

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



RECICLADO DE CONCRETO HIDRAULICO PARA EL
MEJORAMIENTO DEL CBR EN SUBRASANTES DE SUELOS
ARCILLOSOS EN CARRETERAS

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. ESCALANTE JIHUALLANCA, JONATHAN STAYLER

Bach. TITO SANCHEZ, NAYLA

Asesor: MSc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO

LIMA-PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, abuelos, hermanos, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis cinco años de estudio.

Jonathan Stayler Escalante Jihuallanca

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Nayla Tito Sánchez

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a nuestra alma mater, por brindar conocimiento a la carrera que se escogió; nuestro asesor por su paciencia, consejos y asesorías durante el transcurso del programa de titulación y a nuestros familiares que con su continuo apoyo fraternal nos impulsan a ser mejores día a día.

Jonathan Escalante y Nayla Tito

INDICE GENERAL

RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.1.1. Problema general	12
1.1.2. Problema específico.....	13
1.2. Objetivo general y específico	13
1.2.1. Objetivo general	13
1.2.2. Objetivos específicos.....	13
1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática	13
1.3.1. Delimitación temporal	13
1.3.2. Delimitación espacial	14
1.3.3. Delimitación temática.....	14
1.4. Justificación e importancia	14
1.4.1. Justificación del estudio	14
1.4.2. Importancia del estudio	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes del estudio de investigación	15
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	16
2.2.1. Ámbito internacional	16
2.2.2. Ámbito Nacional	19
2.3. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	21
2.3.1. Pavimentos	21
2.3.2. Tipos de pavimentos.....	22
2.3.3. Estructura de pavimento asfáltico	24
2.3.4. Fallas en el pavimento asfáltico	25

2.3.5. Diseño de pavimento asfáltico.....	29
2.3.6. Metodología de diseño AASHTO 1993	36
2.3.7. Comportamiento mecánico del pavimento asfáltico	40
2.3.8. Estabilización en suelos.....	41
2.3.9. Concreto reciclado como agente estabilizador	44
2.4. Definición de términos básicos	70
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	72
3.1. Hipótesis	72
3.1.1. Hipótesis principal.....	72
3.1.2. Hipótesis secundarias	72
3.2. Variables	72
3.2.1. Definición conceptual de las variables	72
3.2.2. Operacionalización de las variables	73
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	74
4.1. Tipo y Nivel	74
4.1.1. Tipo de investigación	74
4.1.2. Nivel de la investigación	74
4.2. Diseño de la Investigación	74
4.3. Población y muestra	74
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	75
4.4.1. Nivel de la investigación	75
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	75
4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos	75
4.5. Técnicas para el procedimiento y análisis de la información	76
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	77
5.1. Metodología según la Normativa E50 y AASHTO	77
5.1.1. Ensayo de contenido de humedad (NTP 339.127 – ASTM D 2216 – MTC E 108).....	77
5.1.2. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado (NTP 339.128 – ASTM D 422 – MTC E 107).....	77

5.1.3. Ensayo de análisis granulométrico por lavado (ASTM C 117).....	78
5.1.4. Ensayo de límite líquido de los suelos (NTP 339.129 – ASTM D 4318 – MTC E 110).....	79
5.1.5. Ensayo de límite plástico (LP) de suelos con índice de plasticidad (NTP 339.129 – ASTM D 4318 – MTC E 111).....	79
5.1.6. Ensayo de los suelos método SUCS (NTP 339.134 – ASTM D 2487).....	79
5.1.7. Clasificación de los suelos – AASHTO (ASTM D 3282).....	80
5.1.6. Ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141 – ASTM D 1557 – MTC) ...	81
5.1.6. Ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141 – ASTM D 1557 – MTC E 132).....	82
5.2. Propuesta de estabilización con concreto reciclado	82
5.2.1. Propiedades de concreto reciclado	82
5.2.2. Relación entre concreto reciclado molido y suelo arcilloso	82
5.3. Dosificación de suelos arcillosos estabilizados	83
5.3.1. Porcentaje de concreto reciclado	83
5.3.2. Resultado del CBR	86
5.4. Diseño de pavimento flexible con la Norma AASHTO 1993	92
5.4.1. Diseño de estructura de pavimento Método AASHTO 1993	92
5.5. Consideraciones para el diseño de pavimento flexible	97
5.6. Propuesta de diseño de pavimento asfáltico (Tr= 10 años)	98
5.7. Propuesta de diseño de pavimento asfáltico (Tr= 20 años)	100
5.8. Análisis técnico y económico de la propuesta	105
5.8.1. Comparativo de propuestas económica del pavimento flexible (Tr=10 años)	105
5.8.2. Comparativo de propuesta económica del pavimento flexible (Tr = 20 años)	106
5.9. Constatación de hipótesis	111
5.9.1. Hipótesis específica 1	111
5.9.2. Hipótesis específica 2	112
5.9.4. Hipótesis específica 3	112
5.9.5 Hipótesis general	113
CONCLUSIONES	114

RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS.....	119
Anexo 1: Matriz de consistencia	119
Anexo 2: Matriz operacionalización de las variables	120
Anexo 3: Nivel de confiabilidad según ESAL	121
Anexo 4: Tabla para determinar el valor de desviación	122
Anexo 5: Tabla para determinar el valor de serviciabilidad de la vía	123
Anexo 6: Tabla para determinar el modulo resiliente por correlación del CBR	124
Anexo 7: Confiabilidad de la vía en función al tráfico impuesto	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Zonas críticas identificadas en el distrito de Comas	35
Tabla N° 2: Módulo resiliente según categoría de Subrasante	36
Tabla N° 3: Formulas para hallar Mr, según el valor del CBR.....	36
Tabla N° 4: Coeficiente de estimación de RCD – España.....	49
Tabla N° 5: Clasificación de residuos peligrosos y no peligrosos	50
Tabla 6: Coeficiente de generación de RCD por m2 construido	55
Tabla 7: Coeficiente de generación de RCD por m2 construido	57
Tabla 8: Empresas registradas en el manejo de RCD	61
Tabla 9: Composición de RCD en Noruega	69
Tabla 10: Condiciones de ensayo de Proctor Modificado	81
Tabla 11: Investigaciones relacionadas en el presente estudio.....	83
Tabla 12: Investigaciones relacionadas en el presente estudio.....	84
Tabla 13: Porcentaje de RCD en cada investigación analizada.....	85
Tabla 14: Porcentaje de RCD en cada investigación analizada.....	85
Tabla 15: Porcentaje de RCD en cada investigación analizada.....	86
Tabla 16: Resultado de ensayos del suelo natural. Tesis de Grado. Del Rio (2017).....	87
Tabla 17: Resultado de ensayos del suelo natural. Tesis de Grado. Noriega Góngora (2020).....	88
Tabla 18: Resultado de ensayos del suelo natural. Tesis de grado. Del Rocío (2019) ...	89
Tabla 19: Resultado de ensayos adicionado con % de concreto reciclado.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 20: Resultado de ensayos adicionados con % de concreto reciclado. Tesis de grado.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21: Nivel de Confiabilidad.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr).....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 23: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr).....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24: Índice de serviciabilidad final (Pt).....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 25: Diferencia de serviciabilidad (Δ PSI)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 26: Valores obtenidos para el nuevo diseño de pavimento flexible	98
Tabla 27: Parámetros de diseño $T_r=10$ años, para pavimento flexible.....	99

Tabla 28: Numero estructural para un diseño de Tr=10 años.....	99
Tabla 29: Numero estructural requerido para Tr=10 años.....	100
Tabla 30: Parámetros de diseño Tr=20 años, para pavimento flexible.....	101
Tabla 31: Numero estructural para un diseño de T=20 años	101
Tabla 32: Numero estructural requerido para Tr=20 años.....	102
Tabla 33: Propuesta de la consultora, Diseño de Pavimento Tr=10 años y Tr=20 años	103
Tabla 34: Propuesta de tesis, Diseño de Pavimento Tr=10 años y Tr=20 años.....	104
Tabla 35: Presupuesto del pavimento de la consultora para un diseño de Tr=10 años	105
Tabla 36: Presupuesto del tipo de pavimento propuesto para un diseño de Tr=10 años	106
Tabla 37: Presupuesto del pavimento de la consultora para un diseño de Tr=20 años	107
Tabla 38: Presupuesto del tipo de pavimento propuesto para un diseño de Tr=20 años	108
Tabla 39: Estabilización de suelo con material de préstamo de Tr=10 años y Tr=20 años	109
Tabla 40: Estabilización de suelo con polvo de concreto reciclado de Tr=10 años y Tr=20 años	109
Tabla 41: Propuesta económica – Consultora, Tr=10 años	110
Tabla 42: Propuesta económica – Tesis, Tr=10 años	110
Tabla 43: Propuesta económica – Consultora, Tr=20 años	111
Tabla 44: Propuesta económica – Tesis, Tr=20 años	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de pavimento Rígido	22
Figura 2: Estructura del pavimento Semirrígido.....	23
Figura 3: Estructura del pavimento flexible	24
Figura 4: Falla superficial	26
Figura 5: Falla Estructural	26
Figura 6: Falla tipo piel de cocodrilo.....	27
Figura 7: Falla por exudación	27
Figura 8: Fisuras en bloques	28
Figura 9: Abultamiento y hundimiento.....	29
Figura 10: Tamaños de las partículas de suelos.....	32
Figura 11: Tamaños de las partículas de suelos.....	33
Figura 12: Arenas.....	33
Figura 13: Suelos Limos	34
Figura 14: Suelos Arcillosos.....	34
Figura 15: Numero estructural del pavimento	39
Figura 16: Diagrama de separación de capas granulares y subrasante con geotextil	43
Figura 17: Residuos de Construcción	45
Figura 18: Residuos de construcción	46
Figura 19: Evolución mensual del PBI en construcciones	48
Figura 20: Clasificación y opciones de manejo de los residuos de la actividad de la construcción	52
Figura 21: Licencia de vivienda a nivel nacional	54
Figura 22: Porcentaje presentado en España	70
Figura 23: Carta de Plasticidad de Casagrande para suelos.....	80
Figura 24: Porcentaje de concreto reciclado utilizado en investigaciones analizadas...	86
Figura 25: C.B.R. para suelos arcillosos con diferentes porcentajes	91
Figura 26: Espesores del pavimento estabilizado con concreto reciclado	100
Figura 27: Espesores del pavimento estabilizado con concreto reciclado	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Formulas para hallar SN	37
Ecuación 2: Formula para determinar el espesor de carpeta asfáltica	39
Ecuación 3: Formulas para determinar el espesor de la base	39
Ecuación 4: Formula para determinar el espesor de la sub base	40
Ecuación 5: Contenido de Humedad	77
Ecuación 6: Porcentaje retenido en cada tamiz	78
Ecuación 7: Porcentaje acumulado en cada tamiz	78
Ecuación 8: Porcentaje Acumulado en cada tamiz	78
Ecuación 9: Coeficiente de Uniformidad.....	78
Ecuación 10: Coeficiente de Uniformidad.....	78
Ecuación 11: Porcentaje retenido en cada tamiz	78
Ecuación 12: Porcentaje acumulado en cada tamiz	79
Ecuación 13: Limite liquido de un suelo	79
Ecuación 14: Limite Plástico	79
Ecuación 15: Índice de plasticidad	79
Ecuación 16: Índice de grupo para la clasificación de suelos método AASTHO	80

RESUMEN

La presente investigación tiene la finalidad de estabilizar un suelo arcilloso 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 el suelo arcilloso de baja estabilidad, se tuvo 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 se procedió analizar uno por uno y ver la variación del CBR natural con el CBR mejorado (estabilizado con concreto reciclado); por lo tanto, se escoge el porcentaje óptimo con que se trabajó en esta tesis.

Una vez hallado el porcentaje óptimo y el CBR estabilizado, se procede hallar los nuevos espesores de la estructura del pavimento flexible, y hacer una comparación con el expediente técnico para verificar en cuanto ha variado, este desarrollo se utilizó bajo la Metodología AASHTO 1993.

Se procede a hacer un análisis comparativo de propuesta económica del pavimento flexible para diseños $T_r=10$ años y $T_r=20$ años, tanto de la consultora como la propuesta de investigación.

Por último, se realizó 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.

Palabra clave: Suelo arcilloso de baja plasticidad, sub rasante, pavimentos flexibles, estabilización, polvo de concreto reciclado, AASHTO.

ABSTRACT

The present research aims to stabilize a clay soil with recycled concrete on the Empalme LO-103 neighborhood road to the town of Santo Tomás, Loreto (00+000Km to 06+500Km).

To stabilize the low stability clay soil, the optimum percentage of recycled concrete had to be found by collecting all the information related to the subject, once having the CBR database of each investigation, we proceeded to analyze one by one and see the variation from natural CBR with improved CBR (stabilized with recycled concrete); therefore, the optimal percentage with which this thesis was worked is chosen.

Once the optimal percentage and the stabilized CBR have been found, we proceed to find the new thicknesses of the flexible pavement structure, and make a comparison with the technical file to verify how much it has varied, this development was used under the AASHTO 1993 Methodology.

A comparative analysis of the economic proposal of the flexible pavement is carried out for designs $T_r=10$ years and $T_r=20$ years, both from the consulting firm and the research proposal.

Finally, a financial comparative analysis was carried out both of the technical file and of the thesis out both the technical file and of the thesis proposal according to the thickness of the new flexible pavement structure.

Keyword: Low Plasticity clay soil, Subgrade, flexible pavements, stabilization, recycled concrete dust, AASHTO.

INTRODUCCIÓN

En esta tesis titulado “Reciclado de concreto hidráulico para el mejoramiento del CBR en subrasantes de suelos arcillosos en carreteras” vinculan dos temas importantes que es la problemática ambiental por la expansión urbana en Perú y en general en el sector de la construcción, que es el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición RCD (concreto molido) y el otro tema es la estabilización de suelos arcillosos de baja plasticidad.

La demanda de construcción de nuevas estructuras, rehabilitaciones o mejoramiento entre otros, se tiene una gran cantidad de residuos de construcción que se eliminan sin ningún control y afectando el medio ambiente. Para tal efecto se debe de plantear un aprovechamiento de los residuos de demolición para utilizar en estabilizaciones de suelos para pavimentos asfálticos, y abordan tres soluciones; la primera es la cantidad de residuos producidos, la segunda por la inadecuada disposición final que se dé a los residuos sólidos y la tercera utilizar sitios provisionales de materiales sin autorización de los entes correspondiente.

En el capítulo I se explica la problemática de los suelos de baja calidad (arcillas) con concreto reciclado para el diseño de pavimento flexible.

En el capítulo II se muestra la parte teórica de la utilización de concreto reciclado y su origen, la utilización como agente estabilizador en pavimentos flexibles. Se realizó estudio de investigación relacionado al tema tanto internacional como nacional.

En el capítulo III se explica las hipótesis, variables y la operacionalización de variables.

En el capítulo IV se muestra la parte metodológica, la cual incluye el tipo y nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y por último el procedimiento y análisis de información.

En el Capítulo V se desarrolla el análisis de resultado de la investigación, que es el concreto reciclado como agente estabilizador, el diseño de pavimento flexible con la metodología AASHTO 1993 y el análisis económico de la nueva propuesta; y por último la constatación de hipótesis.

Hasta la fecha, se han realizado varias investigaciones del uso de materiales reutilizados, desde el enfoque de sostenibilidad. En esta investigación se pretende realizar un diseño de estructura de pavimento con polvo de concreto reciclado para verificar su comportamiento mecánico que estén directamente relacionadas con el nivel de tráfico.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La problemática que tiene Perú son sus suelos de baja calidad cuando se construye una vía, ya que esto obliga a los entes responsables a mejorar las vías para evitar problemas a futuro. Teniendo este problema surgen dos posibilidades de mejorar la calidad del suelo una de ellas es la remoción y reemplazo de una capa de suelo de mejor calidad y la otra posibilidad es la estabilización del suelo mediante el uso de aditivos químicos.

Sabemos que la estructura de un pavimento está ligado directamente al comportamiento de la subrasante, por lo tanto, una subrasante tiene que ser resistente y duradera a los cambios climáticos y a las cargas que transmite el tráfico.

Los suelos de baja calidad son las arcillas, pero hay una especial que son las arcillas expansivas ya que al someterse a ganancia o pérdida de humedad se tiene cambios volumétricos y esto ocasiona graves daños en las estructuras de una edificación o cimientos de un pavimento.

Si se construye un pavimento en suelos de arcillas expansivas se debe de evitar la variación de humedad debido a los cambios climáticos, para lo cual se debe de pensar en impermeabilizar o aplicar un proceso de estabilización.

El tipo de estabilización que se utilizará es el concreto reciclado de pavimento rígido como aditivo estabilizador; ya que surge buscar la necesidad de nuevas tecnologías y reutilización de materiales que no tenga mayor impacto ambiental.

El concreto reciclado se aplica en Europa y algunos países de América, su uso en las capas de base y sub bases granulares de nuevos pavimentos y es amigable con el ambiente, ya que se encuentra los Residuos de Construcción y Demolición.

1.1.1. Problema general

¿En qué medida el concreto reciclado influye en la estabilización de la subrasante de suelos arcillosos de baja plasticidad en carreteras de bajo volumen?

1.1.2. Problema específico

- a) ¿Cuál es la dosificación óptima para obtener una mejor estabilización en suelos arcillosos de baja plasticidad en pavimento asfáltico de bajo volumen?
- b) ¿Cuál es el método que se utilizará para el diseño de pavimento asfáltico una vez hallado el CBR mejorado con concreto reciclado en suelos arcillosos de baja plasticidad, según información del año 2012-2020?
- c) ¿Cuál es la rentabilidad de la estabilización de la subrasante con concreto reciclado en suelos arcillosos?

1.2. Objetivo general y específico

1.2.1. Objetivo general

Mejorar la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de baja plasticidad con concreto reciclado para la determinación del pavimento asfáltico en carreteras de bajo volumen de tránsito, año 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Obtener la dosificación óptima con concreto reciclado de pavimento rígido para el mejoramiento del CBR en suelos arcillosos de baja plasticidad, determinando el pavimento asfáltico en carreteras de bajo volumen según información del 2012-2020.
- b) Determinar el diseño de pavimento asfáltico con el método AASHTO 1993 del CBR mejorado con concreto reciclado en suelos arcillosos de baja plasticidad según la información del Año 2012-2020.
- c) Comparar económicamente la propuesta de diseño según una carretera convencional y la propuesta de la presente investigación según la información del Año 2012-2020.

1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

1.3.1. Delimitación temporal

El trabajo de investigación se centra en las investigaciones relacionadas al tema, bibliografías, papers, y comprende los años 2012 al 2020.

1.3.2. Delimitación espacial

La investigación se realizará en la región de Junín y Cuzco, en los meses de mayo a octubre del 2021 (26 semanas), donde se buscará información de diferentes investigaciones acerca de estabilizaciones con concreto reciclado en el Perú.

1.3.3. Delimitación temática

En esta investigación consiste en la recopilación bibliográfica donde se realizará estudios comparativos (Diseño de carpeta asfáltica, expedientes técnicos) de estabilización con concreto reciclado.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación del estudio

La investigación se justifica con los estudios bibliográficos e investigaciones que se realizaron con concreto reciclado como aditivo estabilizador en suelos arcillosos, se buscará información en vías peruana y extranjeras donde se aplicó esta tecnología que nos permitirá confirmar los beneficios de esta aplicación.

1.4.2. Importancia del estudio

La importancia de esta investigación es aplicar el concreto reciclado como polímero en las carreteras que están construidos en suelos arcillosos expansivos en todo el territorio nacional

La finalidad es mejorar la estabilidad de los suelos arcillosos a través de un agente estabilizador mejorando la estructura del pavimento y tiempo de vida útil.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de investigación

El reciclado de escombros inicio en el Imperio Romano y Grecia antigua se practicó el reaprovechamiento de residuos para la construcción, por ejemplo, los restos de tejas, ladrillos y utensilios de cerámica como parte gruesa del concreto (SANTOS 1975 apud LIMA, 1999). Sin embargo, en el terremoto de 1980 en El Asnam en Argel, y la Segunda Guerra Mundial se impulsó la investigación del reaprovechamiento en locales con grandes volúmenes de residuos (PAUW, C; LAURITZEN, 1994).

Cárdenas, C. (2020). Mencionó en su tesis “Revisión documental sobre concretos reciclados y su resistencia a la compresión” El concreto es el resultado de mezclar agregados finos con agregados gruesos más el cemento (aglutinante), mezclados con agua. Este material es el más usado por su bajo costo, mayor facilidad de trabajabilidad con grandes capacidades portantes cuando se endurece. El concreto es el material de construcción más importante que a lo largo de la civilización ha acompañado al hombre; a lo largo de la historia se presume de su uso como material de construcción desde el antiguo Egipto, Roma y Grecia desde el año 300 A.C. Siendo las precedentes construcciones donde el concreto se mezclaba con adhesivos a base de derivados de yeso, piedras calizas en vez del cemento actual. Con esta mezcla se edificaron pequeñas y grandes edificaciones, grandes santuarios griegos, las gigantescas avenidas, vías y el coliseo Romano, el canal de Segovia para mencionar algunos. Condujo a los Nórmanos en Gran Bretaña en el remoto año del 700 D.C. gran socio de John Smeaton en 1774 en la obra del faro de Eddy Stone donde utilizo resto de hierro cal viva arena y arcilla para dar firmeza a su construcción.

Rozo, N. (2012). Mencionó en su tesis “Estado del arte del aprovechamiento del concreto reciclado” En la actualidad la construcción está ligada con la expansión de la población, el crecimiento económico y desarrollo político en el mundo. Estas mismas conlleva que existan varios problemas de tipo ambiental debido a que la

industria de la construcción ha aumentado sus obras de infraestructura para cumplir las necesidades poblacionales y de desarrollo, esta necesidad de un aumento en la demanda de materiales de construcción, que en su mayoría son recursos no renovables. Lo que conlleva, no solo al aumento en el impacto ambiental debido a la explotación de materiales no renovables, sino también un mayor impacto negativo resultado de los desechos de construcción y la gran cantidad de energía usada en los procesos de fabricación y extracción. Por otro lado, el crecimiento y desarrollo en las zonas urbanas ha llevado a que el sector de la construcción utilice gran cantidad y variedad de materiales, que después de cumplir su proceso terminan como residuos de construcción, afectando directamente la atmósfera, biosfera, hidrosfera y litosfera.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Ámbito internacional

Rodríguez, R (2018). Mencionó en su tesis “Concreto reciclado como alternativa ecológica en la construcción de banquetas y pavimentación de calles en el municipio de Apan, Hgo” El hormigón como el material de construcción irremplazable compensado a su pequeño costo, pero gran capacidad para soportar combinaciones de cargas empleadas, su fácil trabajabilidad permite diseñar y edificar variadas estructuras que dan afinidad a una sociedad. Por lo cual el hormigón es y continuara siendo por bastante tiempo el material esencial en el proceso de la construcción de hogares de interés nacional, hogares distinguidos y grandiosas construcciones como viaductos, autopistas que frecuentamos actualmente. Después del agua, el cemento y el hormigón son los materiales más utilizados por el hombre en todo el mundo, en México son más de 110 millones de pobladores y también usamos más de 35 millones de toneladas anuales de cemento para elaborar concreto. En gran parte de las edificaciones se realizan con hormigón y su estabilidad se explica en labor de la eficacia del mismo, cuando el concreto llega a su vida útil o es afectado por cargas que no estaban diseñadas es demolido y transportado a botaderos o como frecuentemente se realiza en las carreteras que son de concreto rígido y son rehabilitadas o reconstruidas.

La idea de reciclar materiales desusados para constituir nuevos lleva mucho tiempo siendo manejada en diferentes trabajos principalmente en la

construcción, es por esto que las pasadas ciudades se edificaron sobre los restos de otras como se puede apreciar en abundantes ejemplos en todo el mundo. En consecuencia, es normal asumir en darle una nueva utilidad al concreto viejo, que seguidamente de ser demolido pierde todo su valor. A parte de darle un nuevo uso a estos materiales reduce el vertimiento de residuos sólidos que afectan negativamente el medio ambiente y previene la sustracción inútil de materiales geológicos nuevos de canteras con técnicas de minería a cielo abierto que provocan gran golpe en la flora y fauna. (Escobedo, P. y Portland, C., 2015).

Rozo, N. (2012). Mencionó en su tesis “Estado del arte del aprovechamiento del concreto reciclado” El tratamiento del agregado de concreto reciclado es uno de los reciclajes más comunes para los desechos de concreto, esto debido a que la mayoría de los países tienen proyectos que demuestran su alta factibilidad. En general el tratamiento comienza en una planta de reciclaje de concreto que contiene como maquinaria dos trituradoras y cuenta con bandas transportadoras que transportan el material entre las trituradoras tal que una de ellas contenga unos imanes para atraer los hierros que se encuentran dentro del material, para evitar que el producto tenga mala calidad. La planta de procesamiento comienza con las llegadas de los volquetes con los escombros. En ese momento primero se llevan a la sección de clasificación ya que este material llega revuelto de asfalto, concreto, materiales de demolición, plásticos y piezas metálicas), y al mezclarse en la trituración provocan defectos en la calidad del producto final. Esta primera fase se hace de forma manual por trabajadores que separan el material correcto y siguen por templar para garantizar que no exista ninguna partícula contaminada.

Velásquez, M. (2015). Mencionó en su tesis “Propiedades físicas mecánicas del concreto reciclado para Lima Metropolitana” sobre el concreto reciclado en EEUU, Japón, Australia y en la comunidad europea.

A pesar de no existir normas concretas sobre si existen otras técnicas utilizadas como base fundamental para obtener las propiedades de los agregados reciclados. En la actualidad el comité 555 de ACI prepara un archivo para

regularizar el manejo de agregados reciclados de concreto. Toca resaltar que los agregados se catalogan según las siguientes clases.

a) Residuos triturados procedentes de demoliciones. Están hechas de una mezcla de concreto y residuos cerámicos demolidos, catalogados y que presentan un porcentaje de otros materiales contaminantes extraños.

b) Residuos de demolición clasificados en limpios. Están hechas de mezcla de concreto y residuos cerámicos demolidos, catalogados y sin presentar otros materiales contaminantes extraños.

c) Residuos cerámicos limpios. Son desperdicios de ladrillos demolidos y catalogados que presentan menos del 5% de concreto, elementos pétreos u otros contaminantes.

d) Residuos de hormigón limpios. Son desperdicios de concreto demolidos y catalogados que presentan menos del 5% de residuos de ladrillo, elementos pétreos u otros contaminantes.

En Japón los agregados reciclados de concreto se clasifican en tres categorías. El agregado reciclado de mayor calidad se clasifica con la letra H, el de calidad intermedia con la letra M y el de más baja calidad con la letra L. Con el primero de ellos se consiguen las mejores prestaciones en la fabricación de hormigón. Quedan regulados, respectivamente, por las normas JIS A 5021, JIS A 5022 y JIS A 5023 puestas en circulación entre los años 2005 y 2007[50,51]. La clasificación en una u otra categoría se basa en los requisitos exigidos a sus propiedades físicas, a la reactividad álcali-agregado y al contenido de impurezas que contengan.

En 2002, el Ministerio de Medio Ambiente y Patrimonio en colaboración con el CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) elaboró una guía nacional para la utilización de concreto reciclado en aplicaciones no estructurales. En dicha guía los áridos reciclados se clasifican en áridos reciclados de clase 1 y de clase 2. Los primeros son los que se utilizan en la fabricación de hormigón ya que las limitaciones establecidas en sus propiedades físicas son muy parecidas a las de los áridos naturales. Los áridos reciclados de segunda clase se utilizan como material de relleno y como bases

y sub-bases en carreteras y pavimentación. Se les exige a ambos una absorción inferior al 6% y una densidad mínima de 2100 kg/m³.

Existen distintas normas nacionales que emanan de los países que componen la comunidad europea, con cierta variedad en cuanto a la clasificación de los áridos reciclados. En Alemania la norma DIN 4226-100 clasifica los áridos reciclados en cuatro categorías diferentes:

TIPO 1: Son áridos que proceden mayoritariamente de residuos de hormigón o de áridos minerales. Presentan un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca caliza del 10%.

TIPO 2: Son áridos que proceden mayoritariamente de residuos de hormigón o de áridos minerales en con un porcentaje mínimo del 70%. Presentan un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca caliza del 30%.

TIPO 3: Son áridos que en su mayoría proceden de residuos cerámicos en una proporción mínima del 80%. Presentan un contenido máximo de materiales procedentes de hormigón o áridos minerales del 20%.

TIPO 4: Son áridos que en su mayoría proceden de una mezcla de agregados reciclados con un contenido mínimo del 80% de material procedente de hormigón, áridos minerales o productos cerámicos.

2.2.2. Ámbito Nacional

Del Rio, Y (2017) Manifiestó en su tesis “Optimización de la estabilidad de suelos arcillosos en el Sector Curva del Sun, Campiña de Moche, con concreto reciclado para pavimentación, provincia de Trujillo, La Libertad – 2017”, el nivel de estabilización de suelos arcillosos con concreto reciclado para fines de pavimentación en el Sector del Sun, Moche, Trujillo - La Libertad.

A los suelos arcillosos se le adiciono el porcentaje 11, 13 y 15% de concreto reciclado para evaluar la influencia del porcentaje de concreto reciclado sobre el Índice CBR de los suelos. Finalmente, estos resultados contrastan con la Norma CE 010 Pavimentos Urbanos y Pavimentos del MTC.

Muñoz, J (2019) Manifiesto en su tesis “Adición de escombros de construcción al material de la base y subbase para pavimentos flexibles en Nuevo Chimbote - 2019” que los escombros de construcción que se genera en la actualidad, y dar una solución es utilizar estos escombros en el diseño de pavimentos flexibles. En su investigación adiciona 5%, 15% y 25% para determinar un mejor comportamiento del concreto reciclado hacia el material puesto que en los resultados obtenidos, el material afirmado no cumple con algunas exigencias de la norma peruana en base y sub base. Por lo que procedió a realizar la trituración del concreto reciclado y se enfocó en tener pasantes por la malla $\frac{3}{4}$ ” y retenido en la malla N° 04 para complementar un mayor porcentaje en el afirmado. Se concluye que el porcentaje óptimo que cumple con las exigencias de norma para base y subbases es la adición del 15% hacia el material natural afirmado.

Contreras, K y Herrera, V. (2015), manifiesto en su tesis “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub bases de estructura de pavimento en nuevo Chimbote - Santa - Ancash”, el reaprovechamiento de los escombros derivados del proceso de construcción y demolición, la cuales serán procesadas y clasificadas hasta obtener un tamaño nominal que formarán parte del componente granular de un pavimento.

Estos agregados reciclados pueden ser sustituidos con materiales que tienen problemas geotécnicos y de baja capacidad de soporte. Estos materiales que son los áridos reciclados pueden emplearse en bases y sub bases granulares de carreteras, siempre y cuando sus propiedades físicas y mecánicas cumplan con la Norma del MTC (Sección 303 y 305 - Requerimiento para Bases y Sub bases granulares).

Ruelas, E. (2015) mencionó lo siguiente: En la actualidad en toda industria como de la construcción o cualquier otra tienen como tendencia global la preservación y cuidado del medio ambiente, mediante un desarrollo sustentable.

En la actualidad el concreto es uno de los materiales más usados para cualquier tipo de obra, por sus propiedades de trabajabilidad, resistencia, segregación,

exudación y durabilidad. como también el material de mayor contaminación ambiental en las demoliciones, excavaciones, explanaciones, etc. Aun así la importancia del reciclado de concreto aparecería como una necesidad para la conservación ecológica, el uso del concreto reciclado como agregado grueso para diversas aplicaciones como residuos utilizables en carreteras, estructuras y geotecnia hacen que el reciclado sea una realidad factible, sin contar que países como los Estados Unidos, países Europeos y algunos países asiáticos donde reciclan concreto ya cuentan con normativas y guías de utilización que puedan promover la tendencia de reciclado en nuestro Perú.

Velásquez, C (2018), mencionó en su tesis “Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la sub rasante de la avenida Dinamarca, Sector la Molina”, que los suelos arcillosos no poseen una calidad adecuada para conformar una sub rasante por lo que deben ser mejoradas con alguna técnica. Para esta investigación se evaluó la influencia del cemento Portland Tipo I como agente estabilizador adicionando porcentajes de 1,3 y 5% del peso seco de la muestra del suelo. El suelo arcilloso analizado con la adición de 5% de cemento se redujo su índice de plasticidad y su índice de contracción, pero el índice del CBR aumento 1.30% a 13.75% al 95% del DSM, mejorando la estabilidad del suelo arcilloso

2.3. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.3.1. Pavimentos

Del latín *pavimentun*, el pavimento es la capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural.

La Universidad de Costa Rica (2020) define el pavimento como:

“Una estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante de la vía con el objeto de soportar las cargas del tránsito durante un periodo de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, como y segura” (p. 3).

Se cree que uno de los métodos más antiguos de pavimentación fue aquel que se conoce como calzada romana, para facilitar las comunicaciones y el traslado

del Imperio. Esta calzada se desarrolló en diversas etapas y algunos de sus trechos aún permanecen en buenas condiciones.

Las denominadas mezclas asfálticas y el concreto son los materiales más utilizados en la actualidad para el pavimento urbano, tiene un buen soporte y permite el paso de los vehículos medianos y pesados sin sufrir grandes daños.

2.3.2. Tipos de pavimentos

Pavimento rígido: Estos tipos de pavimento están conformados por tres tipos de capa, tienen un costo inicial mayor que los pavimentos flexibles, puesto que el concreto incrementa su resistencia en el tiempo, permitiendo un intervalo más prolongado de serviciabilidad y bajo mantenimiento. Su diseño tiene un periodo de 20 años, posterior a ello se realiza un mantenimiento en las juntas de losas.

La primera capa que lo conforma es una capa de rodadura compuesta por material de concreto hidráulico, la cual es la que absorbe en mayor proporción las cargas impuestas por vehículos y efecto de condiciones climáticas. La segunda capa, es la capa de subbase conformada por material compactado en un 80% (MTC,2014). La tercera capa corresponde a la capa de subrasante o el terreno de fundación, la cual recibe las cargas de las capas superiores a esta.

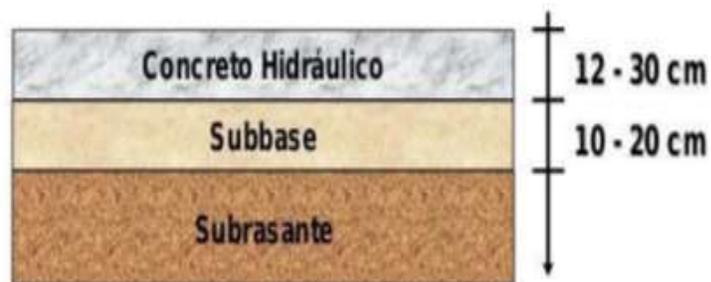


Figura 1: Estructura de pavimento Rígido

Fuente: Cámara de comercio del cemento, 2014

Pavimentos semi rígidos: Se conoce como suelo-cemento, grava-cemento o como definición general, materiales tratados con cemento.

En pavimentos semirrígidos a diferencia de los pavimentos flexibles convencionales, la resistencia al agrietamiento de la carpeta rodadura no es una respuesta crítica, la base cementada provee esta capacidad estructural.

La superficie de rodadura consta de una o más capas de hormigón asfáltico con propiedades adecuadas a la resistencia a la abrasión, ahuellamiento, pulido y construido.

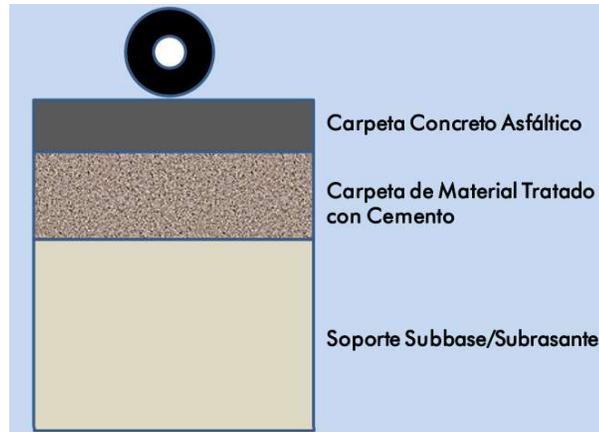


Figura 2: Estructura del pavimento Semirrígido.

Fuente: ADOCEM, 2001.

Pavimentos flexibles: Estos tipos de pavimento están conformados por tres tipos de capa, tienen un costo menor que los pavimentos rígidos. Tienen un periodo de vida útil entre 10 a 15 años, posterior a ello se realiza un mantenimiento rutinario sobre la carpeta asfáltica.

Este tipo de pavimento está compuesto por cuatro tipos de capas. La primera capa corresponde a la Capa de rodadura o Carpeta asfáltica, compuesta por material bituminoso o asfalto. Esta capa recibe el impacto de la presión de vehículos en su mayor proporción, sin embargo, tiende a fallar y sufrir deflexiones, debido a que el espesor es mínimo. La segunda capa, es la capa de base, conformada por material granular en mayor proporción que finos, ambos de buena calidad, compactado en un 80% (MTC, 2014). La tercera capa, es la capa de subbase, conformada por material de menor calidad, con un porcentaje de compactación no menor a 40% (MTC, 2014). La última capa corresponde a la capa de subrasante, la cual debe de ser una capa con una resistencia a la compresión, en términos de CBR no menor a 6% (MTC, 2014).



Figura 3: Estructura del pavimento flexible

Fuente: Cámara de comercio del cemento, 2014

2.3.3. Estructura de pavimento asfáltico

Sub rasante: La subrasante es la capa esencial de la estructura de un pavimento, ubicada en la parte inferior de la estructura del pavimento, como se muestra en la figura 4. Esta capa tiene la función de recibir, transmitir y distribuir las cargas provenientes de capas superiores producidas por el tránsito, durante un periodo de tiempo de diseño. Por lo tanto, debe de poseer la suficiente capacidad portante para resistir a esfuerzos de carga y descarga.

Sub base: Es la capa situada en la capa inferior de la base y sobre la capa de la subrasante, está constituida por material granular con un CBR $\geq 40\%$ (MTC, 2014). Esta capa su función es la de drenar y controlar la cantidad de agua cercana a la subrasante, es una capa de transición para evitar la cohesión de partículas.

Base: Constituye la capa intermedia entre la carpeta asfáltica y la subbase, generalmente se usa en los pavimentos asfálticos y consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares.

Entre sus funciones tenemos:

- Drenar el agua que se filtra a través de las carpetas y hombros.
- Resistir los cambios de temperatura, humedad y la desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- Reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten a las capas inferiores.
- Proveer suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella, y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una subbase o una subrasante.

- Función económica, permite reducir el espesor de la carpeta asfáltica, que es la más costosa.

Carpeta Asfáltica: Formada por una o varias capas que se colocan sobre la base, dichas capas corresponden a los trabajos de pavimentación asfáltica como riegos, sellos, tratamientos superficiales, emulsiones y morteros asfálticos, así como de concretos asfálticos en caliente y en frío. La capa de rodamiento es el elemento del pavimento sobre el cual circulan directamente los vehículos y peatones.

Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- Recibir y absorber en primera instancia el peso de los vehículos que circulan sobre la vía.
- Minimizar sensiblemente los esfuerzos que se transmiten hacia el Terreno de fundación.
- Si la rodadura posee un espesor mayor o igual a cinco centímetros, se considera que trabaja junto al resto de capas para soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.
- Proveer una superficie estable para el tránsito, uniforme, prácticamente impermeable, con una textura y color convenientes y que a la vez sea capaz de resistir los efectos abrasivos del tráfico” (Vargas, 2017, págs. 9-13).

2.3.4. Fallas en el pavimento asfáltico

Fallas superficiales: Comprende los defectos de la superficie de rodadura debido a fallas de la capa asfáltica superficial propiamente dicha y no guardan relación con la estructura del pavimento.



Figura 4: Falla superficial

Fuente: Catalogo de Fallas, 2016.

Fallas estructurales: Comprende los defectos de la superficie de rodadura cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, afecta a una o más capas del pavimento.

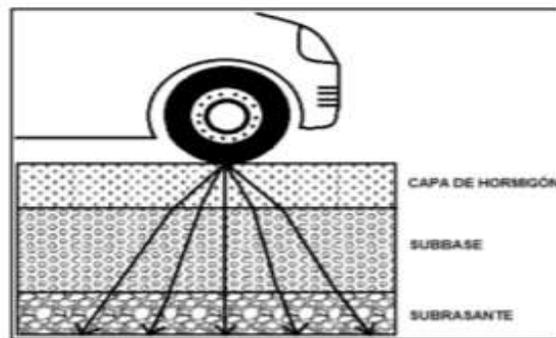


Figura 5: Falla Estructural

Fuente: Cámara de comercio del cemento, 2014

Piel de cocodrilo: Es un conjunto de fisuras interconectadas que se forman polígonos irregulares, de una longitud de 0.5m. Es parecido a la piel de un cocodrilo.

También es llamado agrietamiento por fatiga, la piel de cocodrilo se produce en áreas donde se repite la carga de tráfico, tales como las huellas de las llantas de los vehículos.

La piel de cocodrilo indica la pérdida de capacidad estructural del pavimento, disminuye su capacidad de resistencia frente a cargas externas. Sino se realiza el mantenimiento adecuado, el comportamiento del pavimento empeora y pasa de una fisura a un desprendimiento dañando la superficie de la vía.



Figura 6: Falla tipo piel de cocodrilo

Fuente: Zevallos Gamarra, Tesis de grado (2018).

Exudación: Es una película de material bituminosa que se extiende sobre en un área determinada del pavimento, lo cual se crea una superficie brillante, resbaladiza y reflectante que generalmente llega a ser pegajosa en ambientes cálidos.

Esta falla se debe al exceso ligante asfáltico en la dosificación de la mezcla, el uso de ligante asfáltico muy blando, o la aplicación excesiva del sello bituminoso, o un deficiente porcentaje de vacíos entre otros.

En tiempos cálidos el asfalto llena los vacíos de la mezcla y se expande a la superficie del pavimento. El proceso de exudación no es reversible durante las épocas de frío, el asfalto se acumula en la superficie.



Figura 7: Falla por exudación

Fuente: Catálogo de Fallas, 2016.

Fisuras en bloque: Las fisuras en bloque son grietas interconectadas que tiene formas rectangulares de tamaños variables de 0.30x0.30m hasta 3.00x3.00m. Estas ocurren sobre porciones largas del área del pavimento o sobre áreas donde no hay tráfico; las fisuras en bloques no tienen ninguna relación a sollicitaciones externas de carga vehicular.

Los bloques son causados por la contracción del concreto asfáltico y por la variación de temperatura, lo cual se origina ciclos diarios de esfuerzo y/o deformación unitaria.



Figura 8: Fisuras en bloques

Fuente: Catalogo de Fallas, 2016.

Abultamiento y hundimientos: Son causadas por inestabilidad del pavimento, sino que pueden ser producto de varios factores como: levantamiento de losas de concreto, expansión por congelación, infiltración y acumulación de material en una fisura en combinación de cargas de tráfico, deficiencias en el drenaje del paquete estructural del pavimento.

Son desplazamientos pequeños, hacia arriba o hacia debajo de la superficie del pavimento, lo cual se distorsionan el perfil de la carretera.



Figura 9: Abultamiento y hundimiento

Fuente: Catalogo de Fallas, 2016.

2.3.5. Diseño de pavimento asfáltico

Suelos de fundación: “La propiedad definitiva de material usada para caracterizar al suelo de fundación es el módulo resiliente (MR). El módulo resiliente es una medida de la propiedad elástica del suelo, tomando en cuenta ciertas características no lineales” (AASHTO, 1993). “Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR, se emplea la siguiente ecuación que correlaciona el Mr – CBR, obtenida del Appendix CC-1 “Correlation of CBR values with soil index 22 properties” preparado el 2001 por NCHRP Project 1-37A (National Cooperative Highway Research Program), documento que forma parte de MEPDG Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide – AASHTO interim 2008)” (MTC, 2014).

Tráfico: “La información de tráfico requerida por las ecuaciones de diseño utilizadas en la Guía AASHTO 1993, incluye las cargas por ejes, configuración de ejes y número de aplicaciones” (AASHTO, 1993) “Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18-kip o 80-kN o 8.2 t, denominadas Ejes Equivalentes (EE). La sumatoria de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W18) o ESALD, denominado también Número de Repeticiones de EE de 8.2 t” (MTC, 2014).

Comportamiento del pavimento: “Los conceptos de comportamiento de los pavimentos incluyen ciertas consideraciones de comportamiento funcional, comportamiento estructural y seguridad. El comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física, esto es, con la ocurrencia de agrietamientos, fallas, peladuras, u otras situaciones que podrían afectar exclusivamente la capacidad de soporte de la estructura del pavimento o en todo caso, requerir mantenimientos. El comportamiento funcional de un pavimento se refiere a cuán bien sirve el pavimento al usuario. En este contexto el confort o calidad de la Transitabilidad es la característica predominante” (AASHTO, 1993).

Drenaje: “El drenaje del agua de los pavimentos ha sido siempre una consideración importante en el diseño de carreteras, sin embargo, los métodos corrientes de diseño han resultado a menudo en capas de base que no drena bien. Este exceso de agua combinada con volúmenes y cargas de tráfico crecientes, han llevado a menudo al destrozo prematuro de la estructura del pavimento” (AASHTO, 1993).

Medio Ambiente “Se considera dos de los principales factores ambientales, en relación al comportamiento de la estructura del pavimento: las lluvias y la temperatura. La temperatura afectará las propiedades de fluencia del concreto asfáltico, los esfuerzos térmicos inducidos en el concreto asfáltico la expansión y contracción del concreto de cemento Portland y el hielo y deshielo del terreno de fundación” (AASHTO, 1993).

Materiales de construcción: “Los materiales usados para la construcción de la estructura del pavimento se dividen en dos clases generales: materiales para pavimentos asfálticos y materiales para pavimentos hidráulicos” (AASHTO, 1993).

Confiabilidad: “El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (% R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su período de diseño, de acuerdo con lo previsto” (MTC, 2014).

Costos de ciclo de vida: “Comprende la información relativa al análisis económico y a las comparaciones económicas de diseños alternativos basados en los costos durante el ciclo de vida.

Diseño de bermas: Una berma de carretera es la porción de carretera, contigua a la vía de circulación para acoger durante emergencias a los vehículos parados y para el soporte lateral de las capas de base y subbase. Se reconoce que las bermas pavimentadas adyacentes a pavimentos asfálticos, proporcionan soporte lateral a las capas de base y de superficie. La invasión de los camiones sobre la berma es la causa principal de daño; de aquí que cualquier tratamiento que minimice las operaciones sobre la berma, beneficiará el comportamiento de los pavimentos en la vía principal en la berma” (AASHTO, 1993)

Tipos de suelos

- Crespo (2004), indica que el término “suelo” es una capa delgada de material sobre la corteza terrestre que proviene de la desintegración y alteración física, química de las rocas y de los residuos producto de las actividades que produce el ser humano.
- Peck et al. (1983), indica la diferencia de los términos roca y suelo. El término roca es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión, mientras que el suelo es un agregado natural de granos minerales, que pueden tener componentes orgánicos y pueden separarse por medios mecánicos comunes. Sabemos que las rocas son muy fuertes y rígidas que se debilitan cuando sufre un proceso de meteorización mientras que los suelos duros pueden ser tan resistentes como la de una roca meteorizada.

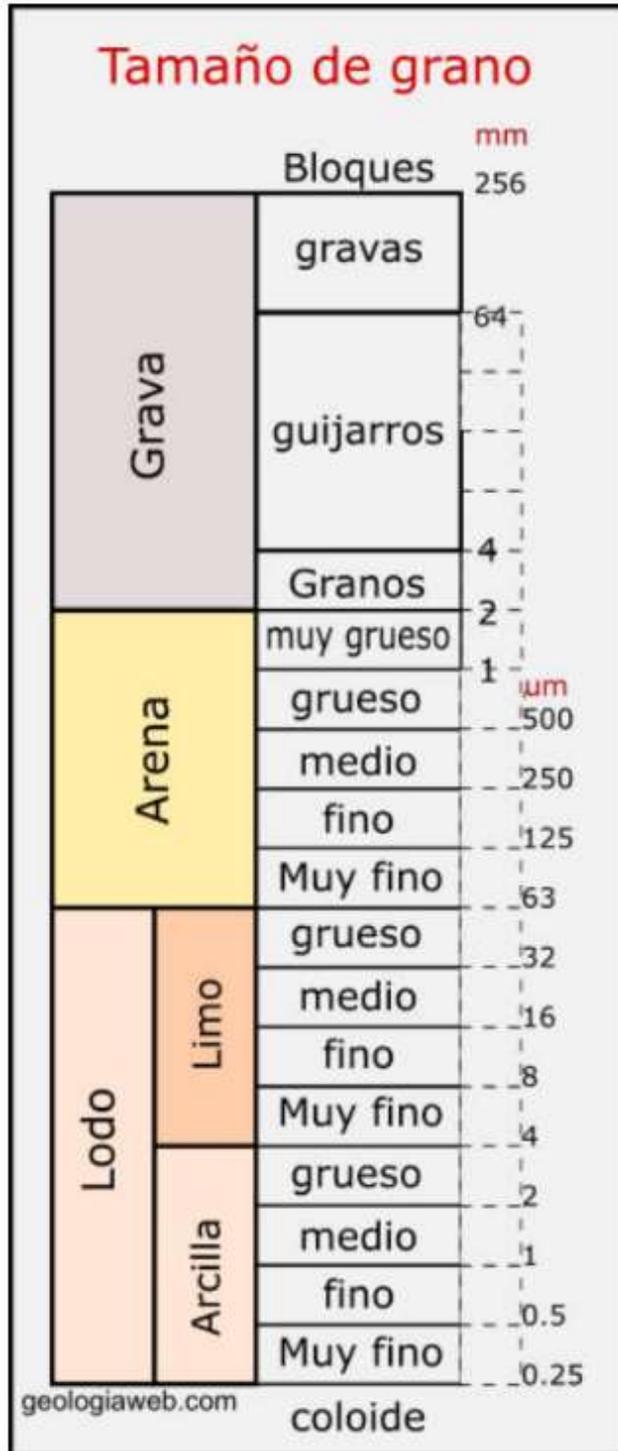


Figura 10: Tamaños de las partículas de suelos

Fuente: Geología Web, 2015.

- Gravas, Se denomina grava a las rocas formadas que comprenden de 2 y 64mm. Si es producida por el ser humano se le llama piedras partidas. También por el desgaste natural suele suceder debido al movimiento de los lechos de ríos lo cual se conoce como canto rodado.



Figura 11: Tamaños de las partículas de suelos

Fuente: Geología Web, 2015.

- Arenas: Es el conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales. En la parte de geología se le denomina material compuesto de partículas que tiene un rango de 0.063 y 2mm y es llamado como grano. Las partículas por debajo.



Figura 12: Arenas

Fuente: Geología Web, 2015.

- Limos: Vienen a ser las partículas por debajo de los 0.063mm hasta 0.004mm a esta se le denominan limos.



Figura 13: Suelos Limos

Fuente: Geología Web, 2015

- Arcillas: Son las rocas sedimentadas que se han descompuesto y constituida por agregados de silicato de aluminio hidratado. Estas presentan diversas coloraciones según las impurezas que contiene pueden ser rojo anaranjado como el blanco puro.



Figura 14: Suelos Arcillosos

Fuente: Geología Web, 2015.

CBR en subrasantes: El Manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), menciona la influencia directa del CBR de subrasante en el diseño de pavimentos. En esa línea, de acuerdo con la composición y compactación de los materiales que la conforman, se determinará el espesor de cada capa de la estructura del pavimento. La calidad de la subrasante se puede evaluar, mediante el Ensayo de CBR o Capacidad de soporte o Resistencia a la deformación que puede soportar el suelo antes carga cíclica y continua. La tabla 3, muestra la clasificación de subrasante en función del CBR que la compone.

Tabla N° 1: Zonas críticas identificadas en el distrito de Comas

Categoría de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2018)

Nota: La tabla muestra la clasificación de la subrasante en función de la variación del valor de CBR en %. Adaptado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014.

Modulo resiliente en suelos sub rasantes: El valor de Módulo resiliente describe la capacidad de corte del suelo luego de aplicarse sobre el mismo una carga de compresión repetida.

Para obtener el Módulo resiliente (Mr), se emplea a partir de la ecuación N° 01, la cual se correlaciona los valores de modulo resiliente y CBR desarrollado por AASHTO 1993.

Tabla N° 2: Módulo resiliente según categoría de Subrasante

Módulo resiliente Kg/cm ²	Categoría
$300 \leq MR < 500$	S1
$500 \leq MR < 700$	S2
$700 \leq MR < 1000$	S3
$1000 \leq MR < 1500$	S4
$MP \geq 1500$	S5

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

Nota: En la tabla se indica el valor de Módulo resiliente en kg/cm² según la categoría de subrasante. Adaptado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

Tabla N° 3: Formulas para hallar Mr, según el valor del CBR

$CBR < 7.2\%$	$Mr = 1500 * CBR$
$7.2\% < CBR < 20\%$	$Mr = 3000 * CBR^{0.65}$
$CBR < 20\%$	$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$

Fuente: AASHTO, 1993

2.3.6. Metodología de diseño AASHTO 1993

Está basado en modelos que fueron desarrollados en función al diseño del pavimento como las cargas vehiculares y resistencia de la subrasante y el cálculo de espesores.

El propósito de esta metodología es el cálculo de número estructural requerido (SNr), lo cual se definirá los espesores de cada capa de la estructura del pavimento, y que será construida sobre la subrasante.

Periodo de diseño: Para diseño de pavimento flexibles puede ser de 10 o 20 años, según las condiciones específicas del proyecto y lo que requerido por la Entidad.

Variables: La ecuación base para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(Mr) - 8.07$$

Ecuación N° 1: Formulas para hallar SN

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

Se desprende las siguientes definiciones:

- Número de ejes equivalentes (W18)

Es un valor predictivo del peso por cada aplicación axial de vehículos que circulan por la vía. La predicción se realiza en función de información de IMDA y periodo de diseño de pavimento. El valor obtenido de la predicción se basa en repeticiones de carga de 8.2 Tn por volumen de tránsito de carril de diseño. Este factor se llama ESAL (Equivalent Axial Load Factor) por sus siglas en inglés.

- Módulo de resiliencia (Mr)

Es la capacidad portante del terreno según el tipo CBR que posee el suelo.

- Confiabilidad (% R)

Representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte de acuerdo con lo previsto durante su periodo de diseño. Está en función

de los factores que influyen en la estructura del pavimento y su comportamiento.

- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)
Representa la variabilidad esperada de la predicción de tránsito y los factores ambientales que afectan el comportamiento del pavimento. El método AASHTO recomienda adoptar valores entre 0.40 y 0.50 o un promedio de 0.45.

- Desviación estándar combinada (S_o)
En el Manual de carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos del MTC (2014) recomienda que los diseños de pavimentos flexibles tomen valor de 0.45.

- Índice de serviciabilidad presente (PSI)
Representa la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Los valores varían entre 0 a 5. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro el PSI también decrece.
Para ello es necesario conocer lo siguiente:
 - Serviciabilidad inicial (P_i)
Se procede a ubicar en la tabla correspondiente los ejes equivalentes acumulados para así hallar el Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i).

 - Serviciabilidad final (P_f)
Se procede a ubicar en la tabla correspondiente los ejes equivalentes acumulados para así hallar el Índice de serviciabilidad final (P_f).

 - Variación de serviciabilidad (ΔPSI)
Es la diferencia entre la serviciabilidad inicial (P_i) y la serviciabilidad final (P_f).

- Número estructural requerido (SNR)

Representa el valor numérico de la capacidad del pavimento en conjunto para determinar el conjunto de espesores de capas de la estructura del pavimento.

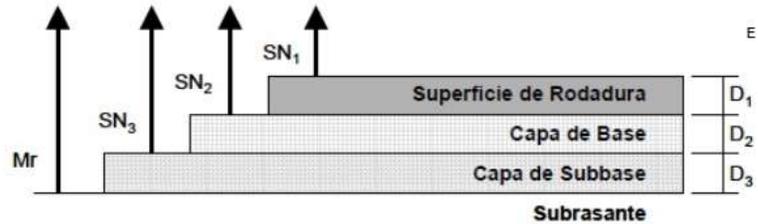


Figura 15: Numero estructural del pavimento

Fuente: AASHTO, 1993.

El cálculo de numero estructural de cada capa se utilizan las siguientes formulas. Asimismo, se debe obtener los coeficientes de drenaje de capas granulares.

- Cálculo de espesores de carpeta asfáltica

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$SN1 = a1 * D1$$

Ecuación N° 2: Formula para determinar el espesor de carpeta asfáltica

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

- Cálculo de espesor de la base

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2}$$

$$SN2 = D2 * a2 * m2$$

Ecuación N° 3: Formulas para determinar el espesor de la base

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

- Cálculo de espesor de la Sub base

$$D3 = \frac{SN3 - SN2}{a3 * m3}$$

$$SN3 = D3 * a3 * m3$$

Ecuación N° 4: Formula para determinar el espesor de la sub base

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento

2.3.7. Comportamiento mecánico del pavimento asfáltico

Análisis de predicción de falla: Según el MTC (2014), la presencia de suelos expansivos conformados por materiales de características inadecuadas ubicados sobre estratos cercanos a la subrasante afecta directamente la funcionalidad y serviciabilidad de la estructura del pavimento.

El suelo arcilloso, es aquél en el que predominan partículas muy pequeñas, de menos de 0,001 ml. de diámetro. Este tipo de suelo está conformado en un mayor porcentaje de arcillas y en menor porcentaje de otras partículas más grandes como son el limo y la arena. Esta granulometría permite que el agua proveniente de lluvias o subterránea se infiltre fácilmente en la capa de suelo con riesgo de sufrir cambios volumétricos debido a los cambios en su contenido de humedad, lo que genera, grietas entre las paredes de la capa de suelo ante una presión constante y cíclica impartida por el peso de vehículos.

Propiedades de suelos arcillosos: Existen factores que afectan el comportamiento expansivo de los suelos arcillosos que influyen en la funcionalidad del pavimento. A continuación, se describen los diferentes factores que poseen los suelos arcillosos, y se deben considerar durante la etapa de diseño del pavimento (Zornberg, 2017).

Mineralogía de las Arcillas: Los minerales de arcilla presentan características expansivas. Los minerales de arcilla pueden sufrir cambios volumétricos cuando el tamaño de sus partículas es muy pequeño (< 0.10 um).

- Plasticidad:

Presentan un comportamiento plástico sobre un rango grande de contenidos de humedad, y que tienen un alto Límite Líquido, lo que indica un gran potencial de encogimiento e hinchamiento entre partículas.

- Resistencia al corte:

Poseen un alto índice plástico, con un valor alto de expansión y contracción, por lo que tienen baja capacidad al soporte de carga de 3 kg/m².

- Estructura y Arreglo de Partículas del Suelo:

Arcillas con una estructura alargada tienden a ser más expansivas que las arcillas con estructura dispersa, debido a su poca capacidad de adherencia por su forma, generando vacíos.

- Densidad Seca Inicial:

Las partículas presentan una densidad alta de suelo, por lo que éstas flotan, lo cual indica que existen mayores fuerzas de repulsión entre partículas y por ende una tendencia a disminuir la cohesión y resistencia

- Variaciones de Humedad:

Los cambios de humedad en las zonas con presencia de drenaje o aguas subsuperficiales del perfil de suelo son los que definen el hinchamiento o encogimiento.

2.3.8. Estabilización en suelos

La estructura del pavimento debe de distribuir las fuerzas aplicadas en la superficie impuestas por el tráfico de tal manera que las cargas no sean puntuales y el suelo posea la suficiente capacidad portante de amortiguar dichas fuerzas sin fallar. Cada capa del pavimento debe estar en condiciones de soportar el tráfico esperado durante el período para el cual se diseña, con el objeto de que todas lleguen al final de su vida útil con un deterioro similar de fatiga.

- Estabilización física

Este tipo de estabilización se emplea para mejorar la capacidad portante del suelo produciendo cambios físicos, Algunas de las técnicas que se

usan son mezclar los suelos, geotextiles, vibro flotación y consolidación previa.

- Estabilización mecánica

Estabilización por compactación: Este tipo de estabilización mecánica tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas del suelo sin alterar su estructura. Para esto se utilizará el método de la compactación, técnica que reduce el volumen de vacío a una humedad óptima, mejorando la densidad y una mejor uniformidad con la finalidad de tener mayor estabilidad, evitando posibles asentamientos. Esta técnica es la más empleada ya que se realiza in situ, empleando maquinaria y equipos que transmiten cargas al suelo a través de la presión o vibración.

Estabilización por granulometría: Este tipo de estabilización mecánica consiste en mejorar el suelo mezclando con uno o varios materiales que contengan propiedades que complementen a esta, con el objetivo de obtener un material de mejor calidad en cuanto a su granulometría, su plasticidad, y que cumpla con los requisitos requeridos.

Con esta técnica se espera mejorar primero la plasticidad que afecta a la susceptibilidad del material al agua y drenaje y segundo su granulometría que afecta su resistencia, trabajabilidad y compacidad.

Estabilización por geo sintéticos: La estabilización de suelos mediante el uso de Geo sintéticos de refuerzos tiene como objetivo mejorar la capacidad portante del suelo que conforma la estructura de un pavimento, en conclusión, tendrá un mejoramiento de las propiedades mecánicas de dichos materiales y que generan un aumento de la vida útil del pavimento. Este tipo de compactación tiene los siguientes beneficios:

Mejora las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura del pavimento.

- Se obtendrá una mejora de aumento de tránsito de diseño por tal también ejes equivalentes del diseño de vías.
- Incremento de la vida útil del pavimento.
- La capacidad portante mejorará considerablemente.

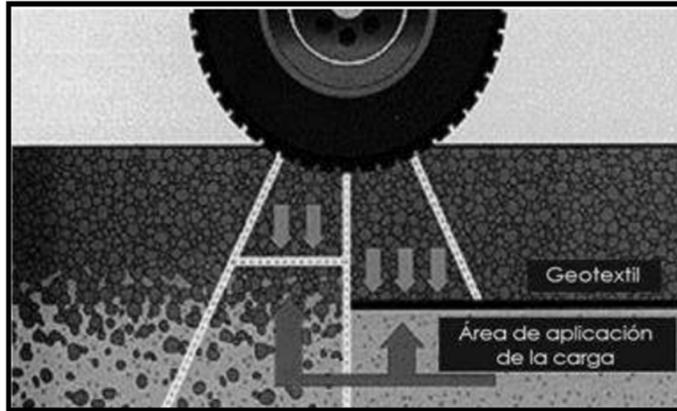


Figura 16: Diagrama de separación de capas granulares y subrasante con geotextil

Fuente: Manual de diseños con Geosintéticos Geosoft Pavco, Novena edición

- Estabilización química

Estabilización con cemento: El objetivo de estabilizar usando principalmente las propiedades del agua y cemento tiene como finalidad transformar el suelo suelto natural en un suelo más endurecido y con una mejor resistencia. Para ello es necesario compactar homogéneamente y tener un buen curado. El óptimo contenido de humedad se determinará a partir de los ensayos de Proctor. Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los suelos granulares tipos A-1, A-2 y A-3 del sistema de clasificación AASTHO.

Estabilización con cal: El objetivo de estabilizar usando la mezcla del suelo con cal anhidra o cal viva logrando cambiar la plasticidad del suelo, en el caso de $IP < 15$ aumenta tanto el LL como también el LP y ligeramente su IP, y caso contrario suelos con $IP > 15$ disminuye su IP. Otro cambio es el adicionar el óptimo contenido de humedad en la compactación del suelo, lo que permite la densificación de los suelos a elevada humedad natural.

Estabilización con asfalto: El objetivo de estabilizar con productos asfálticos es aumentar la estabilidad y permitir una impermeabilidad del suelo de tal forma que sea menos vulnerable a los cambios de humedad. En suelos arenosos o no plásticos se estabiliza con asfalto con la finalidad de dar una acción ligante que junto a la fricción del suelo evite deformarse en la capa mejorada bajo la acción de las cargas. En suelos cohesivos, se requiere que el estabilizante impermeabilice el suelo además que lo proteja contra la humedad.

2.3.9. Concreto reciclado como agente estabilizador

- Origen de los residuos de construcción y demolición en Perú
Según el Reglamento D.S. N° 003-2013-VIVIENDA, Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de Construcción y Demolición, el término de los residuos de construcción y demolición se considera lo siguiente: “Los residuos de construcción y demolición con aquellos que cumplen la definición de residuo sólido de acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos, son los generadores en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructura”. (Pag.)

En Cuba, La Habana, se implementó la guía de gestión de residuos sólidos urbanos, dirigido por la dirección provincial de servicios comunales de la ciudad. Se define escombros como un conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, acero, madera, etc., estos provienen de los residuos de construcción, remodelación, demolición de construcciones como edificios, residencias, puentes y se identifica dos tipos de residuos:

Fragmentos de elementos prefabricados de material de cerámico, bloques de cemento demoliciones localizadas, etc.

Restos de materiales de obra como hormigón y morteros, y que contienen cemento, cal, arena, piedra entre otros.



Figura 17: Residuos de Construcción

Fuente: Wikipedia, 2018.

Desde que el año 2000 se promulgo leyes respecto al manejo de residuos sólidos, hasta la fecha no se tiene una buena gestión, más se enfocan a los Residuos Municipales (RM).

Según la información de SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental) y SIGERSOL (Sistema de Información de gestión de residuos sólidos), desde el 2008 ya se tenía registros de generación de Residuos Municipales en nuestro país.

La ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos indica que las municipalidades provinciales y distritales informan sobre la gestión y manejo de residuos sólidos hasta el fin de mes de febrero de cada año.

El Ministerio del Ambiente (MINAM) administra el Registro de Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EO-RS), dan autorizaciones como barrido y limpiezas de espacios públicos, recolección y transporte, tratamiento, valorización y disposición final. Hasta la fecha se tiene 640 EO-RS a nivel nacional que están registrados en el MINAM y la mayor parte se encuentra en el departamento de Lima.

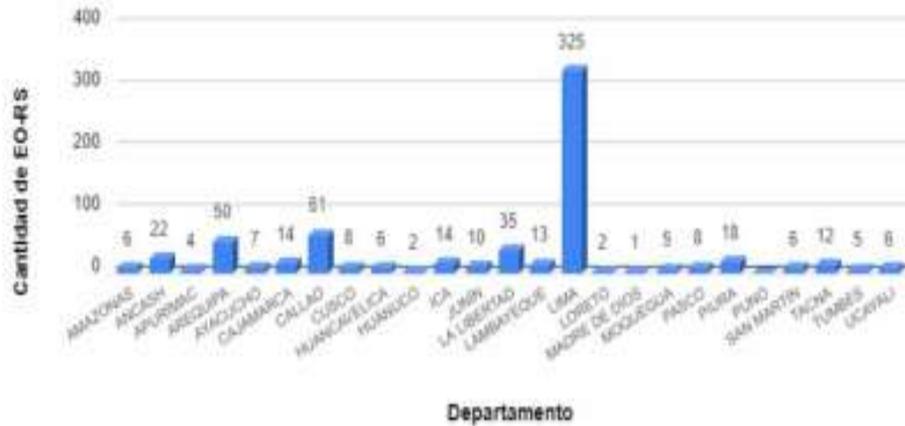


Figura 18: Residuos de construcción

Fuente: MIMAN, 2020

Clasificación de Residuos Solidos

- Residuos domiciliarios

Según Montes, 2009. Son los objetos que se genera a causa del consumo del ser humano. Los residuos domiciliarios provienen de colegios, viviendas, oficinas, centros comerciales entre otros.

- Residuos orgánicos

Son residuos biodegradables de origen vegetal o animal, y se degrada biológicamente. La fracción orgánica está compuesta por comida y jardín que se producen diariamente el hogar y en centros comerciales como peladuras de verduras, sobras de comida, desperdicios, huesos y restos de carne entre otros, y de aprovecharse este tipo de residuos puedes ser utilizados para la fabricación de fertilizantes.

- Residuos inorgánicos

Se refiere a todos los materiales de desecho cuyo origen no es biológico, que fueron fabricados en procesos industriales y artificiales. Estos residuos tardan de degradarse. Algunos de estos residuos inorgánicos se necesitan sustancias contaminantes nocivas para la salud y para el medio ambiente, la mayoría de estos residuos son catalogadas como residuos no biodegradables, pero se recalca que la mayoría de estos residuos inorgánicos son reciclables.

- Residuos metálicos

Los residuos metálicos se clasifican en férricos y no férricos. Los férricos son el hierro, el acero y los residuos de fundición y es muy valorado para el reciclaje ya que se ahorra una gran cantidad de energía respecto a la producción de hierro. Los no férricos son el aluminio, el cobre, magnesio, plomo, estaño, zinc y níquel, y el aluminio es el material que más se recicla.

- Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos son considerados como fuente de riesgo para la salud y el medio ambiente. Estas se generan a partir de actividades industriales actividades domésticas.

Los residuos más comunes se encuentra los residuos generados por las industrias químicas, residuos hospitalarios y residuos generados por la construcción o ampliación de infraestructura.

- Residuos no peligrosos

Los residuos no peligrosos son considerados a aquellos que por su naturaleza o manejo no presentan problemas hacia la salud del ser humano y el medio ambiente por no presentar peligrosidad. Estos residuos son desechados en vertederos o en lugares no autorizados para su eliminación, las empresas constructoras y las municipalidades diseñan programa de gestión para la categorización de los residuos no peligrosos.

- Residuos de construcción y demolición (RCD)

En el sector construcción se tiene estabilidad económica en los últimos años. Por lo que hay más consumo de cemento para la ejecución de obras en viviendas, edificios para oficinas, centros comerciales, carreteras, obras públicas y privadas.



Figura 19: Evolución mensual del PBI en construcciones

Fuente: INEI, 2020

En el sector construcción se ha generado grandes cantidades de desechos a nivel mundial, y representa el 70-90% del total de los RCD generados (Cha et al., 2020).

La OEFA (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental) indica que hay grandes volúmenes de RCD en diferentes puntos no autorizados en el territorio peruano.

Los RCD generados en las actividades de construcción, remodelamiento y demolición de edificaciones y la infraestructura de disposición final están regulados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) según el Reglamento de Gestión y manejo de los residuos de las construcciones y demoliciones.

Otros problemas que existe en el territorio peruano son sobre el manejo y la disposición final de los RCD es que existen 20 botaderos en estado muy delicado. El botadero Chaperito se encuentra en el río Chillón y en segundo lugar el botadero el Milagro que se encuentra ubicado a 12 km de la ciudad de Trujillo, este botadero es el más crítico ya que se lleva sin tratamiento ni control aproximadamente 720 ton/día de residuos.

En el año 2000, en España se realizaron varios estudios estadísticos en obras reales por ITEC (Instituto Tecnológico de la Construcción y Demolición) lo cual se dio como resultado la estimación de RCD por cada metro cuadrado de residuos de obra. Se puede observar el coeficiente de estimación para RCD:

Tabla N° 4: Coeficiente de estimación de RCD – España

Para Obra nueva	Para ampliación	Para demolición
		Coeficiente
Coeficiente Obra	Coeficiente rehabilitación	demolición 0.8583
Nuevas 0.20 m3/m2	0.4892 m3/m2	m3/m2

Fuente: ITEC, 2000.

- Clasificación de los RCD en Perú

En el Perú se clasifica de dos maneras los RCD, según la normativa que se aplique que es el Reglamento del D.S. N° 003-2013-VIVIENDA y la Norma Técnica Peruana NTP 400.050 D.S. N° 013-2013-VIVIENDA, los RCD de la construcción y demolición se clasifica en lo siguiente:

Tabla N° 5: Clasificación de residuos peligrosos y no peligrosos

Clasificación	Tipo de Residuos	Componente
Residuos Sólidos Peligrosos	Restos de madera tratada	Arsénico, plomo, pentaclorofenol
	Envases de removedores de pinturas, aerosoles	Cloruro de metileno tricloroetileno
	Restos de PVC sometidos a temperaturas mayores a 40° C	Aditivos: Estabilizante, colorantes, plastificantes
	Restos de tubos fluorescentes	Mercurio, Bifeniles policlorados (BPC's)
	Restos de planchas de fibrocemento con asbesto, piso de vinilo asbesto	Asbesto o amianto
	Envases de pinturas y solventes	Benceno
	Envases de preservantes de madera	Formaldehido, pentaclorofenol
	Envases de pinturas	Pigmentos: Cadmio, Plomo
	Restos de cerámicos, baterías	Níquel
	Filtros de aceite, envases de lubricantes	Hidrocarburos
Clasificación	Tipo de Residuos	Componente
Residuos Sólidos No Peligrosos (Reciclaje)	Instalaciones	Mobiliario fijo de cocina, Mobiliario fijo de cuartos de baño
	Cubiertas	Tejas, Tragaluces y claraboyas, Soleras prefabricadas, Tableros y Placas sándwich
	Fachada	Puertas, Ventanas, Revestimiento de piedra, Elementos prefabricados de hormigón
	Particiones interiores	Mamparas, Tabiquerías móviles, Barandillas, Puertas, Ventanas

Acabados interiores	Cielo raso (escayola), Pavimentos flotantes, Alicatados, Elementos de decoración
Estructura	Vigas y pilares, Elementos prefabricados de hormigón

Fuente: D.S. N° 013-2013-VIVIENDA

En la Norma Técnica Peruana NTP 400.050, los residuos de construcción se clasifican en lo siguiente:

- Excedente de remoción
- Excedente de obra
- Escombros
- Otros residuos
- Los escombros por su origen se clasifican en:
 - Concreto de demolición.
 - Mezcla asfáltica de demolición.
 - Material no bituminoso de demolición de carreteras.
 - Material de demolición no clasificado.

Residuos de la Actividad de la Construcción

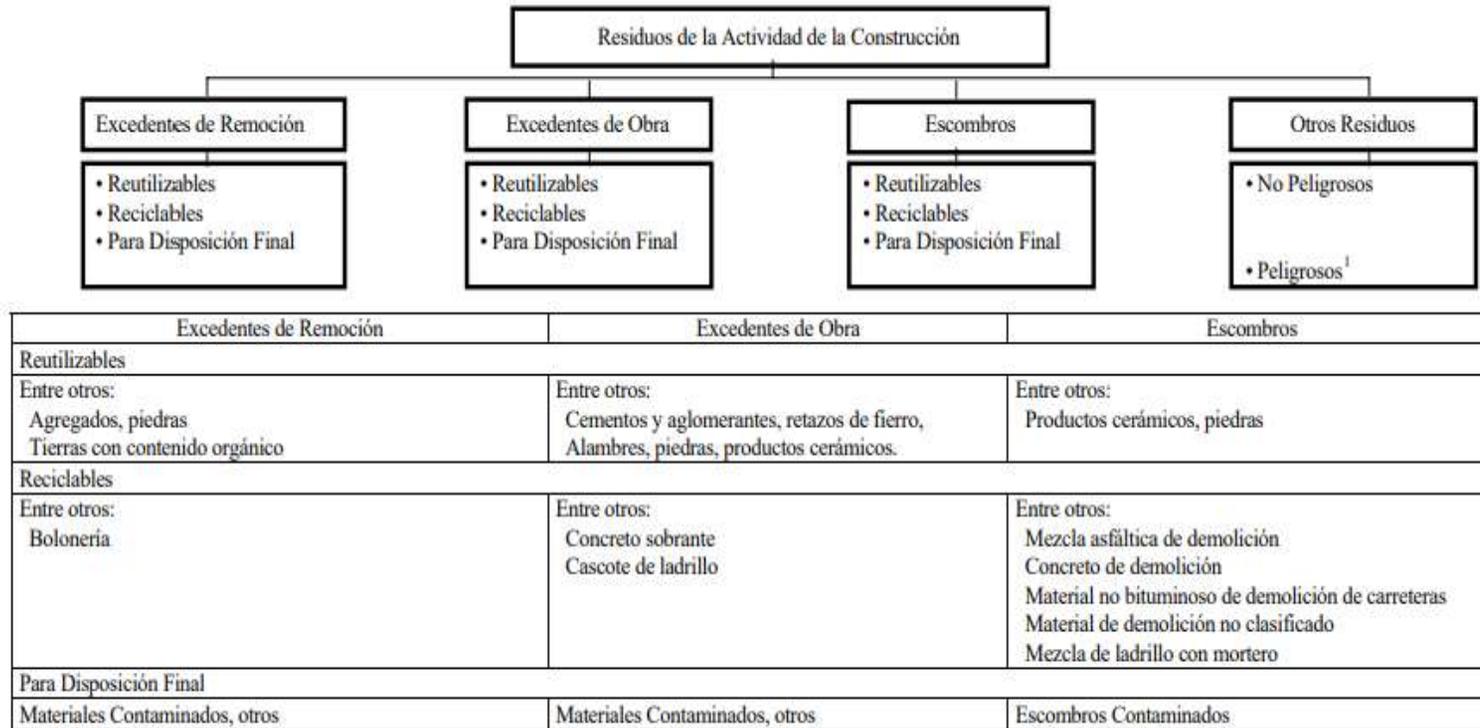


Figura 20: Clasificación y opciones de manejo de los residuos de la actividad de la construcción

Fuente: NTP 400.050

- Tipos y usos de agregados reciclados

De acuerdo a la procedencia de cada residuo, se tiene varias alternativas de gestión. Se puede obtener de un mismo material una alternativa para su reutilización de los RCD.

Usos de reciclaje de RCD:

- Tierra superficial y excavación: Reutilizar en la formación de paisajes y jardines, Reutilizar como relleno en la misma obra.
- Asfalto: Reciclar como asfalto, Reciclar como masa de relleno y reciclar como relleno y recuperación de suelo.
- Concreto: Reciclar como granulado drenante, Reciclar como estabilizado en carreteras y Recuperación de suelo para rellenos, jardines, etc.
- Obra de fábrica y pequeños elementos: Reutilizar los pequeños elementos (Tejas, bloques, etc.), Reutilizar como gravas en subbase, rellenos, etc.
- Madera de construcción: Reutilizar para andamios, encofrados y vallados, Compost, chip de protección de jardines, reciclar para tableros de aglomerado, energía.
- Elementos arquitectónicos: Reutilizar.
- Embalajes: Reutilizar los pallets como tarimas o tableros auxiliares para la construcción de la obra, Reciclar en nuevos embalajes o productos.
- Aceites, pinturas y productos químicos: Reutilizar en la propia obra hasta finalizar el contenido del recipiente, en caso de productos contaminados se establece obligaciones con el proveedor para recibir devolución del residuo.

- Procedimiento para la obtención del concreto reciclado

Las exigencias medio ambiental aplica a la construcción en leyes incentivan las buenas prácticas para la gestión de residuos y el aprovechamiento para

minimizar los RCD. Las demoliciones en construcción facilitan la solución del problema principal, y esto es aprovechar los residuos para nuevas edificaciones o construcciones en general.

Las acciones de desmantelamiento son complejas, este proceso es más parecido al ejecutar una nueva construcción que de una demolición convencional, esta actividad debe de contar con las medidas de seguridad correspondiente por cada caso particular.

Las demoliciones de construcción tratan de conseguir lo siguiente:

- Un alto de aprovechamiento de todos los materiales intervenidos.
- La economía en todo su proceso.
- Reducción de forma significativa del impacto ambiental.
- Se descompone en varias acciones: Recuperación de materiales arquitectónicos, recuperación de materiales contaminados, recuperación de materiales banales reciclables y recuperación de materiales pétreos.
- Producción de RCD proveniente de demoliciones

De acuerdo al INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), el 89.7% de licencias de viviendas a nivel nacional corresponde a la construcción de esta misma. De este total el 15.03 corresponde a la región de Lima, información del año 2017.

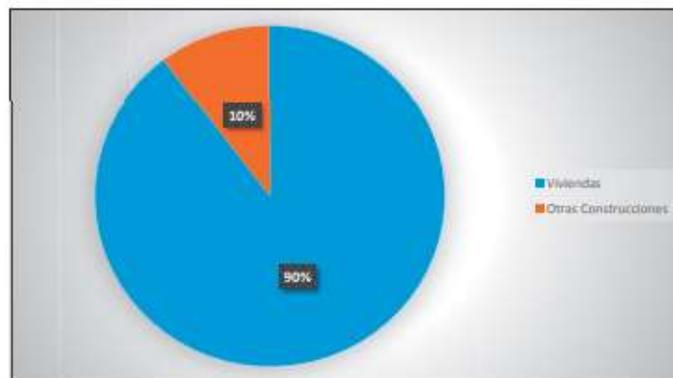


Figura 21: Licencia de vivienda a nivel nacional

Fuente: INEI 2017

Con la finalidad de hacer una aproximación teórica de la generación de residuos sólidos generados en la ciudad de Lima, se pueden utilizar los coeficientes conocidos de ciudades de la región.

Los coeficientes han sido obtenidos de estudios de investigación elaborados por Agudelo y Rodríguez (2014) en Villavicencio, Colombia y García (2016) en Antofagasta, Chile.

Estas dos ciudades fueron elegidas debido a que se encuentran en proceso de expansión y cuentan con una demanda de vivienda creciente. Ambas ciudades presentan limitaciones en cuanto a su regulación de crecimiento urbano esto permite la formación de asentamientos humanos informales caracterizados por la construcción informal, que en ambas ciudades se encuentra presente (Vargas, 2011 y Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009), tienen incidencia en la gestión de la construcción civil y son similares a lo que sucede en Lima y Callao. Cabe mencionar también, que no se ha logrado encontrar valores de la generación de RCD en otras ciudades de la región.

Tabla 6: Coeficiente de generación de RCD por m2 construido

Ciudad	m3 de RCD/m2 construido
Villavicencio, Colombia	0.144 (vivienda)
Antofagasta, Chile	0.220 (viviendas multifamiliares)
	0.200 (viviendas unifamiliares)

Fuente: Rodríguez (2014) y García (2016)

En base a la información contenida en el cuadro de los coeficientes generados por m2, se puede asumir con un nivel de incertidumbre la generación de los residuos en Lima lo cual fluctúa en el rango de 0.144 m3 RCD/m2 construido y 0.22 m3 RCD / m2 construido.

Según, “El Mercado de Edificaciones Urbanas en Lima Metropolitana y el Callao 2014”, estudio elaborado por el Instituto de la Construcción y Desarrollo – ICD (2014) las construcciones desde agosto del 2013 hasta julio de 2014 han sido construida por un total de 5 327 560 m².

Con la información obtenida podemos proponer que la generación de RCD de edificaciones que iniciaron su construcción durante el periodo agosto 2013 – julio 2014 (un año) en Lima y Callao varía entre 767 169 m³ y 1 172 063 m³. Estos valores son estimaciones teóricas, pero nos pueden dar indicios de que la generación de RCD en la ciudad de Lima es intensa y se necesita esfuerzos por reducir el impacto de los volúmenes que se crean en el ambiente.

Contar con estadística nos permitirá conocer lo siguiente:

- Proponer alternativa de minimizar y cuantificar los resultados.
- Evaluar la generación de RCD por cada ciudad del territorio nacional.
- Proyectar generación futura de RCD.
- Facilitar información al sector privado para fomentar en la inversión del manejo de RCD.
- Conocer la potencia reaprovechamiento de los RCD.

Logística de Producción de los RCD

Existen diferentes maneras y etapas en la regulación de los RCD. Se describen los elementos que conforman en la etapa end to end, esto quedara claro cuales con las acciones a tomar para que los residuos sean adecuados.

El proceso de reciclaje en los residuos de construcción y demolición, formada fundamentalmente por concreto, ladrillos, agregados, maderas entre otros, comprende las siguientes operaciones básicas:

- Reducción de tamaño, mediante trituración.
- Separación de partes metálicas.
- Clasificación por tamaño.
- Limpieza del material.
- Manipulación, transporte y acopio de materiales, mediante maquinaria y cintas transportadoras.

El número de etapas y elementos de la Planta dependerán de las características de los residuos y de los subproductos reciclados que se pretende obtener.

Separación de residuos

El Reglamento para la Gestión de RCD (2013), define la segregación de la siguiente manera “consiste en la recolección o segregación clasificada y separada de los residuos peligrosos, considerando su almacenamiento temporal, previa clasificación por separado en el mismo lugar de la obra. Todos los residuos peligrosos deben ser embalados apropiadamente por el generador para que sean controlados y monitoreados desde su salida de la obra hasta el relleno de seguridad o planta de tratamiento autorizada; los envases deben presentar etiquetas que los identifique, señalando sus características y nivel de peligrosidad, buscando con ello evitar cualquier tipo de contaminación al ambiente o perjuicio a las personas.”

La composición de los residuos y el porcentaje que estos aportan respectivamente es el siguiente:

Tabla 7: Coeficiente de generación de RCD por m2 construido

RCD: Naturaleza no pétreo			RCD: Naturaleza pétreo	
			1. Arena Grava y otros áridos	2.64%
1.	Asfalto	0.00%	2. Concreto	2.64%
			3. Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	38.17%
2.	Madera	9.64%		
3.	Metales	5.23%	4. Piedra	2.54%
4.	Papel	9.14%	Subtotal estimación	57.56%
			RCD: Basuras, Potencialmente peligrosos y otros	
5.	Plástico	7.87%		
6.	Vidrio	0.25%	1. Basura	3.55%
			2. Potencialmente peligrosos y otros	2.34%
7.	Yeso	4.42%		
Subtotal estimación		36.55 %	Subtotal estimación	5.89%

Fuente: CONAMA 2010

Almacenamiento de residuos

A medida que se vayan generando los escombros en varias etapas del proceso constructivo, se tiene que disminuir al máximo el tiempo que permanecen dentro del área del proyecto/obra. El almacenamiento del material no exceda de veinticuatro horas después a la finalización de la obra o actividad.

Los sitios, instalaciones, construcciones y fuentes de material deben contar con límites del inmueble privado, áreas o patios en la cual se efectúe la carga, descarga y almacenamiento de todos los materiales que ingresan a la obra. Se definen áreas y demarcarlas, señalizarlas y optimizarlas al máximo en cuanto a su uso. Se debe evitar la excesiva acumulación de RCD.

Luego, para que los residuos no se mezclen con el resto y complique su gestión, se propone disponerlos en contenedores adecuados con señalética que indiquen claramente el tipo de residuos que contienen. Los más comunes son:

- Contenedores de escombros

Es el mayor volumen que se genera la ejecución de una obra, demolición o remodelación de edificaciones. Tiene un volumen hasta de 7 m³, son de estructura metálica y fácil almacenamiento. Están dentro y fuera de obra, necesitan ser cambiados cada vez que lleguen a su volumen máximo.

- Contenedores de residuos menores

El uso debe ser de polietileno de alta densidad con tapa y ruedas. Su capacidad es de 120 a 1100 litros. Están permanentemente en obra y servirán para los desechos menores y domésticos de todo el personal que está en obra, estas deben estar en lugares estratégicos y que no interrumpa el libre tránsito que pueden impedir actividades importantes.

- Contenedores para residuos peligrosos

Requieren de mayor cuidado y delicadeza, están contemplados en el Reglamento para Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (2013-artículo 55-2). Estos deben estar siempre en buenas condiciones

sin suciedad ni oxidación que los debiliten. No se deben mezclar residuos peligrosos incompatibles, asimismo mantenerse hermético salvo cuando se incorporen residuos.

- Manejo de residuos en obra

Según, Carlos Parrado 2012, el manejo de RCD se debe identificar y cuantificar los materiales necesarios en el marco de la implementación del Plan de Gestión de RCD en obra. Se facilita los medios físicos necesarios para la clasificación de residuos en origen: se aportan contenedores según la producción estimada, y facilitar al máximo las tareas de clasificación de residuos y garantizar la correcta gestión de los residuos generados dentro de la zona de construcción.

Los datos durante la ejecución de la obra se realizan en oficina técnica y se asigna funciones al personal de campo.

- Transporte de residuos en obra

El medio de transporte depende de las políticas de la empresa, las empresas constructoras cuentan con camiones o contratan compañías de transporte que se encargan de esta función.

La maquinaria que se utiliza es: retroexcavadoras, tractores, compresores. Los vehículos mencionados deben estar en buen estado para transportar materiales, sin fugas de aceites ni de combustibles. Además, deben contar con los permisos de circulación y la revisión técnica vehicular, lo que deberá ser verificado y controlado por la supervisión del proyecto.

Las puertas de descargue de los vehículos deben permanecer adecuadamente aseguradas y herméticamente cerradas durante el transporte. La cobertura es de material resistente.

El desplazamiento del material en los camiones transportadores, deben desplazarse a velocidades mínimas, ya que puede causar impactos en el tránsito vehicular.

- Disposición final de residuos en obra

Las autoridades provinciales son las que establecen la zonificación de estas escombreras, donde están permitidas y en que espacios se establecerán las mismas.

Los requisitos para los escombros deben de cumplir con lo estipulado:

- Estar ubicado como mínimo a un (1.00) kilómetro de distancia de la población cercana.
- La pendiente no debe ser mayor a 25° a 30°. Si es mayor se tiene que justificar.
- La dirección de viento debe ser contraria a la población habitada.
- No debe haber interferencia con movimientos vehiculares.
- Estar ubicado fuera de zonas arqueológicas, zonas reservadas o áreas protegidas.
- Debe contar con áreas vehiculares para acceso de vehículos que entrarán y saldrán de la zona.

Para su diseño también tiene requisitos:

- Sistema de pasaje y registro.
- Señalética.
- Canales perimétricos de intersección y evacuación de aguas.
- Sistema de control de ruidos.
- Sistema de acceso y caminos para camiones y volquetes.
- Plan de contingencia.
- Construcciones complementarias como caseta de control, oficina administrativa, logística, almacenes, entre otros.
- Abastecimiento de agua, desagüe y de energía eléctrica.
- Descarga de residuos.
- Construcción de celdas o muelles de descarga.
- Cubrimiento de residuos.
- Compactación previa a disposición final.

Toda obra destinada a escombrera debe contar con el EIA (Estudio de Impacto ambiental) aprobada por la municipalidad provincial competente. Las áreas utilizadas como escombreras, se colocará la cobertura final y se cerrará, sin permitir otro tipo de contaminación. Puede ser reutilizado para espacios públicos, siempre y cuando cumpla con los requisitos y aprobados por DIGESA.

- **Empresas recicladoras de RCD**

En el Marco Normativo vigente establece que los residuos de construcción deben ser operados por EPS-RS y EC-RS, la gran parte de los residuos sólidos de obras son eliminados por camiones volquete que no cuentan con autorización para el manejo de los RCD.

A continuación, se muestra la cantidad de empresas registradas en DIGESA para operar RCD en Lima y Callao.

Tabla 8: Empresas registradas en el manejo de RCD

Tipo	Total	Tipo de Registro			Disposición Final
		Transporte	Transferencia	Tratamiento	
EPS-RS	94	92	1	3	3
EC-RS	149	140	0	95	0

Fuente: DIGESA, 2014.

Las empresas existentes no cubren la totalidad de la demanda. Muchas de ellas, cuentan con los registros pertinentes, pero no operan en el sector construcción, como el caso de Papelera del Perú SAC y Kimberly Clark Perú SRL cada una de ellas tiene el registro de RCD, pero se dedican al rubro de reciclaje de papel.

Para un correcto manejo de los RCD, se debe tener en cuenta todos los responsables dentro y fuera de la obra, a continuación, se tomaron datos del reglamento vigente del Perú, donde explican quiénes son:

- Generador

Se entiende por generador al dueño de la propiedad donde se ejecutarán las actividades constructivas, puede ser una persona natural o jurídica.

- Poseedor

Es el titular responsable de la empresa, que efectúa las operaciones de derribo, construcción, ampliación, excavación, desmontaje y otras actividades que generan los residuos, o la persona física o jurídica que los tiene en posesión y que no dispone de la condición de gestor autorizado de residuos.

- EPS EC- RS

Son las empresas que efectúan las operaciones de valorización de los residuos o la empresa que lleva a cabo la disposición final de los residuos en rellenos sanitarios o plantas de tratamiento.

Las empresas prestadoras de servicios son los dueños de las plantas de tratamiento de residuos o escombreras.

• Legislación de los RCD en Perú

El manejo de residuos sólidos en Perú se inició en el año 2000 en cooperación de los gobiernos regionales y locales, después de su aplicación se realizó mejoras en las gestiones de residuos sólidos promulgando leyes que hasta la fecha se aplica.

Se detalla a continuación la evolución normativa de los residuos sólidos:

a) Normas Generales

• Ley General de residuos Sólidos, Ley N° 27314

Se aplica a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos, en los sectores económicos, sociales y de la población. *(Derogada)*.

- Ley General del Ambiente, Ley N° 28611
Establece la regulación de la gestión ambiental. El estado es el responsable de diseñar y aplicar políticas normativas, instrumentos, incentivos entre otras relacionadas a la materia.

- Ley de Gestión integral de residuos sólidos, D.S. N° 1278
La gestión integral de los residuos sólidos tiene como finalidad la prevención y minimizar la generación de residuos sólidos lo cual se prefiere la recuperación, reutilización y reciclaje que garantice la protección de la salud y medio ambiente.

- b) Normas sobre Residuos Sólidos en General
 - Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos PLANARES 2016-2024, R.M. N° 191-2012-MINAM
En este Plan consiste en dar continuidad a la gestión de residuos sólidos a nivel nacional iniciada el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). En este plan trata sobre la gestión de residuos sólidos en el Perú, los objetivos a cumplir y el desarrollo sostenible.

 - Ley que regula la Actividad de los recicladores y su reglamento, Ley N° 29419
Promulgado en el año 2010, en esta ley se establece la regulación de las actividades de los trabajadores del reciclaje, capacitación y promoción del desarrollo social y laboral, promoviendo su formalización y contribución a la mejora en el manejo ecológico.

 - Ley que regula el transporte terrestre y residuos peligrosos y su reglamento, Ley N° 28256
Promulgado en el año 2008, en esta ley se regula las actividades, procesos y operaciones del transporte terrestre de los materiales y residuos peligrosos para el cuidado del medio ambiente. Contempla la producción, almacenamiento, embalaje, transporte, manipulación, utilización y reutilización, tratamiento, reciclaje y disposición final.

- c) Normas de Residuos Sólidos de Construcción y Demolición
- Reglamento para la gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de Construcción y Demolición y su modificatoria, DS N° 003-2013-VIVIENDA
Promulgado en el año 2013, en esta ley se regula la gestión y manejo de los residuos sólidos generados por las actividades de construcción y demolición, para minimizar el impacto ambiental. También se establece responsabilidades a las instituciones que están vinculadas a la gestión y manejo de los residuos sólidos peligrosos y no peligroso procedente de la actividad de construcción y demolición. Al igual se incentiva la participación de empresas privadas en las etapas de la gestión de residuos sólidos.
 - R.M. 220-2015-VIVIENDA, Aplicativo virtual para la Declaración Anual del Manejo de residuos sólidos de las actividades de la Construcción y Demolición.
Promulgado en el año 2015, en esta ley se dispone que la información contenida en la Declaración Anual tiene el carácter de Declaración Jurada.
- d) Ordenanzas Municipales
- Decreto de Alcaldía N° 017, Reglamento de la Ordenanza N° 1778 Gestión Metropolitana de Residuos Sólidos Municipales
Promulgado en el año 2015, en esta ley establece los procedimientos técnicos y administrativos para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos en la provincia de Lima tanto de las personas naturales y jurídicas. Este reglamento debe cumplir la Municipalidad Metropolitana de Lima, las Municipalidades Distritales, municipalidades de centros poblados y personas jurídicas que generen residuos sólidos, operaciones vinculadas a la gestión desde la generación de residuos sólidos hasta su disposición final en toda la provincia de Lima.

- Ordenanza Municipal N° 031-2016, Ordenanza que restringe la circulación de vehículos que contaminan con residuos sólidos la ribera del mar del callao y/o otras zonas públicas.

Promulgado en el año 2016, en esta ordenanza se prohíbe el ingreso a la ribera del mar y circulación en zonas aledañas de vehículos de cualquier tipología, que transporte residuos sólidos como papeles, plásticos, metales, maderas, malezas, desmonte de construcción, residuos de origen hospitalario, industrial, comercial entre otros.

e) Normas Técnicas

- NTP 900.058-2019. Gestión de Residuos. Código de colores de almacenamiento de Residuos Solidos

En esta norma establece los colores que serán utilizados para el almacenamiento de los residuos sólidos en al ámbito de gestión municipal y no municipal. Cada color debe de utilizarse por el tipo de residuo.

- NTP 400.050-2017, Manejo de residuos de construcción

En esta norma establece el manejo de residuos de la actividad de la construcción y demolición.

- Implementación de los RCD internacionalmente

En países desarrollados está presente el reciclaje de residuos sólidos lo cual incluye los RCD, como planes estratégicos para el uso sostenibles de los recursos.

- Alemania

A partir del 01 de junio del 2012 entro en vigencia la Ley para el manejo de residuos conocida como la “Ley de Economía Circular”. Esta ley tiene elementos claves como “El principio de quien contamina paga”, “el principio de responsabilidad pública y privada compartida para la gestión de residuos” entre otros.

El principio de jerarquía comprende el siguiente orden:

- ✓ Prevención de residuos.
- ✓ Preparación para reutilización.
- ✓ Reciclaje.
- ✓ Otras operaciones de recuperación.
- ✓ Eliminación.

Para el año 2017 en Alemania, se tiene 68 plantas de incineración de residuos con una capacidad de 20 millones de toneladas, 32 plantas de combustibles con una capacidad de 5 millones de toneladas, y 45 plantas de tratamiento de residuos biomecánicas con una capacidad de 5 millones de toneladas.

- Suiza

La oficina Federal para el Medio Ambiente, es la encargada de los manejos de los residuos. Recicla el 51% de total de residuos generados anualmente, también está establecido que los consumidores deben de devolver los residuos eléctricos y electrónicos y las baterías usadas, mientras que los minoristas están obligados a aceptar. Según (FOEN, 2013)

El país cuenta con 30 plantas de incineración para recuperar metales, 350 planta de biogás y compostaje para la recuperación de energía y materiales biogénico, y 60 plantas de energía biomasa. Con respecto a los residuos que no son reciclables, estas son almacenadas en vertederos de última generación.

- Bélgica

La legislación de residuos es similar al de Alemania, en este país se pone en práctica el diseño de eco productos, con la finalidad de reducir el impacto ambiental. La empresa FOST PLUS es la encargada de las obligaciones legales de los productos del país, según Hidalgo y Delvaux (2015).

Se tiene la siguiente infraestructura para la gestión de residuos: 310 empresas dedicada a la recolección y clasificación de residuos

sólidos, 294 compañías dedicada al reciclaje de residuos de materiales aprovechables y 71 empresas dedica a la recuperación de energía, 8920 lugares de recolección de botellas, según Marques et al (2014).

- Japón

La legislación de Japón es parecida al de Europa. Es uno de los países con mayor incineración, debido a que tienen pocos rellenos sanitarios. Tiene aproximadamente 1,172 plantas con una capacidad de 182,683 Ton/Día. Estas plantas usan electricidad generada para su auto sostenimiento.

- Países Bajos

La legislación de este país es prevenir la generación de desechos, reciclarlos y reutilizarlos dentro de la cadena de producción, con la finalidad de evitar la menor cantidad de residuos a los vertederos. El Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente de Países Bajos existen 16 plantas de incineración de residuos.

- Suecia

La reglamentación se enfoca a las políticas de la Unión Europea, tal como se estableció en la Directiva 2008/98/CE sobre residuos. Suecia tiene en sus normas el Código Ambiental y las ordenanzas de Residuos de 2011.

En Suecia se tiene sistemas subterráneos de recolección de residuos, para reducir el espacio en las calles, como los olores a bajas temperatura, Avfall Sverige (2017).

La asociación sueca indica que se tiene 580 centros de reciclaje y 34 plantas de incineración de residuos sólidos domésticos.

- Dinamarca

El parlamento danés y la Unión Europea se encargan de la normativa sobre residuos. Este país adoptó una estrategia y un plan de recursos para la gestión de residuos.

El plan “Dinamarca sin residuos, reciclar más – incinerar menos”, es duplicar el reciclaje de residuos domésticos y evitar la incineración. Se tiene actividades que previenen la generación de residuos por ejemplo en el sector educación se enseña la reutilización, en el sector de la construcción se define un grupo de trabajo que se encarga en la reducción de residuos, en los sectores como textiles, alimentos entre otros se emplean materiales que pueden ser utilizados en un ciclo cerrado de producción.

- Noruega

La política de gestión de residuos sólidos se basa en un sistema cerrado que va junto con la economía circular.

Una de las prioridades en su política de gestión de residuos es la reducción del desperdicio de alimentos, aprovechar los residuos plásticos a través del reciclaje y recuperación de energía, uso de biogás y una adecuada gestión de residuos peligrosos, según European Environment Agency (2016).

Tabla 9: Composición de RCD en Noruega

Material	Construcción		Renovación		Demolición	
	Pequeña	Grande	Pequeña	Grande	Pequeña	Grande
	%					
Asbestos	0.00	0.00	0.56	0.83	0.37	0.19
Materiales Peligrosos	0.24	0.23	0.06	0.05	0.07	0.04
Concreto y ladrillos	22.14	62.11	45.15	50.64	68.61	91.77
Yeso	10.35	4.48	6.59	4.06	0.59	0.00
Vidrio	0.82	0.39	0.32	0.48	0.45	0.04
Tecnopor	4.09	0.68	0.69	0.23	0.29	0.00
Metales	0.37	1.56	0.42	6.75	0.77	0.70
Papeles y plásticos	9.95	1.49	0.79	1.13	0.16	0.03
Madera	19.35	8.94	42.41	13.40	18.42	4.40
Material desconocido	32.70	20.12	3.02	22.42	10.27	2.83

Fuente: Bergsdal, 2007

- España

De acuerdo a la estadística europea en el año 2010, los residuos generados en el sector construcción representa el 28%.

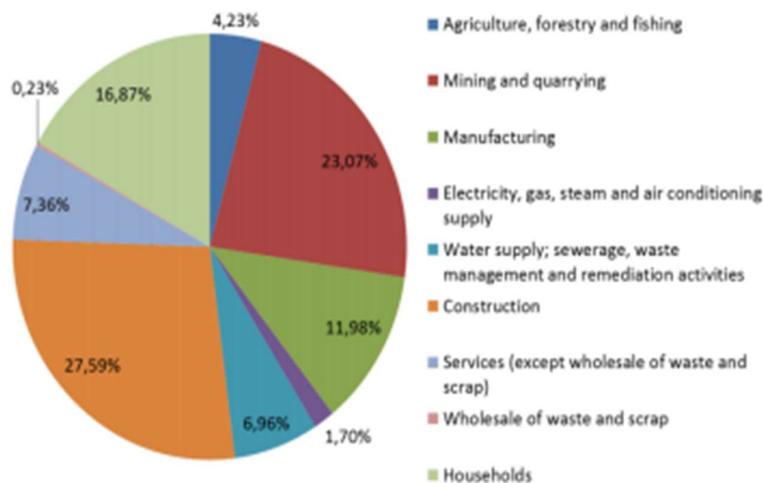


Figura 22: Porcentaje presentado en España

Fuente: Sector Construcción (European Commission, 2013)

2.4. Definición de términos básicos

- Concreto reciclado

Conjunto de agregados de un concreto que proviene de demoliciones de obras cuya finalidad es ser utilizado como base o subbase para la construcción de nuevas carreteras o rehabilitar estructuras existentes. (Martínez, J & Castro, R., Año 2017).

- Estabilización

Es el proceso donde se busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo a través de químicos naturales o sintéticos. (Almazán, A & Sandoval, D., Año 2019).

- Índice CBR

La subrasante es una capa terminada a nivel de movimiento de tierras, en la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (Quevedo, E., Año 2017).

- Subrasante

La subrasante es una capa terminada a nivel de movimiento de tierras, en la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (Quevedo, E., Año 2017).

- Materiales de construcción

Son los residuos sólidos de la construcción, lo cual se generan por las actividades de construcción general de demoliciones de infraestructura (Hernández, 2006, pág. 02).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis principal

El uso del concreto reciclado ayudará al mejoramiento del CBR de la subrasante en suelos de baja plasticidad en carreteras de bajo tránsito.

3.1.2. Hipótesis secundarias

- a) Determinando la dosificación óptima del reciclado de pavimento rígido mejoraremos el CBR en suelos arcilloso de baja plasticidad en pavimentos flexibles de bajo volumen
- b) La capacidad portante de la subrasante mejora, se debe realizar un Nuevo diseño de pavimento con el Método AASHTO 1993.
- c) Con la utilización de concreto reciclado para mejorar la capacidad portante de la subrasante se disminuirán espesores de cada capa y también el costo que generaría en el proceso constructivo.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

- Variable independiente:

Concreto reciclado

- Variable dependiente:

Estabilización de la subrasante en suelos arcillosos.

3.2.2. Operacionalización de las variables

RECICLADO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL MEJORAMIENTO DEL CBR EN SUBRASANTE DE SUELOS ARCILLOSOS EN CARRETERAS										
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA	INSTRUMENTO	HERRAMIENTA	
VARIABLE INDEPENDIENTE (CONCRETO RECICLADO DE PAVIMENTO RIGIDO)	El concreto reciclado proviene de demoliciones de pavimento rígido de obras públicas o privadas, cuya finalidad es ser utilizado como base o subbase para la construcción de nuevas carreteras o rehabilitar estructuras existentes.	Se muele concreto reciclado, y se mezclara con el suelo arcilloso para estabilizar. Y se hallara los porcentajes de concretos reciclados óptimos	Cantidad y tipo de concreto reciclado	Porcentaje en concreto reciclado	-	%	Porcentual	Cualitativa Continua	Ensayos	Norma Nacional
										Norma Internacional
VARIABLE DEPENDIENTE (Estabilización de suelos arcillosos en subrasantes)	Es la mejora de un suelo arcilloso mediante un agente estabilizador.	Una vez estabilizado el suelo arcilloso, se mide el CBR y la densidad seca	Propiedades del suelo	Granulometría de suelos	-	%	Porcentaje	Cualitativa Continua	Granulometría de suelos	MTC E-114
				Densidad en seco	-	kg/cm ³	Densidad	Cualitativa Continua	Densidad en seco	MTC E-115
				Índice de CBR	%	Porcentaje	Cualitativa Continua	Ensayo CBR	ASTM D 1883	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y Nivel

4.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptivo, porque determina la estabilización de suelos arcillosos con concreto reciclado requiere analizar las propiedades que tiene este nuevo agregado y con respecto al software podremos deducir que se estabiliza correctamente la subrasante.

4.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo - Relacionado, entre la variable de concreto reciclado de pavimento rígido y los parámetros de diseño como el Proctor modificado, densidad, CBR y resistencia de la compresión.

4.2. Diseño de la Investigación

Según el propósito del estudio es No experimental, ya que se basó en la información de otras investigaciones realizadas en la zona de estudio, las cuales no fueron modificadas.

Según el número de mediciones es transversal pues la variable de estudio se medirá una sola vez a lo largo del tiempo

Según cronología de las observaciones es Retrospectivo se redactará las conclusiones una vez realizado el diseño de pavimento.

4.3. Población y muestra

La población de estudio en esta investigación son el concreto reciclado en suelos arcillosos mejorando la estabilización de suelos de baja calidad.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Nivel de la investigación

Los instrumentos para la recolección de datos se basarán en lo siguiente: 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.

4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

La información obtenida en esta investigación, son las normativa vigentes y manuales de carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones y otras entidades del estado peruano, también se obtendrá información en las revistas de Construction and Building Materials, Instituto del Cemento Portland Argentino, Cement Sustainability Initiative, Research Gate entre otros que abarcan el estudio.

Otra fuente de confiabilidad son las tesis e investigaciones publicadas de las universidades peruanas

4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos

Para la recolección de datos se realizará una base de datos de los parámetros de concreto reciclado: granulometría de suelos, densidad seca, capacidad portante CBR, nuevo diseño de pavimento y análisis económico.

Paso 1: Recolección y revisión bibliográficas.

Paso 2: Recolección de la información necesaria de las investigaciones.

Paso 3: Elaboración de una base de datos de los parámetros para la obtención del CBR.

Paso 4: Diseñar los espesores del Pavimento flexible siguiendo el método AASTHO 1993.

Paso 5: Comparar económicamente la propuesta de diseño según una carretera convencional.

4.5. Técnicas para el procedimiento y análisis de la información

Para el procesamiento de la base datos se realizó tablas acordes a la información obtenida de los parámetros de diseño en Excel, al igual se analizó los parámetros con los diferentes porcentajes que se utilizaron para la estabilización de suelos y obtener el CBR óptimo para el diseño de la estructura del pavimento y por último se analizó el impacto económico con los nuevos espesores obtenidos en esta investigación.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Metodología según la Normativa E50 y AASHTO

Se desarrollará mediante la ejecución de ensayos a diferentes muestras naturales de suelos, con variación de dosificaciones y a través de ensayos según la normativa nacional de Suelos y Cimentaciones (E 0.50) y la normativa internacional ASTM. A continuación, se describen los Ensayos a ejecutar para obtener información de las características físicas y mecánicas del suelo.

5.1.1. Ensayo de contenido de humedad (NTP 339.127 – ASTM D 2216 – MTC E 108)

Se usa para determinar la cantidad de agua en el suelo existente, se pesa el material húmedo en su estado natural (W_w). Posteriormente se coloca en el horno durante 24 horas para luego registrar su peso seco (W_s).

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Ecuación 5: Contenido de Humedad

Fuente: Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

5.1.2. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado (NTP 339.128 – ASTM D 422 – MTC E 107)

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado su propósito es obtener la repartición por tamaño de las partículas. Este ensayo se realiza con la muestra seca (W_s) para proceder a pesar el material retenido en cada tamiz (PRP). Con los datos de C_u y C_c se podrá determinar el tipo de suelo.

$$\%RP = \frac{PRP}{WS} * 100$$

Ecuación 6: Porcentaje retenido en cada tamiz

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

$$\% RA = \%RP1 + \%RP2$$

Ecuación 7: Porcentaje acumulado en cada tamiz

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \% RA$$

Ecuación 8: Porcentaje Acumulado en cada tamiz

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 9: Coeficiente de Uniformidad

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Ecuación 10: Coeficiente de Uniformidad

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

5.1.3. Ensayo de análisis granulométrico por lavado (ASTM C 117)

El ensayo de granulometría por lavado se realiza para ver cuánto de agregado grueso, finos y arena existe, luego se tamiza por el tamiz N° 200 haciendo caer chorro de agua hasta que la muestra sea transparente.

$$\%RP = \frac{PRP}{WS} * 100$$

Ecuación 11: Porcentaje retenido en cada tamiz

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

$$\% RA = \%RP1 + \%RP2$$

Ecuación 12: Porcentaje acumulado en cada tamiz

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

5.1.4. Ensayo de límite líquido de los suelos (NTP 339.129 – ASTM D 4318 – MTC E 110)

El ensayo de límite líquido es el contenido de humedad que se expresa en porcentajes, utilizando el material por el tamiz N° 40 pasamos a usar la copa de Casagrande la cual esta comprende un número de golpes que nos determinara si el material necesita más agua o aumento de cantidad de material.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de muestra}} * 100$$

Ecuación 13: Limite líquido de un suelo

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

5.1.5. Ensayo de límite plástico (LP) de suelos con índice de plasticidad (NTP 339.129 – ASTM D 4318 – MTC E 111)

Está determinado por el contenido de humedad, la muestra una vez pasada e jn después de 24 horas, el material que no contiene plasticidad se denomina NP (no plástico).

$$\text{Limite Plastico}(LP) = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de suelo}} * 100$$

Ecuación 14: Limite Plástico

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

$$\text{Indice de plasticidad } (IP) = LL - LP$$

Ecuación 15: Índice de plasticidad

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

5.1.6. Ensayo de los suelos método SUCS (NTP 339.134 – ASTM D 2487)

El sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es el que asigna

distintos símbolos para cada uno de los tipos de suelos, en las cuales sean suelos finos o gruesos, orgánicos o inorgánicos. Los principales parámetros que se realiza para la clasificación son: Granulometría, Límite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad, con los cuales se describe el comportamiento mecánico del suelo, así mismo para clasificar un suelo se utiliza el método de la carta de plasticidad



Figura 23: Carta de Plasticidad de Casagrande para suelos

Fuente: Manual de carreteras. España, pág.22.

5.1.7. Clasificación de los suelos – AASHTO (ASTM D 3282)

La metodología AASHTO se utilizó para clasificar materiales que se emplearan en caminos.

Se verifica si el suelo es granular o fino dependiendo del porcentaje que pasa en el tamiz N° 200, N° 10 y N° 40, se emplea también límite líquido e Índice de plasticidad.

El índice de grupo se calcula de la siguiente manera:

$$IG = (F_{200} - 35) * (0.2 \div 0.005 + 0.005(LL - 40))$$

Ecuación 16: Índice de grupo para la clasificación de suelos método AASTHO

Fuente: Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014)

Donde:

F200 = % que pasa el tamiz N°200

LL = Limite Liquido

IG = Índice de grupo

5.1.6. Ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141 – ASTM D 1557 – MTC)

El ensayo desarrolla procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar el contenido de humedad óptima y el peso específico seco máximo para una muestra de suelo compactado en el laboratorio.

Los suelos estudiados, son compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44.5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg) produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)). El proceso se repite de acuerdo con el porcentaje de humedad estudiado con el fin de obtener valores de la máxima densidad para una humedad óptima.

Tabla 10: Condiciones de ensayo de Proctor Modificado

Tipo de Ensayos Método	Proctor Modificado Astm D1557.91(98)		
	A	B	C
Condiciones para la Elección del Método	% Ret. Acum. N° 4 ≤ 20%	% Ret. Acum. 3/8" ≤ 20%	% Ret. Acum 3/4" ≤ 30%
		% Ret. Acum. N° 4 ≥ 20%	% Ret. Acum. 3/8" ≥ 20%
Tipo de Material Utilizado	Pasantes la malla N° 4	Pasante la malla 3/8"	Pasante la malla 3/4"
N° de capas (N)	5	5	5
N° de golpes (N)	25	25	56
Diámetro de Molde (Cm)	10.16 ± 0.04	10.16 ± 0.04	10.16 ± 0.04
Altura de Molde (Cm)	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05
Volumen del Molde V (Cm)	944 ± 0.04	944 ± 0.04	944 ± 0.04
Peso del Martillo W (Kg)	4.54 ± 0.01	4.54 ± 0.01	4.54 ± 0.01
Altura Caída del Martillo (Cm)	45.72 ± 0.16	45.72 ± 0.16	45.72 ± 0.16
Diámetro del Martillo (Cm)	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025

Fuente: NTP 339.141.1999

5.1.6. Ensayo de Proctor Modificado (NTP 339.141 – ASTM D 1557 – MTC E 132)

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte conocido como CBR (California Bearing Ratio), luego de haberse aplicado carga con un pistón. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. Asimismo, este ensayo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad usando un equipo modificado.

5.2. Propuesta de estabilización con concreto reciclado

5.2.1. Propiedades de concreto reciclado

Quintero (2017), en la investigación que tuvo como objetivo analizar el comportamiento mecánico de una mezcla de suelo cemento con sustitución de concreto reciclado en una franja granulométrica pasa tamiz #10 retiene tamiz #60 de un material tipo B-50 cumpliendo con las características del artículo 350-13 (Suelo – Cemento).

Para ello se trabajó con porcentajes de dosificación de 0%, 25%, 50%, 75%, 100% en peso, concluyendo que cuando se sustituyó el material natural con el concreto reciclado se obtuvieron valores de incremento en la humedad óptima para alcanzar la densidad máxima en todos los porcentajes de sustitución, lo que demuestra que los componentes cementantes del concreto reciclado requiere mayor hidratación para que la mezcla alcance las condiciones óptimas de compactación.

5.2.2. Relación entre concreto reciclado molido y suelo arcilloso

- Porcentaje óptimo de concreto reciclado pulverizado

El polvo de concreto reciclado es considerado como un material reciclado fino con alto porcentaje de sílice, como lo es el cemento. Por lo tanto, la norma NTP 339.134:1999 define que la estabilización con cemento debe estar entre rangos de 2% a 12% en peso seco de la muestra.

- Normativa para la dosificación de suelos arcillosos
En función de los antecedentes de estabilización de polvo de concreto reciclado y normativa nacional, se ha seleccionado trabajar con un porcentaje de polvo de concreto reciclado de 15%.

5.3. Dosificación de suelos arcillosos estabilizados

5.3.1. Porcentaje de concreto reciclado

Tabla 11: Investigaciones relacionadas en el presente estudio

CODIGO DE INVESTIGACION	NOMBRE DE TESIS	AUTOR	UNIVERSIDAD	AÑO	LUGAR
UNS-SANTA-2014	MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCION PARA BAES Y SUB BASES DE ESTRUCTRA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOE - SANTA - ANCASH	- KARLITA BEATRIZ CONTRERAS QUEZADA Y VICTOR ALFONSO HERRERA LAZARO	UNIVERSIDAD DEL SANTA	2015	NUEVO CHIMBOTE
UCV-CHIMBOTE-2019	ADICION DE ESCOMBROS DE CONSTRUCCION AL MATERIAL DE LA BASE Y SUB BASE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN NUEVO CHIMBOTE	- SANDOVAL LAUYA DANNY ENMANUEL Y ALMAZAN AARON CHRISTHOPER	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	2019	CHIMBITE
UCV-LALIBERTAD-2017	OPTIMIZACION DE LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL SECTOR CURVA DEL SUN - CAMPIÑA DE MOCHE, CON CONCRETO RECICLADO PARA PAVIMENTACION, PROVINCIA DE TRUJILLO, LA LIBERTAD -2017	- YORKA ANTONELLY DEL RIO HUAMAN	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	2017	NUEVO CHIMBOTE
UCV-LIMA-2018	ESTABILIZACION DE SUBRASANTE CON MATERIAL DE DEMOLICIONES EN AV. MALECON, SAN JUAN DE LURIGANCHO EN EL 2017	NEISEER FERNANDEZ FLORES	UCV	2018	LIMA
UPN-LIMA-2020	EFFECTO DE LA ADICION DE CONCRETO RECICLADO EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO, CALLE 19 TRAMO: KM 0+000 - 0+720	JESUS ELIAS SAGASTEGUI REATEGUI	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	2020	LIMA
UPN-LALIBERTAD-2020	INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CONCRETO RECICLADO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS PARA LA SUB-RASANTE PARA UN PAVIMENTO FLEXIBLE, DE UNA TROCHA DE 10KM EN LOS SECTORES DE ALTO HUALLAGA HASTA LA MERCED, LAREDO - LA LIBERTAD - 2020	NORIEGA GONGORA, ANEDDRSON ALEJANDRO	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	2020	LA LIBERTAD

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Investigaciones relacionadas en el presente estudio

CODIGO DE INVESTIGACION	NOMBRE DE TESIS	AUTOR	UNIVERSIDAD	AÑO	LUGAR
UNS-CHIMBOTE-2019	ESTABILIZACION DE SUELOS CON CONCRETO ASFALTICO RECICLADO EN EL P.J. DOS DE MAYO - CHIMBOTE	CAMPOS RODRIGUEZ JOSE LORENZO, VEGA ARROYO ALEXANDER EDUARDO	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	2019	LA LIBERTAD
UPN-LIMA-2020	ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN AFIRMADO NATURAL Y ESTABILIZADO CON CEMENTO RECICLADO AL 2%, 4% Y 6% PARA BASE, LOS OLIVOS	- HENRY ELOY QUIspe PONCE	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	2020	LIMA
UDFJD-2017	APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION (RCD) PARA SER UTILIZADOS COMO AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	- JORGE ARMANDO MARTINEZ, RAFAEL RICARDO CASTRO VANEGAS	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DECALDAS	2017	BOGOTA
UFILA-2019	ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA ESTABILIZACION DE UNA SUBRASANTE LIMO ARCILLOSA CON RCD- CONCRETO FINO (PARTICULAS < 2mm) PARA PAVIMENTO EN PAVIMENTOS	- SARA DEL ROCIO OCHOA ACEROS	UNIVERSIDAD FEDERAL DE INTEGRACION LATINO AMERICANA	2019	BRAZIL
UJC-2015	CARACTERIZACIÓN DE UN AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO (ARC) PARA LA CONSTRUCCION DE LA CARPETA ASFALTICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	- RAFAEL ANGEL CARDONA BARONA Y KAREN MELISSA LOPEZ TREJOS	UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI	2015	COLOMBIA

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 11 se observa todas las investigaciones relacionadas al tema, se verifico que tengan todos los datos necesarios que intervienen en concreto reciclado para pavimento flexible, cada investigación tiene su propio código para su identificación.

Se llevará a cabo el análisis de cada variable que interviene en concreto reciclado en pavimento flexible, lo cual se verificara que cumpla en obtener el resultado el resultado de porcentaje reciclado.

Tabla 13: Porcentaje de RCD en cada investigación analizada

CODIGO DE INVESTIGACION	% de concreto reciclado
UNS-SANTA-2014	50%, 60%, 75%
UCV-CHIMBOTE-2019	5%, 15%, 25%
UCV-LALIBERTAD-2017	11%, 13%, 15%
UCV-LIMA-2018	10%, 20%, 30%
UPN-LALIBERTAD-2020	7%, 10%, 12%
UNS-CHIMBOTE-2019	10%, 15%, 20%
UFILA-2019	20%, 40%, 60%
UJC-2015	30%, 50%, 75%

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla N° 12 se detalla los diferentes porcentajes a utilizar en cada investigación que se ha analizado, tanto nacionales como internacionales. Este análisis es para verificar cuantas veces se usa el mismo porcentaje de concreto reciclado.

Tabla 14: Porcentaje de RCD en cada investigación analizada

% de concreto reciclado	N° de usos
5%	1
7%	1
10%	3
11%	1
12%	1
13%	1
15%	3
20%	3
25%	1
30%	2
40%	1
50%	2
60%	2
70%	1
75%	1
TOTAL	24

Fuente: Elaboración Propia



Figura 24: Porcentaje de concreto reciclado utilizado en investigaciones analizadas

Fuente: Elaboración Propia

En la base de datos que se elaboró en la Tabla N° 11, se puede ver que el uso frecuente de % de concreto reciclado es 10%, 15% y 20%, en segundo lugar, están los porcentajes 30%, 50% y 60%.

5.3.2. Resultado del CBR

Los resultados que se obtendrán son de las investigaciones encontradas relacionadas al tema, donde se toma la base de datos y obtener el porcentaje optimo del CBR.

- CBR natural

Por lo que detallamos las siguientes investigaciones de esta manera:

Tabla 15: Porcentaje de RCD en cada investigación analizada

Resultados de ensayo - Suelo Natural	
Código Tesis	UCV-LIMA-2018
Autor	Fernandez Flores
Característica	
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-1-b (0)
Limite Liquido	NP
Limite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP
Optimo Contenido de Humedad	8.00 %
CBR al 100%	71
CBR al 95%	48
Máxima Densidad	2.218 kg/cm3

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla N° 14, se observa que en la clasificación de Suelos por SUCS es de material limosa con grava y mal graduado y AASTO (A-1-b 0). Se consideró la granulometría de los porcentajes que pasan en las mallas N° 04 y N° 200.

En el Manual de carreteras de Suelos, geotecnia y geología y el MTC, indica que las gravas proporcionan resistencia al corte, y las arenas ocupan los vacíos entre gravas y partículas finas aportan en la cohesión del suelo.

También se observa en la Tabla N° 14, los resultados de Limite Líquido, Limite Plástico, Índice de plasticidad no presenta (NP), es debido al contenido de humedad ya que el tipo de suelo es arena limosa con grava y mal graduado.

La máxima densidad seca el cual ensayaron el suelo natural se obtuvo como resultado $MDS=2.218 \text{ kg/cm}^3$, y en el Optimo contenido de humedad $OCH=8.00\%$.

En los resultados del CBR en suelo natural se obtuvo, lo siguiente: CBR (100% MDS) $0.1'' = 71.00 \text{ kg/cm}^3$, y el CBR (95% MDS) $0.1'' = 48 \text{ kg/cm}^3$. Po lo que podemos concluir que el suelo natural tiene una buena capacidad portante.

Tabla 16: Resultado de ensayos del suelo natural. Tesis de Grado. Del Rio (2017)

Resultados de Ensayo - Suelo Natural					
Código Tesis	UCV-LALIBERTAD-2017				
Autor	Yorka antonelly del Río Huamán				
Característica					
Clasificación SUCS	SC	SC	SC	SC	SC
Clasificación AASHTO	A-6(3)	A-6(3)	A-6(1)	A-6(1)	A-6(1)
Limite Líquido	33.76	32.67	26.3	26.79	27.45
Limite Plástico	16.55	16.38	15.65	15.51	15.91
Índice de Plasticidad	17.21	16.29	10.65	11.28	11.54
Contenido de Humedad	17.28	17.39	16.91	16.28	16.68
Máxima Densidad	1.799	1.785	1.756	1.805	1.803
CBR al 100%	10	8.6	10	9	10

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 15 indica que el suelo natural de las muestras obtenidas por el método ASSHTO es un suelo A-6, y según SUCS es un suelo SC correspondiente a un suelo del tipo arena arcillosa.

El ensayo de Proctor Modificado se utilizó con un molde de 4", con 5 capas compactadas y 25 golpes por capa. El valor óptimo de contenido de humedad de las 5 muestras es de 17.39%.

El valor más bajo del CBR del suelo natural es de 8.6%, esto quiere decir que el suelo tiene baja capacidad portante.

Tabla 17: Resultado de ensayos del suelo natural. Tesis de Grado. Noriega Góngora (2020)

Código Tesis	UPN - LALIBERTAD - 2020			
Autor	Noriega Gongora y Villareal Acosta			
Característica	C1	C4	C7	C10
Clasificación SUCS	CL-ML	CL	CL	CL-ML
Clasificación AASHTO	A-4(2)	A-6(4)	A-4(1)	A-4(2)
Limite Liquido	23.8	23.1	21.5	20.7
Limite Plástico	17.05	11.69	12.44	13.26
Índice de Plasticidad	6.75	11.41	9.06	7.44
Contenido de Humedad	9.33	9.75	10.97	9.93
Máxima Densidad	2	2.48	2.5	2.48
CBR al 100%	3.82	4.26	4.41	4.26

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó la clasificación SUCS, se tomó como dato el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200, si es el porcentaje retenido es mayor al 50% es suelo analizado será fino (limos y arcillas). La calicata C1, C4, C7 y C10 presentan un estrato de suelo arcillosos de baja plasticidad CL.

Para la clasificación según AASHTO las muestras del suelo natural, se ha tenido en cuenta el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200; si el porcentaje es menor al 35% es un material granular y si pasa más del 35% se evidencia materiales limosos arcillosos. Otros datos que se utilizaron en esta investigación fueron los porcentajes que pasan por el tamiz N° 10 y por el Tamiz N° 40.

De acuerdo al Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), los valores con IP menor al 7% presenta suelos poco arcillosos:

Los índices de Plasticidad (IP) menores a 7% es la calicata 1, los valores que oscilan entre 7% - 20%, son las calicatas C4 con un valor de 11.41%, la Calicata C7 con valor 9.06% y la Calicata C10 con un valor de 7.44%.

La máxima densidad seca lo posee la C7, con un valor de 9.93% y el valor más bajo es 9.75% que es la calicata C4.

Los datos que se obtuvieron en esta investigación sobre el ensayo de humedad del suelo natural, es la C7 que presenta el mayor valor que es 10.97%; esto quiere decir que el suelo natural no llegara a su densidad máxima seca, ya que la humedad natural es mucho mayor que la humedad óptima.

El ensayo del CBR utilizado para 12, 25 y 56 golpes, los valores para la calicata C1 es de 3.82 %, para la calicata C4 el valor es de 4.26%, para la calicata C7 el valor es de 4.41% y por último la calicata C10 los valores son de 4.26%. Los valores presentados en esta investigación se pueden confirmar que es menor al 6%. Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) este valor viene a ser un suelo inadecuada o pobre.

Tabla 18: Resultado de ensayos del suelo natural. Tesis de grado. Del Rocío (2019)

Código Tesis	UNILA - 2019
Autor	Sara del rocío Ochoa Averos
Característica	
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-7-6 (13)
Limite Liquido	46.22%
Limite Plástico	27.40%
Índice de Plasticidad	18.82%
Contenido de Humedad	20.68%
Máxima Densidad	1.23%
CBR al 100%	1.80%

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N° 17, la clasificación de las muestras ha sido realizada por dos sistemas: SUCS y AASHTO, lo cual es utilizada para pavimentos, se define

el suelo como regular a pobre para ser utilizado como material de subrasante.

El índice de grupo del material es inversamente proporcional a la calidad del suelo, por lo que podemos concluir que a mayor RCD fino, la calidad del material del suelo aumenta. (BRAJA, 2014).

La presencia de los compuestos químicos del Cemento Portland en los residuos del concreto se sugiere utilizar como estabilizador químico para los suelos; ya que estaría sustituyendo en parte el cemento y su aplicación seguiría a las técnicas de estabilización de suelo cemento, por ejemplo, estabilización de subrasante para pavimentos.

- CBR con porcentaje de concreto reciclado
Ahora se procederá en hallar el CBR mejorado con concreto reciclado, para el diseño del pavimento.

Tabla 19: Resultado de ensayos adicionado con % de concreto reciclado.

Resultados de Ensayo - Suelo Natural					
Código Tesis	UCV-LA LIBERTAD-2017				
Autor	Yorka Antonelly del Rio Huamán				
Contenido de Humedad	17.28	17.39	16.91	16.28	16.68
Máxima Densidad	1.799	1.785	1.756	1.805	1.803
CBR al 100% (suelo natural)	10	8.6	10	9	10
	Optimo Humedad (%)				
11% de concreto reciclado	20.34	20.46	20.23	20.01	20.53
13% de concreto reciclado	21.25	20.97	21.52	21.31	21.22
15% de concreto reciclado	22	21.91	21.79	21.67	21.71
	Densidad seca (gr/cc)				
11% de concreto reciclado	1.608	1.619	1.62	1.675	1.604
13% de concreto reciclado	1.597	1.557	1.536	1.567	1.589
15% de concreto reciclado	1.513	1.525	1.501	1.514	1.491
	CBR Mejorado con concreto reciclado				
11% de concreto reciclado	10%	11%	11%	11%	11%
13% de concreto reciclado	12%	12%	13%	12%	12%
15% de concreto reciclado	13%	13%	13%	13%	13%

Fuente: Tesis de grado Del Rio (2017)

En la Tabla N° 18 se puede observar que a medida que aumenta el contenido de concreto reciclado (porcentaje), la densidad seca va disminuyendo mientras que el contenido de humedad aumenta.

En esta investigación se empleó la norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones E-132. En los resultados de la Tabla N° 18 con respecto al CBR, el porcentaje que tendrá mejores resultados es con el 15% ya que existe un comportamiento lineal tal como se muestra en la Figura N° 24.

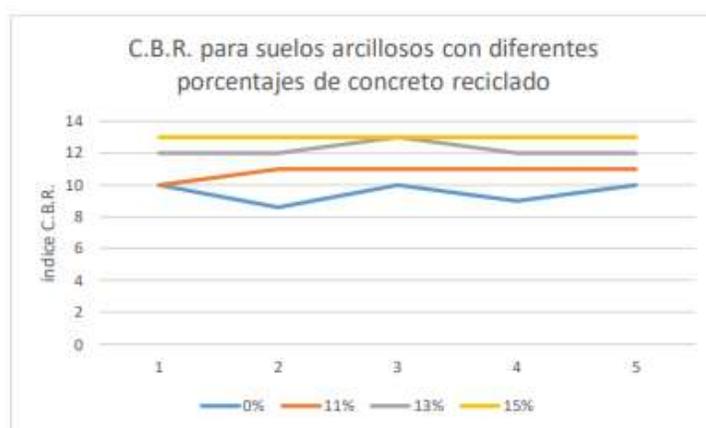


Figura 25: C.B.R. para suelos arcillosos con diferentes porcentajes

Fuente: Tesis de grado, Yorika Antonelly (2017)

La investigación de Noriega Góngora y Villareal Acosta (2020), se utilizó concreto reciclado pulverizado lo cual necesito 17.400 kg retenido en la malla N° 200.

Tabla 20: Resultado de ensayos adicionados con % de concreto reciclado

Código Tesis	UPN - LA LIBERTAD - 2020			
	Autor	Noriega Góngora y Villareal Acosta		
Contenido de Humedad (%)	9.33	9.75	10.97	9.93
Máxima Densidad	2	2.48	2.5	2.48
CBR al 100% (suelo natural)	3.82	4.26	4.41	4.26
	CBR mejorado con concreto reciclado (%)			
7% de concreto reciclado	84.96	84.24	84.67	85.11
10% de concreto reciclado	174.7	174.7	160.29	168.81
12% de concreto reciclado	177.36	187.15	187.15	187.15

Fuente: Noriega Góngora y Villareal Acosta 2017

Presenta un estrato de suelos arcillosos de baja plasticidad tal como se menciona en la Tabla N° 16. Haciendo un análisis de los resultados de la Tabla N° 19, los valores de CBR del terreno natural es menor de 6% y de acuerdo a la Norma esta se clasifica como una subrasante inadecuada o pobre (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).

Los resultados del CBR añadido con 7%, 10% y 12% de concreto reciclado pulverizado, aumenta considerablemente lo cual se obtiene valores de 187.15%. Estos valores a simple vista aumentan significativamente su CBR del suelo natural, y que la sub rasante sea considerada al igual que el porcentaje de 7% (excelente) ya que supera el valor mínimo de 40%. Estos porcentajes añadidos es solo concreto reciclado.

Los resultados arrojados radican que el cemento se adhiere y se envuelve con las partículas de suelo, esto genera que se trabaje como una sola estructura rígida ya que impide el ingreso de agua.

Por lo tanto, se determina que el porcentaje óptimo de concreto reciclado con lo cual se utilizaría para el diseño de pavimento, sería el 7% ya que el CBR aumenta considerablemente a un 77.59%.

5.4. Diseño de pavimento flexible con la Norma AASHTO 1993

La finalidad de este método es el cálculo del Número Estructural requerido (SN_r), ya que en base a éste se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto.

5.4.1. Diseño de estructura de pavimento Método AASHTO 1993

- Tránsito

Para la estimación del tránsito equivalente en ejes equivalentes de 8.2 toneladas, se implementó la metodología exigida por el MTC [3] en su manual de diseño de pavimentos para bajos y medios volúmenes de tránsito, como sigue. La distribución del tránsito es mostrada en la tabla 2 y se tendrá en cuenta el tránsito de buses y camiones de acuerdo al

manual del Instituto nacional de vías MTC citado anteriormente. Para la estimación del factor de equivalencia de carga y factor daño, se empleó el método de la cuarta potencia el cual es contemplado en el manual de diseño del Instituto Nacional de Vías para bajos y medios volúmenes de tránsito

- Confiabilidad (R)

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento.

Se presenta los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico:

Tabla 21: Nivel de confiabilidad

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de Confiabilidad ®
Caminos de Bajo Volumen de Transito	TP0	100,000	150,000	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750,001	1,000,000	80%
	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
Resto de Caminos	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10,000,000	90%
	TP10	10,000,001	12,500,000	90%
	TP11	12,500,001	15,000,000	90%
	TP12	15,000,001	20,000,000	95%
	TP13	20,000,001	25,000,000	95%
	TP14	25,000,001	30,000,000	95%
	TP15	>30,000,000		95%

Fuente: Manual de Carreteras (2014).

- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Z_r)

El coeficiente de Desviación estándar Normal Z_r , representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos de una distribución normal.

Tabla 22: Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Desviación Estándar Normal (Z_r)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	TP0	100,001	150,000	-0.385
	TP1	150,001	300,000	-0.524
	TP2	300,001	500,000	-0.674
	TP3	500,001	750,000	-0.842
	TP4	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	TP9	7,500,001	10,000,000	-1.282
	TP10	10,000,001	12,500,000	-1.282
	TP11	12,500,001	15,000,000	-1.282
	TP12	15,000,001	20,000,000	-1.645
	TP13	20,000,001	25,000,000	-1.645
	TP14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	TP15		>30,000,000	-1.645

Fuente: Manual de Carreteras (2014).

- Desviación Estándar Combinada (S_o)

Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. La guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el manual lo recomendable para los diseños se adopta el valor de 0.45.

- Índice de serviciabilidad Inicial (Pi)

El índice de serviciabilidad inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida. Se presenta los valores de servicio inicial para diferentes tipos de tráfico:

Tabla 23: Índice de Serviciabilidad Inicial (I)

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (I)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10,000,000	4.00
	TP10	10,000,001	12,500,000	4.00
	TP11	12,500,001	15,000,000	4.00
	TP12	15,000,001	20,000,000	4.20
	TP13	20,000,001	25,000,000	4.20
	TP14	25,000,001	30,000,000	4.20
	TP15		>30,000,000	4.20

Fuente: Manual de Carreteras (2014).

- Índice de serviciabilidad final (Pt)

Es la condición de una vía que requiere una reconstrucción o algún tipo de rehabilitación. Se presenta los índices de serviciabilidad final para los diferentes tipos de tráfico:

Tabla 24: Índice de Serviabilidad Final (Pt)

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviabilidad Final (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10,000,000	2.50
	TP10	10,000,001	12,500,000	2.50
	TP11	12,500,001	15,000,000	2.50
	TP12	15,000,001	20,000,000	3.00
	TP13	20,000,001	25,000,000	3.00
	TP14	25,000,001	30,000,000	3.00
	TP15		>30,000,000	3.00

Fuente: Manual de Carreteras, Suelo y Geología

- Variación de serviciabilidad (ΔPSI)

Es la diferencia entre la serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo.

Tabla 25: Diferencial de Serviciabilidad (ΔPSI)

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Diferencial de Serviciabilidad (ΔPSI)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	TP1	150,001	300,000	1.80
	TP2	300,001	500,000	1.80
	TP3	500,001	750,000	1.80
	TP4	750,001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	1.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	1.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	1.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	1.50
	TP9	7,500,001	10,000,000	1.50
	TP10	10,000,001	12,500,000	1.50
	TP11	12,500,001	15,000,000	1.50
	TP12	15,000,001	20,000,000	1.20
	TP13	20,000,001	25,000,000	1.20
	TP14	25,000,001	30,000,000	1.20
	TP15		>30,000,000	1.20

Fuente: Manual de Carreteras, Suelo y Geología

5.5. Consideraciones para el diseño de pavimento flexible

El diseño de pavimento flexible que se va a diseñar, son los valores de la estructura del pavimento Empalme LO-103 – Centro Poblado Santo Tomás (Km 0+000 al Km 6+600) a estudiar.

Para el diseño de pavimento se han tomado los mismos valores de condiciones de drenaje y propiedades del material presentada en cada capa y ha sido planteada por la consultora.

Una vez hallado el valor CBR de las investigaciones que se seleccionó, este valor es un dato de entrada que permite obtener un nuevo valor de Modulo resiliente de diseño (M_r).

El módulo resiliente para el diseño AASHTO es la siguiente:

$$M_r = 4326 * Ln(CBR) + 241$$

$$Mr = 4326 * Ln(77.59) + 241$$

$$Mr \text{ diseño} = 19065.32 \text{ psi}$$

Ecuación 17: Cálculo de Módulo resiliente, AASHTO 1993

Para el diseño de pavimento flexible se ha determinado lo siguiente:

Tabla 26: Valores obtenidos para el nuevo diseño de pavimento flexible

Suelo estabilizado con concreto reciclado	Valores
CBR obtenido con el concreto reciclado	77.59%
Mr (sub rasante)	19,065.32 psi

Fuente: Elaboración Propia

En el método AASHTO 1993, para el diseño de pavimento no se ha considerado los valores de temperatura.

Se realizarán dos periodos de diseño: Tr=10 años y Tr=20 años, debido a que la consultora elaboro ambos diseños.

5.6. Propuesta de diseño de pavimento asfaltico (Tr= 10 años)

Tramo: Empalme LO-103 – Centro Poblado Santo Tomás(Km 0+000 al km 6+600)

Parámetros de diseño para un periodo de 10 años (Tr = 10 años):

Tabla 27: Parámetros de diseño Tr=10 años, para pavimento flexible

PARAMETROS DE DISEÑO	VALOR
ESAL 10 años	1,700,000.00
Mr (Sub rasante)	19,065.32
Nivel de confianza	85.00%
Zr	-1.036
Desviación Normal (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial (Pi)	4.00
Serviciabilidad Final (Pf)	2.00
índice de serviciabilidad	2.00
PROPIEDADES DE MATERIALES	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	450,000 psi
CBR - Capa Base	100%
CBR - Capa Sub base	60%
CBR - Subrasante estabilizada	77.6%
COEFICIENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	0.170
Base granular (a2)	0.052
Sub base granular (a3)	0.047
COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	VALOR
Base granular (m2)	1.20
Sub base granular (m3)	1.20

Fuente: Elaboración Propia

Una vez que se halló los valores de entrada, se utilizara las iteraciones para hallar la variable del Número Estructural “SN”. Por lo tanto, se obtuvo el SN para un periodo de diseño de 10 años.

Tabla 28: Numero estructural para un diseño de Tr=10 años

SN REQUERIDO			
N18 Nom	=	N18 Calc	SN req
6.23		6.23	2.57

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 27, el numero estructural es de 2.57, para obtener un valor más conservador se hallará el numero estructural requerido.

Tabla 29: Numero estructural requerido para Tr=10 años

NÚMERO ESTRUCTURAL - Tr= 10 años		
Snpropuesto	>	Snreq
3.06		2.51

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra los espesores de la estructura del pavimento flexible para un periodo de 10 años.



Figura 26: Espesores del pavimento estabilizado con concreto reciclado

Fuente: Elaboración Propia

5.7. Propuesta de diseño de pavimento asfáltico (Tr= 20 años)

Tramo: Empalme LO-103 – Centro Poblado Santo Tomás(Km 0+000 al km 6+600)

Parámetros de diseño para un periodo de 20 años (Tr = 20 años):

Tabla 30: Parámetros de diseño Tr=20 años, para pavimento flexible

PARAMETROS DE DISEÑO	VALOR
ESAL 10 años	4,100,000.00
Mr (Sub rasante)	19,065.32
Nivel de confianza	85.00%
Zr	-1.036
Desviación Normal (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial (Pi)	4.00
Serviciabilidad Final (Pf)	2.50
Índice de serviciabilidad	1.50
PROPIEDADES DE MATERIALES	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	450,000 psi
CBR - Capa Base	100%
CBR - Capa Sub base	60%
CBR - Subrasante estabilizada	77.6%
COEFICIENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	VALOR
Concreto asfáltico convencional (a1)	0.170
Base granular (a2)	0.052
Sub base granular (a3)	0.047
COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	VALOR
Base granular (m2)	1.20
Sub base granular (m3)	1.20

Fuente: Elaboración Propia

Una vez que se halló los valores de entrada, se utilizara las iteraciones para hallar la variable del Número Estructural “SN”. Por lo tanto, se obtuvo el SN para un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 31: Numero estructural para un diseño de T=20 años

SN REQUERIDO			
N18 Nom	=	N18 Calc	SN req
6.613		6.613	2.99

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 30, el número estructural es de 2.99, para obtener un valor más conservador se hallará el número estructural requerido.

Tabla 32: Numero estructural requerido para $T_r=20$ años

NÚMERO ESTRUCTURAL - $T_r= 20$ años		
$S_{npropuesto}$	>	S_{nreq}
3.48		2.99

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra los espesores de la estructura del pavimento flexible para un periodo de 20 años.



Figura 27: Espesores del pavimento estabilizado con concreto reciclado

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33: Propuesta de la consultora, Diseño de Pavimento Tr=10 años y Tr=20 años

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993			Propuesta Consultor	Propuesta Consultor
Parámetro de diseño	Variable	Unidades	Tr= 10 años	Tr= 20 años
Condiciones de suelos	Tipo de suelo	-	A-7-6(6) - CL	A-7-6(6) - CL
	Tipo de estabilización	-	Física	Física
	Material de estabilización	-	Geomalla	Geomalla
	CBR subrasante natural	-	3.86	3.86
	Modulo resiliente CBR natural	Psi	19105	19105
	CBR subrasante estabilizada	%	22	22
	Modulo resiliente CBR estabilizado	Psi	14727.37	14727.37
Propiedades materiales	Concreto asfáltico convencional	Psi	450,000.00	450,000.00
	Base Granular 100%	Psi	30,000.00	30,000.00
	Sub Base 40%	Psi	17,000.00	17,000.00
Tráfico	W18	ESAL	1.70E+06	4.10E+06
Parámetro de tiempo	Periodo de diseño	Años	10	20
Parámetros de servicio	Po	-	4	4
	Pt	-	2	2
	PSI	-	2	2
Parámetros estadísticos	R	%	90	90
	Zr	-	-1.037	-1.037
	S0	-	0.45	0.45
Condiciones de drenaje	Drenaje Base granular	-	1	1
	Drenaje Subbase	-	1	1
Diseño de espesores	Espesor carpeta asfáltica	cm	0.075	10
	Espesor Base	cm	17.5	17.5
	Espesor Subbase	cm	20	20
Número estructural (SN)	SN req	-	2.61	3
	SN final	-	3.27	3.27

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34: Propuesta de tesis, Diseño de Pavimento Tr=10 años y Tr=20 años

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993			Propuesta Tesis	Propuesta Tesis
Parámetro de diseño	Variable	Unidades	Tr= 10 años	Tr= 20 años
Condiciones de suelos	Tipo de suelo	-	A-6(4) - CL	A-6(4) - CL
	Tipo de estabilización	-	Física-Mecánica	Física-Mecánica
	Material de estabilización		Concreto reciclado	Concreto reciclado
	CBR subrasante natural	-	3.82	3.82
	Modulo resiliente CBR natural	Psi	5730	5730
	CBR subrasante estabilizada	%	77.59	77.59
	Modulo resiliente CBR estabilizado	Psi	19065.32	19065.32
Propiedades materiales	Concreto asfáltico convencional	Psi	450,000.00	450,000.00
	Base Granular 100%	Psi	30,000.00	30,000.00
	Sub Base 40%	Psi	17,000.00	17,000.00
Tráfico	W18	ESAL	1.70E+06	4.10E+06
Parámetro de tiempo	Periodo de diseño	Años	10	20
Parámetros de servicio	Po	-	4	4
	Pt	-	2	2
	PSI	-	2	2
Parámetros estadísticos	R	%	90	90
	Zr	-	-1.037	-1.037
	S0	-	0.45	0.45
Condiciones de drenaje	Drenaje Base granular	-	1	1
	Drenaje Subbase	-	1	1
Diseño de espesores	Espesor carpeta asfáltica	cm	0.075	10
	Espesor Base	cm	15	15
	Espesor Subbase	cm	15	15
Número estructural (SN)	SN req	-	2.51	2.99
	SN final	-	3.06	3.48

Fuente: Elaboración Propia

5.8. Análisis técnico y económico de la propuesta

5.8.1. Comparativo de propuestas económica del pavimento flexible (Tr=10 años)

La propuesta de la consultora para un diseño de Tr=10 años, teniendo un CBR pobre presenta como alternativa el reforzamiento de geomallas en pavimentos flexibles, obteniendo un presupuesto total de S/ 15'021,833.51 (Quince millones veintiún mil ochocientos treinta y tres con 51/100 Soles).

Tabla 35: Presupuesto del pavimento de la consultora para un diseño de Tr=10 años

PARTIDAS – PAVIMENTO	Und	Espesor	Metrado	P.U.	Sub Total
Sub base granular	m3	0.2	9,831.87	240.11	2,360,730.31
Base granular	m3	0.2	9,831.87	240.11	2,360,730.31
Geotextil	m2		77,672.30	6.16	478,461.37
Geomalla Asfáltica triaxial	m2		77,672.30	10.96	851,288.41
Riego de Liga	m2		65,545.83	8.38	549,274.06
Imprimación asfáltica	m2		65,545.83	7.71	505,358.35
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Fabricación	m3	0.075	4,915.94	1321.85	6,498,135.29
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Colocación	m3	0.075	4,915.94	288.42	1,417,855.41
				TOTAL	15,021,833.51

Fuente: Presupuesto de la Consultora

En el presupuesto de la consultora, la sub base y base granular tienen la misma especificación técnicas, tal como se ve en el Anexo N° 08 – Presupuesto de la Obra.

En este proyecto la consultora, propone para el diseño de pavimento de 10 años, los siguientes espesores:

- Carpeta asfáltica: 0.075 cm
- Base Granular: 0.20 cm
- Sub base granular: 0.20 cm

En la propuesta de la tesis, una vez estabilizado el terreno natural con concreto reciclado pulverizado se obtuvo un cbr alto, lo cual podemos indicar que los espesores propuestos en el proyecto son menores y reduciendo costos para un

diseño de pavimento flexibles de 10 años. Al igual se detalla el nuevo presupuesto con nuevos espesores.

Tabla 36: Presupuesto del tipo de pavimento propuesto para un diseño de Tr=10 años

PARTIDAS – PAVIMENTO	Und	Espesor	Metrado	P.U.	Sub Total
Sub base granular	m3	0.15	7,373.90	325.36	2,399,172.92
Base granular	m3	0.15	7,373.90	452.26	3,334,921.14
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Fabricación	m3	0.075	4,915.94	1321.85	6,498,135.29
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Colocación	m3	0.075	4,915.94	288.42	1,417,855.41
TOTAL					13,650,084.78

Fuente: Elaboración Propia

El diseño de pavimento flexible con subrasante estabilizada con concreto reciclado pulverizado tiene un costo de S/ 13'650,084.78 (Trece millones seiscientos cincuenta mil ochenta y cuatro con 78/100 Soles).

En la Tabla N° 35 podemos indicar que no se consideró el reforzamiento de geomallas debido a que el cbr nuevo y estabilizado es mayor al propuesto de la constructora.

Para el diseño de pavimento flexible con Tr=10 años, es la siguiente:

- Carpeta asfáltica: 0.075 cm
- Base Granular: 0.15 cm
- Sub base granular: 0.15 cm

Podemos indicar que las diferencias de presupuesto tanto de la consultora y la propuesta de la tesis es de S/ 1'371,748.73 Soles.

5.8.2. Comparativo de propuesta económica del pavimento flexible (Tr = 20 años)

Para el diseño de pavimento flexible en 20 años, se tiene un presupuesto S/ 17'660,488.49 (Diecisiete millones seiscientos sesenta mil cuatrocientos ochenta y ocho con 49/100 Soles), presenta como alternativa el reforzamiento de geomallas en pavimentos flexibles.

Tabla 37: Presupuesto del pavimento de la consultora para un diseño de Tr=20 años

PARTIDAS – PAVIMENTO	Und.	Espesor	Área	Metrado	P.U.	Sub Total
Sub base granular	m3	0.2	49159.35	9,831.87	240.11	2,360,730.31
Base granular	m3	0.2	49159.35	9,831.87	240.11	2,360,730.31
Geotextil	m2			77,672.30	6.16	478,461.37
Geomalla Asfáltica triaxial	m2			77,672.30	10.96	851,288.41
Riego de Liga	m2			65,545.83	8.38	549,274.06
Imprimación asfáltica	m2			65,545.83	7.71	505,358.35
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Fabricación	m3	0.1	65545.86	6,554.59	1321.85	8,664,179.50
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Colocación	m3	0.1	65545.86	6,554.59	288.42	1,890,473.69
TOTAL						17,660,496.00

Fuente: Presupuesto de la Consultora

En este proyecto la consultora, propone para el diseño de pavimento flexible de 20 años, los siguientes espesores:

- Carpeta asfáltica: 0.10 cm
- Base Granular: 0.20 cm
- Sub base granular: 0.20 cm

En la propuesta de la tesis, para el diseño de un pavimento flexible de 20 años estabilizada con concreto reciclado se obtuvo un presupuesto de S/ 16'288,747.27 (Dieciséis millones doscientos ochenta y ocho mil con 27/100 Soles), no se consideró la malla de reforzamiento, debido a que el cbr estabilizado es mayor al propuesto de la consultora. Tal como se muestra en la Tabla N° 37.

Tabla 38: Presupuesto del tipo de pavimento propuesto para un diseño de Tr=20 años

PARTIDAS – PAVIMENTO	Und.	Espesor	Área	Metrado	P.U.	Sub Total
Sub base granular	m3	0.15	49159.35	7,373.90	325.36	2,339,172.92
Base granular	m3	0.15	49159.35	7,373.90	452.26	3,334,921.14
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Fabricación	m3	0.1	65545.86	6,554.59	1321.85	8,664,179.50
Carpeta Asfáltica e=7.50cm – Colocación	m3	0.1	65545.86	6,554.59	288.42	1,890,473.69
TOTAL						16,288,747.27

Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño de pavimento flexible con concreto reciclado para Tr=20 años, es la siguiente:

- Carpeta asfáltica: 0.10 cm
- Base Granular: 0.15 cm
- Sub base granular: 0.15 cm

Podemos indicar que las diferencias de presupuesto tanto de la consultora y la propuesta de la tesis para un diseño de Tr=20 años es de S/ 1'371,748.73 Soles.

5.8.3. Estabilización de subrasante de Pavimento Flexible – Propuesta económica para Tr=10 años y Tr=20 años

La estabilización de suelo arcillosos con polvo de concreto reciclado reduce los costos por un monto de S/ 1'805,299.26 (Un millón ochocientos cinco mil doscientos noventa y nueve con 26/100 Soles), optimizando un 41% de la propuesta del expediente técnico.

Tabla 39: Estabilización de suelo con material de préstamo de Tr=10 años y Tr=20 años

Estabilización de suelo con material de préstamo						
PARTIDAS - PAVIMENTO	Und.	espesor	Área	Metrado	P.U.	Sub Total
Excavación en explanaciones en material común	m3	0.8	75057.8	60,046.20	9.08	545,219.50
Conformación de terraplén con material de préstamo	m3	0.8	99649.2	79,719.39	44.08	3,514,030.71
Perfilado y compactado en zona de corte	m2		73147.7	73,147.70	4.15	303,562.96
					TOTAL	4,362,813.16

Fuente: Presupuesto de la consultora

Tabla 40: Estabilización de suelo con polvo de concreto reciclado de Tr=10 años y Tr=20 años

Estabilización de suelo con polvo de concreto reciclado						
PARTIDAS - PAVIMENTO	und	Espesor	Area	Metrado	P.U.	Sub Total
Perfilado y compactación de subrasante	m3	0.2	75057.8	15,011.55	4.15	62,297.93
Conformación de subrasante con polvo de concreto reciclado	m3	0.2	99649.2	19,929.84	125.20	2,495,215.97
					TOTAL	2,557,513.90

Fuente: Elaboración Propia

5.8.4. Propuesta económica y estabilización del pavimento (Tr=10 años y Tr=20 años)

En esta sección se mostrará los presupuestos del pavimentos y estabilización por cada periodo de diseño tanto de la consultora como el diseño propuesto de la tesis. Las propuestas económicas finales del pavimento flexible de la carretera en estudio aplicando concreto reciclado pulverizado, reduciendo un costo de S/ 3'180,047.99 (Tres millones ciento ochenta mil cuarenta y siete con 99/100 Soles) en todo el tramo de la vía vecinal Empalme LO-103 hasta el

centro poblado de Santo Tomas (00+000km hasta 6+500km), lo cual representa una reducción del 16.40% del presupuesto del expediente técnico. A continuación, se presenta la propuesta económica para un Tr=10 años.

Tabla 41: Propuesta económica – Consultora, Tr=10 años

Descripción	Sub Total
Estructura Pavimento - expediente técnico	15,021,833.51
Estabilización de suelo con material de préstamo	4,362,813.16
Presupuesto total (Pavimento + estabilización)	19,384,646.67

Fuente: Empresa consultora

Tabla 42: Propuesta económica – Tesis, Tr=10 años

Descripción	Sub Total
Estructura Pavimento - propuesta tesis	13,650,084.80
Estabilización de suelo con concreto reciclado pulverizado	2,557,513.90
Presupuesto total (Pavimento + estabilización)	16,207,598.70

Fuente: Elaboración Propia

Para diseños de pavimentos flexibles y estabilización con concreto reciclado para Tr=20 años, tanto del expediente como de la propuesta de la tesis, la propuesta económica reduce un costo de S/ 3'177,047.99 (Tres millones ciento setenta y siete mil cuarenta y siete con 99/100 Soles) lo cual representa una reducción de 14.42% del presupuesto del expediente técnico.

Este análisis se aplicó en todo el tramo de la vía vecinal LO-103 hasta el centro poblado de Santo Tomás, Loreto (00+000km hasta 06+500km). El diseño se realizó para un Tr=20 años, que a continuación se detalla:

Tabla 43: Propuesta económica – Consultora, Tr=20 años

Descripción	Sub Total
Estructura Pavimento - expediente técnico	17,660,488.49
Estabilización de suelo con material de préstamo	4,362,813.16
Presupuesto total (Pavimento + estabilización)	22,023,301.65

Fuente: Empresa consultora

Tabla 44: Propuesta económica – Tesis, Tr=20 años

Descripción	Sub Total
Estructura Pavimento - propuesta tesis	16,288,747.30
Estabilización de suelo con concreto reciclado pulverizado	2,557,513.90
Presupuesto total (Pavimento + estabilización)	18,846,261.20

Fuente: Elaboración Propia

Analizando las tablas N° 43, se puede concluir que es conveniente realizar la estabilización de concreto reciclado pulverizado, ya que representa una reducción 14.42% del presupuesto del expediente técnico.

5.9. Constatación de hipótesis

La contrastación de la hipótesis se ejecutará mediante la comparación entre la hipótesis planteada y los resultados obtenidos del diseño de la carretera con CBR mejorado:

5.9.1. Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna (Hi1): Determinando la dosificación óptima del reciclado de pavimento rígido mejoraremos el CBR en suelos arcilloso de baja plasticidad en pavimentos flexibles de bajo volumen.

Hipótesis nula (Ho1): Determinando la dosificación óptima del reciclado de pavimento rígido no mejoraremos el CBR en suelos arcilloso de baja plasticidad en pavimentos flexibles de bajo volumen.

- Se determino que mediante las tesis presentadas el suelo de la subrasante se puede mejorar la capacidad de carga usando el concreto reciclado pulverizado como material granular, aumentando el CBR de la subrasante. Por lo anterior, se valida la hipótesis general H_i y se rechaza la hipótesis nula H_o

5.9.2. Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna (H_{i1}):

La capacidad portante de la subrasante mejora, se debe realizar un Nuevo diseño de pavimento con el Método AASHTO 1993.

Hipótesis nula (H_{o1}):

La capacidad portante de la subrasante no mejora, no se debe realizar un Nuevo diseño de pavimento con el Método AASHTO 1993.

- El uso de concreto pulverizado como material granular mejoro la capacidad portante del suelo de la subrasante, por consiguiente, el factible diseñar el nuevo pavimento con la metodología AASTHO 1993.

Por lo anterior, se valida la hipótesis general H_i y se rechaza la hipótesis nula H_o

5.9.4. Hipótesis específica 3

Hipótesis alterna (H_{i1}): Con la utilización de concreto reciclado para mejorar la capacidad portante de la subrasante se disminuirán espesores de cada capa y también el costo que generaría en el proceso constructivo.

Hipótesis nula (H_{o1}): Con la utilización de concreto reciclado para mejorar la capacidad portante de la subrasante no se disminuirán espesores de cada capa y también el costo que generaría en el proceso constructivo.

- En base a los expedientes técnicos de pavimentación el uso de concreto reciclado como agregado granular disminuye los espesores de las capas de la estructura del pavimento, como en el expediente de la carretera vecinal LO-103 Santo Tomas, Loreto. El costo del pavimento convencional realizado tenía un presupuesto de S/ 15'021,833.51 Soles

y si se empleara el concreto pulverizado seria de S/13,650,084.78 teniendo un ahorro en el proyecto de s/ 1'371,748.73 Soles.

Por lo anterior, se valida la hipótesis general H_i y se rechaza la hipótesis nula H_o .

5.9.5 Hipótesis general

Hipótesis alterna (H_{i1}): El uso del concreto reciclado ayudará al mejoramiento del CBR de la subrasante en suelos de baja plasticidad en carreteras de bajo tránsito.

Hipótesis nula (H_{o1}): El uso del concreto reciclado no ayudará al mejoramiento del CBR de la subrasante en suelos de baja plasticidad en carreteras de bajo tránsito.

- En base a las tesis consultadas el CBR mejorado puede aumentar desde un 5% (CBR muy bajo) hasta un 50% (CBR muy alto), podemos verificar que el uso de concreto reciclado como material granular si mejora la capacidad portante de la subrasante. Tal como se muestra en la Tabla N° 19, donde se observa un incremento de CBR cuando se le añade el concreto reciclado pulverizado.

Por lo anterior, se valida la hipótesis general H_i y se rechaza la hipótesis nula H_o .

CONCLUSIONES

1. El diseño de pavimento flexible estabilizado con polvo de concreto reciclado para una etapa de 10 y 20 años bajo la metodología AASHTO 1993. Se obtuvieron espesores de 7.5 para la carpeta asfáltica, 15cm para la base y 15cm para la sub base en un periodo de 10 años, logrando reducir 5cm en la sub base y base granular con respecto al diseño de pavimento propuesto en el expediente técnico.
2. Para el diseño de pavimento flexible estabilizado con concreto reciclado para una etapa de 20 años, se obtuvieron los siguientes espesores, 10cm de carpeta asfáltica, 15cm de base granular y 15 cm de sub base granular, logrando reducir 5cm de sub base y base granular con respecto a los espesores del expediente técnico.
3. Para los suelos arcillosos de baja plasticidad se realizó una propuesta económica de la sub rasante de la vía vecinal LO-103 hasta el centro poblado de Santo Tomás, Loreto (00+000km hasta 06+500km). Estabilizando la sub rasante con polvo de concreto reciclado se tiene un costo de S/13,650,084.78 para un periodo de 10 años, mientras que el pavimento flexible con una sub rasante reforzada con geomallas se tiene un presupuesto de S/ 15'021,833.51 Soles. Por lo tanto, se concluye que la aplicación de polvo de concreto reciclado reduce un costo de s/ 1'371,748.73 Soles en toda la vía vecinal LO-103 hasta el centro poblado Santo Tomas, Loreto.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la entidad públicas y privadas realizar ensayos físicos que permiten determinar la granulometría, Límites de atterberg y contenido de humedad para determinar la dosificación de concreto reciclado pulverizado.
2. El uso del concreto reciclado pulverizado como agente estabilizador en arcillas de baja plasticidad en subrasantes, aumenta su capacidad portante por lo que puede ser una alternativa sostenible para estabilizaciones.
3. En la estabilización de concreto reciclado se tiene que considerar un drenaje superficial para que se distribuya el agua proveniente de las lluvias, con la finalidad de evitar el ingreso de agua a las capas del pavimento flexible y evitar que se reduzca la capacidad de soporte de las capas y subrasante.
4. El uso del concreto reciclado como material granular, para la estabilización de la subrasante donde estará nuestra estructura del pavimento, ayuda en el mejoramiento del CBR de los suelos arcillosos mejorando una la capacidad portante.
5. Se debe de aplicar esta metodología en el País, debido a que se tiene residuos sólidos no peligrosos y que solo maneja ciertos sectores como las municipalidades municipales, debe realizarse un análisis más a profundo para así desarrollar la estructura del pavimento durante su periodo de diseño. Además, se tiene que considerar especificaciones adicionales, propiedades mecánicas de materiales (concreto reciclado), temperatura, humedad, y ver cómo se comporta el pavimento proyectado en un tiempo definido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO T 193-13 (2017). Standard Method of Test the California Bearing Ratio.

Astorayme, L., & Ramon, F. (2021). Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con PET para obras geotécnicas, proveniente de botellas plásticas recicladas, en el distrito de Ricuricocha – Tarapoto. *Tesis de Grado*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

Cardenas, C (2020). Revisión documental sobre concretos reciclados y su resistencia a la compresión *Tesis de Grado*. Universidad Católica de Colombia, Colombia.

Contreras, K & Herrera, L (2015). Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructuras de pavimento en Nuevo Chimbote - Santa - Ancash. *Tesis de Grado*. Universidad Nacional de Santa, Ancash, Perú.

Da Silva, A. (2009). Utilización de materiales alternativos para la construcción de pavimentos urbanos en la región metropolitana de Fortaleza. Recuperado el 03 de mayo de 2015 en <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/3870>.

Del Río, Y (2017). Optimización de la estabilización de los suelos arcillosos en el Sector Curva del Sun - Campiña de Moche, con concreto reciclado para pavimentación, provincia de Trujillo, La Libertad - 2017. *Tesis de Grado*. Universidad César Vallejo, Perú.

Hernández, J & Mejía, D & Zelaya, César (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimento rígido en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de El Salvador. *Tesis de Grado*. Universidad de El Salvador, El Salvador.

Higuera, C (2011). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimento para carreteras. Tunja: UTPC.

- Jiménez, E & García, H (2016). Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos. *Tesis de Grado*. Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Lucero, M (2018). Estudio de estabilidad de taludes de suelo cohesivo con suelo-cemento ante la acción de lluvias en la zona central de Chile. *Tesis de Grado*. Universidad Talca Chile, Chile.
- Martínez, J & Castro, R (2017). Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. *Tesis de Grado*. Universidad Distrital José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima.
- Muñoz, A & Fernandez, J (2019). Adición de escombros de construcción al material de la base y subbase para pavimentos flexibles en Nuevo Chimbote - 2019. *Tesis de Grado*. Universidad César Vallejo, Perú.
- Naranjo, V (2011). Las características del Suelo de la Subrasante de los caminos vecinales de la Comunidad de Echaleche Pilahuín y su incidencia en el comportamiento de la Capa de Rodadura. *Tesis de Maestría*. Universidad Técnica de Ambato.
- Ochoa, S (2019). Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-Concreto fino (partículas < 2 mm) para aplicación de pavimentos. *Tesis de Grado*. Universidade Federal de integración Latino-Americana, Iguaçua, Brazil.
- Quezada, S (2017). Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación *Tesis de Grado*. Universidad de Piura, Perú.

- Quintero J. (2017), Suelo – cemento con sustitución en franja granulométrica con concreto reciclado. *Tesis de Grado*. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, R (2018). Concreto reciclado como alternativa ecológica en la construcción de banquetas y pavimentación de calles en el municipio de Apan, Hgo *Tesis de Maestría*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Rozo, N (2012). Estado del arte del aprovechamiento del concreto reciclado *Tesis de Grado*. Universidad de los Andes, Colombia.
- Velásquez C. (2018). Influencia del cemento Portland Tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la sub-rasante de la Avenida Dinamarca, Sector La Molina. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Velásquez, M (2015). Propiedades físicas mecánicas del concreto reciclado para Lima Metropolitana *Tesis de Grado*. Universidad Ricardo Palma, Perú.
- Villacreses F. (2015). Diseño de base granular estabilizada con cemento hidráulico como solución para pavimentos. *Tesis de pregrado*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICION	TECNICAS / INSTRUMENTOS
¿En que medida el concreto reciclado influye en la estabilización de la subrasante de suelos arcillosos de baja plasticidad en carreteras de bajo volumen?	Mejorar la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de baja plasticidad con concreto reciclado para la determinación del pavimento asfáltico en carreteras de bajo volumen de tránsito, Año 2021	El uso del concreto reciclado ayudara al mejoramiento del CBR de la subrasante en suelos de baja plasticidad en carreteras de bajo tránsito	concreto reciclado	Cantidad y tipo de concreto reciclado	Porcentaje de concreto reciclado	De razón	Norma Nacional e Internacional
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	DIMENSIONES	TECNICAS / INSTRUMENTOS
1). ¿Cual es la dosificación optima para obtener un mejor estabilización en suelos arcillosos de baja plasticidad en pavimento asfáltico de bajo volumen?	1). Obtener la dosificación óptima con concreto reciclado de pavimento rígido para el mejoramiento del CBR en suelos arcillosos de baja plasticidad, determinando el pavimento asfáltico en carreteras de bajo volumen según información del 2012-2020	1).Determinando la dosificación óptima del reciclado de pavimento rígido mejoraremos el CBR en suelos arcillosos de baja plasticidad en pavimentos flexibles de bajo volumen	Estabilización de la subrasante en suelos arcillosos	Propiedades físicas	Granulometría y contenido humedad	De intervalo	- Clasificación AASHTO y SUCS
2). ¿Cual es el metodo que se utilizara para el diseño de pavimento asfáltico una vez hallado el CBR mejorado con concreto reciclado en suelos arcillosos de baja plasticidad, según información del año 2012-2020?	2).Determinar el diseño de pavimento asfáltico con el metodo AASHTO 1993 del CBR mejorado con concreto reciclado en suelos arcillosos de baja plasticidad según la información del Año 2012-2020	2). Nuevo diseño de pavimento con el Metodo AASHTO 1993		Propiedades mecánicas	Densidad seca y CBR		- Ensayo Proctor y CBR
3). ¿Cual es la finalidad del software 3D-Move analysis con la nueva estructura del pavimento asfáltico con el cbr mejorado?	3). Analizar el comportamiento mecánico y fallas de compresión de la nueva estructura de pavimento asfáltico con el CBR mejorado mediante el uso de Software 3D-Move Analysis	3). El comportamiento mecánico y fallas de compresión de la nueva estructura del pavimento asfáltico con el CBR mejorado mediante el uso de software 3D-Move Analysis					

Anexo 2: Matriz operacionalización de las variables

Variable independiente

RECICLADO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL MEJORAMIENTO DEL CBR EN SUBRASANTE DE SUELOS ARCILLOSOS EN CARRETERAS									
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA	INSTRUMENTO	HERRAMIENTA
VARIABLE INDEPENDIENTE (CONCRETO RECICLADO DE PAVIMENTO RIGIDO)	El concreto reciclado proviene de demoliciones de pavimento rígido de obras públicas o privadas, cuya finalidad es ser utilizado como base o subbase para la construcción de nuevas carreteras o rehabilitar estructuras existentes.	Se muele concreto reciclado, y se mezcla con el suelo arcilloso para estabilizar. Y se hallara los porcentajes de concretos reciclados óptimos	Cantidad y tipo de concreto reciclado	Porcentaje en concreto reciclado	- %	Porcentual	Cualitativa Continua	Ensayos	Norma Nacional
									Norma Internacional
VARIABLE DEPENDIENTE (Estabilización de suelos arcillosos en subrasantes)	Es la mejora de un suelo arcilloso mediante un agente estabilizador.	Una vez estabilizado el suelo arcilloso, se mide el CBR y la densidad seca	Propiedades del suelo	Granulometría de suelos	- %	Porcentaje	Cualitativa Continua	Granulometría de suelos	MTC E-114
				Densidad en seco	- kg/cm ³	Densidad	Cualitativa Continua		Densidad en seco
				Índice de CBR	%	Porcentaje	Cualitativa Continua	Ensayo CBR	ASTM D 1883

Anexo 3: Nivel de confiabilidad según ESAL

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	100,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}		>30'000,000	95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Anexo 4: Tabla para determinar el valor de desviación

**Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico**

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T ₁₀	100,001	150,000	-0.385
	T ₁₁	150,001	300,000	-0.524
	T ₁₂	300,001	500,000	-0.674
	T ₁₃	500,001	750,000	-0.842
	T ₁₄	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T ₁₅	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T ₁₆	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T ₁₇	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T ₁₈	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T ₁₉	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T ₂₁₀	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T ₂₁₁	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T ₂₁₂	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T ₂₁₃	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T ₂₁₄	25'000,001	30'000,000	-1.645
T ₂₁₅		>30'000,000	-1.645	

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93.

Anexo 5: Tabla para determinar el valor de serviciabilidad de la vía

**Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Según Rango de Tráfico**

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	3.80
	T _{P2}	300,001	500,000	3.80
	T _{P3}	500,001	750,000	3.80
	T _{P4}	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T _{P9}	7,500,001	10,000,000	4.00
	T _{P10}	10,000,001	12,500,000	4.00
	T _{P11}	12,500,001	15,000,000	4.00
	T _{P12}	15,000,001	20,000,000	4.20
	T _{P13}	20,000,001	25,000,000	4.20
	T _{P14}	25,000,001	30,000,000	4.20
	T _{P15}		>30,000,000	4.20

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Anexo 6: Tabla para determinar el módulo resiliente por correlación del CBR

CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (Mr) (Psi)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (Mr) (MPa)	CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (Mr) (Psi)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (Mr) (MPa)
6	8,043.00	55.45	19	16,819.00	115.96
7	8,877.00	61.20	20	17,380.00	119.83
8	9,669.00	66.67	21	17,931.00	123.63
9	10,426.00	71.88	22	18,473.00	127.37
10	11,153.00	76.90	23	19,006.00	131.04
11	11,854.00	81.73	24	19,531.00	134.66
12	12,533.00	86.41	25	20,048.00	138.23
13	13,192.00	90.96	26	20,558.00	141.74
14	13,833.00	95.38	27	21,060.00	145.20
15	14,457.00	99.68	28	21,556.00	148.62
16	15,067.00	103.88	29	22,048.00	152.00
17	15,663.00	107.99	30	22,529.00	155.33
18	16,247.00	112.02			

Fuente: Elaboración propia, en base a la ecuación de correlación CBR - Mr, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide)

Anexo 7: Confiabilidad de la vía en función al tráfico impuesto

CATEGORÍA	RANGO DE L TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EJES EQUIVALENTES		TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	R%	
BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	150,001	300,000	TP1	70	
	300,001	500,000	TP2	75	
	500,001	750,000	TP3	80	
	750,001	1,000,000	TP4	80	
ALTO VOLUMEN DE TRÁFICO	1,000,001	1,500,000	TP5	85	
	1,500,001	3,000,000	TP6	85	Tr = 10 años
	3,000,001	5,000,000	TP7	85	Tr = 20 años
	5,000,001	7,500,000	TP8	90	
	7,500,001	10,000,000	TP9	90	
	10,000,001	12,500,000	TP10	90	
	12,500,001	15,000,000	TP11	90	
	15,000,001	20,000,000	TP12	95	
	20,000,001	25,000,000	TP13	95	
	25,000,001	30,000,000	TP14	95	
	> 30,000,000		TP15	95	

Nota: En la tabla se indica los valores para los diseños en 10 años y 20 años. Adaptado de MTC, Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014).