conformado por ambos materiales (préstamo y reciclado), el material de préstamo contará con una altura de 2.70m y el material reciclado tendrá 4.80m de altura en la estructura del terraplén.

Tabla 47:  
Metrados de la conformación de terraplén con material de préstamo y reciclado.

Partida	Descripción	Unidad	Metrado
<b>1.0.0.0</b>	<b>Movimiento de tierras</b>		
<b>1.1.0.0</b>	<b>Terraplén</b>		
<b>1.1.1.0</b>	<b>Corona del Terraplén</b>		
1.1.1.1	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00
<b>1.1.2.0</b>	<b>Cuerpo del Terraplén</b>		
1.1.2.1	Relleno compactado con material de préstamo	m3	4266.18
1.1.2.2	Relleno compactado con material reciclado	m3	7584.32
<b>1.1.3.0</b>	<b>Cimiento del Terraplén</b>		
1.1.3.1	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00

Fuente: Elaboración propia

#### **Análisis de precios unitarios.**

El precio unitario del material reciclado para relleno fue obtenido de la empresa Cajas Ecológicas SAC.

Tabla 48:

Análisis de precios unitarios del relleno compactado con material reciclado.

Sub partida	1.00.00.00	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO				
Rendimiento	m3/DIA	200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : m3	53.08	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.2400	17.29	4.15
0101010004	OFICIAL		1.0000	0.0400	19.13	0.77
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0400	29.08	1.16
<b>6.08</b>						
<b>Materiales</b>						
02070400010006	MATERIAL RECICLADO PARA RELLENO	m3		1.3000	15.00	19.50
<b>19.50</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	6.08	0.30
0301100010	RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135HP 10-12T	hm	1.0000	0.0400	190.00	7.60
03011800020006	TRACTOR SOBRE ORUGAS 140-160HP	hm	0.5000	0.0200	240.00	4.80
03011800020005	MOTONIVELADORA 125HP	hm	1.0000	0.0400	230.00	9.20
0301220009	CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2000GL	hm	1.0000	0.0400	140.00	5.60
<b>27.50</b>						

Fuente: Elaboración propia.

### Presupuesto.

Tabla 49:

Presupuesto de la conformación del terraplén con material reciclado.

Partida	Descripción	Unidad	Metrado	Precio U. S/.	Precio P. S/.
<b>1.00.00.00</b>	<b>Movimiento de tierras</b>				<b>745,844.75</b>
<b>1.01.00.00</b>	<b>Terraplén</b>				<b>745,844.75</b>
<b>1.01.01.00</b>	<b>Corona del Terraplén</b>				
1.01.01.01	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00	72.14	17,746.42
<b>1.01.02.00</b>	<b>Cuerpo del Terraplén</b>				
1.01.02.01	Relleno compactado con material de préstamo	m3	4266.18	72.14	307,761.80
1.01.02.02	Relleno compactado con material reciclado	m3	7584.32	53.08	402,590.12
<b>1.01.03.00</b>	<b>Cimiento del Terraplén</b>				
1.01.03.01	Relleno compactado con material de préstamo	m3	246.00	72.14	17,746.42
<b>Costo Directo</b>					<b>745,844.75</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Análisis de resultados

#### 5.3.1 Análisis de la aplicación de RCD en la estructura del terraplén y su incidencia en los costos

De acuerdo con la Tabla 32 donde nos muestra los resultados de los esfuerzos máximo vertical, el cual es hallado a diferentes profundidades. En dicha tabla podemos observar que a una mayor profundidad el esfuerzo máximo vertical va disminuyendo (aproximándose a cero), con lo que podríamos decir que, a una mayor profundidad, el esfuerzo que es aplicado en la plataforma es casi nula, lo cual puede ser observado en la siguiente figura.

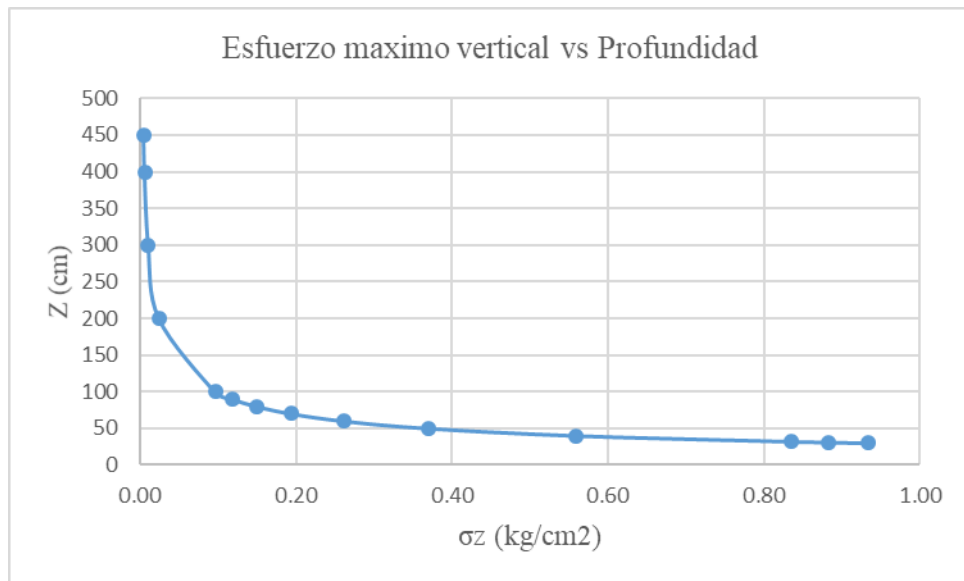


Figura 29: Esfuerzo máximo vertical vs Profundidad

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 33 podemos observar la comparación del esfuerzo máximo admisible y el esfuerzo máximo vertical y poder observar si cumple la condición planteada, podemos ver que a partir de los 32cm a más el esfuerzo máximo vertical es menor al esfuerzo máximo admisible, representado también en la siguiente figura.

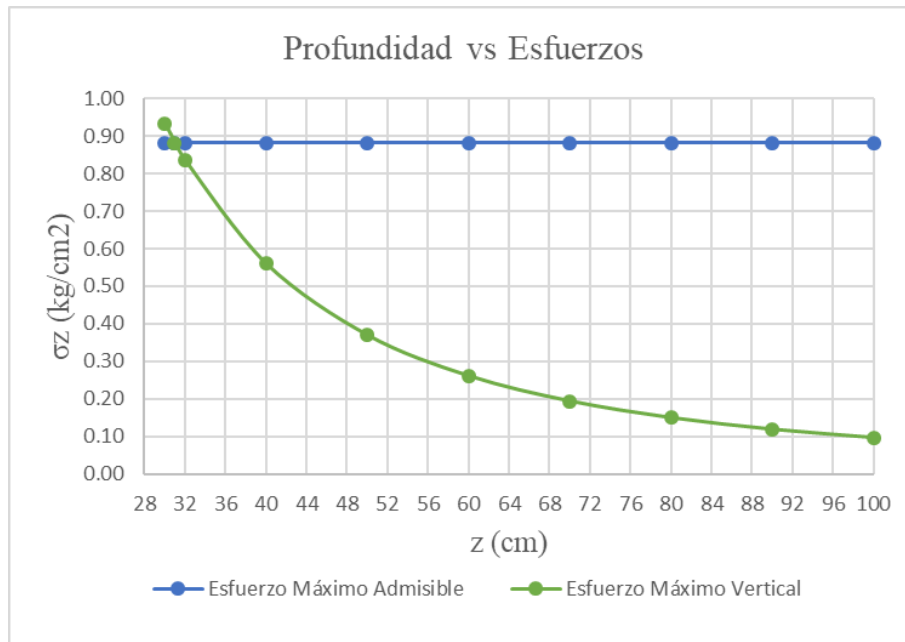


Figura 30: Profundidad vs Esfuerzos

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual podemos afirmar que a partir de los 32cm a más no habrá deformación alguna por efecto de los esfuerzos de sobrecarga actuantes en la plataforma del terraplén.

En la Tabla 32 también se puede observar que en los 300cm el esfuerzo máximo vertical es aproximadamente cero, con lo cual afirmamos que es posible aplicar los residuos de construcción y demolición a partir de los 300cm a más, teniendo en cuenta que solo aplica en la parte del núcleo o cuerpo del terraplén de acuerdo con la Figura 12 de las especificaciones de la norma española.

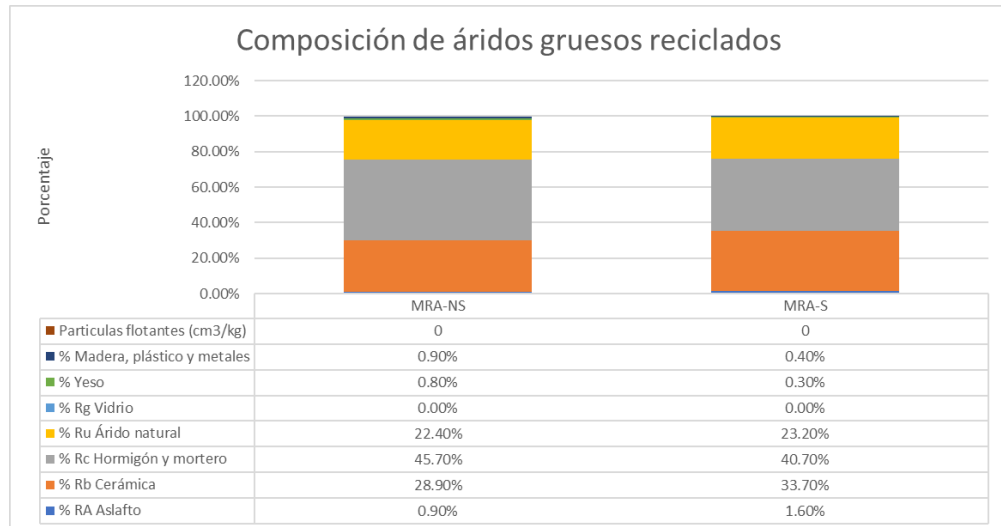
En la Tabla 34 podemos observar que el uso de residuos reciclados representa un ahorro del 31 % respecto al uso del material granular natural, con lo cual podemos afirmar que el uso de residuos de construcción y demolición incide de manera positiva en la reducción de costos.

### 5.3.2 Análisis del tipo de RCD aplicables en los terraplenes y su incidencia en los costos

De acuerdo con las investigaciones recolectadas, se puede estimar el porcentaje de las composiciones de RCD utilizadas en diferentes proyectos y validadas por normas extranjeras. Se puede observar lo siguiente:

En la investigación de (Del Rey, Ayuso, Galvín, Jiménez, & Barbudo, 2016) y el cual fue realizado sobre subrasante de arcilla expansiva en caminos rurales sin pavimentar, en la ciudad de Córdoba, España. Fue proyectado 3 tramos y cada uno con 2 composiciones diferentes de RCD.

Tabla 50:  
Composiciones MRA-NS y MRA-S para 3 secciones

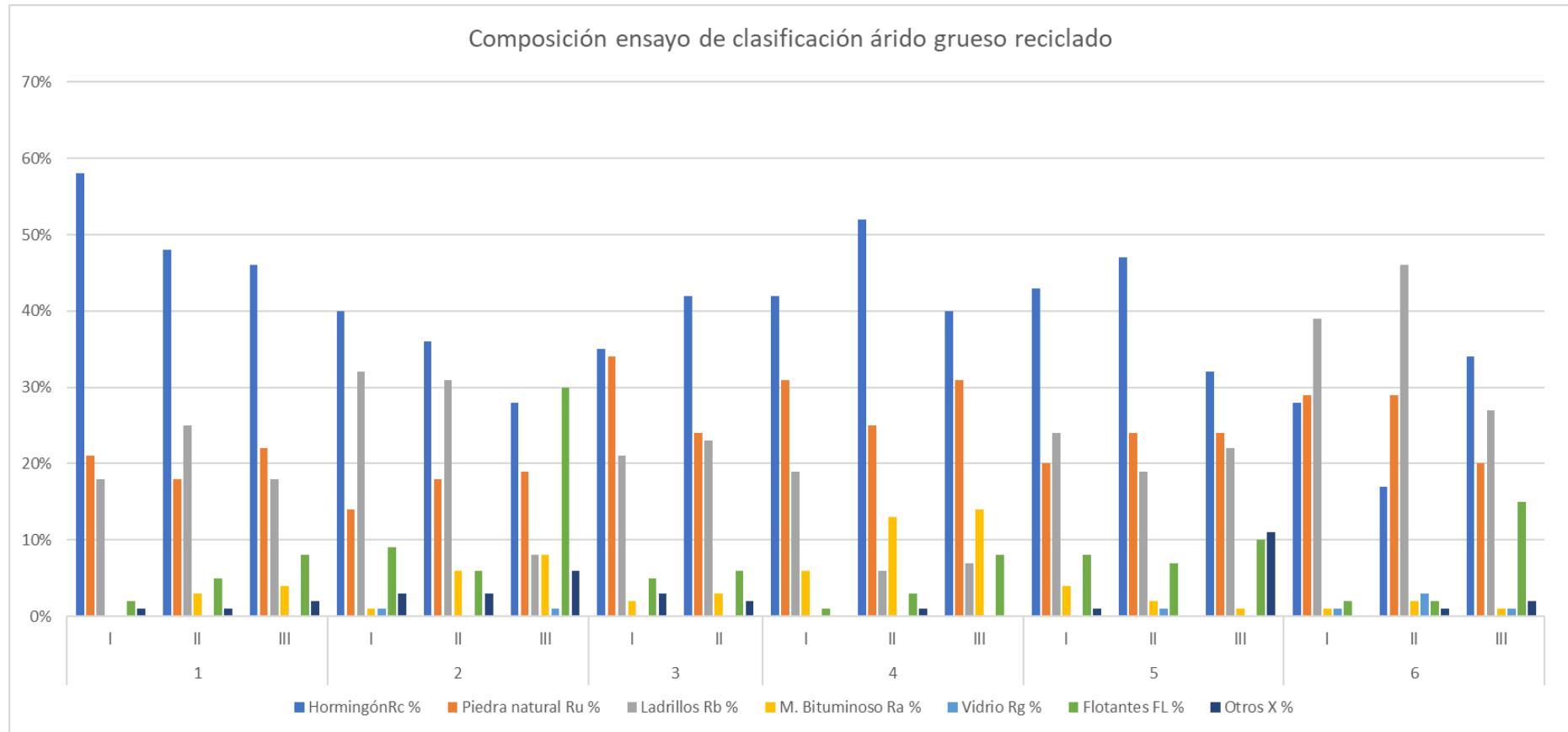


Fuente: Elaboración propia

En el cuadro elaborado se aprecia el porcentaje de RA, RB, RC, RG, RU, FL de acuerdo con la norma internacional EN 933-11 y al artículo 330 del PG-03, para relleno de terraplén. Estos porcentajes evidencian la factibilidad del empleo de reciclados, debido a que, en los ensayos, especialmente en la sección 3 que fue la que presentó resultados altos. Los cuales fueron que no disminuyera en la densidad y en la deformación fue menor a 10 mm.

Por otro lado, en el caso de CEDEX (Pardo de Santayan, Cano Linares, Santana Ruiz de Arbulo, & Rodríguez Abad, 2020) que los tipos de muestras realizados fueron en laboratorio de geotecnia del CEDEX, todos los ensayos fueron manejados bajo la normativa de española según el artículo 330 del PG 3 y los componentes según UNE EN 933-11, por lo tanto, se obtiene las siguientes cantidades:

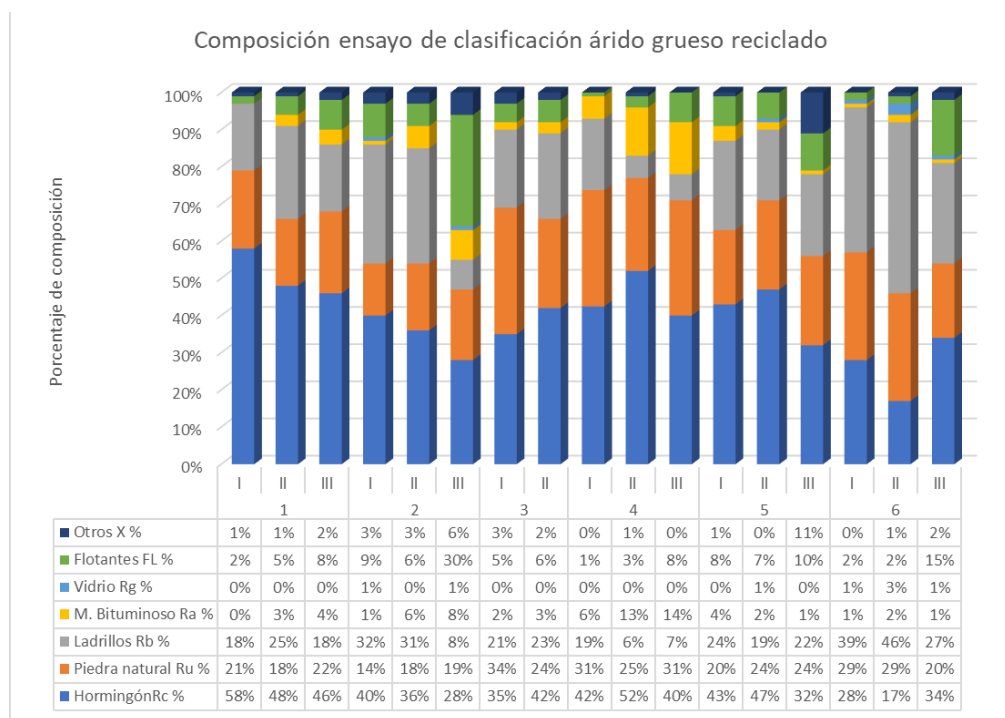
Tabla 51:  
Tipos de áridos reciclados mixtos considerados en el estudio del CEDEX



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la elaboración se puede apreciar los 3 tipos de muestras, estos se nominaron tipo III: ARM (trituración primaria), tipo II: ARM (trituración secundaria), tipo I: ARM (molienda). Se comprende que el hecho de utilizar ARM es porque es una materia abundante y existe una red de plantas de tratamiento cercana al proyecto.

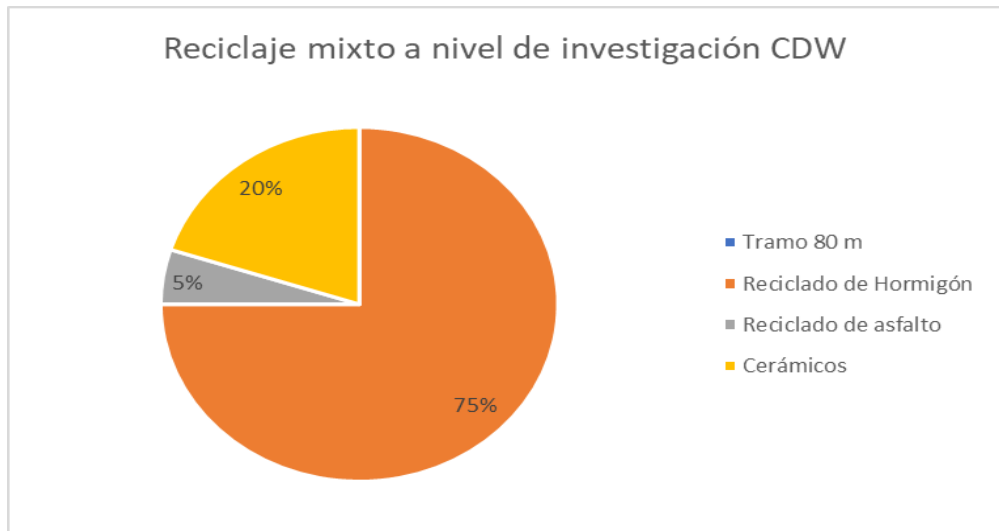
Tabla 52:  
% de cada RCD utilizado en el ensayo



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro representa el porcentaje óptimo según normativa española para aplicarse en un terraplén, lo limitante de este estudio es que la valorización de su uso en estos proyectos comprende cuestiones económicas, las cuales no se proyectaron en el estudio.

De acuerdo con (Herrador, Perez, Garach, & Ordoñez, 2012) en su investigación: Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing, el cual presenta la siguiente composición para los RCDs.



*Figura 31:* Proporción del agregado de RCD artificial satisfactoria.

Fuente: Elaboración propia.

Para esta investigación se analizó los datos estructurales sobre las superficies con las pruebas de ADAR que es un monitoreo dinámico de alto rendimiento, haciendo que los parámetros con las especificaciones del proyecto cumplan. Es debido a esto que se resalta que a pesar de que se factible técnicamente, en cuanto a los costos económicos, de acuerdo a la investigación es mucho más costoso, de acuerdo con la tabla 42, teniendo un costo de fabricación de la materia reciclada de 5.31 € y el agregado natural 3.96 €. Estos comprenden un 40% más del precio normal, volviéndolo desfavorable para este proyecto, principalmente el costo es mayor respecto a la limpieza y tratamiento mecánico, ya que, en cuanto a transporte y carga, presentan el mismo coste e incluso siendo más económica su obtención.

Con respecto al autor (Riveros Roa & Rojas Porras, 2019) el cual realizó una propuesta metodológica para la construcción de una carretera en la ciudad de Bogotá – Villavicencio. La investigación describe la estimación de residuos, después de la realización de un proyecto inmobiliario, el cual se estima con un factor de generación de RC, practicando por el mismo autor. Por ello se estima lo siguiente:



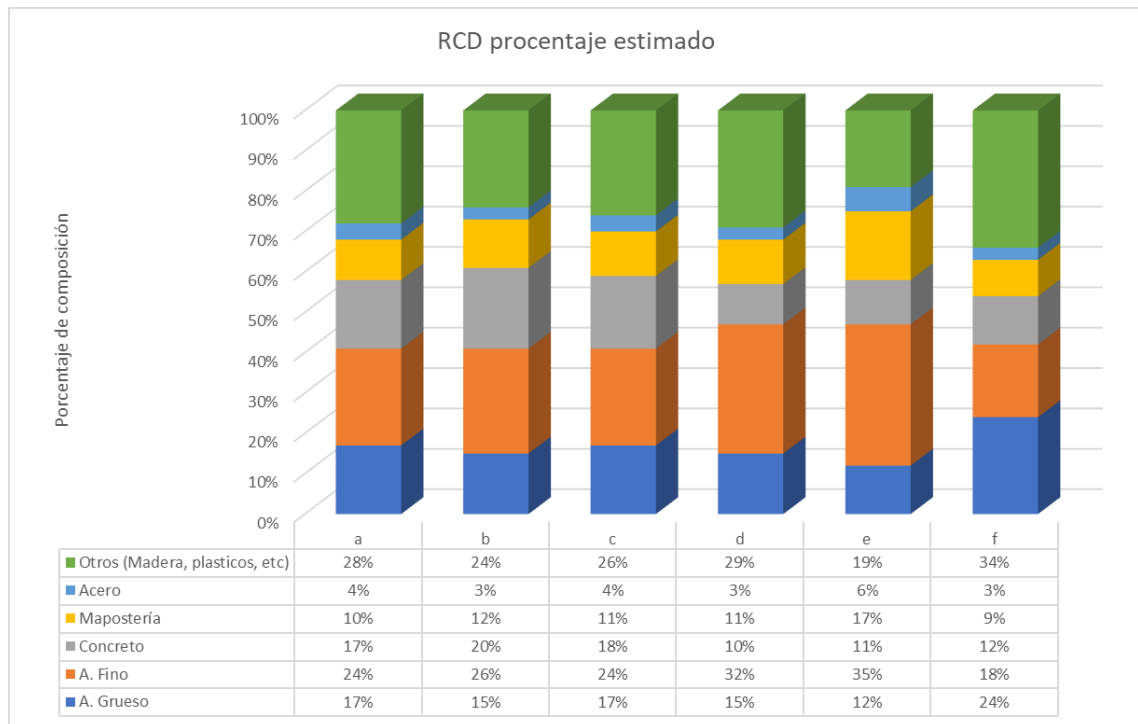


Figura 32: Composición RCD de viviendas.

Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las letras corresponde al tipo de vivienda y el porcentaje estimado de RCD generado, siendo a,b,c residenciales estudiadas y d,e,f las construcciones comerciales. Debido a ello es que se obtiene los resultados de la tabla 40, siendo el porcentaje de aprovechamiento y por ende el utilizado para la propuesta de vía urbana que se proyecta de acuerdo con el plan de desarrollo municipal del distrito. En este caso se ve positivamente que los RCD influyen positivamente en cuanto a la factibilidad técnica y sobre todo económica, ya que, de acuerdo a la estimación del presupuesto, según la municipalidad de Sopó por cada 1km de vía construida, cuesta \$ 270,727.89 y con respecto a la construcción con RC en las capas granulares cuesta \$ 238,003.81, siendo un 12 % más económico. Este presupuesto considera todas las partidas incluida la de movimiento de tierras y transporte de material, por lo tanto, se puede concluir que es viable para este proyecto.

### 5.3.3 Análisis de la comparación de costos del uso de RCD y material transportado en terraplenes

De acuerdo con la Tabla 43 el costo que se requiere para la conformación de terraplenes usando material de préstamo es de S/. 890,386.72, soles, este es un costo directo en el cual no se incluye IGV, como se observa en la tabla, la

conformación incluye las tres partes que la conforman, las cuales serán compactadas en capas de 30 cm de acuerdo a lo que recomienda las especificaciones técnicas del proyecto.

En la Tabla 45, observamos el costo requerido para la conformación de terraplenes usando el material reciclado, el cual requiere un presupuesto de S/. 745,844.75 soles, en el cual no se incluye IGV, como se detalla en la tabla, el cuerpo del terraplén estará conformado por ambos materiales, el de préstamo y reciclado, esto debido a que en la Tabla 32 se observa que a partir de los 3 metros a más el esfuerzo máximo vertical es cero.

En la siguiente tabla, se presenta la comparación de costos que se requiere para la conformación de terraplenes, el cual muestra que el uso de residuos de construcción y demolición incide positivamente en la reducción de costos.

Tabla 53:  
*Resumen comparativo del presupuesto*

<b>Resumen comparativo del presupuesto</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio P. S/.</b> <b>(Material de Préstamo)</b>	<b>Precio P. S/.</b> <b>(Material Reciclado)</b>
<b>Terraplén</b>		<b>890,386.72</b>	<b>745,844.75</b>
<b>Corona del Terraplén</b>	m3	17,746.42	17,746.42
<b>Cuerpo del Terraplén</b>	m3	854,893.88	710,351.91
<b>Cimiento del Terraplén</b>	m3	17,746.42	17,746.42
<b>Costo Directo</b>		<b>890,386.72</b>	<b>745,844.75</b>
<b>Ahorro Económico</b>		<b>S/144,541.97</b>	<b>8.83%</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 53 se observa el ahorro económico que genera el uso de material reciclado, el cual representa un monto de S/. 144,541.97 soles y un porcentaje de 8.83% respecto al costo del uso de material de préstamo. De acuerdo a los datos obtenidos afirmamos la incidencia de manera positiva en el costo el uso de material reciclado.

#### 5.4 Contrastación de hipótesis

##### Hipótesis específica 1

H11. En el cuerpo de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición el cual incide en los costos de movimiento de tierra en carreteras.

H01. En el cuerpo de la estructura de los terraplenes no se aplican los residuos de

construcción y demolición el cual incide en los costos de movimiento de tierra en carreteras.

En el capítulo V, inciso 5.2.1 mediante el modelo elástico de Boussinesq, se pudo determinar que en el cuerpo del terraplén es posible aplicar los residuos de construcción y demolición.

La Tabla 32 nos muestra que a partir de los 300 cm a más el esfuerzo máximo vertical es aproximadamente cero y menor al esfuerzo máximo admisible, cumpliendo con la condición planteada el cual plantea que para limitar esfuerzos verticales actuantes, es necesario que el esfuerzo máximo admisible sea mayor al esfuerzo máximo vertical, con lo cual podemos afirmar que a esa profundidad el material de relleno no está sujeto a esfuerzos ni deformación, por lo tanto, aquellos materiales que no cumplen con los requisitos necesarios que exigen la norma pueden usarse a este nivel de profundidad.

La incidencia en los costos del uso de residuos de construcción y demolición en la conformación de terraplenes es positiva, como podemos observar en la Tabla N°34, el ahorro económico representa un 31% respecto al uso de material reciclado.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis específica 2

H12. Al determinar los tipos de residuos de construcción y demolición, podremos saber si estos inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras.

H02. Al determinar los tipos de residuos de construcción y demolición, podemos decir que estos no inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras.

Como se observó en el capítulo 5 los tipos de materiales se clasifican de acuerdo artículo PG 03 diferencian según la UNE EN 933-11. La nominación es la siguiente RA, RB, RC, RG, RU, FL (Asfalto, Cerámica, hormigón, Vidrio, Árido natural, cenizas flotantes, etc.), además esta estimación se la obtiene en porcentajes. En cuanto a la incidencia, se pudo calcular en el proyecto de la municipalidad de Sopó-Bogotá, los cuales eran carreteras de 2 y 3ra categoría. Finalmente se llegó a concluir que la variación porcentual de la incidencia con los materiales reciclados es de 12.94% a 37.8% como máximo, cabe recalcar que esto fue en el diseño de pavimento flexible

Por otro lado, no se pudo desarrollar y factibilizar el presupuesto ya que para el caso de fabricación de la materia reciclada de 5.31 €/ TON y el agregado natural 3.96 €

/TON. Estos comprenden un 40% más del precio normal, volviéndolo desfavorable para este proyecto.

Por lo tanto, se valida la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

Hipótesis específica 3

H13. El costo del uso de residuos de construcción y demolición en terraplenes es menor frente al costo del uso de material transportado.

H03. El costo del uso de residuos de construcción y demolición en terraplenes es mayor frente al costo del uso de material transportado.

En el capítulo V, inciso 5.2.3 comparando los costos que implica el uso de material granular y reciclado, podemos observar una gran variación en lo que respecta al costo de la conformación del terraplén.

Realizamos el análisis de costos que genera el uso de material granular en la conformación de terraplenes, este costo calculado es de S/. 890,386.72 soles, el cual incluye la conformación de las 3 partes del terraplén, también realizamos el análisis de costos que genera el uso de material reciclado, el cual es de S/. 745,844.75 soles incluyendo la conformación de las 3 partes del terraplén.

En la Tabla 53 observamos el resumen comparativo de costos usando ambos materiales, podemos observar que el uso de material reciclado resulta ser más económico y rentable en cuanto a reducción de costos en movimiento de tierras en carreteras, esta variación se ve representado en S/. 144,541.97 soles y en 8.83% para 100 metros lineales de conformación de terraplenes y 7.50 metros de altura.

Según (Flor Chávez, 2012) realiza la comparación de presupuestos en la reconstrucción de una vía, usando en sus capas estructurales agregados gruesos naturales y reciclados, determinado un ahorro económico en el costo total de la obra de 31% utilizando agregado reciclado en la subbase granular + H30. Para la reconstrucción de una vía usando en sus capas estructurales un H13 como base y un H30 como capa de rodadura, se vio un ahorro económico de 20.45% utilizando agregado grueso reciclado. Concluyendo que, el uso de agregados reciclados en las capas estructurales del pavimento da lugar a ahorros económicos considerables.

Según (Barahona Soto, 2021) diseñó una mezcla asfáltica con material reciclado a fin de optimizar costos para el tramo Km18+000 al Km19+000 de la Avenida Universitaria, ubicado en el distrito de Los Olivos en el departamento de Lima. Se optimizó los costos de materiales con una diferencia de 4.74 soles entre la mezcla convencional y la mezcla con material reciclado, para el tramo en evaluación que

consta de 1k tiene 7000m<sup>2</sup>, con un ahorro de 4.74 por m<sup>2</sup> se ahorra 33180.00 soles en mezcla y colocación de carpeta asfáltica.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis general

Se pudo determinar que mediante la hipótesis alterna (H11 y H13) y la hipótesis nula (H12), los residuos de construcción y demolición no reducen los costos en el movimiento de tierras en carreteras por lo que no se valida la hipótesis general.

## CONCLUSIONES

1. Los residuos de construcción y demolición inciden de forma positiva en los costos de movimientos de tierras en carreteras de acuerdo al análisis elaborado con información de un expediente técnico y en base a otras investigaciones realizadas, pero de acuerdo a una investigación realizada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas en España concluye que el uso de los residuos de construcción y demolición genera mayores gastos, debido al proceso de clasificación, tratamiento y transporte.
2. Mediante el modelo de Boussinesq, pudimos determinar que en el cuerpo de la estructura del terraplén es posible colocar los residuos de construcción y demolición, estos serán colocados a partir de los 3 metros a más, comprendiendo la parte del cuerpo de un terraplén, además pudimos determinar que el uso de los residuos de construcción y demolición inciden positivamente en la reducción de costos, representando un 31% menos respecto al material de préstamo o natural.
3. Se concluye que, por lo general, el uso de los RCD en carreteras aún sigue teniendo un costo mayor, aun llegando a parecerse en las propiedades a los materiales convencionales. Esto debido a que el mayor costo no es principalmente la del material, sino la del transporte y selección, ya que se debe atender bajo parámetros internacionales y normativas extranjeras, porque en nuestro País no existe normativa que satisfaga esa demanda. Las condiciones que deben cumplir para que sea viable, serían que existiera una planta de desechos cerca del proyecto y que este se diseñe en carreteras secundarias o terciarias.
4. Se realizó la comparación de costos del uso de material de transporte y reciclado, donde pudimos observar que el uso del material reciclado es mucho más económico respecto al uso de material transportado o natural, en el análisis propio realizado resulta ser más económico en un 8.83%, mientras que en otras investigaciones en un 20.45% y 4.74 soles por m<sup>2</sup>, concluyendo que el uso de material reciclado resulta ser más económico.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda e invita a seguir investigando, ya que la información obtenida no es lo suficientemente contundente y amplia para poder tener una mayor muestra sobre diversos proyectos, sobre todo donde den un costo de producción e implementación menor, así mismo ampliar el proceso no solo en terraplenes sino en más proyectos viales donde se permita también mitigar el impacto de los RCD.
2. Instar a las instituciones y ministerios a implementar un plan o guía técnica de reutilización de los residuos de construcción y demolición en obras de construcción y mantenimiento de carreteras.
3. Se recomienda a las plantas valorizadas de residuos de construcción y demolición a facilitar información de costos y procesos para profundizar más las investigaciones que se realizan respecto a la reutilización de RCD.
4. Se debe tener en cuenta que la norma peruana vigente del MTC respecto al material granular natural no debe ser usada para el uso del material reciclado, debido a que tiene especificaciones técnicas diferentes y adicionales de acuerdo a lo visto en la norma española.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANEFA. (10 de JULIO de 2020). ANEFA. Obtenido de [www.aridos.org/el-sector-de-los-aridos-en-2019-y-perspectivas-2020/](http://www.aridos.org/el-sector-de-los-aridos-en-2019-y-perspectivas-2020/)
- Arroyo, A. E. (2021). *Evaluación de la influencia del CBR en el terreno de fundación vial limo arcilloso para determinar espesores de mejoramiento mediante Modelos elásticos y la metodología AASHTO 1993. Tesis de pregrado.* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Balboa, M. (2019). Estudio del material afirmado para el terraplén de carreteras Chasquitambo. *Tesis de pregrado.* Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú.
- Barahona, C. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica usando material reciclado para optimizar costos de materiales en el tramo km 18+000 al km 19+000 de la avenida universitaria ubicado en el distrito de los Olivos – departamento de Lima. Tesis de pregrado.* USMP, Lima-Perú.
- Barrientos, F. (3 de Mayo de 2021). CARTIF. Obtenido de Los escombros: la gestión de RCD en el mundo. : <https://blog.cartif.es/los-escombros-la-gestion-de-rcd-en-el-mundo/>
- Bazán, I. (2018). Caracterización de residuos de construcción de lima y callao (estudio de caso). *Tesis de pregrado.* PUCP, Lima-Perú.
- Bolívar, A. C., & Coronado, D. L. (2018). Determinación de los parámetros de resistencia de RCD para el aprovechamiento en obras civiles. *Tesis de pregrado.* Universidad de Ibagué, Ibagué-Tolima.
- Burgos, D. (2010). Guía para la gestión y tratamiento de residuos y desperdicios de proyectos de construcción y demolición. *Tesis de pregrado.* UAC, Valdivia-Chile.
- Carlos, P. B. (2017). *Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión. En: Ingeniería y desarrollo.* Barranquilla.
- CEDEX. (2020). *Catálogo de residuos reutilizables en construcción. Gobierno de España.* Recuperado el 26 de Junio de 2022, de <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/>



- Cherné, J., & Gonzáles, A. (s.f.). *Construcciones Industriales, Movimiento de tierras*.  
Obtenido de <https://pdfcoffee.com/movimiento-de-tierras-15-pdf-free.html>
- Comunidad de Madrid. (2021). *Residuos de Construcción y Demolición*. Recuperado el 10 de Agosto de 2022, de <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/residuos-construccion-demolicion-rcd>
- De Santos, D., Monercillo, B., & García, A. (2010). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. España: Tornapunta.
- Degollar, D. A. (2012). Comparación de metodologías para formular la estructura de los análisis de costos unitarios a nivel de movimientos de tierras en caminos rurales y urbanos. *Tesis de pregrado*. Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Del Rey, Ayuso, Galvín, Jiménez, & Barbudo. (2016). *Feasibility of Using Unbound Mixed Recycled Aggregates from CDW over Expansive Clay Subgrade in Unpaved Rural Roads*. Córdoba 14071: MDPI.
- Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A. P., Jiménez, J. R., & Barbudo, A. (17 de Noviembre de 2016). Feasibility of Using Unbound Mixed Recycled Aggregates from CDW over Expansive Clay Subgrade in Unpaved Rural Roads. *Materials*.
- Fajardo, M. A., Mejía, D., Sanchez, J., & Castaño, C. (2022). Evaluación de la gestión de residuos de RCD en el ámbito de la economía circular como diagnóstico para la ciudad de Armenia. *Revista de investigaciones Universidad del Quindío*, 177-187.
- Flor, G. (2012). *Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en Obras Viales*. Recuperado el 30 de Junio de 2022, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/23820>
- Flores, J. (2020). Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición en la Municipalidad de Cusco. *Tesis de postgrado*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- García, H., & Jimenez, E. (2016). Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos. *Tesis de pregrado*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- García, M. (2016). Estudio de los resultados en obra y a largo plazo de la utilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en firme de carreteras y urbanización. *Tesis Doctoral*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- GERD; AIDICO; AITEMIN; INTROMAC; Universidad de la Coruña; Universidad de Oviedo; Universitat Politècnica de Catalunya; Universitat Politècnica de Valencia. (2012). *Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD)*. Madrid.

- Harloff, J. P. (2020). Seguimiento y control de calidad a la construcción de terraplenes con suelos marginales. *Tesis de pregrado*. Universidad de Antioquía, Medellín.
- Herrador, R., Perez, P., Garach, L., & Ordoñez, J. (2012). *Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing*. Sevilla: REVISTA DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE.
- Herrador, R., Perez, P., Garach, L., & Ordoñez, J. (2012). Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing. *Revista de Ingeniería del Transporte*.
- Manrique, C. (2020). Modelo de gestión de residuos generados en la demolición de obras de edificación residencial en Arequipa metropolitana. *Tesis de pregrado*. UNAS, Arequipa-Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Vivienda y Saneamiento. (2013). *Decreto Supremo N°003-2013-Vivienda*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). *Cantidad de RCD en espacio público en Perú*. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Plan de Gestión de los RCD*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2003). Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N°27972. *El Peruano*.
- Ministerio del Ambiente. (2008). *Informe de la situación actual de la gestión de residuos sólidos no municipales*. Lima.
- Montesdeoca, R. B. (2018). Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de hormigón en la ciudad de Riobamba. *Tesis de pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Navarro, G. E. (2010). Comparación técnico-económica de alternativa de trazado vial en viaducto versus terraplén. *Tesis de pregrado*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Pacheco, C. A., Fuentes, L. G., Sanchez, E. H., & Rondon, H. A. (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.
- Pardo de Santayan, F., Cano Linares, H., Santana Ruiz de Arbulo, M., & Rodríguez Abad, R. (2020). *Studies on the Use of Waste Material in Road Embankments*. Madrid: INGENIERÍA CIVIL, 196.
- Parrilla, A. (2019). Campo normativo en Carreteras-Terraplenes. *Máster de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica CEDEX-UNED*. Madrid.
- Riveros Roa, C. C., & Rojas Porras, L. J. (2019). *Propuesta metodológica para el uso de residuos de construcción en sub-bases y bases de carreteras secundarias y terciarias aplicado a un estudio de caso*. Bogotá: Part of the Civil Engineering Commons.
- Riveros, C., & Rojas, L. J. (2019). Propuesta metodológica para el uso de residuos de construcción en sub-bases y bases de carreteras secundarias y terciarias. *Tesis de pregrado*. Universidad de la Salle, Bogotá.
- Ruiz, G. (2015). Manual de costes para una empresa de movimiento de tierras. *Trabajo de investigación*. Universidad de Cantabria, Cantabria.
- Sangiorgi, C., Lantieri, C., & Dondi, G. (2014). *Reciclaje de residuos de construcción y demolición: una aplicación para la construcción de carreteras*. Bolonia-Italia: Taylor & Francisco.
- Suarez, S. S., Betancourt, C., Molina, J., & Mahecha, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Dora*, 224-244. Recuperado el 20 de Julio de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/2654/265460762014/html/>
- Villar, Y. (2018). Compensación optimizada de masas en obras lineales. *Tesis de pregrado*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Yepes, V. (2021). *Materiales que se pueden emplear en un terraplén*. Recuperado el 15 de Junio de 2022, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/04/07/materiales-que-se-pueden-emplear-en-un-terraple>

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

<i>PROBLEMA GENERAL</i>	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	<i>HIPOTESIS GENERAL</i>	<i>VARIABLE I.</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>INDICADORES</i>	<i>METODOLOGÍA</i>
¿En qué medida el uso de residuos de construcción y demolición inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras?	Determinar el uso de los residuos de construcción y demolición para reducir costos en el movimiento de tierra en carreteras.	Los residuos de construcción y demolición reducen los costos en el movimiento de tierras en carreteras	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICION	Clasificación Propiedades	Peligrosidad Procedencia Físicas Químicas	<b>Método: Deductivo</b> <b>Enfoque: Cuantitativas</b> <b>Orientacion de la investigación: aplicada</b> <b>Tipo: descriptivo</b> <b>Nivel de investigación: Descriptivo - explicativo</b> <b>Diseño: no experimental / transversal / prospectivo</b>
<i>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</i>	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	<i>HIPOTESIS ESPECÍFICAS</i>	<i>VARIABLE D.</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>INDICADORES</i>	
1. ¿En qué parte de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición para incidir en los costos de movimiento de tierra en carreteras ?	1. Describir en qué parte de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición para incidir en los costos de movimiento de tierra en carreteras.	1. En el cuerpo de la estructura de los terraplenes se aplican los residuos de construcción y demolición el cual incide en los costos de movimiento de tierra en carreteras.			Mano de obra	
2. ¿Cuáles son los tipos de residuos de construcción y demolición que inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras?	2. Determinar los tipos de residuos de construcción y demolición que inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras.	2. Al determinar los tipos de residuos de construcción y demolición, podremos saber si estos inciden en los costos de movimiento de tierra en carreteras.	COSTOS	Directo	Materiales	
3. ¿Cuál es el costo del uso de residuos de construcción y demolición con los costos de terraplenes con material transportado?	3. Comparar el costo del uso de residuos de construcción y demolición con los costos de terraplenes con material transportado.	3. El costo del uso de residuos de construcción y demolición en terraplenes es menor frente al costo del uso de material transportado.			Equipamiento	

