

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Influencia de las carpetas asfálticas recicladas en las propiedades físicas y mecánicas de bases granulares para pavimento flexible, Chiclayo**

**2021**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Cesar Anthony Nima Puse**

**ASESOR**

**Miguel Angel Fernandez Choquepuma**

**<https://orcid.org/0000-0001-9367-7173>**

**Chiclayo, 2023**

**Influencia de las carpetas asfálticas recicladas en las propiedades físicas y mecánicas de bases granulares para pavimento flexible,  
Chiclayo 2021**

PRESENTADA POR

**Cesar Anthony Nima Puse**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

**Luis Quiroz Quiñones**

PRESIDENTE

**Lucas Ludeña Gutierrez**

SECRETARIO

**Miguel Angel Fernandez Choquepuma**

VOCAL

## **Dedicatoria**

La presente investigación va dedicada a los que siempre confiaron en mi desde el primer día que ingresé a la universidad, mis padres Wilmer Mego y Lidia Puse, además de ser mi motivo de inspiración diaria para poder lograr mis objetivos.

A mi hermana Sayuri, para que siga mis pasos y le sirva de ejemplo en su día a día.

A los amigos que hice durante esta etapa universitaria, por todas las experiencias que hemos vivido juntos y su apoyo brindando.

## **Agradecimiento**

### **A Dios. -**

Por otorgarme la salud para concretar mis objetivos propuestos.

### **A mis padres. –**

Lidia Puse Arroyo y Wilmer Mego Cubas, por su apoyo constante, sus consejos, valores inculcados, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

### **A mis familiares. -**

Por apoyarme de manera directa e indirecta en la elaboración de esta tesis.

### **A Natalie Sánchez. -**

Por su comprensión, sus consejos, motivación y amor incondicional a lo largo de mi carrera universitaria.

### **A los Ingenieros. -**

Que me enseñaron durante la carrera universitaria y aportaron un granito de arena en mi formación profesional con sus consejos y experiencias.

### **A mi asesor. -**

Ing. Miguel Fernández, Por su tiempo y los conocimientos compartidos durante la elaboración de esta investigación.

## TESIS 2 FINAL

### INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

8%

2

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

[repositorio.uns.edu.pe](https://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

1%

5

[repositorio.continental.edu.pe](https://repositorio.continental.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

6

[www.academia.edu](http://www.academia.edu)

Fuente de Internet

<1%

7

[vsip.info](http://vsip.info)

Fuente de Internet

<1%

8

[repositorio.uancv.edu.pe](https://repositorio.uancv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

9

[cdn.www.gob.pe](https://cdn.www.gob.pe)

Fuente de Internet

<1%

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Abstract.....  | 19 |
| Introducción .....   | 20 |
| Marco teórico .....  | 25 |
| Antecedentes del problema .....  | 25 |
| Antecedentes internacionales .....                                     | 25 |
| Antecedentes nacionales .....  | 27 |
| Antecedentes locales .....   | 29 |
| Bases teórico-científicas.....   | 31 |
| Pavimento .....  | 31 |
| Pavimentos flexibles.....  | 31 |
| Estructura de los pavimentos flexibles .....                           | 32 |
| Estudio de mecánica de suelos para pavimentos.....                     | 33 |
| Métodos de exploración de campo.....                                   | 33 |
| Excavaciones a cielo abierto (calicatas) .....                         | 34 |
| Material de cantera para capas granulares de pavimentos.....           | 34 |
| Especificaciones técnicas del material de cantera: base granular ..... | 34 |
| Ensayos de laboratorio.....  | 36 |
| Análisis granulométrico por tamizado.....                              | 36 |
| Límites de consistencia.....   | 38 |
| Determinación del límite líquido .....                                 | 39 |
| Determinación del límite plástico .....                                | 40 |
| Índice de plasticidad .....  | 41 |
| Equivalente de arena.....  | 41 |
| Clasificación de suelos según SUCS (Norma ASTM D-2487) .....           | 42 |
| Clasificación según AASHTO M-145.....                                  | 44 |

|  |    |
|--|----|
| Relación entre clasificación de las normas AASTHO M-145 y ASTM D-2487..... | 46 |
| Abrasión de los ángeles .....  | 46 |
| Ensayo de Proctor modificado .....   | 47 |
| Ensayo razón de soporte california CBR.....                                | 48 |
| Partículas con caras fracturadas .....                                     | 49 |
| Partículas chatas y alargadas.....   | 49 |
| Penetrómetro de Cono Dinámico o DCP.....                                   | 49 |
| Reciclado de pavimentos asfaltico .....                                    | 50 |
| Técnicas de reciclado .....  | 51 |
| Pavimento asfaltico recuperado (RAP) .....                                 | 51 |
| Evaluación del RAP .....   | 52 |
| Extracción cuantitativa de asfalto .....                                   | 53 |
| Sales Soluble Totales.....   | 53 |
| Matriz de Leopold .....  | 53 |
| Definición de términos básicos .....                                       | 54 |
| Materiales y métodos.....  | 55 |
| Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis .....               | 55 |
| Tipo de investigación .....  | 55 |
| Nivel de investigación .....   | 55 |
| Diseño de contrastación de hipótesis.....                                  | 55 |
| Población, muestra de estudio y muestreo .....                             | 56 |
| Población .....  | 56 |
| Muestra .....  | 59 |
| Muestreo .....   | 59 |
| Criterios de Selección.....  | 60 |
| Operalización de variables .....   | 60 |
| Variables .....  | 60 |

|  |    |
|--|----|
| Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....           | 62 |
| Técnicas .....   | 62 |
| Instrumentos de recolección de datos.....                                | 62 |
| Procesamiento de la información .....                                    | 63 |
| Criterio para la selección de la dosificación de CAR .....               | 63 |
| Estrategia metodológica para demostración de hipótesis.....              | 64 |
| Procedimiento .....  | 65 |
| Obtención de la muestra .....  | 65 |
| Ensayo de análisis granulométrico por tamizado .....                     | 67 |
| Contenido de humedad .....   | 67 |
| Límites de Atterberg.....  | 68 |
| Límite líquido.....  | 68 |
| Límite plástico.....   | 69 |
| Índice de plasticidad .....  | 69 |
| Ensayo de abrasión de los ángeles. ....                                  | 69 |
| Ensayo de porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso.....     | 70 |
| Ensayo de partículas chatas y alargadas .....                            | 72 |
| Ensayo de sales solubles totales .....                                   | 73 |
| Ensayo de Proctor modificado .....                                       | 74 |
| Ensayo de CBR (California Bearing Ratio).....                            | 75 |
| Penetrómetro de Cono Dinámico o DCP.....                                 | 77 |
| Tratamiento de la muestra de carpetas asfálticas recicladas (CAR) .....  | 79 |
| Ensayo para la extracción cuantitativa de asfalto para pavimentos: ..... | 79 |
| Preparación de las muestras con dosificación de CAR .....                | 79 |
| Resultados y discusión.....  | 79 |
| Resultados: .....  | 79 |
| Ensayo de granulometría por tamizado .....                               | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Material de cantera – Hitos la Cría.....                    | 80  |
| Carpeta Asfáltica Reciclada (100%) .....                    | 81  |
| Muestra 01 (5% CAR y 95% material de cantera) .....         | 87  |
| Muestra 02 (10% CAR y 90% Material de cantera) .....        | 89  |
| Ensayo de límites de Atterberg .....                        | 91  |
| Clasificación SUCS Y AASHTO.....                            | 91  |
| Ensayo de abrasión de los ángeles .....                     | 92  |
| Ensayo de equivalente de arena .....                        | 93  |
| Ensayo de caras fracturadas .....                           | 94  |
| Ensayo de partículas chatas y alargadas .....               | 94  |
| Ensayo de sales solubles totales .....                      | 95  |
| Ensayo de Proctor modificado .....                          | 95  |
| Ensayo de Relación californiana de soporte, CBR .....       | 96  |
| Ensayo Penetrómetro dinámico de cono, DCP .....             | 97  |
| Ensayo de densidad en campo mediante el cono de arena ..... | 97  |
| Ensayo de extracción cuantitativa de asfalto .....          | 98  |
| Discusión.....  | 98  |
| Granulometría por tamizado .....                            | 98  |
| Límites de Atterberg.....                                   | 100 |
| Clasificación SUCS Y AASHTO.....                            | 101 |
| Abrasión de los ángeles .....                               | 101 |
| Equivalente de arena.....                                   | 103 |
| Sales solubles totales .....                                | 104 |
| Proctor modificado .....                                    | 105 |
| Relación californiana de soporte, CBR .....                 | 106 |
| Penetrómetro dinámico de cono, DCP .....                    | 107 |
| Densidad en campo mediante el cono de arena .....           | 108 |

|   |     |
|---|-----|
| Extracción cuantitativa de asfalto .....  | 109 |
| Comparación de Resultados de muestra 5% CAR y 95% Mat. De Cantera con la Norma CE.010 .....             | 110 |
| Evaluación Económica.....   | 111 |
| Introducción .....  | 111 |
| Diseño de Pavimento Flexible con 100% Material de cantera .....   | 113 |
| Diseño de Pavimento Flexible con 10% CAR y 90% Material de cantera .....                                | 115 |
| Comparación de resultados de diseño de pavimento flexible .....   | 116 |
| Proceso Constructivo para la conformación de base granular con material de cantera .....                | 117 |
| Proceso Constructivo de Conformación de base granular con adición de CAR .....                          | 118 |
| Evaluación de Costos .....  | 120 |
| Análisis de precios unitarios de conformación de Base Granular 100% Material de Cantera.....            | 121 |
| Análisis de precios unitarios de conformación de base granular, 90% material de cantera y 10% CAR. .... | 123 |
| Presupuesto por km de conformación de Base Granular 100% Material de Cantera .....                      | 125 |
| Presupuesto por km de conformación de Base Granular 10% CAR y 95% Material de Cantera.....              | 125 |
| Evaluación Ambiental.....   | 126 |
| Conclusiones .....  | 129 |
| Recomendaciones .....   | 130 |
| Referencias.....  | 131 |

## Lista de ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1 Deterioro del pavimento desde las intersecciones de la Av. Balta y Av. México hasta la Av. Chiclayo-Distrito de José Leonardo Ortiz. Fuente: Propia..... | 21 |
| Ilustración 2 Remoción de carpeta asfáltica en las intersecciones de la Av. Chinchaysuyo y Av. Antenor Orrego. Fuente: Propia .....                                    | 23 |
| Ilustración 3 Capas que conforman un pavimento flexible [18] .....   | 31 |
| Ilustración 4 Estados de consistencia del suelo y sus respectivos límites [20].....  | 38 |
| Ilustración 6 Partes de la copa de Casagrande para determinar límite líquido [24].....   | 39 |
| Ilustración 5 Muestra de suelo antes y después del ensayo [24].....  | 39 |
| Ilustración 7 Interpolación de puntos para la determinación del límite líquido [23]. .....   | 40 |
| Ilustración 8 Ensayo de límite plástico .....  | 41 |
| Ilustración 9 Ensayo equivalente de arena [20] .....   | 41 |
| Ilustración 10 Máquina para realizar ensayo de abrasión de los ángeles [18] .....  | 46 |
| Ilustración 11 Martillo con pistón para ensayo Proctor [18] .....  | 47 |
| Ilustración 12 Gráfica Peso unitario seco vs contenido de agua [15] .....  | 48 |
| Ilustración 13 Ensayo CBR sobre una muestra de suelo [23].....   | 49 |
| Ilustración 14 Esquema del equipo DCP (ASTM D-6951-03) [18].....   | 50 |
| Ilustración 15 Ciclo del mercado sostenible del reciclado [18]. .....  | 51 |
| Ilustración 16 Condición del pavimento a lo largo de los años con referencia al tipo de reciclado recomendado [18].....  | 52 |
| Ilustración 17 Muestra de R.A.P. observada a través de un microscopio [27] .....   | 52 |
| Ilustración 18 Máquina extractora de asfalto [24]. .....   | 53 |
| Ilustración 19 Zonas-población-Muestra. Fuente: Google Earth.....  | 58 |
| Ilustración 20 Ubicación de la cantera Los Hitos - La Cría. Fuente: Google Earth Pro. ....   | 59 |
| Ilustración 21 Diagrama de flujo para corroborar la hipótesis.....   | 64 |
| Ilustración 22 Recolección de CAR de los 4 sectores .....  | 66 |
| Ilustración 23 Proceso de trituración y tamizado de CAR de los 4 sectores .....  | 66 |
| Ilustración 24 Ensayo de análisis granulométrico por tamizado.....   | 67 |
| Ilustración 25 Ensayo de Humedad .....   | 67 |
| Ilustración 26 Ensayo de límites de Atterberg-Límite Líquido .....   | 68 |
| Ilustración 27 Ensayo de límites de Atterberg-Límite Plástico .....  | 69 |
| Ilustración 28 Ensayo de abrasión de los ángeles. ....   | 70 |
| Ilustración 29 Calibrador proporcional para ensayo de partículas chatas y alargadas. Fuente: MTC.....  | 73 |

|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 30 Ensayo de Sales Solubles Totales. ....                                 | 74  |
| Ilustración 31 Procedimiento para ensayo de CBR.....                                  | 76  |
| Ilustración 32 Procedimiento para ensayo de Penetrómetro de Cono Dinámico o DCP ..... | 78  |
| Ilustración 33 Procedimiento para la extracción cuantitativa de asfalto .....         | 79  |
| Ilustración 35 Espesores de pavimento con material de cantera de cantera .....        | 114 |
| Ilustración 36 Espesores de pavimento con 10% de CAR + 90% mat. de cantera .....      | 116 |
| Ilustración 36 Planta de suelos.....  | 119 |
| Ilustración 37 Sección típica de pavimento flexible .....                             | 120 |

## Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Proporciones de diseño estructural (%) .....  | 28 |
| Tabla 2 Requerimientos granulométricos para base granular. ....   | 35 |
| Tabla 3 Características físicas mecánicas .....   | 35 |
| Tabla 4 Ensayos y requerimientos mínimos para el agregado grueso.....   | 35 |
| Tabla 5 Ensayos y requerimiento mínimos para el agregado fino. ....   | 36 |
| Tabla 6 Abertura de tamices en mm y pulgadas. ....  | 37 |
| Tabla 7 Correlación de número de golpes con factor de corrección para calcular el límite líquido [24] .....         | 40 |
| Tabla 8: Clasificación de suelos según SUCS (Norma ASTM D-2487).....  | 43 |
| Tabla 9 Clasificación según AASHTO M-145 .....  | 45 |
| Tabla 10 Relación entre los sistemas de clasificación AASHTO M-145 y ASTM D-24 .....                                | 46 |
| Tabla 11 Población-Calles .....   | 57 |
| Tabla 12 Número de calles para la muestra. ....   | 59 |
| Tabla 13 Tabla de operacionalización de variables.....  | 61 |
| Tabla 14 Criterios para la selección de la dosificación de CAR. Fuente: propia .....                                | 63 |
| Tabla 15 Masa de muestra de ensayo de porcentaje de partícula fracturada .....                                      | 71 |
| Tabla 16 Peso mínimo de la muestra de partículas chatas y alargadas. Fuente: MTC.....                               | 72 |
| Tabla 17 Cantidad de muestra para ensayo de sales solubles totales. Fuente: MTC .....                               | 73 |
| Tabla 18 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en material de cantera.....              | 80 |
| Tabla 19 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 01 de CAR ..... | 81 |
| Tabla 20 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 01 de CAR ..... | 81 |
| Tabla 21 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 01 de CAR ..... | 82 |
| Tabla 22 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 02 de CAR ..... | 82 |
| Tabla 24 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 02 de CAR ..... | 83 |
| Tabla 23 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 02 de CAR ..... | 83 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 25 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 03 de CAR .....                                 | 84 |
| Tabla 26 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 03 de CAR. ....                                 | 84 |
| Tabla 27 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 03 de CAR .....                                 | 85 |
| Tabla 28 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 04 de CAR .....                                 | 85 |
| Tabla 29 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 04 de CAR .....                                 | 86 |
| Tabla 30 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 04 de CAR .....                                 | 86 |
| Tabla 31 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 01.....  | 87 |
| Tabla 32 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 02.....  | 87 |
| Tabla 33 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 03.....  | 88 |
| Tabla 34 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 04. .... | 88 |
| Tabla 35 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 01..... | 89 |
| Tabla 36 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 02..... | 89 |
| Tabla 37 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 03..... | 90 |
| Tabla 38 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 04..... | 90 |
| Tabla 39 Resultados de límites de Atterberg para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera .....                | 91 |
| Tabla 40 Resultados de límites de Atterberg para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera. ....               | 91 |
| Tabla 41 Resultados de clasificación SUCS Y AASHTO.....   | 91 |
| Tabla 42 Resultados de clasificación SUCS Y AASHTO.....   | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 43 Resultado de abrasión de los ángeles para los sectores 1, 2, 3 y 4 CAR 100% .....   | 92  |
| Tabla 44 Resultado de abrasión de los ángeles para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera. ....                                     | 92  |
| Tabla 45 Resultado de abrasión de los ángeles para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera. ....                                    | 93  |
| Tabla 46 Resultados de ensayo de equivalente de arena para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera. ....                             | 93  |
| Tabla 47 Resultados de ensayo de equivalente de arena para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 10% CAR y 90% Material de cantera. ....                            | 93  |
| Tabla 48 Resultados para ensayo de caras fracturadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera. ....                              | 94  |
| Tabla 49 Resultados para ensayo de caras fracturadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera. ....                             | 94  |
| Tabla 50 Resultados para ensayo de partículas chatas y alargadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera .....                  | 94  |
| Tabla 51 Resultados para ensayo de partículas chatas y alargadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera .....                 | 95  |
| Tabla 52 Resultados para ensayo de sales solubles totales en el sector 04 para muestra 02 con 10% CAR y 90 Material de cantera, y material de cantera Hitos – La cría..... | 95  |
| Tabla 53 Resultados de Ensayo Proctor modificado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en los sectores 1, 2, 3, 4 y en cantera Hitos.....                     | 95  |
| Tabla 54 Resultados de Ensayo Proctor modificado en muestra 02 con 10% CAR y 90% material de cantera en los sectores 1, 2, 3, 4 y en cantera Hitos. ....                   | 96  |
| Tabla 55 Resultados de ensayo CBR para muestra con 5% de CAR y 95% de material de cantera.....   | 96  |
| Tabla 56 Resultados de ensayo CBR para muestra con 10% de CAR y 90% de material de cantera.....  | 96  |
| Tabla 57 Resultados de ensayo DCP.....   | 97  |
| Tabla 58 Resultados de ensayo de densidad de campo mediante el cono de arena. ....   | 97  |
| Tabla 59 Resultados del ensayo de extracción cuantitativa de asfalto. ....   | 98  |
| Tabla 60 Resultados finales de Combinación 5% CAR y 95% Mat. de cantera .....  | 110 |
| Tabla 61 Resultados finales de Combinación 5% CAR y 95% Mat. de cantera .....  | 110 |
| Tabla 62 Datos de diseño para pavimento flexible .....   | 113 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 63 Propiedades de los materiales que conformarán el pavimento flexible con material de cantera.....                  | 113 |
| Tabla 64 Coeficientes estructurales y de drenaje de capas del pavimento .....  | 113 |
| Tabla 65 Cálculo de espesores .....  | 114 |
| Tabla 66 Datos de diseño para pavimento flexible .....   | 115 |
| Tabla 67 Propiedades de los materiales que conformaran el pavimento flexible con 10% de CAR + 90% material de cantera..... | 115 |
| Tabla 68 Coeficientes estructurales y de drenaje de capas del pavimento. ....  | 115 |
| Tabla 69 Cálculo de espesores .....  | 116 |
| Tabla 70 Matriz de Leopold del Proyecto (Conformación de base granular con CAR) .....                                      | 128 |

## Lista de gráficas

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 1 Representación gráfica de curvas granulométricas [23].                               | 37  |
| Gráfico 2 Porcentajes de gravas, arenas y arcillas de la Base Granular                         | 99  |
| Gráfico 3 Porcentaje de gravas, arenas y arcillas de las CAR                                   | 99  |
| Gráfico 4 Limites de atterberg, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.           | 100 |
| Gráfico 5 Limites de atterberg, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.          | 101 |
| Gráfico 6 Abrasión de los ángeles muestras de los 4 sectores.                                  | 102 |
| Gráfico 7 Abrasión de los ángeles muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.         | 103 |
| Gráfico 8 Abrasión de los ángeles muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.         | 103 |
| Gráfico 9 Equivalente de arena, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.           | 104 |
| Gráfico 10 Equivalente de arena, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.         | 104 |
| Gráfico 11 Sales Solubles totales de la muestra 02 del sector 4 y la muestra de cantera.       | 105 |
| Gráfico 12 Optimo contenido de humedad, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.   | 106 |
| Gráfico 13 Optimo contenido de humedad, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.  | 106 |
| Gráfico 15 CBR 0.1” al 100% de la d.m.s, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera. | 107 |
| Gráfico 14 CBR 0.1” al 100% de la d.m.s, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.  | 107 |
| Gráfico 16 Correlación de CBR mediante DCO, muestra de cantera y Muestra 02 del sector 4       | 108 |
| Gráfico 17 Densidad de campo, muestra de cantera(D1-D2) y Muestra 02 del sector 4 (D3-D4)      | 108 |
| Gráfico 18 Contenido de Asfalto de los 4 sectores  | 109 |
| Gráfico 19 Transporte de material en alternativa 01  | 117 |
| Gráfico 20 Transporte de material en alternativa 02  | 118 |

## Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal evaluar la influencia de la incorporación de carpetas asfálticas recicladas (CAR) en las propiedades físicas y mecánicas de bases granulares para pavimentos flexibles, mediante ensayos en laboratorio de mecánica de suelos, la evaluación de las CAR y sus combinaciones se compararon con los requisitos de la normativa EG-2013 Especificaciones Técnicas Generales para Construcción y CE 010 Pavimentos Urbanos. Se utilizó material para base granular proveniente de la cantera Hitos-La Cría (utilizado como muestra patrón) y material de CAR, obtenido de 4 sectores de la ciudad de Chiclayo. Se evaluaron 9 muestras, una muestra patrón (100% material de cantera) y se realizaron dos combinaciones de 5% CAR y 95% material de cantera, y 10% CAR y 90% material de cantera. Los resultados de los ensayos demuestran que las CAR al triturarlas mantienen las propiedades físicas y mecánicas del material proveniente de cantera y que su uso es adecuado; la combinación óptima es de 10% CAR y 90% material de cantera, encontrándose los valores más altos de máxima densidad seca y por consecuencia valores de CBR elevados de hasta 137.50% al 100% de su máxima densidad seca y a una penetración de 0.1” cumpliendo con lo establecido para la normativa vigente. Al finalizar la investigación se logró demostrar que es viable técnica, económica y ambientalmente la aplicación de las CAR en una adición de 10% en bases granulares para pavimentos flexibles.

### Palabras clave:

Base granular, carpeta asfáltica reciclada (CAR), pavimento flexible, CBR, material de cantera.

### **Abstract**

The main objective of this research project is to evaluate the influence of the incorporation of reclaimed asphalt pavement (RAP) on the physical and mechanical properties of granular bases for flexible pavements, through soil mechanics laboratory tests, the evaluation of RAP and their combinations were compared with the requirements of the EG-2013 standard General Technical Specifications for Construction and CE 010 Urban Pavements. Material for granular base was obtained from the Hitos-La Cría quarry (used as a standard sample) and RAP material, obtained from 4 sectors of the city of Chiclayo. 9 samples were evaluated, a standard sample (100% quarry material) and two combinations of 5% CAR and 95% quarry material, and 10% RAP and 90% quarry material were made. The results of the tests show that the RAP, when crushed, maintain the physical and mechanical properties of the material from the quarry and that their use is adequate; the optimal combination is 10% RAP and 90% quarry material, finding the highest values of maximum dry density and consequently high CBR values of up to 137.50% at 100% of its maximum dry density and at a penetration of 0.1” in process with what is established by current regulations. At the end of the investigation, it was shown that the application of RAP in an addition of 10% in granular bases for flexible pavements is technically, economically, and environmentally viable.

### **Keywords:**

Granular base, Reclaimed asphalt pavement (RAP), Flexible pavement, CBR, quarry material

## Introducción

El desarrollo y crecimiento económico de un país está directamente relacionado con la calidad de su infraestructura vial, debido a su aporte en la expansión de mercados, atracción de la inversión privada y reducción de precios en la producción; no obstante, algunos países en desarrollo deben aprender a incrementar su inversión y optimizar sus recursos mediante el mantenimiento de las redes viales con el objetivo de mejorar la condición en la que viven las personas [1].

De acuerdo con el Foro económico mundial en su The Global Competitiveness Report 2019 se evaluaron los 12 pilares fundamentales en las economías, siendo uno de los más resaltantes el pilar de infraestructura en el cual se observa los resultados obtenidos en calidad de infraestructura vial (0-7). El país con la mejor calidad a nivel mundial es Singapur con una puntuación de 6.5, lo cual se refleja en su economía siendo una de las potencias mundiales; de igual manera en Norte América, el que encabeza esta lista es Estados Unidos con una puntuación de 5.5; en Sudamérica, el primero en la lista es Chile con puntuación de 5.2, seguido de Ecuador con 4.9 y Perú con un valor 3.2, representando la brecha en calidad de infraestructura vial con respecto a nuestros países vecinos [2].

Las infraestructuras viales están sometidas a la acción dinámica del tránsito y la exposición al medio ambiente, lo cual genera deformaciones excesivas que están relacionadas con fallas estructurales en la superficie del pavimento, así como la base, subbase y subrasante, por lo tanto, es un problema evidente e inevitable que con el paso del tiempo cuando se presenta una falta de mantenimiento rutinario y/o periódico de los pavimentos por parte de las instituciones a cargo; si a esto le añadimos la falta de una cultura de conservación por parte de la población se incrementa llegando a un punto en el que la estructura requiera una rehabilitación que implica la remoción completa de capas hasta el nivel de subrasante, incrementando costos.

Según Federal Highway Administration (FHWA) en Estados Unidos existe una escasez de agregados en algunos estados del este de la división continental y en todo el litoral del Golfo del país, lo cual requiere transportarlo en distancias cada vez más largas hasta el lugar de ejecución del proyecto vial, lo cual aumenta el costo de ejecución de este. Durante las últimas 2 décadas, la FHWA en conjunto con el Centro de Investigación de Agregados, los Comités de la Junta de Investigación del Transporte y American Association of State Highway and Transportation (AAHSTO) se encuentran investigando en cómo mejorar el rendimiento de pavimentos y los materiales empleados en su construcción; debido a que los agregados

representan el material más importante en los proyectos de carreteras y otras aplicaciones del transporte, es por ello que se está desarrollando pavimentos sostenibles buscando optimizar el rendimiento de los agregados provenientes de fuentes naturales no renovables para la construcción de pavimentos sostenibles extendiendo su ciclo de vida.[3].

La calidad de las bases granulares depende de los agregados gruesos y finos que la constituyen, esta capa es fundamental en los pavimentos flexibles debido a que brinda soporte estructural para la transmisión de cargas hacia las capas subyacentes hasta llegar al suelo. La mayor parte de pavimentos construidos en Perú para zona urbanas y carreteras son de tipo flexible, los cuales presentan fallas a corto plazo, que se evidencian en la capa superficial del pavimento tales como: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales, etc.; esto dificulta la transitabilidad de los vehículos, aumentando los tiempos de transporte, daños a las unidades vehiculares e incomodidad en los usuarios del transporte. La reparación de estos pavimentos cuando no reciben mantenimiento involucra la reconstrucción total de la vía, necesitando de material virgen de canteras para la conformación de las capas de subbase y base elevando los costos de ejecución de los proyectos.



Ilustración 1 Deterioro del pavimento desde las intersecciones de la Av. Balta y Av. México hasta la Av. Chiclayo-Distrito de José Leonardo Ortiz. Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en las fotografías las fallas de los pavimentos de esta avenida presentan un índice de condición del pavimento entre 0-40 (Según ASTM D6433-07, 2007), estableciendo clasificaciones desde malo hasta fallado; este estado de los pavimentos es común observarlos en la ciudad de Chiclayo. Según el informe de contraloría en 2017 sobre el estado de los pavimentos en el distrito de José Leonardo Ortiz se encontró que el 95% se encontraba en mal estado y necesitaban una rehabilitación urgente, debido al problema que presentaban para la transitabilidad de los vehículos y afectando a los residentes de estas zonas, sin embargo, hasta la actualidad muchas de estas vías que se evaluaron siguen en el mismo y/o peor estado debido a la mala gestión de las autoridades [4].

En la actualidad los presupuestos para la construcción, mejoramiento, conservación y rehabilitación de vías pavimentadas a nivel local, nacional e internacional son elevados a causa de diversos factores como: el transporte de los agregados vírgenes de cantera hacia la zona de trabajo, productos derivados del petróleo, etc. Debido a ello, existe la necesidad de investigar nuevas alternativas sostenibles para este tipo de obras.

Las investigaciones en países desarrollados han encontrado una alternativa de solución en las carpetas asfálticas recicladas (CAR) reflejando buenos resultados en su uso para la capa límite superior y en capas estabilizadas con algún agente químico; no obstante existe un déficit de investigaciones para su empleo en bases granulares de pavimento flexible; debido a la composición del material de las CAR, se necesita estudios a detalle de los agregados que la componen, puesto que, estos aún conservan sus propiedades físicas y mecánicas, y pueden ser usados en las bases granulares de pavimentos flexibles [5]. Además, se plantea que la presencia de asfalto que recubre los agregados le brinda una mayor resistencia a la compresión y mejoraría la adherencia entre sus partículas.

En Perú no existe una política de reciclaje para los residuos de construcción que han aumentado debido al auge de obras públicas y privadas, dentro de estas se encuentran los residuos de remoción de carpeta asfáltica, muchas veces no reciben un adecuado manejo de parte de la empresa que realiza los trabajos de ejecución, mantenimiento o rehabilitación; teniendo en cuenta la inexistencia de botaderos autorizados, provocando un problema de contaminación del medio ambiente y visual que se genera a las afueras de la ciudad donde son depositados dichos escombros.



Ilustración 2 Remoción de carpeta asfáltica en las intersecciones de la Av. Chinchaysuyo y Av. Antenor Orrego. Fuente: Propia

Según el reporte de [6], en Lambayeque se generaron 222.102 mil toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) en el 2008, de este total un 5% aproximadamente es asfalto lo cual representa 11.105 mil toneladas por año posicionándonos en el 6to lugar a nivel nacional, probablemente esta cifra ha ido en aumento, debido a que no se cuenta con un reporte más actualizado por parte de las autoridades locales competentes a esta labor. Algunos de los botaderos en la región Lambayeque se encuentran en las carreteras que conectan algunos distritos (Ver anexo 02).

De acuerdo con [7], [8] y [9] los costos del material granular para la conformación de base granular varían en un rango de S/. 37.00 a S/. 48.20 puesto en obra representando una de las partidas con mayor costo en cuanto a la construcción del pavimento, la demanda de este material en los proyectos es en gran magnitud lo que conllevaría a un gran movimiento de tierras de recursos no renovables en las canteras de la región.

La presente tesis busca determinar si es posible utilizar las carpetas asfálticas recicladas como adición en bases granulares de pavimento flexible; buscando de esta manera disminuir los costos en la fase de rehabilitación de los pavimentos flexibles y reducir los tiempos de ejecución.

Y ante esto nos preguntamos ¿Cómo influye incorporación de carpetas asfálticas recicladas en las propiedades físicas y mecánicas de una base granular para pavimento flexible en la ciudad de Chiclayo?

Y ante esta pregunta de investigación, planteo la siguiente hipótesis:

- La incorporación de carpetas asfálticas recicladas conserva las propiedades físicas y mecánicas de una base granular para su uso en pavimento flexible cumpliendo con las normativas vigentes.

Para esta investigación se tiene como objetivo general: Evaluar la influencia de la incorporación de carpetas asfálticas recicladas en las propiedades físicas y mecánicas de bases granulares para pavimentos flexibles. Además, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar 12 muestras de carpetas asfálticas recicladas mediante ensayos de granulometría, abrasión de los ángeles y contenido de asfalto.
- Analizar la variación de granulometría del material extraído de cantera con la adición de carpetas asfálticas recicladas
- Determinar cómo influye el contenido de asfalto en las propiedades mecánicas de las mezclas.
- Verificar la combinación óptima entre carpeta asfáltica reciclada y material extraído de cantera que cumpla con los requisitos técnicos establecidos en la normativa nacional vigente.
- Realizar el ensayo DCP in situ para correlacionar con el CBR.
- Establecer la viabilidad del uso de carpetas asfálticas recicladas, considerando factores técnicos, económicos y ambientales.

Adicionalmente, las justificaciones para este proyecto son las siguientes:

- La justificación económica de esta investigación radica en la búsqueda de alternativas ante la variación de costos de la materia prima para la conformación de bases granulares con una alternativa sostenible como lo son las carpetas asfálticas ya que, al ser un material reciclado solo genera costo por recojo y traslado de material al punto de acopio.
- La justificación técnica de esta investigación se debe a que las carpetas asfálticas luego de ser removidas, sus componentes aún conservan gran parte de sus propiedades y podría resultar viable su reutilización.

- La justificación ambiental de esta investigación se debe a la necesidad de implementar un adecuado uso de las carpetas asfálticas de pavimentos, disminuyendo así la cantidad de material excedente de los proyectos viales; los cuales van a parar a botaderos no autorizados como residuos industriales, generando un problema de contaminación ambiental; asimismo se busca reducir la explotación de recursos no renovables en las canteras de la región.
- Finalmente, se justifica de manera metodológica debido a que mediante su desarrollo propone el uso de carpetas asfálticas recicladas en bases granulares, estableciendo una alternativa ecosostenible de solución en proyectos de pavimentación.

## Marco teórico

### Antecedentes del problema

No se cuenta con muchas investigaciones respecto al uso de carpetas asfálticas recicladas en bases granulares a nivel internacional, nacional como local, la mayor parte de estas investigaciones se centra en la reutilización de las CAR para mezclas asfálticas.

### Antecedentes internacionales

Adhikari [10], manifiesta en su tesis de master: **MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL-RAP-GEOPOLYMER FOR THE STABILIZATION OF ROAD BASE/SUBBASE. LOUISIANA, 2017** que debido a la escasez de agregados en el estado de Luisiana, se busca una alternativa que reemplace la práctica que llevan usando de suelo-cemento como material de base y subbase en pavimentos, debido a las microfisuras se presentan producto de la contracción ocasionada por la liberación del calor de hidratación del cemento, lo cual conlleva a su investigación para desarrollar mezcla de suelo-RAP-geopolímero, constituidos por el pavimento asfáltico reciclado junto con las cenizas volantes y escorias de alto horno los cuales ocupan mucho espacio en los vertederos. La investigación inicio con una revisión bibliográfica acerca de suelo-geopolímero, posteriormente se definió el geopolímero-suelo-RAP preparado con cenizas volantes de clase F, suelo, RAP y alcálisis líquidos (NaOH y NaSi), se recolectaron dos tipos de suelo de Luisiana con índices de plasticidad medias y altos que requieran estabilización. Bajo una matriz de diseño experimental que determina el diseño de mezclas y determina modelos de regresión que predicen la resistencia a la compresión no confinada (UCS) se concluye que la mezcla optima de suelo-RAP-geopolímero se desarrolla con 25% de RAP y el 25% de suelo mejoran la UCS casi 7 veces más que el suelo natural; el módulo resiliente de la mezcla aumento en comparación con el suelo sin tratar y las mezclas suelo-cemento, alcanzando valores de

676,748 psi y 343,880 psi para cada tipo de suelo, en base a lo dicho antes se logró determinar que la mezcla geopolímero-suelo-RAP es un material adecuado para subbase y base de pavimentos.

Soler y Duitama [11] en su tesis de pregrado: **EVALUACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE MEZCLAS DE FRESADO Y BASE GRANULAR PARA SU EMPLEO COMO AGREGADOS EN LA CONFORMACIÓN DE BASES ESTABILIZADAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. BOGOTÁ, 2019**, consideraron como objetivo principal en su investigación la evaluación de la influencia de RAP en las propiedades físicas-mecánicas de un base granular, con la finalidad proponer una metodología en la evaluación de mezclas entre RAP y material virgen. Para lograr este objetivo se recolectó el RAP de un centro de acopio y la muestra de base granular de una planta chancadora; posteriormente se realizaron ensayos de laboratorio para definir sus propiedades física-mecánica de la base granular y el RAP, posteriormente se definieron las mezclas base granular 100%, RAP 100% y una mezcla de 50% Base granular y 50% RAP. Se concluyó que la mezcla propuesta no cumple en algunos parámetros mínimos propuestos por INVIAS como el CBR el cual disminuye debido a la ductilidad del RAP, no obstante, la mezcla podría utilizarse en una subbase granular. Realizan las siguientes recomendaciones debido a las limitaciones de su investigación, como el proponer nuevos porcentajes de mezclas, así como más muestras para cada uno de los ensayos, debido a que el RAP puede presentar diferentes comportamientos.

Mousa et al [12], en su investigación **EVALUATION OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT AS BASE/SUBBASE MATERIAL IN EGYPT. EGIPTO, 2020**; tuvieron como objetivo proponer relaciones para algunas de las propiedades de ingeniería como la conductividad hidráulica, CBR, parámetros de resistencia al corte y Modulo de resiliencia en base a ensayos de laboratorio correlaciones con revisiones de literatura, también se evaluó el efecto del porcentaje de RAP en los parámetros de resistencia al corte y el módulo de resiliencia de los materiales granulares no ligados. Se realizó el siguiente procedimiento, recolección de las muestras de RAP de una rehabilitación de carretera, agregado virgen (AV) de cantera, para posteriormente mezclarlo en porcentajes de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% por el peso total de la mezcla, posteriormente se hizo una caracterización de las mezclas de acuerdo con su granulometría; obteniéndose que las mezclas de 100% AV, 20% y 40% RAP cumplen con las especificaciones egipcias y las mezclas de 60%. 80% y 100% no cumplen, se realizaron todos los ensayos de laboratorio junto con la tomografía computarizada de rayos X correspondientes. Como resultado de la investigación se concluye

en base a los resultados y análisis experimentales, se debe tener un control de las gradaciones de las mezclas con el fin de cumplir con las especificaciones de cada país, asimismo el porcentaje de CBR disminuye con el incremento de RAP, limitando su uso a un 20% para bases granulares y un 60% para subbases, sin embargo, se mostró un aumento significativo en el Módulo de resiliente, esto es producto a que el asfalto presente en el RAP mejora la cohesión de las partículas, haciendo más rígida a la mezcla.

#### **Antecedentes nacionales**

Argumedo [13], en su tesis de pregrado: **CARPETA ASFÁLTICA RECICLADA Y BASE GRANULAR RECICLADA PARA LA CONFORMACIÓN DE UNA SUBBASE GRANULAR ÓPTIMA EN LA AV. PRÓCERES DEL DISTRITO DE CHILCA, PROVINCIA DE HUANCAYO. HUANCAYO, 2019**; tuvo como objetivo principal encontrar las ventajas de utilizar carpetas asfálticas recicladas y base granular recicladas en la formación de una óptima base granular, con la finalidad de realizar un mejoramiento en la transitabilidad en dicha avenida que ha cumplido con su vida útil, para desarrollar este objetivo se realizó un reconocimiento a la zona, se eligió una zona afectada para la extracción manual de 05 muestras de Carpetas asfálticas recicladas(CAR) y base granular(BG) existente (0.40m x 0.40m x 0.25m), posteriormente se realizó el parchado de concreto asfáltico en caliente, a las cuales se les realizó ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades físicas-mecánicas de las muestras, en base a esto se procedió a establecer 05 combinaciones entre carpeta asfáltica y base granular ( 5% CAR y 95% BG; 10% CAR Y 90% BG; 20% CAR Y 80% BG; 30% CAR Y 70% BG; 60% CAR Y 40% BG) las cuales también fueron ensayadas mediante pruebas de laboratorio, asimismo se realizó estudios de tráfico para el diseño de un pavimento flexible con material nuevo y con material reciclado terminado en una sección transversal típica ; posterior a ello, se realiza los metrados, presupuestos y evaluación ambiental, al terminar los ensayos de laboratorio y estudios básicos de ingeniería se concluyó lo siguiente: la combinación optima es la de 40% CAR y 60% BG, obteniendo un valor de CBR del 49.22% estando dentro de los valores mínimos establecidos para una subbase granular, se disminuye el monto del presupuesto para la ejecución de un pavimento flexible con agregados de cantera de S/. 4,855,511.62, mientras con materiales reciclados es de S/. 4,626,933.57; al no comprar material para la conformación de subbase se reduce en 50% la explotación de canteras y se reutiliza el 100% de carpetas asfálticas y el 13.4% de base granular.

Bereche y Ríos [14], en su tesis de pregrado: **DISEÑO DE BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON INCORPORACIÓN DE RECICLADO ASFÁLTICO DE PAVIMENTO Y EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS-1 EN VÍA LOS FRUTALES PARAÍSO DEL VALLE HUAROCHIRI-2019, LIMA, 2019**; tuvieron como objetivo principal mejorar la infraestructura vial mediante la estabilización de la base granular con la incorporación del RAP y emulsión asfáltica; buscando mejorar esta capa para una estabilidad aceptable al tránsito vehicular; para el desarrollo del objetivo se realizó un levantamiento topográfico de la vía los frutales de aproximadamente 750 m de longitud, para obtener las características de la superficie y el nivel de servicio en que se encuentra, también se hizo un estudio de tráfico durante una semana obteniendo un IMDA 75 veh/día, mientras que el cálculo de ESAL de diseño de  $8.072 \times 10^5$ , respecto al estudio de suelos se hicieron dos calicatas de 1.50 m de profundidad; el diseño de la base granular estabilizada se realizó con una muestra de RAP extraída de la urbanización Campoy de una obra que estaba en rehabilitación, la cual contaba con 5.9% de asfalto, mientras que la base granular fue extraída cuando se realizaba el E.M.S, la cual se clasificaba según SUCS en GC-GM; para realizar la dosificación final de tipo (Base granular + Rap + emulsión asfáltica + agua), se establecieron 3 dosificaciones:

| PROPORCIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL (%) |         |     |             |       |              |
|--|---------|-----|-------------|-------|--------------|
| Nº DE SERIE                            | BASE G. | RAP | EMULSIÓN A. | AGUA  | Nº BRIQUETAS |
| serie 1                                | 75%     | 25% | 6%,7%,8%    | 6.20% | 6            |
| serie 2                                | 80%     | 20% | 6%,7%,8%    | 6.20% | 8            |
| serie 3                                | 85%     | 15% | 6%,7%,8%    | 6.20% | 6            |

Tabla 1 Proporciones de diseño estructural (%)

Nota: Se detalla las proporciones para el diseño estructural de la base granular [14].

Obteniendo las siguientes conclusiones en base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados se determinó que la dosificación óptima es de 80% Base granular, 20% RAP y 7% emulsión asfáltica, el porcentaje de CBR de la base granular extraída de la av. frutales fue de 23.3% al 95% de la MDS y un valor de 34.5% de CBR al 100% de la MDS, lo cual demuestra la influencia de la humedad del material; la propuesta económica para estabilizar la base granular con un costo de S/. 215 404.77 en comparación de S/. 302,665.08 que cuesta

una carpeta asfáltica convencional; resultando ser una opción viable técnica, económica y ambiental para proyectos de pavimentación.

Delgado [15], desarrolló su tesis de pregrado: **CARPETA ASFÁLTICA RECICLADA PARA TRATAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE BASE GRANULAR DETERIORADA. HUANCAYO, 2021**; estableciendo como objetivo general evaluar de qué manera la carpeta asfáltica reciclada da tratamiento a las propiedades de una base granular deteriorada, estableciendo la siguiente metodología, se recolectó la carpeta asfáltica reciclada y la base granular deteriorada, posteriormente se establecieron mezclas en relación de 20%, 25% y 30% del peso del suelo para su posterior evaluación de las propiedades con ensayos de laboratorio; concluyendo que la mezcla óptima es de 25% RAP y 75% Base granular deteriorada, debido a que brinda tratamiento a las propiedades físicas y mecánicas, la máxima densidad seca aumenta en 2.74% , el óptimo contenido de humedad disminuye en 8.10%, el índice de plasticidad reduce en 6.88%, el CBR al 95% aumenta en 29.95% y al 100% en 35.55% , llegando a 85.08% ( cumpliendo con lo establecido por el MTC(2013) que requiere como mínimo un 80% para base granular); asimismo se brindan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones, analizar mezclas con material de cantera con el fin de corroborar la efectividad de las CAR , también el considerar las diferentes granulometrías de las CAR.

#### **Antecedentes locales**

Vera [16], en su tesis de pregrado: **MEJORAMIENTO CON EMULSIONES ASFÁLTICAS DE BASES GRANUALES, PARA PAVIMENTO EN LA REGION LAMBAYEQUE. LAMBAYEQUE, 2015**; consideró como objetivo principal mejorar las bases granulares con emulsiones asfálticas para pavimentos en el departamento de Lambayeque, mediante el diseño de mezclas con material granular y distintos porcentajes de emulsión asfáltica CSS-1h (Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta); las muestras del material granular fueron extraídas de las canteras: Tres tomas (Provincia de Ferreñafe), El cinco (Distrito de Pátapo) , Cachinche (Distrito de Pitipo) + San Luis (Distrito de Mórrope) , estas dos últimas se realizó una mezcla para que cumpla con las parámetros mínimos; se realizaron ensayos para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material granular y el método Marshall para el diseño de mezclas en frío, bajo los parámetros del MTC; Se propone porcentajes tentativos de emulsión asfáltica por el método del instituto del asfalto, cantera tres tomas ( 6.44% ) , Cantera el cinco (6.16%), cantera san Luis + Cachinche (5.92%); como resultados de los ensayos realizados se tiene: el valor de CBR al 100% de la

MDS para las canteras fue de 86.94%, 75.75% y 68.83% respectivamente, siendo el mínimo establecido de 80%, las dos últimas no cumplen; el índice plástico determinado fue 2.16%, 1.22% y 3.65 % respectivamente, siendo el valor máximo 4, todas cumplen; equivalente de arena 80%, 86.31% y 73.37% respectivamente, deben tener un valor mínimo de 35%, todas cumplen; respecto a la estabilización con emulsión asfáltica se concluyó que con valores inferiores al 5% de humedad no existe una total cobertura del material granular para la cantera tres tomas, para la cantera el cinco con valores inferiores al 6% se observó el mismo resultado y para la cantera san Luis + Cachinche valores menores al 5.50% ocurrió lo mismo, con porcentajes mayores se observa un mejor recubrimiento pero un exceso de emulsión; se recomienda usar los materiales granulares extraídos de las tres canteras para estabilización de bases.

## Bases teórico-científicas

### Pavimento

Es una estructura conformada por capas sobrepuestas que se encuentran relativamente horizontales con diferentes espesores resultado de un diseño. Estas capas se reposan sobre una subrasante de diseño, superficie que se obtiene posterior al movimiento de tierras ya sea corte o relleno, deben resistir los esfuerzos que genera el paso del tránsito para el periodo que fue diseñado [17].

### Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles son estructuras de pavimento compuesto por un conjunto de capas granulares (principalmente de subbase, base) y carpeta de rodadura constituida por agregados mezclados con materiales bituminosos (carpeta asfáltica); las rigideces de estas no son significativamente diferentes ( $< 20$  veces); lo que le proporciona esa flexibilidad y propiedad para deformarse de manera conjunta ante la aplicación de cargas. Contemplan periodos de vida que varían entre los 10 y 15 años, con un presupuesto inicial económico, no obstante, los costos de mantenimiento se elevan para que cumpla con su vida útil [18].

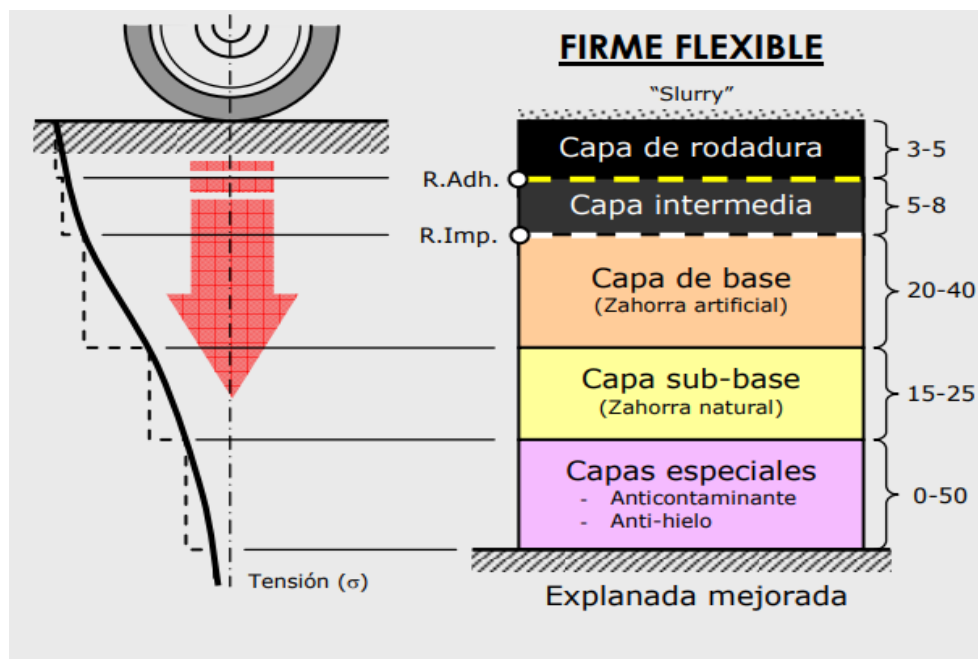


Ilustración 3 Capas que conforman un pavimento flexible [18]

## Estructura de los pavimentos flexibles

### a) Subrasante

La subrasante es el nivel que se alcanza con los movimientos de tierra (corte y/o relleno), encima de la cual reposara toda la estructura del pavimento.

Es la capa más influyente en la estructura del pavimento, debido a que la calidad de esta en conjunto con el tránsito y las propiedades de los agregados, son las variables básicas para el diseño de este. La capacidad de soporte de la subrasante debe ser mayor a 6% para garantizar mínimas deformaciones o asentamientos, subrasantes con menores de este valor necesitan ser estabilizadas con una propuesta técnico-económica favorable [19].

### b) Subbase granular

Es una capa conformada con materiales granulares de menor calidad que una base granular, debido a que no resiste las cargas directas del tránsito; su principal función es económica, para reducir espesor de las capas que están por encima.

Esta capa actúa como una capa de separación evitando la introducción de las partículas finas de la subrasante se introduzcan en la base, también aporta a la reducción de las deformaciones producto de la expansión en la subrasante ya sea por una filtración de agua o variaciones de temperatura; otra función es la de drenar el agua que penetre a través de las carpetas asfálticas, así mismo como evita el ascenso capilar por la subrasante [17].

### c) Base granular

Esta capa forma el principal elemento portante del pavimento flexible ubicada entre la subbase y la capa de rodadura, absorbiendo casi en su totalidad las cargas producidas por el tránsito, puede estar conformada por materiales granular en estado natural, estabilizadas con algún aglomerante o con mezclas bituminosas. Su función económica en relación con la carpeta asfáltica es la misma que la de subbase con la base, reducir espesores, por un material más cómodo [17].

### d) Carpeta asfáltica

Es la capa más superficial de un pavimento flexible, está expuesta a la intemperie y en contacto directo con los neumáticos, en vista de estas exigencias, debe ser:

Resistente: Debido a las presiones verticales que son ejercidas por los neumáticos, y absorber esfuerzos tangenciales provocados por el frenado de los vehículos.

Impermeable: Se debe impedir en lo posible el paso del agua a las capas subyacentes

Antideslizante: Debe proporcionar una adecuada fricción entre el neumático y la superficie de contacto en su dimensión longitudinal y transversal, con el fin de garantizar la seguridad vial [20].

### **Estudio de mecánica de suelos para pavimentos**

La exploración y estudio del suelo es importante para poder investigar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, que posteriormente serán utilizadas en el diseño del pavimento. Las muestras recolectadas de este estudio deben de ser representativas para obtener resultados correctos, con las exigencias de precisión; caso contrario no se tendrá un buen diseño [19].

### **Métodos de exploración de campo**

Para la ejecución de un proyecto de infraestructura vial es necesario realizar una exploración del lugar donde se desarrollará, dentro del programa de investigaciones geotécnicas, donde se involucran la geología y la mecánica de suelos; la magnitud de la exploración dependerá del tipo y tamaño del proyecto. Las fases de una exploración de campo son las siguientes:

- **Trabajos preliminares en gabinete:** Consiste en la recolección de datos en el lugar donde se desarrollará el proyecto, tomar fotografías espaciales, georreferencias, cartas nacionales, estudios previos entre otros.
- **Exploración del lugar y muestreo:** Realización de perforaciones manuales o con máquina para la elaboración del perfil estratigráfico de los estratos del suelos y condiciones del subsuelo, donde se identifica la subrasante y se realiza ensayos in-situ o se recolecta muestras alteradas o inalteradas para ensayarlas en laboratorio.
- **Ensayos de laboratorio:** Se realizan ensayos a las muestras alteradas e inalteradas que se han extraído en las perforaciones. Existen ensayos estándares que se realizan con la finalidad de clasificar el suelo y algunos ensayos especiales que sirve para determinar las propiedades físicas y mecánicas de este.

- **Ensayos In situ:** Son ensayos que se realizan en el lugar donde se realiza la exploración detallada del sitio, pueden ser antes y durante el proceso de construcción; algunos ensayos son: realizar controles de compactación de campo, ensayos de deflectometría en pavimentos.
- **Reporte de resultados:** Se detalla en un informe toda la ejecución del proceso de exploración, anexando los resultados obtenidos en los ensayos in situ y en laboratorio, interpretaciones y fotografías [21].

### **Excavaciones a cielo abierto (calicatas)**

Las calicatas se realizan para la mayor cantidad de tipos de suelos, el nivel freático es un inconveniente para este tipo de perforaciones; no obstante, presenta la ventaja que se puede realizar de forma manual y expone los estratos para su identificación visual, las muestras se pueden recolectar del fondo de la calicata o de los laterales [21].

Generalmente están espaciadas entre 250m y 2 000m, con algunos puntos singulares cuando se presenten cambio en la topografía, presencia de suelos pobres, donde se ejecutará terraplenes mayores a 5 m de altura; la profundidad mínima establecida es de 1.50 m con respecto al nivel de subrasante del proyecto; el número mínimo de calicatas dependerá del tipo de carretera [19].

### **Material de cantera para capas granulares de pavimentos**

Las capas de base y subbase granular forman parte de los elementos estructurales de un pavimento, en conjunto con la carpeta asfáltica distribuyen y transmiten las cargas del tránsito hacia la subrasante. Debido a ello deben ser conformadas con material granular que cumpla con requerimientos mínimos establecidos en la normativa vigente [17].

### **Especificaciones técnicas del material de cantera: base granular**

Según [22] el material para bases granulares debe ser natural proveniente de canteras, excavaciones o escorias; también pueden ser provenientes de la molienda de rocas, gravas o mezcla de diversas proveniencias.

Algunas de las condiciones de las partículas de los agregados es que deben ser duras, resistentes y durables, sin abundancia de partículas planas y sin presencia de materia orgánica, arcilla y otras sustancias que perjudiquen sus propiedades.

Asimismo, tienen que satisfacer los siguientes parámetros de calidad:

- **GRANULOMETRÍA:**

Los materiales que conformara una base granular deben presentar una granulometría continua, bien graduada y según los requerimientos de una columna de la siguiente tabla:

Nota: Para alturas superiores a los 3 000 m.s.n.m se considerar la gradación “A” [22].

| Tamiz            | Porcentaje pasante en peso |             |             |             |
|------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                  | Gradación A                | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50mm. (2")       | 100                        | 100         |             |             |
| 25mm. (1")       |                            | 75 - 95     | 100         | 100         |
| 9.5mm. (3/8")    | 30 - 65                    | 40 - 75     | 50 - 85     | 60 - 100    |
| 4.75 mm. (N° 4)  | 25 - 55                    | 30 - 60     | 35 - 65     | 50 - 85     |
| 2.0 mm. (N° 10)  | 15 - 40                    | 20 - 45     | 25 - 50     | 40 - 70     |
| 42.5 µm. (N° 40) | 8 - 20                     | 15 - 30     | 15 - 30     | 25 - 45     |
| 75 µm. (N° 200)  | 2 - 8                      | 5 - 15      | 5 - 15      | 8 - 15      |

Tabla 2 Requerimientos granulométricos para base granular.

|                                    |  |           |
|------------------------------------|--|-----------|
| Valor Relativa de Soporte, CBR (1) | Tráfico en ejes equivalentes (<math>10^6</math>) | Mín. 80%  |
|                                    | Tráfico en ejes equivalentes (>math>10^6</math>) | Mín. 100% |

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y con una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)

Tabla 3 Características físicas mecánicas

Nota: Se muestran los valores mínimos de CBR con relación a los ejes

- **AGREGADO GRUESO**

Se calificará de esta manera a las partículas retenidas en la malla N° 4, deben cumplir con los siguientes requerimientos: [22]

| Ensayo                               | NormaMTC  | Norma ASTM | Norma AASHTO | Requerimiento según           |                    |
|--------------------------------------|-----------|------------|--------------|-------------------------------|--------------------|
|                                      |           |            |              | <math>3.000\text{msnm}</math> | >math>3.000</math> |
| Partículas con una cara fracturada   | MTC E 210 | D 5821     |              | 80 % mín                      | 80 % mín           |
| Partículas con dos caras fracturadas | MTC E 210 | D 5821     |              | 40 % mín                      | 50 % mín           |
| Abrasión de Los Ángeles              | MTC E 207 | C 131      | T 96         | 40 % máx                      | 40 % máx           |
| Partículas chatas y alargadas (1)    |           | D 4791     |              | 15 % máx                      | 15 % máx           |
| Sales solubles totales               | MTC E 219 | D 1888     |              | 0.5 % máx                     | 0.5 % máx          |
| Durabilidad al sulfato de magnesio   | MTC E 209 | C 88       | T 104        |                               | 18 % máx           |

Tabla 4 Ensayos y requerimientos mínimos para el agregado grueso

Nota: Se muestran los ensayos con sus respectivas normativas y valores mínimos o máximos [22].

- **AGREGADO FINO**

Se calificará de esta manera a las partículas que pasan la malla N° 4, deben cumplir con los siguientes requerimientos: [22].

| Ensayo                             | NormaMTC  | Requerimiento según |           |
|------------------------------------|-----------|---------------------|-----------|
|                                    |           | <3.000msnm          | ≥ 3.000   |
| Índice plástico                    | MTC E 111 | 4 % máx             | 2 % mín   |
| Equivalente de arena               | MTC E 114 | 35 % mín            | 45 % mín  |
| Sales solubles                     | MTC E 219 | 0.5 % máx           | 0.5 % máx |
| Durabilidad al sulfato de magnesio | MTC E 209 | ---                 | 15%       |

Tabla 5 Ensayos y requerimiento mínimos para el agregado fino.

Nota: Se muestran los ensayos con sus respectivas normativas y valores mínimos o máximos [22].

### Ensayos de laboratorio

#### Análisis granulométrico por tamizado

Se refiere al ensayo más característico para determinar la distribución de los tamaños de las partículas que presenta el suelo, se expresa en porcentajes de material que pasa por cada tamiz de una serie hasta el que tiene una abertura de 74  $\mu\text{m}$  (N° 200); si se presenta material que pase esta malla, es conveniente que se realice un análisis granulométrico por sedimentación (recomendado para limos y arcillas).

El juego de tamices que se empleara en cada ensayo va a depender de la normativa, en la siguiente tabla se muestran todos los tamices comerciales con su abertura en milímetros y en pulgadas [18].

| Nominal (mm) | En pulgadas | Nominal (mm) | En pulgadas |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 75.00        | 3"          | 1.70         | Nº 12       |
| 63.00        | 2 1/2"      | 1.40         | Nº 14       |
| 50.00        | 2"          | 1.18         | Nº 16       |
| 37.50        | 1 1/2"      | 1.00         | Nº 18       |
| 31.50        | 1 1/4"      | 0.85         | Nº 20       |
| 25.00        | 1"          | 0.60         | Nº 30       |
| 19.00        | 3/4"        | 0.425        | Nº 40       |
| 16.00        | 5/8"        | 0.300        | Nº 50       |
| 12.50        | 1/2"        | 0.250        | Nº 60       |
| 9.50         | 3/8"        | 0.180        | Nº 80       |
| 8.00         | 5/16"       | 0.150        | Nº 100      |
| 6.30         | 1/4"        | 0.106        | Nº 140      |
| 4.75         | Nº 4        | 0.075        | Nº 200      |
| 2.36         | Nº 8        |              |             |
| 2.00         | Nº 10       |              |             |

Tabla 6 Abertura de tamices en mm y pulgadas.

En la tabla N° 6 se muestra los tamaños nominales de los tamices en mm y pulgadas [18].

El ensayo de granulometría se representa mediante ejes semilogarítmicos, donde el eje de las abscisas(logarítmico) representa las aberturas de los tamices y el eje de las ordenadas(lineal) representa los porcentajes que pasan. Uniendo los puntos ubicados en los ejes se puede trazar la denominada curva granulométrica [23].

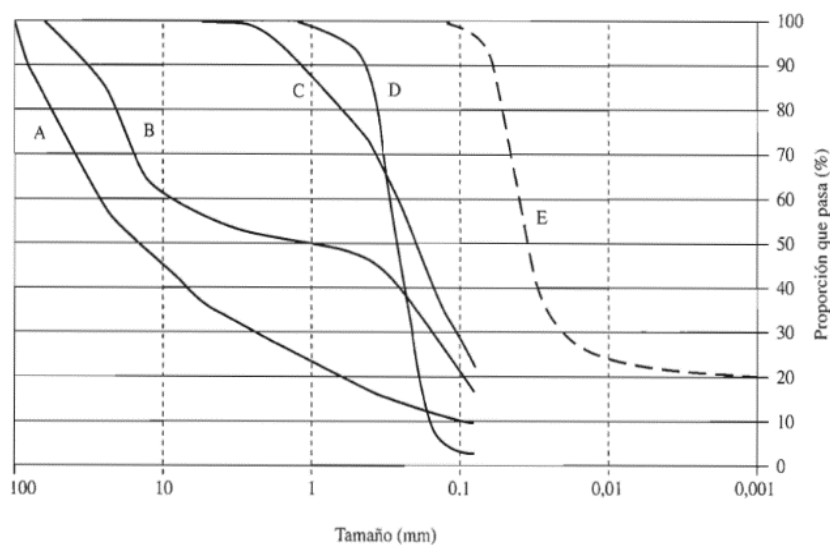


Gráfico 1 Representación gráfica de curvas granulométricas [23].

También existen dos indicadores adicionales derivados de la curva granulométrica, el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc). Son obtenidos mediante la siguiente formulas:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Cuando se presentan valores bajos de Cu, estamos frente a suelos con granulometrías uniformes. ( $Cu < 2$ )

Para suelos bien graduados, los valores del coeficiente de curvatura se encuentran entre 1 y 3 [23].

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se encuentra estandarizado por las siguientes normas. (MTC E 107 – AASHTO T 88 – ASTM D 422).

### Límites de consistencia

Los límites de consistencia influyen en el comportamiento del suelo con la presencia del agua, se tornan perjudiciales cuando se tienen presencia de partículas finas especialmente las arcillas.

Los estados de consistencia son los siguientes:

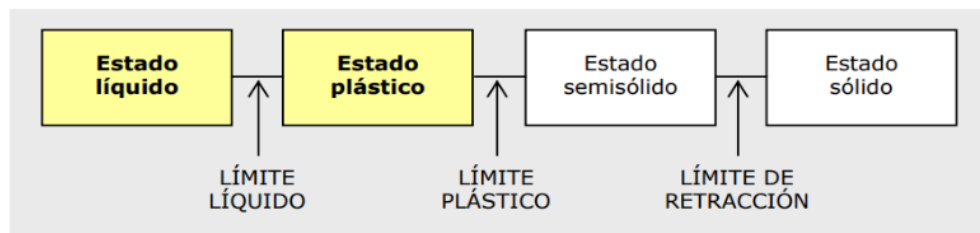


Ilustración 4 Estados de consistencia del suelo y sus respectivos límites [20].

El proceso consiste en que se pasa del estado sólido al estado líquido conforme se va aumentando el contenido de agua en el suelo; los límites más significantes son el límite líquido y plástico [20].

### Determinación del límite líquido

Este ensayo se realiza mediante el método de la copa de Casagrande, se basa en determinar el mínimo contenido de agua que puede contener 150 gr de suelo seco que pasa por el tamiz 425  $\mu\text{m}$  (N° 40); la muestra es colocada hasta una profundidad aproximada de 1 cm en el punto más hondo, conformando una superficie relativamente horizontal. Luego se golpea el suelo mediante la copa a una altura de 1 cm. La determinación del límite líquido se necesita encontrar la humedad del suelo necesaria para cerrar la apertura de 12.7 mm posterior a los 25 golpes [23].

En las imágenes se muestra la copa de Casagrande y el procedimiento del ensayo.



Ilustración 6 Muestra de suelo antes y después del ensayo [24]

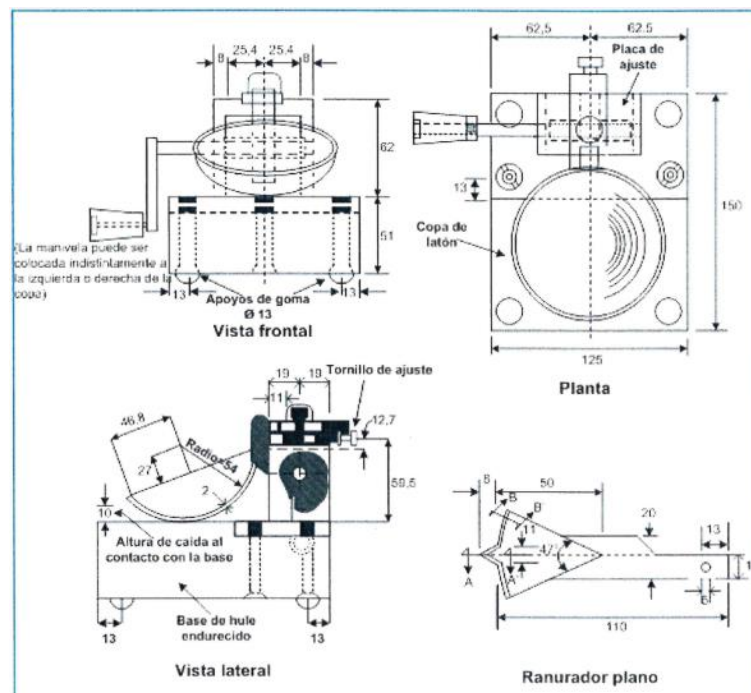


Ilustración 5 Partes de la copa de Casagrande para determinar límite líquido [24].

También se puede obtener de la siguiente figura:

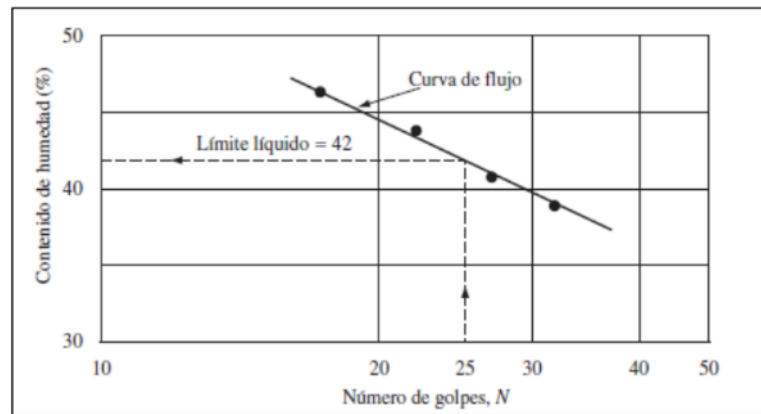


Ilustración 7 Interpolación de puntos para la determinación del límite líquido [23].

| N (Numero de golpes) | K (Factor para límite líquido) |
|----------------------|--------------------------------|
| 20                   | 0,974                          |
| 21                   | 0,979                          |
| 22                   | 0,985                          |
| 23                   | 0,990                          |
| 24                   | 0,995                          |
| 25                   | 1,000                          |
| 26                   | 1,005                          |
| 27                   | 1,009                          |
| 28                   | 1,014                          |
| 29                   | 1,018                          |
| 30                   | 1,022                          |

Tabla 7 Correlación de número de golpes con factor de corrección para calcular el límite líquido [24]

### Determinación del límite plástico

El ensayo para determinar el límite plástico es realizado con aproximadamente 200 gr de muestra de suelo seco pasante por el tamiz 425  $\mu\text{m}$  (Nº 40); buscándose el menor contenido de humedad con el que se puede formar cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro sin que este presente agrietamiento.

El inconveniente que presenta este ensayo es que se realiza de manera manual, interviniendo la experiencia del técnico [20].

$$LP = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso se suelo secado en el horno}} \times 100$$



Ilustración 8 Ensayo de límite plástico

### Índice de plasticidad

Este valor nos brinda el grado de plasticidad que presenta el suelo; se establece como la diferencia del límite líquido y límite plástico [20].

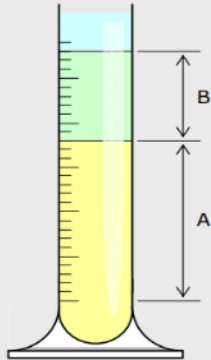
$$IP = L.L - L.P$$

### Equivalente de arena

Este ensayo nos permite hallar de manera pronta la cantidad de finos que contiene un suelo, asimismo nos brinda una idea de su plasticidad [17].

Se calcula mediante la expresión:

**EQUIVALENTE DE ARENA**  
NLT-113



**DETERMINACIÓN**

$$E.A. = \frac{A}{A + B} \cdot 100$$

A = Lectura sobre probeta del horizonte de arena  
B = Lectura sobre probeta del horizonte de finos

**INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

| E.A.   | Tipo de suelo              |
|--------|----------------------------|
| > 40   | Suelo nada plástico, arena |
| 40 -20 | Suelo poco plástico, finos |
| < 20   | Suelo plástico y arcilloso |

Ilustración 9 Ensayo equivalente de arena [20]

La principal desventaja de este ensayo es su menor precisión en comparación con los ensayos anteriores [20].

### **Clasificación de suelos según SUCS (Norma ASTM D-2487)**

Esta clasificación abarca tanto suelos gruesos y finos, en primera instancia se separa en dos grandes grupos, los que pasan el tamiz N° 200 son denominados finos y los que se retienen son denominados gruesos. El proceso paso a paso se detalla en la siguiente tabla [20].

| DIVISIONES PRINCIPALES  |   | SÍMBOLOS   | NOMBRES TÍPICOS  | IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO  |   |   |  |
|---|---|--|--|--|---|---|--|
| <b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b><br>Más de la mitad del material retenido en el tamiz N° 200 | <b>GRAVAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N° 4 (4.76mm) | <b>Gravas Limpias</b><br>(sin o con pocos finos)   | GW<br>Grava bien graduada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.   | Determinar el porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz N° 200), los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:<br>12% GM, GC, SM, SC 5 al 12% casos limite que requieren usar doble símbolo. | Cu > 4, Co entre 1 y 3.                                       |   |  |
|   |   | <b>Gravas con Finos</b><br>(apreciable cantidad de finos)  | GP<br>Grava mal graduada, mezclas grava-arena, poco o ningún fino. |  | No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. |   |  |
|   |   |  | GM<br>Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.                    |  | Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4.           | Encima de la línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren GC doble símbolo.                        |  |
|   |   | GC<br>Grava arcillosa, mezclas grava-arena arcillosas  | Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.                  |  |   |   |  |
|   | <b>ARENAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el por el tamiz N° 4 (4.76mm) | <b>Arenas Limpias</b> (pocos o sin finos)  | SW<br>Arena bien graduada.   |  | Cu > 6, Co entre 1 y 3.                                       |   |  |
|   |   |  | SP<br>Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino.     |  | Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW  |   |  |
|   |   | <b>Arenas con Finos</b><br>(apreciable cantidad de finos)  | SM<br>Arenas limosas, mezclas arena y limo.                        |  | Límites de Atterberg debajo de la línea A o                   | Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren de doble símbolo. |  |
|   |   |  | SC<br>Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.                    |  | Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.             |   |  |
| <b>SUELOS DE GRANO FINO</b><br>Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200      | <b>Limos y Arcillas</b><br>Límite Líquido menor de 50   | ML<br>Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad. |  |  |   |   |  |
|   |   | CL<br>Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas                          |  |  |   |   |  |
|   |   | OL<br>Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.  |  |  |   |   |  |
|   | <b>Limos y Arcillas</b><br>Límite Líquido mayor de 50   | MH<br>Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.  |  |  |   |   |  |
|   |   | CH<br>Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.  |  |  |   |   |  |
|   |   | OH<br>Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.   |  |  |   |   |  |
| <b>Suelos muy Orgánicos</b>   |   | P  | Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.                   |  |   |   |  |

Tabla 8: Clasificación de suelos según SUCS (Norma ASTM D-2487)

**Clasificación según AASHTO M-145**

En el ámbito de las carreteras este sistema de clasificación es el más usado; en subrasante, subbases y bases granulares.

También se basa en los resultados de los ensayos de laboratorio como son: granulometría, límite líquido y límite plástico.

Según la norma se establecen tres principales categorías:

- Suelos granulares
- Suelos limo-arcilla o material fino
- Suelos orgánicos

El proceso paso a paso se detalla en la siguiente tabla [20].

| CLASIFICACIÓN GENERAL  | MATERIALES GRANULARES<br>(35% o menos pasa por el tamiz N°200) |        |            |                                  |        |        | MATERIALES LIMOSO ARCILLOSO<br>(más del 35% pasa el tamiz N°200) |                |        |                   |            |
|--|--|--------|------------|----------------------------------|--------|--------|--|----------------|--------|-------------------|------------|
|  | A-1  |        | A-3        | A-2                              |        |        |  | A-4            | A-5    | A-6               | A-7        |
| GRUPOS   | A-1-a  | A-1-b  |            | A-2-4                            | A-2-5  | A-2-6  | A-2-7  |                |        |                   | A-7-5      |
|  | <b>Porcentaje que pasa</b>                                     |        |            |                                  |        |        |  |                |        |                   |            |
| N°10 (2 mm)  | 50 máx   | -      | -          | -                                |        |        |  | -              |        |                   |            |
| N°40 (0.425 mm)  | 30 máx   | 50 máx | 51 mín     | -                                |        |        |  | -              |        |                   |            |
| N° 200 (0.075 mm)  | 15 máx   | 25 máx | 10 máx     | 35 máx                           |        |        |  | 36 mín         |        |                   |            |
| <b>Características de la fracción que pasa por el tamiz N°40</b> |  |        |            |                                  |        |        |  |                |        |                   |            |
| Limite Líquido (LL)  | -  |        | -          | 40 máx                           | 41 mín | 40 máx | 41 mín   | 40 máx         | 41 mín | 40 máx            | 41 mín (2) |
| Índice de Plasticidad (IP)                                       | 6 máx  |        | NP (1)     | 10 máx                           | 10 máx | 11 mín | 11 mín   | 10 máx         | 10 máx | 11 mín            | 11 mín     |
| <b>Constituyentes Principales</b>                                | Fragmentos de piedra, grava y arena                            |        | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosa |        |        |  | Suelos limosos |        | Suelos arcillosos |            |
| <b>Características como subgrado</b>                             | Excelente a bueno  |        |            |                                  |        |        | Pobre a malo   |                |        |                   |            |

Tabla 9 Clasificación según AASHTO M-145

### Relación entre clasificación de las normas AASTHO M-145 y ASTM D-2487

A continuación, se establece la relación que se presenta entre los dos sistemas de clasificación de suelos [19].

| Relación entre los sistemas de clasificación<br>AASHTO M-145 y ASTM D-24 |   |
|--|---|
| Clasificación de Suelos<br>según AASHTO M-145                            | Clasificación de Suelos<br>según ASTM D-2487 (SUCS) |
| A-1-a  | GW, GP, GM, SW, SP, SM                              |
| A-1-b  | GM, GP, SM, SP                                      |
| A-2  | GM, GC, SM, SC                                      |
| A-3  | SP  |
| A-4  | CL, ML  |
| A-5  | ML, MH, CH  |
| A-6  | CL, CH  |
| A-7  | OH, MH, CH  |

Tabla 10 Relación entre los sistemas de clasificación  
AASHTO M-145 y ASTM D-24

Nota: Correlación entre clasificación según AASHTO Y SUCS [19].

### Abrasión de los ángeles

Este ensayo es utilizado para hallar la resistencia a la abrasión e impactos de los agregados. Para realizar esta prueba es necesario una muestra de 5.0 kg de agregado, la cual es colocada en un tambor de acero que contiene 6 a 12 bolas de acero (de aproximadamente 430 gr c/u) [18].



Ilustración 10 Máquina para realizar ensayo  
de abrasión de los ángeles [18]

### Ensayo de Proctor modificado

La compactación es un procedimiento básico y muy importante en los proyectos de infraestructura vial, en todo lo que comprende subrasante, subbase y bases granulares, mixtas o finas.

Este proceso consiste en reducir el volumen de vacíos del suelo, mediante la incorporación de agua y la aplicación de energía, permitiendo que las partículas se acomoden y cohesionen mejor, sin embargo, el contenido de humedad es un factor sensible, por ejemplo, un exceso de agua conlleva a una menor densidad debido a que se separa las partículas del suelo.

En el procedimiento de este ensayo se debe distribuir las capas de suelo en manera uniforme y ejecutar la caída del pistón desde una misma altura. [18].

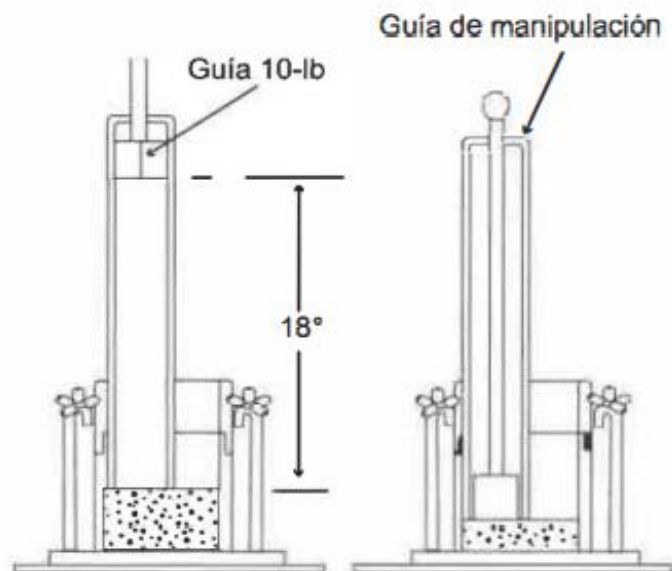


Ilustración 11 Martillo con pistón para ensayo Proctor [18]

Los resultados de este ensayo se representan en una gráfica donde el eje vertical muestra el contenido de agua expresado en porcentaje y el eje horizontal muestra el peso unitario seco expresado en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Luego de iterar con varios contenidos de humedad, mediante la gráfica se puede obtener el óptimo contenido de humedad para la máxima densidad seca [18].

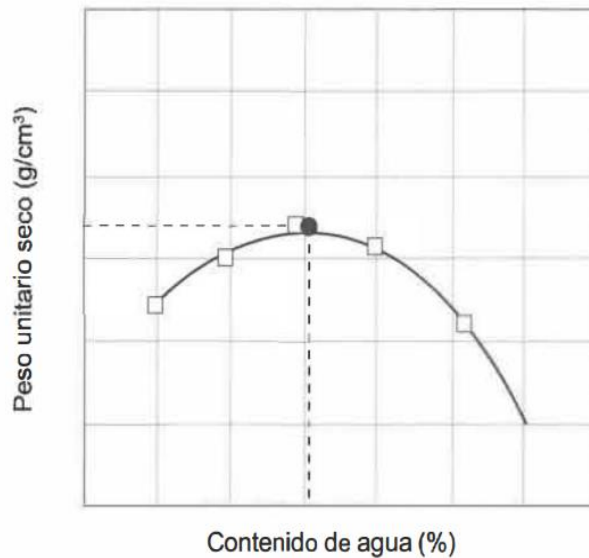


Ilustración 12 Gráfica Peso unitario seco vs contenido de agua [15]

### Ensayo razón de soporte california CBR

Este ensayo CBR fue propuesto en 1928 y se puso a prueba en la división de carreteras del estado de California se utiliza para determinar los espesores de pavimentos, se sigue usando en la actualidad correlacionándolo con el Módulo de resiliencia [23].

Se basa en someter al suelo a una penetración de un vástago cilíndrico a velocidad constante; el suelo compactado es sumergido en agua y durante el proceso de saturación se mide el hinchamiento del suelo conforme se va saturando. El índice de CBR es el resultado obtenido de este ensayo es la relación que existe entre la capacidad de soporte del suelo con respecto a una grava patrón en porcentaje.

Se debe tener en cuenta que el índice de CBR está unido directamente a la densidad seca, Mientras mayor sea el valor de esta, la capacidad de soporte aumentará. Es por ello por lo que se debe garantizar la densidad en obra [23].

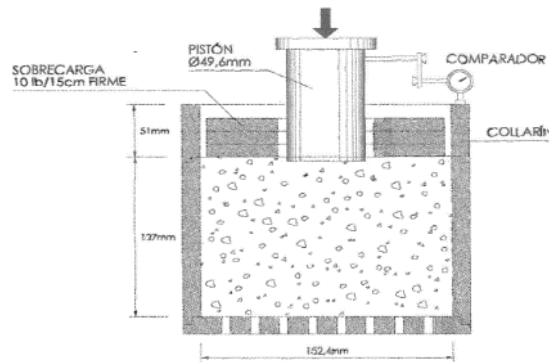


Ilustración 13 Ensayo CBR sobre una muestra de suelo [23]

### **Partículas con caras fracturadas**

Este ensayo tiene como objetivo encontrar el porcentaje de partículas de una muestra que son retenidos en el tamiz 4.57mm y que presenten una o más caras fracturadas, llámese una cara fracturada cuando la partícula presenta el 25% del área esta fracturada [18].

### **Partículas chatas y alargadas**

Este ensayo sirve para identificar la forma de las partículas, estas se consideran chatas y alargadas cuando su relación ancha/espesor o largo/ancho por encima del valor estándar de 3 a 1, 4 a 1 o 5 a 1; siendo este último el más común. Es realizado en una muestra representativa del agregado, a cada una de las partículas y se expresa en porcentaje [18].

### **Penetrómetro de Cono Dinámico o DCP**

Este ensayo sirve para correlacionar directamente la fuerza de un suelo con la resistencia a la penetración de objetos solidos (el cono), se rige bajo la normativa ASTM D 6951; se trata de un ensayo cualitativo el cual ofrece una exploración inicial y también es usado durante el proceso constructivo de vías para controlar la compactación de las capas, algunos resultados se pueden ver afectados por la presencia de fragmentos de piedras o rocas, lo cual elevara el número de golpes, por ello se recomienda tomar el numero adecuado de puntos para una determinada área [18].

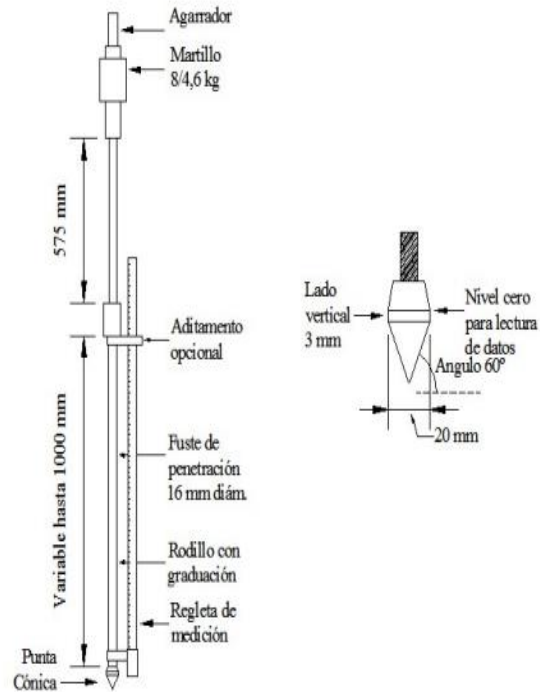


Ilustración 14 Esquema del equipo DCP (ASTM D-6951-03) [18].

### Reciclado de pavimentos asfáltico

Se denomina reciclaje a la reutilización de los pavimentos, cuando estos ya han cumplido con su vida útil o el fin para el cual ha sido diseñado, los materiales extraídos pueden aprovecharse para construir un refuerzo de la misma vía, o en alguna capa de otro pavimento.

La implementación del reciclaje de RAP dio inicio en la década de 1970. Desde esas épocas el reciclado de los materiales ha ido tomando cada vez mayor impulso debido a que los agregados son un recurso no renovable, en la siguiente grafica se puede apreciar el ciclo natural del mercado sostenible del reciclado [18].

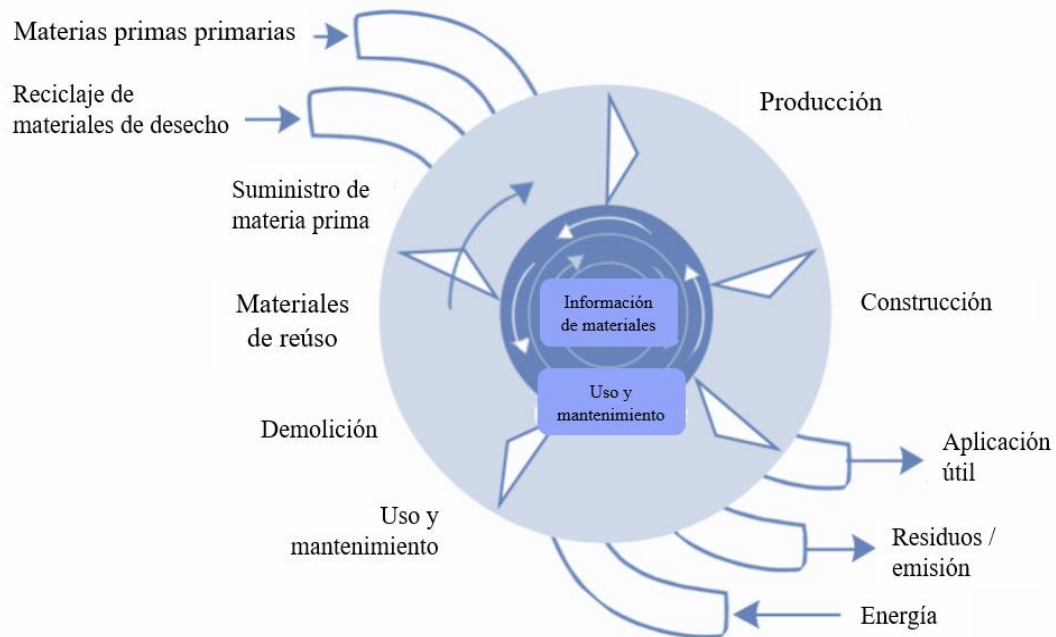


Ilustración 15 Ciclo del mercado sostenible del reciclado [18].

### Técnicas de reciclado

Existen diversas técnicas para el reciclado de pavimentos, cada una se aplicará de acuerdo con el estado actual de la vía; en la siguiente grafica se muestra esta relación. El Reciclado in situ en caliente (HIR) se utiliza cuando las fallas que presenta las vías son superficiales y de poca magnitud. El Reciclado in situ en frío (CIR) cuando la vía se encuentra en un estado donde el tipo de fallas son importantes y destacan las fallas no relacionadas por el peso del tráfico. Finalmente, el reciclado de profundidad total (FDR) es utilizado cuando se tiene como requerimiento ensanchar la vía, o se encuentra con fallas totales [18].

### Pavimento asfáltico recuperado (RAP)

Se denomina pavimento asfáltico recuperado (Rap) a los materiales de pavimento de concreto asfáltico que se trituran mecánicamente y se extraen de las estructuras de carpetas asfálticas de pavimentos flexibles que se encuentran en rehabilitación o mantenimiento. Este material está constituido principalmente por agregados (entre 90% a 95%) con una cantidad limitada de asfalto (entre 5% a 10%) el cual es utilizado como conglomerante para unir el asfalto; el agregado presente en RAP es de un tipo bien clasificado y de alta calidad [25].

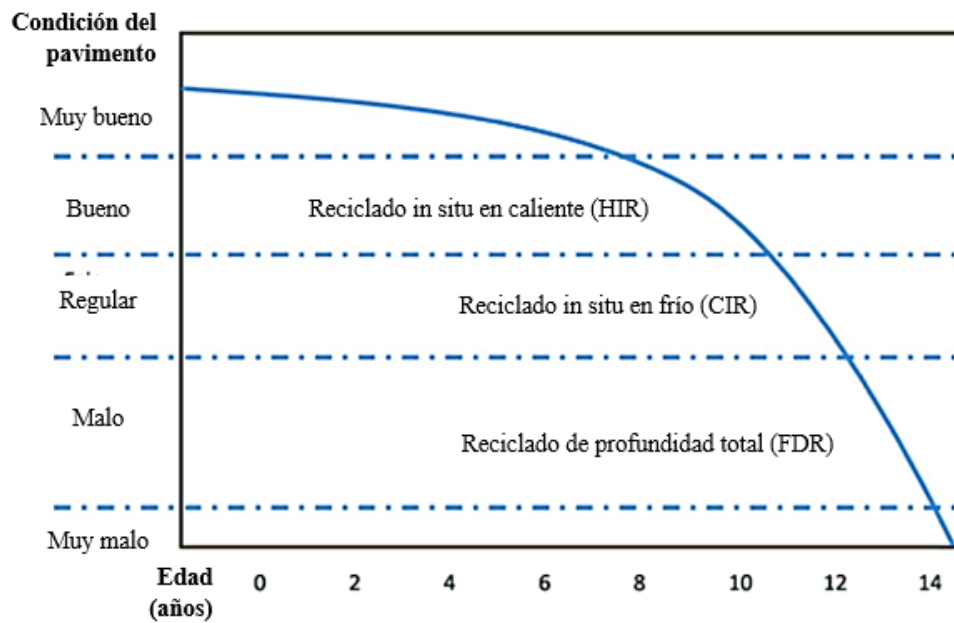


Ilustración 16 Condición del pavimento a lo largo de los años con referencia al tipo de reciclado recomendado [18].

### Evaluación del RAP

El RAP es un producto obtenido de la remoción y fresado de pavimentos asfálticos deteriorados, para ser reutilizados es importante conocer sus características de sus componentes, para así establecer sus limitaciones de los materiales RAP y el rendimiento de las mezclas asfálticas recicladas [26].

En la composición del RAP se puede observar que la distribución del agregado grueso es desordenada, que los vacíos entre agregado grueso y el agregado fino es mayor, que la concentración del contenido de asfalto es variable, y que mientras más pequeña sea la partícula de RAP, el contenido de asfalto aumenta [27].

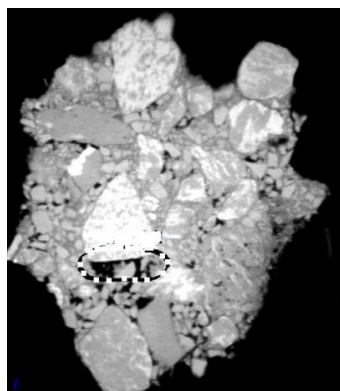


Ilustración 17 Muestra de R.A.P. observada a través de un microscopio [27]

La presencia del asfalto es un factor importante en los materiales de RAP ya que esto los distingue de los agregados vírgenes, se convierte en un factor clave para evaluar el desempeño del RAP [27].

### **Extracción cuantitativa de asfalto**

Determinar el contenido de asfalto en material RAP es importante para poder cuantificar el peso del conglomerante y de los agregados.

La forma más común es la extracción con centrifuga normado por la norma E 502 del MTC; se contempla la extracción del asfalto de RAP con el uso de solventes tales como: tricloroetileno, cloruro de metileno o bromuro de propilo normal. En la siguiente figura se muestra el tazón de extracción que es utilizado en este método [24].



Ilustración 18 Máquina extractora de asfalto [24].

### **Sales Soluble Totales**

Según el MVCS el límite máximo para subbases granulares es de 1.00% y para bases granulares es de 0.50%.

### **Matriz de Leopold**

Este método es el primero que se utilizó en cuanto a evaluaciones de impacto ambiental, desde 1971 en Estados Unidos, pese a la antigüedad es bastante utilizado en la actualidad, Se fundamenta en una matriz la cual contiene acciones en las columnas y factores ambientales en las filas, cuando estas se interceptan muestran posibles impactos o efectos ambientales, se valora la magnitud y la importancia del impacto en una escala de 0 a 10, la suma de las filas nos da como resultado el impacto que produce un factor ambiental y la suma de columnas el impacto que produce una acción.

## Definición de términos básicos

- **Agregados reciclados:** Agregados obtenidos del procesamiento de materiales de construcción reciclados, graduado según las especificaciones de su uso [28].
- **Asfalto:** Material conglomerante, de color oscuro, conformado especialmente por betunes naturales o producidos mediante la refinación del petróleo [28].
- **Base Granular:** Capa que conforma la estructura de un pavimento, conformada por material bien seleccionado que se ubica entre la subbase o subrasante y la carpeta de rodadura [28].
- **Calicatas:** Excavación que se realiza de forma manual y a cielo abierto con el fin de estudiar la estratigrafía del suelo a distintas profundidades [28].
- **Carpeta asfáltica:** Capa que proporciona una superficie uniforme al tránsito, con textura adecuada, diseñada para resistir los efectos abrasivos del tránsito y medio ambiente [21].
- **Compactación:** Proceso manual o mecánico donde se reduce el volumen de vacíos de los suelos, morteros y concretos; en suelos se determina el grado de compactación mediante el ensayo de Proctor estándar o modificado [28].
- **Curva granulométrica:** Representación gráfica de la granulometría, donde se presenta la distribución de los tamaños del agregado; la gráfica consta en las abscisas una escala logarítmica que representa las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan [28].
- **Material de cantera:** Material con características adecuadas para su utilización en las diferentes capas de un pavimento, deben estar cercanas a la obra y contar con los volúmenes requeridos [28].
- **Pavimento flexible:** Pavimento conformado por una capa bituminosa que generalmente está apoyado sobre una base y subbase [17].
- **Pavimento asfáltico recuperado:** Materiales de pavimento de concreto asfáltico que se trituran mecánicamente y se extraen de las estructuras de carpetas asfálticas de pavimentos flexibles que se encuentran en rehabilitación o mantenimiento. Este material está constituido principalmente por agregados (entre 90% a 95%) con una cantidad limitada de asfalto (entre 5% a 10%) [25].

- **Reciclar:** Consiste en brindar un uso adecuado a los residuos sólidos que se producen debido a la actividad humana y obtener de estos una materia prima que se pueda utilizar de forma directa a un ciclo de producción de un producto nuevo [29].
- **Subbase:** Capa que conforma la estructura de un pavimento, conformada por material bien seleccionado que se ubica entre debajo de la base [28].
- **Subrasante:** Es la superficie terminada a nivel de movimientos de tierras (corte o relleno), la cual recibirá a las siguientes capas del pavimento [28].

## **Materiales y métodos**

### **Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis**

#### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación de acuerdo con el objetivo que se busca demostrar es una investigación aplicada, debido a que se pretende conocer y dar solución a un problema específico, mas no se busca un conocimiento de valor universal.

Según los datos analizados y la metodología utilizada para demostrar la hipótesis tiene un carácter cuantitativo y corresponde a un diseño experimental debido a que se manipularán intencionalmente la variable independiente (carpetas asfálticas recicladas) y así analizar la influencia en la variable dependiente (propiedades físicas y mecánicas de la base granular) mediante ensayos de laboratorio y campo.

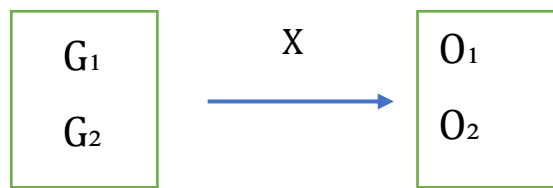
#### **Nivel de investigación**

El nivel de investigación del presente proyecto es correlacional, debido a que tiene como finalidad evaluar el vínculo que presenta la variable independiente (carpetas asfálticas recicladas) con la variable dependiente (propiedades físicas y mecánicas de la base granular).

#### **Diseño de contrastación de hipótesis**

La presente investigación presenta un nivel experimental, debido a que se manipulara la variable independiente para evaluar los efectos que ocasiona en la variable dependiente en una situación de control.

Esta investigación pertenece a un experimento puro, donde existe un grupo de experimental y un grupo de control, mientras que al grupo experimental se le aplicaran los estímulos, al grupo de control no se le aplicara nada, debido a que se comportara como patrón de comparación.



G1: Grupo de control

G2: Grupo experimental

X: Tratamiento, estímulo (Variación de porcentajes de carpetas asfálticas recicladas)

### Población, muestra de estudio y muestreo

#### Población

La población está constituida por calles donde el pavimento se encuentra en mal estado:

| REPORTE DE CALLES |  |   |
|-------------------|--|---|
| Item              | Descripción                                    | Influencia  |
| 1                 | Almirante Grau                                 | Cuadra 1  |
| 2                 | Calle la Mor                                   | Cuadra 1 y 2  |
| 3                 | Calle Pacasmayo                                | Cuadra 1 y 2  |
| 4                 | Calle alamos                                   | Cuadra 1 y 2  |
| 5                 | Calle Tarapaca                                 | Cuadra 1 y 2  |
| 6                 | Calle Vicente de la vega                       | Cuadra 14 y 16  |
| 7                 | Av. Leoncio Prado                              | Cuadra 14   |
| 8                 | Av. Fiscarral                                  | Cuadra 1, 2 y 3   |
| 9                 | Calle Cadiz                                    | Cuadra 1  |
| 10                | Calle Cordova                                  | Cuadra 1  |
| 11                | Calle Barcelona                                | Cuadra 1  |
| 12                | Calle 7 de enero                               | Cuadra 11, 17, 18, 19 y 20                                |
| 13                | Calle Juan Fanny                               | Cuadra 1, 2, 3, 4 y 5                                     |
| 14                | Calle Oriente                                  | Cuadra 1, 2 y 3   |
| 15                | Calle Mariscal Nieto                           | Cuadra 1  |
| 16                | Calle la Florida                               | Cuadra 8 y 9  |
| 17                | Calle los tumbos                               | Cuadra 3, 4, 5 y 6  |
| 18                | AV Victor Raul desde Ormeño hasta Chinchaysuyo | Rehabilitación  |
| 19                | Calle Arizola                                  | intersección con 7 de enero y Garcilazo hasta La Libertad |
| 20                | Calle Tinajones                                | Cuadra 2, 3   |

| <b>REPORTE DE CALLES</b> |                             |  |
|--------------------------|-----------------------------|--|
| <b>Item</b>              | <b>Descripción</b>          | <b>Influencia</b>  |
| 21                       | Calle Diamelas              | Cuadra 3   |
| 22                       | Calle Lora y cordero        | Cuadra 2   |
| 23                       | Calle Angamos               | Cuadra 1   |
| 24                       | Calle Raymondi              | Intersección lora y cordero hasta la av. leguía          |
| 25                       | Calle Bolivar               | Intersección manuel pardo hasta pedro ruiz               |
| 26                       | Calle Manuel Pardo          | Intersección cuglievan hasta angamos                     |
| 27                       | Toda la urb san luis        | Pavimento flexible en mal estado                         |
| 28                       | Av lora y lora              | Intersección de belaunde hasta la av leguia              |
| 29                       | Calle Valdivieso            | Intesección de Belaunde hasta calle treboles             |
| 30                       | Calle Yurimaguas            | Cuadra 1 y 2   |
| 31                       | Calle zafiros               | Cuadra 2   |
| 32                       | Calle luis castilla         |  |
| 33                       | Calle wilder rodriguez      |  |
| 34                       | Calle victor fonseca        |  |
| 35                       | Calle Angel gustavo cornejo |  |
| 36                       | Calle 28 de julio           | Cuadra 1 y 2   |
| 37                       | Av. Luis Gonzales           | Intersección de arica hasta hannel suarez                |
| 38                       | Av. Balta                   | Intersección de manuel pardo hasta arica                 |
| 39                       | Av. Quiñonez                | Intersección de oriente hasta vicente la vega            |
| 40                       | Calle Manco Capac           | Cuadra 4, intersección entre leoncio prado y manco capac |
| 41                       | Calle garenson              | Cuadra 1 y 2   |
| 42                       | Calle Francisco ugaz        | Cuadra 1 y 2   |
| 43                       | Av Leoncio prado            | Cuadra 1 y 2   |
| 44                       | Av Manuel Arteaga           | Intersección desde federico villarreal hasta loreto      |
| 45                       | Calle 8 de octubre          | Cuadra 1   |

Tabla 11 Población-Calles

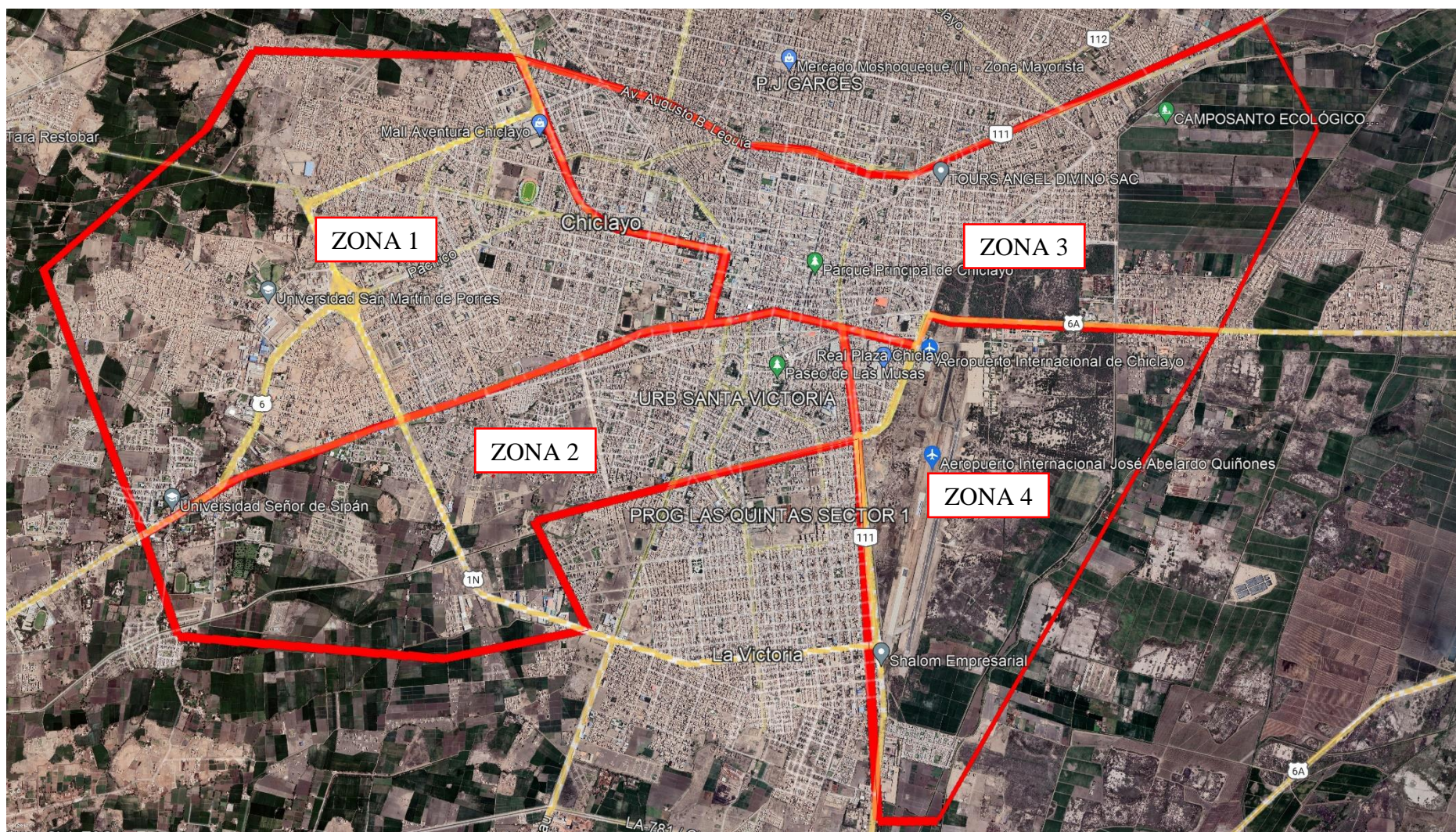


Ilustración 19 Zonas-población-Muestra. Fuente: Google Earth.

## Muestra

La muestra está diseñada para minimizar la varianza de los estimadores de proporción con un nivel de confianza de 95%, una precisión de 0.10 y proporción de éxito de 0.5. Siendo el resultado una muestra de 26 calles, distribuyéndose de la siguiente manera:

| ZONA | # DE CALLES |
|------|-------------|
| 1    | 7           |
| 2    | 7           |
| 3    | 7           |
| 4    | 7           |

Tabla 12 Número de calles para la muestra.

Sin embargo, para la selección de las calles en cada uno de los estratos se empleó el muestreo aleatorio simple. Al considerar que las muestras de carpetas asfálticas se encontraron en la misma condición, solo se considerará la caracterización de tres calles por sector, posteriormente de realizarse los ensayos respectivos se procederá a elegir una muestra por cada sector para realizar las dosificaciones correspondientes.

## Muestreo

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó un muestreo probabilístico debido a que la selección de la muestra depende de la probabilidad.

## Ubicación de cantera

- Cantera



Ilustración 20 Ubicación de la cantera Los Hitos - La Cría. Fuente: Google Earth Pro.

### **Criterios de Selección**

En cuanto a los criterios de selección de las muestras de estudio se tendrá el Manual de Carreteras EG-2013 el cual exige que todo material que se utilice en pavimentos debe tener como máximo un contenido de sales solubles totales de 1% para subbase granular y 0.5% para base granular.

Así mismo otro criterio que se ha tomado en cuenta es que el porcentaje de abrasión de los agregados a utilizarse debe ser menor a 40%.

Para verificar el contenido de asfalto, contenido de sales y porcentaje de abrasión en las CAR se realizaron pre-ensayos en laboratorio de las muestras recolectadas de las calles en mal estado, para así caracterizarlas y determinar que zonas son las que cumplen con los requerimientos antes mencionados.

### **Operalización de variables**

#### **Variables**

##### **Variable independiente:**

- Carpetas asfálticas recicladas.

##### **Variable dependiente:**

- Propiedades físicas y mecánicas de la base granular

##### **Variable interviniente:**

- Contenido de asfalto

| VARIABLES   | TIPO DE VARIABLES         | DIMENSIÓN  | INDICADORES                                 | INSTRUMENTO  | UNIDAD                             |
|---|---------------------------|--|---|--|------------------------------------|
| Carpetas asfálticas recicladas                      | Variable Independiente(X) | Cantidad de carpeta asfáltica reciclada                    | % en peso de carpetas asfálticas recicladas | Balanza electrónica con aproximación de 0.1 g  | Porcentaje(%)                      |
| Propiedades Físicas y mecánicas de la base granular | Variable Dependiente(Y)   | Propiedades físicas  | Granulometria                               | Análisis granulométrico por tamizado para el agregado fino, grueso y agregado global según la MTC E 107. | Porcentaje(%)                      |
|   |                           |  | Limite Liquido                              | Ensayo para determinar limite liquido Malla N° 40 según NTP 339.129 - MTC E 110 - ASTM D4318             | Porcentaje(%)                      |
|   |                           |  | Limite Plástico                             | Ensayo para determinar limite plástico Malla N° 40 según NTP 339.129 - MTC E 111 - ASTM D4318            | Porcentaje(%)                      |
|   |                           |  | Contenido de Humedad                        | Ensayo para determinar el contenido de humedad según NTP 339.127 - MTC E 108 - ASTM D 2216               | Porcentaje(%)                      |
|   |                           |  | Equivalente de arena                        | Ensayo para determinar el equivalente de arena según NTP 339.146 - MTC E 114 - ASTM D 2419               | Porcentaje(%)                      |
|   |                           |  | Partículas chatas y alargadas               | Ensayo para determinar porcentaje de partículas chatas y alargadas ASTM D-4791                           | Porcentaje(%)                      |
|   |                           | Propiedades mecánicas                                      | Abrasión de los Ángeles                     | Ensayo de Abrasión de los angeles según NTP 400.019 - MTC E 207 -ASTM C-131                              | Porcentaje(%)                      |
|   |                           |  | Proctor Modificado                          | Ensayo de compactación (Proctor modificado) según NTP 339.141 -MTC E 115 - ASTM D1557                    | Porcentaje(%)<br>g/cm <sup>3</sup> |
|   |                           |  | California Bearing Ratio(CBR)               | Ensayo para determinar CBR y la expansión en el laboratorio según MTC E 132 - ASTM D1883                 | Porcentaje(%)                      |
| Contenido de asfalto                                | Variable Interviniente    | Contenido de asfalto en las carpetas asfálticas recicladas | % en peso de asfalto                        | Extracción cuantativa de asfalto. MTC E 502  | Porcentaje(%)                      |

Tabla 13 Tabla de operacionalización de variables

## **Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas**

Durante el desarrollo de la investigación se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Observación directa**

Esta técnica se aplicará en la extracción de muestras en cantera, recolección de carpetas asfálticas recicladas y en la realización de ensayos en laboratorio.

- **Análisis de resultados**

Se basa en la interpretación y discusión de los resultados obtenidos de los ensayos, así mismo, como la comparación con la normativa actual vigente.

### **Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizarán durante el proceso de la investigación son guía de observación, con el fin de sintetizar los procesos que se realicen durante los ensayos de laboratorios realizados a las muestras de canteras y las mezclas correspondientes, se consideraran los siguientes:

- Granulometría. (MTC E 107)
- Contenido de Humedad. (MTC E 108)
- Límites de Atterberg. (MTC E 110.111)
- Abrasión Los Ángeles (MTC E 207)
- Equivalente de Arena (MTC E 114)
- Caras Fracturadas (MTC E 210)
- Partículas Chatas y Alargadas (MTC E 221)
- Sales Solubles Totales (MTC E 219)
- Proctor Modificado (MTC E 115)
- CBR en laboratorio (MTC E 132)
- Extracción cuantitativa de asfalto (MTC E502)
- Penetrómetro dinámico de cono (ASTM D 6951)

Los instrumentos de ingeniería que se utilizaran serán todos los equipos y herramientas que estén estipulados en las normativas vigentes para la realización de los ensayos.

### Procesamiento de la información

Todos la información y resultados obtenidos serán procesados en gabinete mediante tablas y gráficos con el software Microsoft Excel para el posterior análisis e interpretación de las propiedades físicas y mecánicas.

### Criterio para la selección de la dosificación de CAR

| CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE LAS DOSIFICACIONES DE CAR |  |                                   |  |  |   |   |   |
|---|--|-----------------------------------|--|--|---|---|---|
| REF   | TÍTULO   | AUTORES                           | PORCENTAJES UTILIZADOS                     | PROCEDIMIENTO  | RESULTADOS  | PORCENTAJE SELECCIONADO   | METODOLOGÍA A EMPLEAR   |
| [12]  | Evaluation of reclaimed asphalt pavement as base/subbase Material in Egypt   | Moussa,E; Sherif E; Abdelhalim A. | 0%,20%,40%,60%,80% y 100%                  | El RAP se recolectó del proceso de rehabilitación de una antigua carretera en la gobernación de Port Said, Egipto. | 20% Para base granulares y 60% para subbases; se evidencia una disminución del CBR con el incremento de RAP | En relación a las investigaciones estudiadas, se logra proponer en la presente investigación porcentajes de 0%,5% y 10% de CAR de 4 sectores de la ciudad para tener una mayor data con respecto a las variaciones según el tipo de CAR | Se recolectarán CAR de pavimentos asfálticos en mal estado o en rehabilitación, luego se triturarán manualmente y se utilizarán en tamaños menores a 3/4" hasta lo retenido en la malla N° 60 |
| [15]  | Carpeta asfáltica reciclada para tratar las propiedades físicas y mecánicas de base granular deteriorada. Huancayo, 2021 | Delgado Y.                        | 20%,25% y 30%                              | Las CAR se obtuvieron mediante extracción de capas de un pavimento deteriorado y se trituraron de forma manual.    | La dosificación óptima es de 25% CAR y 75% Base granular deteriorada, aumentando el CBR en 29.95%           |   |   |
| [31]  | Evaluation of current practices of reclaimed asphalt pavement  | Mcgarrah,EJ.                      | Revisión de literatura 0%,10%,25%,50%,100% | Diversos   | Recomienda limitar el uso de RAP a un 25%   |   |   |
| [32]  | A study on use of reclaimed asphalt pavement(RAP) materials in flexible pavements.                                       | Mshra,B.                          | 0%,10%,20%,30%,40% y 100%                  | El RAP se recolectó de un botadero, se trituró y se tamizó hasta cumplir con la norma MORTH                        | Valores de dosificaciones hasta 30% cumplen con la normativa de ese país                                    |   |   |

Tabla 14 Criterios para la selección de la dosificación de CAR. Fuente: propia

En base a la revisión de literatura [12], [15], [31] y [32], se aprecia que los porcentajes con mejores resultados se obtienen desde 0% hasta 30%, quedando limitado por la normativa de cada lugar de estudio, así mismo [31] nos detalla que existen variaciones debido al tipo de RAP que se use dentro de ellas, están la granulometría y tipo de agregados, contenido de asfalto, grado de humedad y tiempo de exposición al intemperismo.

En conclusión, a lo antes mencionado, en la presente investigación se utilizará porcentajes de 0%, 5% y 10% de CAR dividiendo la ciudad de Chiclayo en 4 sectores y obteniendo una muestra de CAR por cada sector, verificando los cambios.

Con respecto a la metodología se recolectará las CAR de pavimentos en mal estado o pavimentos en rehabilitación, se triturará de manera manual y restringirá su uso a tamaños menores a 3/4" y los retenidos en la malla N° 60 (250 µm)

### Estrategia metodológica para demostración de hipótesis

En la imagen se muestra un diagrama de flujo para la demostración de la hipótesis:

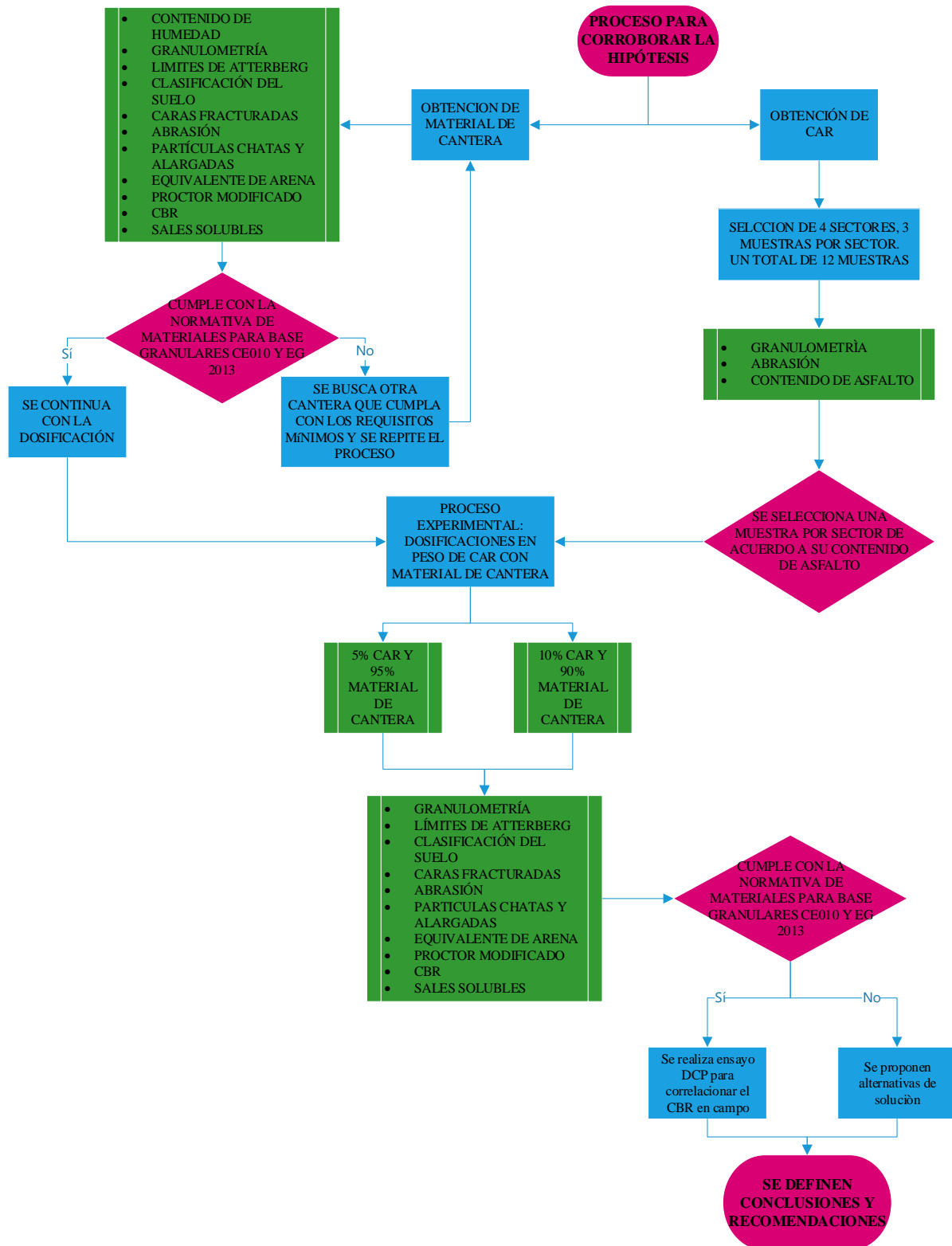


Ilustración 21 Diagrama de flujo para corroborar la hipótesis

## Procedimiento

### Obtención de la muestra

Para dar inicio con el desarrollo de esta investigación, se realizó una visita a cantera (“Los hitos-La cría”) con la finalidad observar las características del material para base granular.

Luego se tomó una muestra representativa de 500 kg de afirmado, almacenándolos en sacos y se trasladaron a un laboratorio de suelos y pavimentos donde se realizaron los ensayos.

Con respecto a la obtención de las muestras de carpetas asfálticas recicladas (CAR) se recolectó 50 kg de cada calle de los siguientes sectores:

#### SECTOR 1:

- Calle Juan Pablo II -Las Brisas
- Calle Manuel Arteaga - Los parques
- Calle Nacionalismo - Las Brisas

#### SECTOR 2:

- Av. Las Américas – Chiclayo
- Calle Los álamos - Santa Victoria
- Calle los tumbos - Santa Victoria

#### SECTOR 3:

- Av. Quiñonez – Campodónico
- Calle Raymondi – Chiclayo
- Calle Tarapacá - Campodónico

#### SECTOR 4:

- Av. Fitzcarrald - Diego Ferre
- Calle 28 de Julio - Diego Ferre
- Vía Auxiliar Víctor Raúl Haya de la Torre- Diego Ferre



Ilustración 22 Recolección de CAR de los 4 sectores

Durante la recolección se tomó como consideración, caracterizar en bloques grandes sin contaminantes. Luego de recolectar las CAR se trasladaron a laboratorio, donde se trituraron manualmente con una comba y se tamizaron con el tamiz 3/4" y el tamiz N° 60.



Ilustración 23 Proceso de trituración y tamizado de CAR de los 4 sectores

Posterior al tamizado se almacenó en sacos para luego realizarle los ensayos correspondientes y sus dosificaciones.

### Ensayo de análisis granulométrico por tamizado

Se realiza el pesado de una muestra representativa que fue obtenida mediante el cuarteo del suelo, luego se lleva al horno durante 24 horas. Después procedemos a hacer un lavado por la malla N° 200 y se lleva al horno por 24 horas. Una vez pasó este tiempo se saca la muestra del horno, se deja enfriar y se pesa, es así como se obtiene el peso lavado y secado al horno. Por último, se tamiza y se pesa la muestra retenida en cada tamiz.



Ilustración 24 Ensayo de análisis granulométrico por tamizado

### Contenido de humedad

La muestra en este caso el material húmedo natural se pesa y así se obtiene el  $W_w$ , que es 5 275 gramos, sin incluir tara. Luego se coloca en el horno durante 24 horas y retirarlo para así obtener el peso seco ( $W_s$ ).

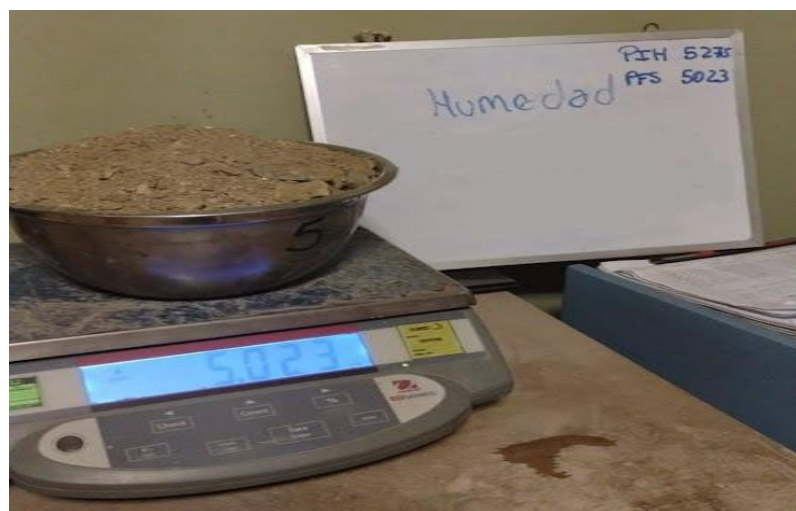


Ilustración 25 Ensayo de Humedad

## Límites de Atterberg

### Límite líquido

Se toma una muestra seca entre 150 a 200 gramos que pase por el tamiz N°40 en un recipiente y añadimos una cantidad de agua destilada, para después mezclarla con una espátula hasta que se homogenice la mezcla, esta mezcla se coloca en la parte central de la copa de Casagrande, se nivela la superficie y con ayuda del acanalador se para por el centro de la copa, para así dividir en dos la muestra de suelo. Posteriormente se suministran los golpes necesarios para cerrar ranura que hizo el acanalador, una vez se logre cerrar la ranura se registra el número de golpes y se toma una muestra de la parte central de la copa de Casagrande. Esta muestra es llevada al horno con la finalidad de determinar el contenido de humedad. Este proceso se repite con 3 muestras más para contar con 4 datos de diferentes porcentajes de contenido de humedad.



Ilustración 26 Ensayo de límites de Atterberg-Límite Líquido

### Límite plástico

Se toma 20 gramos de la muestra que se preparó para el límite líquido, ésta se amasa y se deja reducir la humedad hasta obtener una consistencia en la cual se pueda formar cilindros con los dedos de la mano sobre una superficie lisa. Se toma 1.5 a 2 gramos de la muestra y se hacen cilindros con un diámetro uniforme de 3.2 mm hasta que se agriete o el cilindro se desmorone. Estos cilindros se llevan al horno para determinar el porcentaje de contenido de humedad. Este proceso se repite con una muestra más con una masa mínima de 6 gramos, se hacen 3 o 4 cilindros por muestra.



Ilustración 27 Ensayo de límites de Atterberg-Límite Plástico

### Índice de plasticidad

El índice de plasticidad es la resta del límite líquido con el límite plástico, se usa la siguiente fórmula:

$$IP: LL - LP$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad.

LL: Límite líquido.

LP: Límite plástico.

### Ensayo de abrasión de los ángeles.

Para realizar este ensayo la muestra y las esferas de acero se colocan en la máquina de los ángeles, la cual gira con una velocidad promedio de 30 a 33 revoluciones por minuto, el número de vueltas que debe realizar es de 500. Se debe garantizar que la maquina gire de manera uniforme para mantener la velocidad, cuando se haya llegado al número de

vueltas establecido, de retira el material del cilindro y se separa mediante el tamiz N°

12. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Desgaste: } 100x \frac{P1 - P2}{P1}$$

Donde:

P1: Peso de la muestra seca antes del ensayo.

P2: Peso de la muestra seca después del ensayo, previo lavado de tamiz #12.



Ilustración 28 Ensayo de abrasión de los ángeles.

### **Ensayo de porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso**

Preparación del ensayo:

Se seca la muestra hasta tener una separación entre el material fino y grueso durante el proceso de tamizado. Tamizar la muestra por la malla N° 4 y luego reducir la parte retenida sobre la malla usando un cuarteador hasta el tamaño.

Procedimiento operatorio:

Para verificar si la partícula entra en el criterio de fracturada, tomar la partícula del agregado de manera que la cara sea observada directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca.

Usando una espátula, separar en dos categorías: Partículas fracturadas basadas en tanto si tiene el número requerido de caras fracturadas y Partículas que no reúnen el criterio especificado. Luego determinar la masa o cantidad de partícula en la categoría de partícula fracturada y la

masa de las partículas que no reúnan el criterio, Use la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas a menos que el porcentaje por conteo de partículas sea especificado. Se usó la siguiente fórmula:

$$P = \frac{F}{F + N} \times 100$$

Donde:

P: Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

F: Masa de partículas fracturadas con al menos el número específico de caras fracturadas.

N: Mas de partículas en la categoría de no fracturada o que no entren en el criterio de partículas fracturadas.

| <b>Tamaño Máximo Nominal<br/>Muestra de ensayo mínima<br/>mm (pulg.)</b> | <b>Abertura Cuadrada, mm<br/>(pulg.) Masa, g (aprox. lb.)</b> |
|--|---|
| 9,5 (3/8)  | 200 (0,5)   |
| 12,5 (1/2)   | 500 (1)   |
| 19,0 (3/4)   | 1 500 (3)   |
| 25,0 (1)   | 3 000 (6,5)   |
| 37,5 (1 1/2")  | 7 500 (16,5)  |
| 50,0 (2)   | 15 000 (33)   |
| 63,0 (2 1/2)   | 30 000 (66)   |
| 75,0 (3)   | 60 000 (132)  |
| 90,0 (3 1/2)   | 90 000 ( 198)   |

Tabla 15 Masa de muestra de ensayo de porcentaje de partícula fracturada

### Ensayo de partículas chatas y alargadas

Se prepara la muestra por cuarteo, y el peso se determinará por la siguiente tabla:

Si se determina por peso, secar la muestra al horno y si se determina por número de partículas, no se necesita el secado de la muestra.

| Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm - (pulgada) | Peso mínimo de la muestra de ensayo kg - (lb) |
|---|---|
| 9,5 - (3/8)   | 1 - (2)                                       |
| 12,5 - (1/2)  | 2 - (4)                                       |
| 19,0 - (3/4)  | 5 - (11)                                      |
| 25,0 - (1)  | 10 - (22)                                     |
| 37,5 - (1.1/2)                                      | 15 - (33)                                     |
| 50 - (2)  | 20 - (44)                                     |
| 63 - (2.1/2)  | 35 - (77)                                     |
| 75 - (3)  | 60 - (130)                                    |
| 90 - (3.1/2)  | 100 - (220)                                   |
| 100 - (4)   | 150 - (330)                                   |
| 112 - (4.1/2)                                       | 200 - (440)                                   |
| 125 - (5)   | 300 - (660)                                   |
| 150 - (6)   | 500 - (1100)                                  |

Tabla 16 Peso mínimo de la muestra de partículas chatas y alargadas. Fuente: MTC

Tamizar la muestra, reduzca cada fracción mayor a 9.5 mm o 4.75 mm si es requerido, en un 10% o más de su peso original conforme al MTC 201, aproximadamente 100 partículas.

Ensayar cada partícula de cada fracción medida y colocarla en uno de los 3 grupos: chatas, alargadas, ni chatas ni alargadas.

Con ayuda del calibrador, se decidirá:

Ensayo de partícula chata: se ajusta la abertura entre el brazo mayor y el poste. El ancho de la partícula. La partícula es chata si su espesor pasa por la abertura menor.

Ensayo de partícula alargada: Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho pasa por la abertura menor.

Luego de la clasificación de los grupos de ensayo, se determina la proporción de la muestra por cada grupo, ya sea por conteo o de acuerdo con lo requerido.

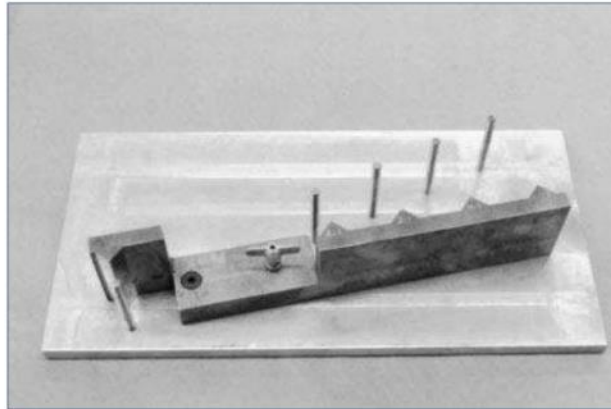


Ilustración 29 Calibrador proporcional para ensayo de partículas chatas y alargadas. Fuente: MTC

### Ensayo de sales solubles totales

Preparación de la muestra:

Se deben ajustar a lo que se indica en la siguiente tabla:

| Agregado Pétreo  | Cantidad mínima (g) | Aforo mínimo (mL) |
|------------------|---------------------|-------------------|
| Grava 50 – 20 mm | 1000                | 500               |
| Grava 20 – 5 mm  | 500                 | 500               |
| Arena 20 mm      | 100                 | 500               |

Tabla 17 Cantidad de muestra para ensayo de sales solubles totales. Fuente: MTC

La muestra se debe secar en el horno y esta será nuestra masa A, luego se coloca la muestra en un vaso de precipitado y se adiciona agua destilada hasta cubrir mínimo unos 3 cm sobre la muestra A y se calienta hasta el punto de ebullición, luego de debe agitar durante 1 minuto. Se debe repetir la agitación hasta llegar a completar 4 agitaciones en un intervalo de 10 minutos.

Dejar decantar mínimo 10 minutos hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos.

En vasos de precipitación se añade 50 ml del líquido transparente, y se lleva al horno por 24 horas, para luego pesar el depósito y tener la diferencia en masa de sales solubles totales.



Ilustración 30 Ensayo de Sales Solubles Totales.

### **Ensayo de Proctor modificado**

Preparación de la muestra:

La masa de la muestra requerida es de acuerdo con el tipo de procedimiento “C”, es de aproximadamente 29 kg. del suelo seco.

Para el Método “C”, se deberá usar un molde de 6” de diámetro, se empleará el material que pase por el tamiz de  $\frac{3}{4}$ ” (19.00 mm), 5 capas de material, 56 golpes por capa, se usa cuando más del 20% del material se retiene en el tamiz de  $\frac{3}{8}$ ” y menos del 30% en peso es retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$ ”.

Procedimiento:

Método de preparación húmeda:

Para este método no se necesita el secado previo de la muestra, se debe pasar a través del tamiz de 19.00 mm ( $\frac{3}{4}$ ”) y se determina el contenido de agua del suelo procesado. Se debe preparar como mínimo cuatro especímenes con distintos contenidos de agua de tal manera que estén cerca al óptimo contenido de humedad. Un espécimen debe quedar cerca al óptimo contenido de humedad y se necesita como mínimo 2 del lado seco y dos especímenes húmedos, debido a que el contenido de humedad puede variar hasta en un 2%. Definiendo así la curva de compactación.

Para la compactación:

- Se deberá anotar la masa del molde y el plato de base.
- Ensamblar y asegurar el molde, el cual se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido.

- Compactar el espécimen en cinco capas, después de la compactación cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Para esto se deberá usar el pistón manual de 2" de diámetro.
- La cantidad total del suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente dentro del collar, pero no excederá ¼" de la parte superior del molde.
- Compactar cada capa con 56 golpes para este procedimiento.
- Aplicar una relación uniforme de 25 golpes por minuto y que esta cubra de forma completa y uniforme la superficie del espécimen.
- Se deberá remover el molde y el collar después de la última capa, el cuchillo deberá usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar.
- Se deberá determinar y registrar la masa del espécimen.
- Remover el material del molde, y obtener un espécimen para determinar el contenido de agua.

### **Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)**

Fase de compactación:

Teniendo el óptimo contenido de humedad y la MDS como resultado del ensayo de Proctor modificado, se usarán 5 kg de muestra por cada molde de CBR, también se halla la humedad natural de la muestra para añadirle la cantidad de agua necesaria.

Se toma registro del peso del molde incluido con su base, luego se coloca el collar y disco espaciador, y sobre este un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Una vez preparado el molde, este se compacta usando en cada molde la proporción de agua y energía requerida para que el suelo llegue a la humedad y densidad deseada. La prueba se efectúa dando 56, 25 y 10 golpes por cada capa y con el óptimo contenido de humedad. Luego se procede a quitar el collar y se enrasa el espécimen, se desmolda y se coloca invertido sin el disco espaciador. Se coloca un papel filtro entre el molde y la base, para finalmente para tomar el peso.

Fase de inmersión:

Se realiza la lectura inicial del hinchamiento ubicando el trípode de medida en los bordes del molde que estamos usando. Luego se procede a sumergir el molde dejando libre el acceso al agua por ambas de la muestra. Se mantiene la muestra bajo estas condiciones durante 96 horas, durante este periodo se registran lecturas del hinchamiento cada 24

horas. Transcurrido las 96 horas se retira la muestra del depósito de agua y se deja drenar por aproximadamente 15 minutos, se retira la sobrecarga y la placa perforada, después se pesa y pasamos a la fase penetración.

Fase de penetración:

Para esta fase se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para que produzca una intensidad de carga igual al peso del pavimento con una aproximación de  $\pm 2.27$  kg, pero no menor de 4.54 kg. Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm por minuto.

Finalmente, se desmonta y se toma una muestra para determinar la humedad donde se hizo la penetración.



Ilustración 31 Procedimiento para ensayo de CBR

### **Penetrómetro de Cono Dinámico o DCP**

Fase de excavación:

Se delimitó ambas áreas de trabajo de 1.20 m x 1.20 m, para luego excavar a una profundidad de 0.30m

Fase de mezclado del material:

Para la muestra de 100% material de cantera solo se realizó la mezcla con el óptimo contenido de humedad de 6.87%, calculando el material para dicha excavación con un factor de compactación de 1.2, obteniendo así 0.52 m<sup>3</sup> de material de cantera y 35.61 litros de agua

Para la muestra de 90% de material de cantera y 10% de CAR y un óptimo contenido de humedad de 4.97%, se realizó la mezcla obteniendo 0.47 m<sup>3</sup> de material de cantera, 0.05 m<sup>3</sup> de CAR y 25.76 litros de agua.

Fase de compactación:

Se compacto el material con una plancha compactadora en capas de 10 cm para ambos casos

Fase de ensayo DCP:

Luego de 48 horas se realizó el ensayo bajo los lineamientos de la ASTM D 6951, realizándose 5 puntos para la combinación y 4 puntos para el material de cantera.



Ilustración 32 Procedimiento para ensayo de Penetrómetro de Cono Dinámico o DCP

### **Tratamiento de la muestra de carpetas asfálticas recicladas (CAR)**

Teniendo las muestras de CAR de cada sector almacenadas en sacos, se procede a extenderlas sobre una superficie limpia.

### **Ensayo para la extracción cuantitativa de asfalto para pavimentos:**

Se prepara la muestra de acuerdo con el ensayo MTC E 501, luego el peso mínimo de la muestra depende del tamaño nominal máximo del agregado Mm, en este caso fue de 3/4" le corresponde 2.0 kg, Se coloca dicha muestra y se le agrega la gasolina y se deja reaccionar por no más de 1 hora, luego se seca y se recoge el extracto excedente y se inicia la centrifugación a un máximo de 3600 rpm, hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe. Luego se realizan los cálculos de acuerdo con la MTC E 502.



Ilustración 33 Procedimiento para la extracción cuantitativa de asfalto

### **Preparación de las muestras con dosificación de CAR**

Después de haber realizado los ensayos mencionados con anterioridad a la muestra de afirmado de la cantera HITOS cumpliendo con lo establecido en la normativa vigente, se decide analizar con dosificaciones de 5% y 10% de CAR.

Por lo tanto, se preparó las muestras con los porcentajes antes mencionados para cada uno de los sectores, teniendo como resultado 50 kg para cada una de las dosificaciones, por consiguiente, para 5% le corresponde 2.5 kg de CAR y para 10% le corresponde 5.0 kg de CAR, la cual fue mezclada buscando distribuir las partículas y cumplir con la gradación establecida para base granular. (Revisar Anexo: Panel fotográfico).

## **Resultados y discusión**

### **Resultados:**

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio de las CAR, material de cantera y las dosificaciones entre ambas.

Cabe mencionar que los ensayos realizados son los requeridos por la norma del MTC, EG-2013 y CE 010 debido a que establecen los requisitos mínimos para bases granulares en pavimentos, los ensayos se han desarrollaron siguiendo los procedimientos indicados en el manual de ensayo de materiales del MTC-2016.

### Ensayo de granulometría por tamizado

En las tablas 18 – 38 se muestran los resultados de los porcentajes que pasan por cada uno de los tamices, para clasificarlo según el tipo de base granular de acuerdo con las distribuciones granulométricas establecidas.

### Material de cantera – Hitos la Cría

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 97.8       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 92.5       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 72.6       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 62.8       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 52.6       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 49.3       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 41.8       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 32.0       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 19.8       | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 16.9       | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 7.7        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 3.6        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 18 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en material de cantera.

**Carpeta Asfáltica Reciclada (100%)**

• SECTOR 1

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 1     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.00     |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.00     | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.00     | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 98.77      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 96.33      | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 79.36      | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 64.35      | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 61.67      | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 54.19      | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 33.66      | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 20.80      | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 10.65      | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 9.42       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 4.73       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 4.23       | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI        | NO        | NO        | NO        |

Tabla 19 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 01 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 2     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 94.4       | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 86.5       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 76.1       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 66.2       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 61.5       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 54.0       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 43.1       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 30.3       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 18.2       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 17.0       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 12.3       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 10.1       | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | SI        | NO        | NO        |

Tabla 20 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 01 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 3     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 94.0       | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 89.8       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 79.5       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 70.4       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 64.4       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 55.0       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 42.3       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 30.6       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 18.2       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 16.5       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 11.9       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 9.1        | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | SI        | NO        | NO        |

Tabla 21 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 01 de CAR

• SECTOR 2

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 4     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 95.7       | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 90.6       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 70.3       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 57.0       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 48.6       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 42.6       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 33.3       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 24.3       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 13.4       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 11.3       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 6.9        | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 5.2        | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI        | NO        | NO        | NO        |

Tabla 22 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 02 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 5     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 96.3       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 90.3       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 83.8       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 81.1       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 78.9       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 62.5       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 47.4       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 26.5       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 24.8       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 20.6       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 13.2       | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | NO        | NO        | SI        |

Tabla 24 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 02 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 6     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 96.3       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 89.9       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 82.9       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 75.6       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 59.8       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 43.0       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 26.3       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 16.2       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 14.2       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 9.5        | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 7.4        | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | NO        | SI        | NO        |

Tabla 23 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 02 de CAR

• **SECTOR 3**

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 7     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 98.8       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 91.2       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 82.9       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 79.9       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 78.8       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 63.4       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 49.6       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 29.7       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 25.1       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 19.6       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 14.7       | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | NO        | NO        | SI        |

Tabla 25 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 03 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 8     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 98.3       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 89.4       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 80.1       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 77.1       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 75.9       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 59.2       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 43.8       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 28.8       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 24.2       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 18.1       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 13.6       | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | NO        | NO        | SI        |

Tabla 26 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 03 de CAR.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 9     |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 95.4       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 81.6       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 70.9       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 65.2       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 59.7       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 44.6       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 30.8       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 15.7       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 12.7       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 8.4        | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 6.8        | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | NO        | SI        | NO        |

Tabla 27 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 03 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 10    |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 91.5       | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 81.1       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 68.7       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 59.8       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 54.3       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 49.2       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 38.8       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 31.7       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 25.8       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 21.7       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 17.4       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 12.9       | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | SI        | NO        | NO        |

Tabla 28 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 del sector 04 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 11    |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 98.0       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 89.1       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 78.3       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 70.7       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 62.3       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 45.1       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 30.9       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 16.0       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 12.7       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 9.0        | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 7.5        | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | NO        | SI        | NO        |

Tabla 29 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 02 del sector 04 de CAR

| TAMICES   |        | % QUE PASA | CAR 12    |           |           |           |
|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A         | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |           |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100 | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 92.5       | -         | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 82.1       | -         | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 72.7       | -         | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 64.3       | -         | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 57.9       | 30 - 65   | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 55.2       | -         | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 53.3       | 25 - 55   | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 40.1       | 15 - 40   | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 25.7       | -         | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 16.8       | 8 - 20    | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 14.9       | -         | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 10.9       | -         | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 9.3        | 2 - 8     | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO        | SI        | NO        | NO        |

Tabla 30 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 03 del sector 04 de CAR

**Muestra 01 (5%CAR y 95% material de cantera)**

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 97.9       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 91.9       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 71.1       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 56.6       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 50.6       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 46.9       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 39.6       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 29.9       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 18.1       | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 15.5       | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 9.0        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 4.9        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO            | SI        | NO        | NO        |

Tabla 31 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 01.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 95.5       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 69.9       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 53.4       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 28.2       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 25.5       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 20.9       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 14.9       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 9.5        | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 8.2        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 4.6        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 3.9        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 32 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 02.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 94.3       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 91.0       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 66.2       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 51.5       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 30.6       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 27.9       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 21.7       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 15.5       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 10.3       | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 9.3        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 6.2        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 3.9        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 33 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en el sector 03.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 94.1       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 90.8       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 65.9       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 51.7       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 30.7       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 27.9       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 22.0       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 16.0       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 9.2        | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 8.5        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 4.8        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 2.2        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 34 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de antera en el sector 04.

**Muestra 02 (10% CAR y 90% Material de cantera)**

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 95.7       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 90.0       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 66.6       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 53.7       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 44.4       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 40.1       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 31.3       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 21.7       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 12.0       | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 9.4        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 8.5        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 5.5        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | NO            | SI        | NO        | NO        |

Tabla 35 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 01.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 100.0      | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 99.4       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 65.8       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 49.3       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 28.2       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 26.3       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 20.6       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 14.5       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 8.1        | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 6.5        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 4.9        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 3.7        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 36 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 02.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 91.9       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 86.4       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 64.9       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 48.5       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 29.0       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 26.3       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 19.7       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 13.2       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 8.1        | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 6.5        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 3.8        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 2.2        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 37 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 03.

| TAMICES   |        | % QUE PASA | BASE GRANULAR |           |           |           |
|-----------|--------|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| (Pul)     | (mm)   |            | A             | B         | C         | D         |
| 3"        | 75.000 | 100.0      |               |           |           |           |
| 2"        | 50.000 | 100.0      | 100 - 100     | 100 - 100 |           |           |
| 1 1/2"    | 37.500 | 100.0      | -             | -         |           |           |
| 1"        | 25.000 | 94.4       | -             | 75 - 95   | 100 - 100 | 100 - 100 |
| 3/4"      | 19.000 | 90.9       | -             | -         | -         | -         |
| 1/2"      | 12.500 | 64.9       | -             | -         | -         | -         |
| 3/8"      | 9.500  | 47.7       | 30 - 65       | 40 - 75   | 50 - 85   | 60 - 100  |
| 1/4"      | 6.300  | 27.5       | -             | -         | -         | -         |
| Nº4       | 4.750  | 25.4       | 25 - 55       | 30 - 60   | 35 - 65   | 50 - 85   |
| Nº10      | 2.000  | 20.3       | 15 - 40       | 20 - 45   | 25 - 50   | 40 - 70   |
| Nº20      | 0.850  | 14.6       | -             | -         | -         | -         |
| Nº40      | 0.425  | 9.8        | 8 - 20        | 15 - 30   | 15 - 30   | 25 - 45   |
| Nº50      | 0.300  | 7.9        | -             | -         | -         | -         |
| Nº100     | 0.150  | 5.5        | -             | -         | -         | -         |
| Nº200     | 0.075  | 3.5        | 2 - 8         | 5 - 15    | 5 - 15    | 8 - 15    |
| CONDICIÓN |        |            | SI            | NO        | NO        | NO        |

Tabla 38 Resultados para el ensayo de análisis granulométrico por tamizado en muestra 01 con 10% CAR y 90% material de cantera en el sector 04.

### Ensayo de límites de Atterberg

A continuación, en las tablas 39 y 40, se muestran los resultados de los límites de atterberg que se realizó al material de cantera y en los 4 sectores con 5% CAR y 95% material de cantera y 10% CAR y 90% material de cantera.

| ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG PARA MUESTRA CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE CANTERA |              |                |                 |                       |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|
|  | DESCRIPCIÓN  | LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
| MUESTRA 01   | SECTOR 01    | 20%            | 16%             | 4%                    |
|  | SECTOR 02    | 19%            | 15%             | 4%                    |
|  | SECTOR 03    | 19%            | 16%             | 3%                    |
|  | SECTOR 04    | 20%            | 16%             | 4%                    |
|  | MAT. CANTERA | 24%            | 21%             | 3%                    |

Tabla 39 Resultados de límites de Atterberg para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera

| ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG PARA MUESTRA CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA |              |                |                 |                       |
|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|
|   | DESCRIPCIÓN  | LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
| MUESTRA 02  | SECTOR 01    | 21%            | 17%             | 4%                    |
|   | SECTOR 02    | 20%            | 17%             | 3%                    |
|   | SECTOR 03    | 20%            | 16%             | 4%                    |
|   | SECTOR 04    | 20%            | 16%             | 4%                    |
|   | MAT. CANTERA | 24%            | 21%             | 3%                    |

Tabla 40 Resultados de límites de Atterberg para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera.

### Clasificación SUCS Y AASHTO

En las tablas 41 y 42 se muestra la clasificación que se realizó al material de cantera y en los 4 sectores con 5% CAR y 95% material de cantera y 10% CAR y 90% material de cantera.

| CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO |              |                    |                      |
|-----------------------------|--------------|--------------------|----------------------|
| MUESTRA                     | DESCRIPCIÓN  | CLASIFICACIÓN SUCS | CLASIFICACIÓN AASHTO |
| MUESTRA 01                  | SECTOR 01    | GP                 | A-1 -a(0)            |
|                             | SECTOR 02    | GP                 | A-1 -a(0)            |
|                             | SECTOR 03    | GW                 | A-1 -a(0)            |
|                             | SECTOR 04    | GP                 | A-1 -a(0)            |
|                             | MAT. CANTERA | GP                 | A-1 -a(0)            |

Tabla 41 Resultados de clasificación SUCS Y AASHTO

| CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO |              |                    |                      |
|-----------------------------|--------------|--------------------|----------------------|
| MUESTRA                     | DESCRIPCIÓN  | CLASIFICACIÓN SUCS | CLASIFICACIÓN AASHTO |
| MUESTRA<br>02               | SECTOR 01    | GP-GC              | A-1 -a(0)            |
|                             | SECTOR 02    | GP                 | A-1 -a(0)            |
|                             | SECTOR 03    | GP                 | A-1 -a(0)            |
|                             | SECTOR 04    | GP                 | A-1 -a(0)            |
|                             | MAT. CANTERA | GP                 | A-1 -a(0)            |

Tabla 42 Resultados de clasificación SUCS Y AASHTO

### Ensayo de abrasión de los ángeles

En la tabla 43 se muestra los resultados del ensayo abrasión de los ángeles a las 12 muestras de carpetas asfálticas para su caracterización.

| ABRACION DE LOS ANGELES |         |              |
|-------------------------|---------|--------------|
|                         | MUESTRA | % PORCENTAJE |
| SECTOR 1                | M-1     | 38.40%       |
|                         | M-2     | 34.30%       |
|                         | M-3     | 35.20%       |
| SECTOR 2                | M-1     | 33.90%       |
|                         | M-2     | 36.00%       |
|                         | M-3     | 33.00%       |
| SECTOR 3                | M-1     | 34.10%       |
|                         | M-2     | 35.70%       |
|                         | M-3     | 37.60%       |
| SECTOR 4                | M-1     | 34.60%       |
|                         | M-2     | 34.80%       |
|                         | M-3     | 33.70%       |

Tabla 43 Resultado de abrasión de los ángeles para los sectores 1, 2, 3 y 4 CAR 100%

En la tabla 44 y 45 se muestran los resultados del ensayo abrasión de los ángeles que se realizó en los 4 sectores con 5% CAR y 95% material de cantera y 10% CAR y 90% material de cantera.

| ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ANGELES PARA MUESTRA CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE CANTERA |              |              |
|---|--------------|--------------|
|   | DESCRIPCIÓN  | % PORCENTAJE |
| MUESTRA<br>01   | SECTOR 01    | 36,70%       |
|   | SECTOR 02    | 37,00%       |
|   | SECTOR 03    | 36,90%       |
|   | SECTOR 04    | 36,50%       |
|   | MAT. CANTERA | 32,20%       |

Tabla 44 Resultado de abrasión de los ángeles para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera.

| ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ANGELES PARA MUESTRA<br>CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA |              |              |
|---|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN   |              | % PORCENTAJE |
| MUESTRA<br>02   | SECTOR 01    | 37,00%       |
|   | SECTOR 02    | 37,50%       |
|   | SECTOR 03    | 37,30%       |
|   | SECTOR 04    | 37,20%       |
|   | MAT. CANTERA | 32,20%       |

Tabla 45 Resultado de abrasión de los ángeles para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera.

### Ensayo de equivalente de arena

En la tabla 46 y 47 se muestran los resultados del ensayo equivalente de arena que se realizó en los 4 sectores con 5% CAR y 95% material de cantera y 10% CAR y 90% material de cantera.

| ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA PARA MUESTRA<br>CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE CANTERA |              |              |
|---|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN   |              | % PORCENTAJE |
| MUESTRA 01  | SECTOR 01    | 37%          |
|   | SECTOR 02    | 36%          |
|   | SECTOR 03    | 36%          |
|   | SECTOR 04    | 38%          |
|   | MAT. CANTERA | 35%          |

Tabla 46 Resultados de ensayo de equivalente de arena para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera.

| ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA PARA MUESTRA<br>CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA |              |              |
|--|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN  |              | % PORCENTAJE |
| MUESTRA 02   | SECTOR 01    | 40%          |
|  | SECTOR 02    | 39%          |
|  | SECTOR 03    | 39%          |
|  | SECTOR 04    | 40%          |
|  | MAT. CANTERA | 35%          |

Tabla 47 Resultados de ensayo de equivalente de arena para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 10% CAR y 90% Material de cantera.

### Ensayo de caras fracturadas

En la tabla 48 y 49 se muestran los resultados del ensayo de caras fracturadas que se realizó en los 4 sectores con 5% CAR y 95% material de cantera y 10% CAR y 90% material de cantera.

| ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS PARA MUESTRA CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE CANTERA |              |                        |                        |
|---|--------------|------------------------|------------------------|
| DESCRIPCIÓN   |              | % DE 1 CARA FRACTURADA | % DE 2 CARA FRACTURADA |
| MUESTRA 01  | SECTOR 01    | 81.20%                 | 72.10%                 |
|   | SECTOR 02    | 81.40%                 | 69.60%                 |
|   | SECTOR 03    | 83.00%                 | 77.40%                 |
|   | SECTOR 04    | 81.00%                 | 72.80%                 |
|   | MAT. CANTERA | 81.10%                 | 69.60%                 |

Tabla 48 Resultados para ensayo de caras fracturadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera.

| ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS PARA MUESTRA CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA |              |                        |                        |
|--|--------------|------------------------|------------------------|
| DESCRIPCIÓN  |              | % DE 1 CARA FRACTURADA | % DE 2 CARA FRACTURADA |
| MUESTRA 02   | SECTOR 01    | 84.00%                 | 77.80%                 |
|  | SECTOR 02    | 84.50%                 | 77.70%                 |
|  | SECTOR 03    | 85.90%                 | 73.20%                 |
|  | SECTOR 04    | 87.10%                 | 73.40%                 |
|  | MAT. CANTERA | 81.10%                 | 69.60%                 |

Tabla 49 Resultados para ensayo de caras fracturadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera.

### Ensayo de partículas chatas y alargadas

En la tabla 50 y 51 se muestran los resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas que se realizó en los 4 sectores con 5% CAR y 95% material de cantera y 10% CAR y 90% material de cantera.

| ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS PARA MUESTRA CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE CANTERA |              |              |
|---|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN   |              | % PORCENTAJE |
| MUESTRA 01  | SECTOR 01    | 19.90%       |
|   | SECTOR 02    | 23.40%       |
|   | SECTOR 03    | 23.50%       |
|   | SECTOR 04    | 23.70%       |
|   | MAT. CANTERA | 18.40%       |

Tabla 50 Resultados para ensayo de partículas chatas y alargadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 01 con 5% CAR y 95% Material de cantera

| ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS PARA MUESTRA CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA |              |              |
|--|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN  |              | % PORCENTAJE |
| MUESTRA 02   | SECTOR 01    | 18.10%       |
|  | SECTOR 02    | 21.40%       |
|  | SECTOR 03    | 21.20%       |
|  | SECTOR 04    | 25.40%       |
|  | MAT. CANTERA | 18.40%       |

Tabla 51 Resultados para ensayo de partículas chatas y alargadas para los sectores 1, 2, 3 y 4 para muestra 02 con 10% CAR y 90% Material de cantera

### Ensayo de sales solubles totales

En la tabla 52 se muestran los resultados de la concentración en PPM, así mismo expresado en porcentaje de sales solubles, cloruros y sulfatos.

|                             | ENSAYO DE SALES SOLUBLES-CLORUROS Y SULFATOS |       |                         |       |
|-----------------------------|--|-------|-------------------------|-------|
|                             | MUESTRA 02 - SECTOR 04                       |       | MUESTRA CANTERA - HITOS |       |
|                             | PPM  | %     | PPM                     | %     |
| SALES SOLUBLES              | 2667   | 0,27% | 2333                    | 0,23% |
| CLORUROS (CL)               | 99   | 0,01% | 109                     | 0,01% |
| SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) | 60   | 0,01% | 66                      | 0,01% |

Tabla 52 Resultados para ensayo de sales solubles totales en el sector 04 para muestra 02 con 10% CAR y 90 Material de cantera, y material de cantera Hitos – La cría.

### Ensayo de Proctor modificado

En las tablas 53 y 54, se muestran los resultados del ensayo Proctor Modificado, donde se evalúan los parámetros de densidad máxima seca y el óptimo contenido de humedad para cada una de las muestras y sectores.

| 5% CAR Y 95% MATERIAL DE CANTERA. |              | ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO              |                                 |
|-----------------------------------|--------------|---|---------------------------------|
|                                   |              | DENSIDAD MÁXIMA SECA (g/cm <sup>3</sup> ) | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) |
| MUESTRA 01                        | SECTOR 01    | 2.143                                     | 4.38%                           |
|                                   | SECTOR 02    | 2.239                                     | 5.07%                           |
|                                   | SECTOR 03    | 2.149                                     | 4.90%                           |
|                                   | SECTOR 04    | 2.136                                     | 5.26%                           |
|                                   | MAT. CANTERA | 2.278                                     | 6.87%                           |

Tabla 53 Resultados de Ensayo Proctor modificado en muestra 01 con 5% CAR y 95% material de cantera en los sectores 1, 2, 3, 4 y en cantera Hitos.

| 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA. |              | ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO              |                                 |
|------------------------------------|--------------|---|---------------------------------|
|                                    |              | DENSIDAD MÁXIMA SECA (g/cm <sup>3</sup> ) | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) |
| MUESTRA 02                         | SECTOR 01    | 2.169                                     | 5.09%                           |
|                                    | SECTOR 02    | 2.197                                     | 4.92%                           |
|                                    | SECTOR 03    | 2.133                                     | 4.87%                           |
|                                    | SECTOR 04    | 2.182                                     | 4.97%                           |
|                                    | MAT. CANTERA | 2.278                                     | 6.87%                           |

Tabla 54 Resultados de Ensayo Proctor modificado en muestra 02 con 10% CAR y 90% material de cantera en los sectores 1, 2, 3, 4 y en cantera Hitos.

### Ensayo de Relación californiana de soporte, CBR

En la tabla 55 y 56 se muestran los resultados de los ensayos CBR de los 4 sectores, para cada una de las muestras, CBR al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1”

| 5% DE CAR Y 95% DE MATERIAL DE CANTERA |                                       |   |                    |                        |                         |
|--|---------------------------------------|---|--------------------|------------------------|-------------------------|
| SECTOR                                 | DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> ) | DENSIDAD MÁXIMA 95% (gr/cm <sup>3</sup> ) | HUMEDAD ÓPTIMA (%) | CBR 0.1" 95% m.d.s (%) | CBR 0.1" 100% m.d.s (%) |
| 1                                      | 2,143                                 | 2,036                                     | 4,38%              | 84,80%                 | 119,70%                 |
| 2                                      | 2,239                                 | 2,127                                     | 5,07%              | 83,40%                 | 118,20%                 |
| 3                                      | 2,149                                 | 2,042                                     | 4,90%              | 82,70%                 | 112,70%                 |
| 4                                      | 2,136                                 | 2,029                                     | 5,26%              | 84,90%                 | 122,30%                 |
| M.Cantera                              | 2,278                                 | 2,164                                     | 6,87%              | 83,00%                 | 110,70%                 |

Tabla 55 Resultados de ensayo CBR para muestra con 5% de CAR y 95% de material de cantera.

| 10% DE CAR Y 90% DE MATERIAL DE CANTERA |                                       |   |                    |                        |                         |
|---|---------------------------------------|---|--------------------|------------------------|-------------------------|
| SECTOR                                  | DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> ) | DENSIDAD MÁXIMA 95% (gr/cm <sup>3</sup> ) | HUMEDAD ÓPTIMA (%) | CBR 0.1" 95% m.d.s (%) | CBR 0.1" 100% m.d.s (%) |
| 1                                       | 2,169                                 | 2,061                                     | 5,09%              | 89,50%                 | 124,20%                 |
| 2                                       | 2,197                                 | 2,087                                     | 4,92%              | 90,10%                 | 130,00%                 |
| 3                                       | 2,133                                 | 2,026                                     | 4,87%              | 89,10%                 | 125,60%                 |
| 4                                       | 2,182                                 | 2,073                                     | 4,97%              | 96,40%                 | 137,50%                 |
| M.Cantera                               | 2,278                                 | 2,164                                     | 6,87%              | 83,00%                 | 110,70%                 |

Tabla 56 Resultados de ensayo CBR para muestra con 10% de CAR y 90% de material de cantera.

### Ensayo Penetrómetro dinámico de cono, DCP

En la tabla 57 se muestran los resultados del ensayo DCP para la muestra patrón y la combinación de 90% material de cantera +10% de CAR, con su correlación respectiva CBR en campo.

|       | COMBINACION DE 90% MATERIAL DE CANTERA + 10% CAR |                       |                      |        | 100 % MATERIAL DE CANTERA |                       |                      |        |
|-------|--|-----------------------|----------------------|--------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------|
|       | Nº DE GOLPES                                     | Penetracion acumulada | Indice PDC(mm/golpe) | CBR(%) | Nº DE GOLPES              | Penetracion acumulada | Indice PDC(mm/golpe) | CBR(%) |
| DCP 1 | 49   | 100                   | 2,0                  | 131,34 | 42                        | 100                   | 2,4                  | 110,52 |
|       | 47   | 100                   | 2,1                  | 125,35 | 43                        | 100                   | 2,3                  | 113,47 |
|       | 52   | 100                   | 1,9                  | 140,38 | 45                        | 100                   | 2,2                  | 119,39 |
| DCP 2 | 48   | 100                   | 2,1                  | 128,34 | 44                        | 100                   | 2,3                  | 116,43 |
|       | 46   | 100                   | 2,2                  | 122,37 | 39                        | 100                   | 2,6                  | 101,71 |
|       | 47   | 100                   | 2,1                  | 125,35 | 42                        | 100                   | 2,4                  | 110,52 |
| DCP 3 | 51   | 100                   | 2,0                  | 137,36 | 42                        | 100                   | 2,4                  | 110,52 |
|       | 49   | 100                   | 2,0                  | 131,34 | 45                        | 100                   | 2,2                  | 119,39 |
|       | 50   | 100                   | 2,0                  | 134,35 | 41                        | 100                   | 2,4                  | 107,57 |
| DCP 4 | 54   | 100                   | 1,9                  | 146,44 | 42                        | 100                   | 2,4                  | 110,52 |
|       | 57   | 100                   | 1,8                  | 155,58 | 46                        | 100                   | 2,2                  | 122,37 |
|       | 51   | 100                   | 2,0                  | 137,36 | 39                        | 100                   | 2,6                  | 101,71 |
| DCP 5 | 51   | 100                   | 2,0                  | 137,36 | -                         | -                     | -                    | -      |
|       | 54   | 100                   | 1,9                  | 146,44 | -                         | -                     | -                    | -      |
|       | 50   | 100                   | 2,0                  | 134,35 | -                         | -                     | -                    | -      |
|       |  |                       | PROM                 | 135,58 |                           |                       | PROM                 | 112,01 |

Tabla 57 Resultados de ensayo DCP.

### Ensayo de densidad en campo mediante el cono de arena

En la tabla 58 se muestra los resultados del ensayo de densidad de campo mediante el cono de arena para determinar el grado de compactación del material en campo.

| DATO                           | MUESTRA | 100 % MATERIAL DE CANTERA |       | COMBINACION DE 90% MATERIAL DE CANTERA + 10% CAR |       |
|--------------------------------|---------|---------------------------|-------|--|-------|
|                                |         | D-01                      | D-02  | D-03   | D-04  |
| Optimo contenido de humedad    |         | 6,87%                     | 6,87% | 4,97%  | 4,97% |
| Humedad en campo               |         | 7,00%                     | 7,00% | 5,00%  | 5,00% |
| Maxima densidad seca (gr/cm3)  |         | 2,07                      | 2,07  | 2,16   | 2,16  |
| Densidad natural seca (gr/cm3) |         | 2,142                     | 2,062 | 2,28   | 2,315 |
| Grado de compactación          |         | 103%                      | 100%  | 106%   | 107%  |

Tabla 58 Resultados de ensayo de densidad de campo mediante el cono de arena.

### Ensayo de extracción cuantitativa de asfalto

En la tabla 59 se muestra los resultados de la extracción cuantitativa de asfalto para cada una de las muestras de carpetas asfálticas obtenidas de cada sector, se eligió el contenido más alto de cada sector, para evaluar cómo afecta este contenido en la adherencia de los agregados.

| CARPETA ASFÁLTICA | % Contenido de Asfalto |
|-------------------|------------------------|
| 1                 | 9.92                   |
| 2                 | 8.82                   |
| 3                 | 9.18                   |
| 4                 | 8.95                   |
| 5                 | 9.26                   |
| 6                 | 9.12                   |
| 7                 | 9.35                   |
| 8                 | 8.95                   |
| 9                 | 9.19                   |
| 10                | 10.21                  |
| 11                | 9.15                   |
| 12                | 8.27                   |

Tabla 59 Resultados del ensayo de extracción cuantitativa de asfalto.

### Discusión

#### Granulometría por tamizado

Base granular y Mezclas de CAR con material de cantera

En este ensayo lo que se busca es clasificar a un suelo, según el diámetro de sus partículas que pasan por un conjunto de tamices, como se observa en el gráfico 2 la muestra de base procedente de la cantera La Cría tiene 51% de grava, 46% de arena y 4% de limos y arcillas, los cuales varían con la adición de CAR triturada siendo M01 adición al 5% y M02 adición al 10%, aumentando el porcentaje de gravas y disminuyendo el porcentaje de arenas y finos, resultando con mayor variación la muestra de cantera con la adición de 10% de CAR del sector 4 con valores de 75% grava, 22% arena y 3% limos y arcillas.

[23] refiere que es una de las principales propiedades de un suelo o base en general, debido a que se caracteriza por el tamaño de sus partículas, en la ingeniería de vías, este ensayo es necesario para cuantificar la proporción respecto a cada tamaño del suelo.

Según [22] y [30] las distribuciones granulométricas obtenidas se encuentran dentro de los requerimientos granulométricos para una base granular.

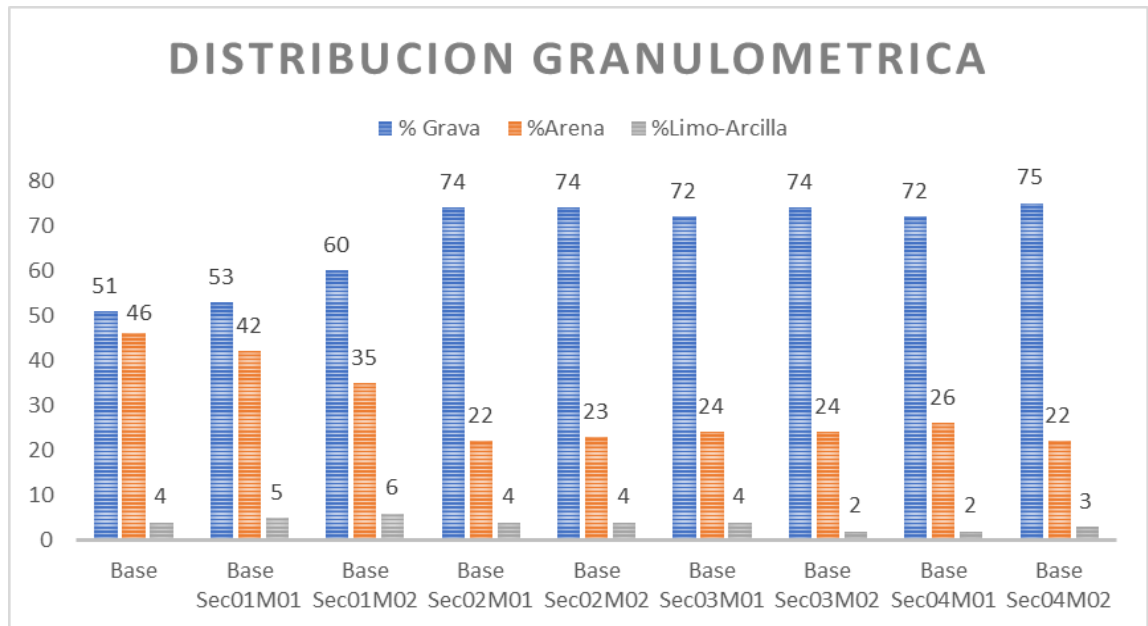


Gráfico 2 Porcentajes de gravas, arenas y arcillas de la Base Granular

### Carpeta asfáltica reciclada (CAR)

Como se puede apreciar en el gráfico 3, para un triturado manual de las CAR se tiene una gran variación entre los porcentajes de Gravas y arenas, para cada uno de los sectores, teniendo en total 12 muestras, para el análisis de las combinaciones y demás ensayo se empleó material pasante del tamiz 3/4" hasta lo retenido en el tamiz N° 60.

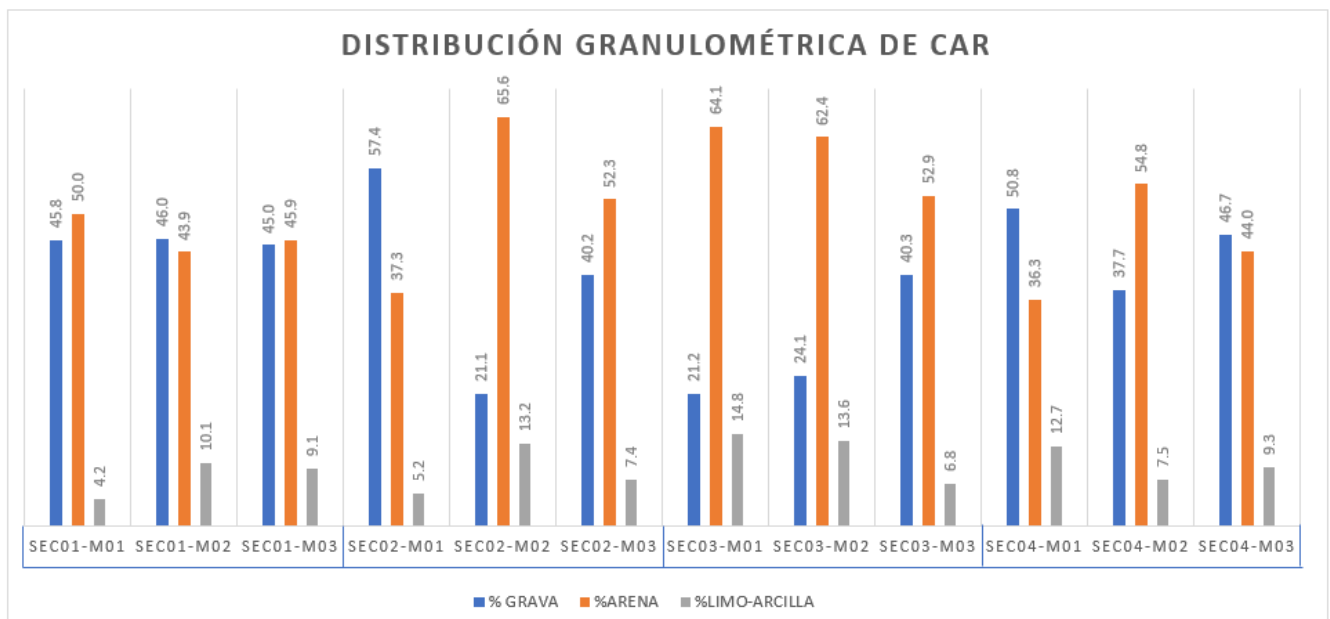


Gráfico 3 Porcentaje de gravas, arenas y arcillas de las CAR

### Límites de Atterberg

El índice de plasticidad resulta de la diferencia del límite líquido y el límite plástico, los resultados se muestran en los gráficos 4 y 5, demostrándose que para las adiciones de 5% y 10% de CAR, el límite líquido logra reducirse hasta en un 20.83% con relación a la muestra de cantera sin tratamiento; por otra parte, el límite plástico logra reducirse hasta en un 28.57% en relación a la muestra de cantera sin tratamiento, La mayor variación para la adición de 5% de CAR se muestra en el sector 2, LL=19%, LP=15%, así mismo para la adición de 10% de CAR se evidencia en sector 4, LL=20%, LP=16%.

La reducción del límite líquido refleja que el suelo no será susceptible a comportarse como un elemento viscoso con baja resistencia a esfuerzos, además, el suelo tendrá la capacidad de retornar a su forma inicial luego de aplicar un esfuerzo, en los resultados haciendo la vinculación con los datos obtenidos en la granulometría esto se refleja debido a la disminución de materiales finos debido al reemplazar el afirmado por CAR.

Según [19], nos indica rangos según el índice de plasticidad entre 0-7 como bajo, de 7 a 20 medio y cuando se supera el 20 como plasticidad alta, para esta investigación las muestras de base granular estarían dentro de un rango de plasticidad baja con un valor mínimo de 3%

El índice de plasticidad varía en un rango de 3% a 4%, cumpliendo con lo establecido en la normativa vigente la cual indica 4% Máx. [22] y [30].

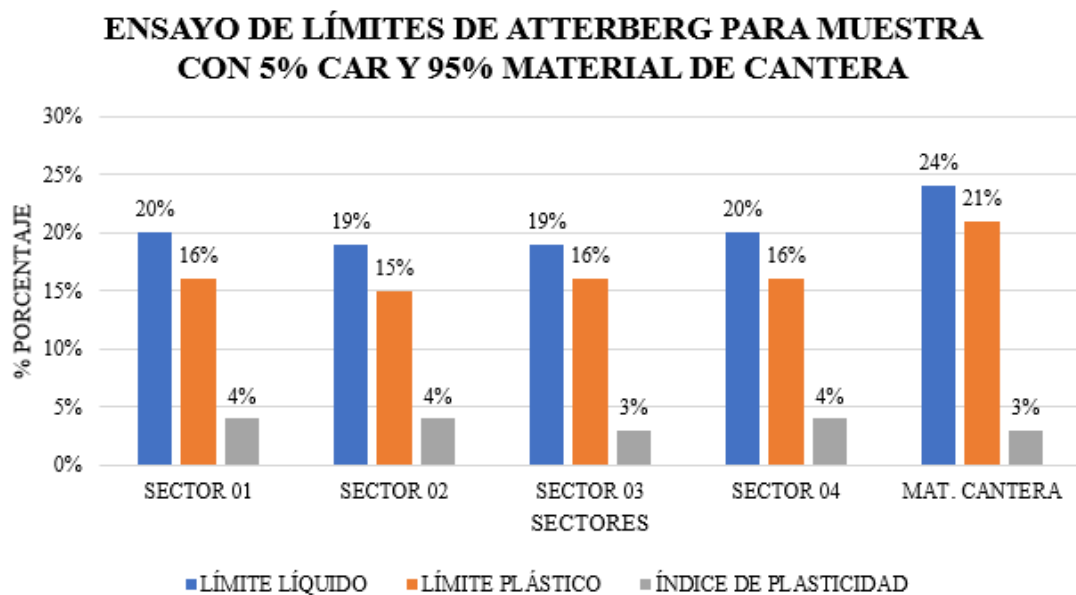


Gráfico 4 Límites de atterberg, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.

### ENSAYO DE LÍMITE DE ATTERBERG PARA MUESTRA CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA

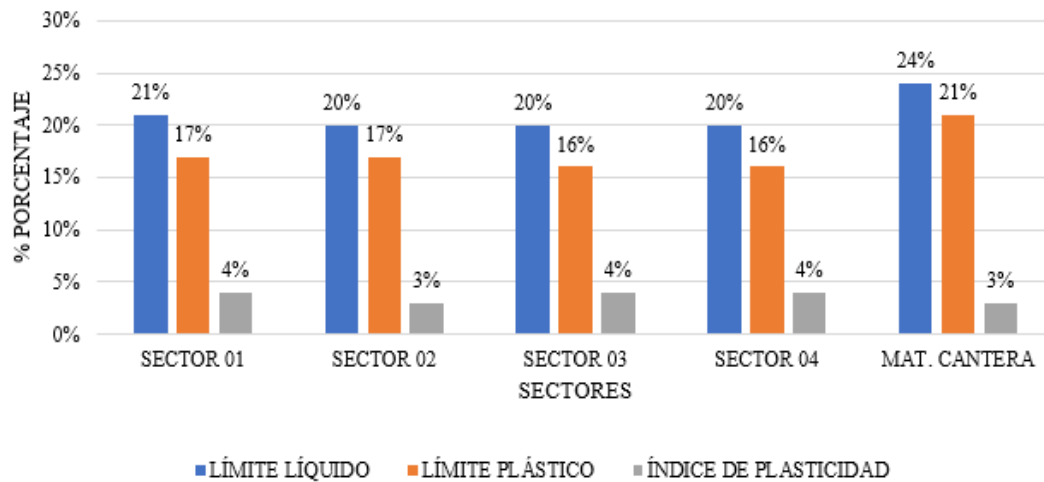


Gráfico 5 Límites de atterberg, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.

#### Clasificación SUCS Y AASHTO

Según los resultados de los ensayos de granulometría por tamizado y los límites de atterberg, se logra clasificar las muestras según las metodologías SUCS y AASHTO, en la tabla 22 y 23 se ve representado, en la metodología AASHTO tenemos para todas las muestras un suelo tipo A-1-a(0) y según la metodología SUCS para todas las muestras tenemos un suelo tipo GP, gravas pobremente gradadas, excepto la muestra 02 del sector 1 (10% de CAR y 90% Material de cantera) esta presenta un tipo GP-GM gravas mal gradadas con limo.

#### Abrasión de los ángeles

En el gráfico 6 se muestra los resultados de abrasión de los ángeles para las carpetas asfálticas de los 4 sectores, encontrándose en un rango de 33% hasta 38.4% obteniendo valores más altos para la gradación tipo A debido a que los tamaños de 1" se encuentran recubiertos de conglomerado de asfalto lo cual es más susceptible al desgaste, mientras que los menores valores se obtuvieron para la gradación tipo B.

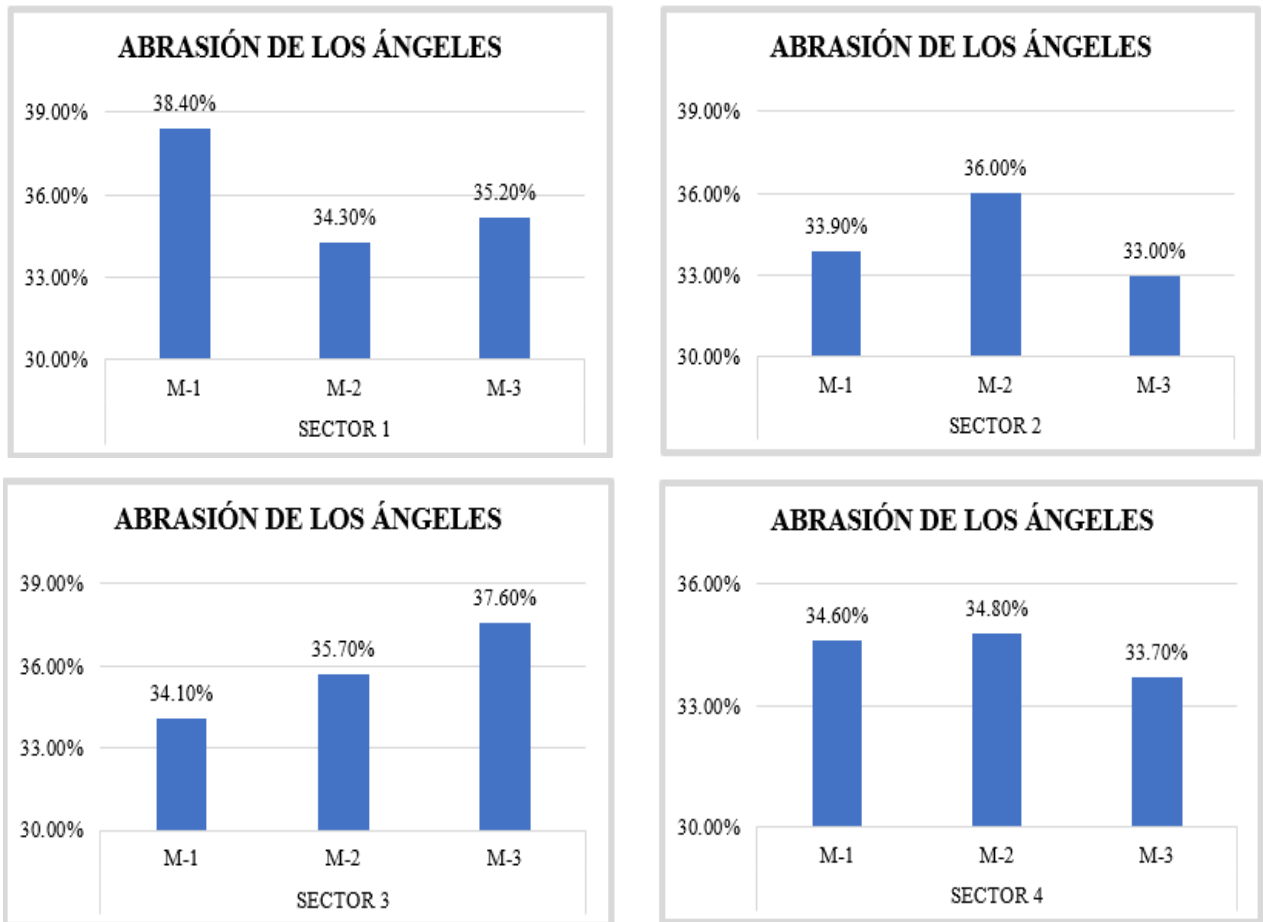


Gráfico 6 Abrasión de los ángeles muestras de los 4 sectores.

En los gráficos 7 y 8 Se muestra que el material de cantera cumple con la norma con un valor de 32.20% de, al igual que ambas adiciones de 5% y 10%, notándose que este último porcentaje se acerca al límite permitido de 40%, este puede ser un determinante para su uso en porcentajes bajos, debido a que al triturar las carpetas asfálticas los agregados se desprenden de su aglomerante(asfalto); por ello se limita a usarse distribuyendo en partículas menores a 3/4", así garantizamos un menor porcentaje de desgaste.

**ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ANGELES PARA  
MUESTRA CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE  
CANTERA**



Gráfico 7 Abrasión de los ángeles muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.

**ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS  
ANGELES PARA MUESTRA CON 10%  
CAR Y 90% MATERIAL DE CANTERA**

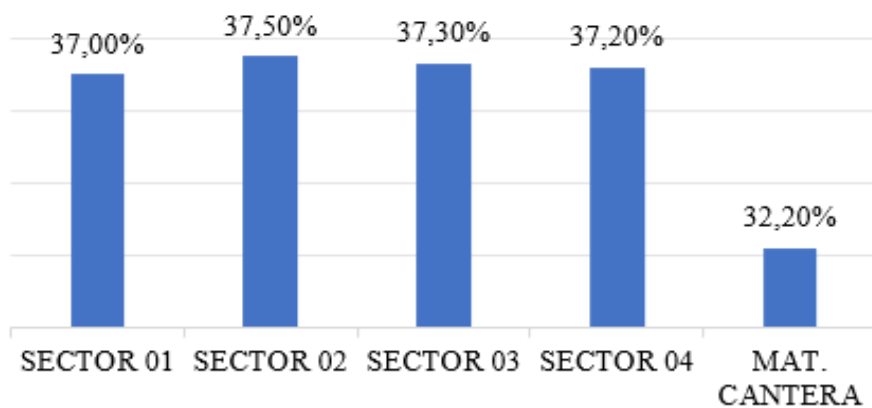


Gráfico 8 Abrasión de los ángeles muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.

### **Equivalente de arena**

En los gráficos 9 y 10 se puede apreciar la tendencia a subir del equivalente de arena en ambos porcentajes de adiciones; a mayor valor de equivalente de arena, mejor es la calidad de la muestra.

El valor más alto obtenido es 40% para la muestra 2 del sector 4 y el más bajo para el material de cantera con un 35%, de manera que si se pueden emplear para la conformación de bases granulares debido a que cumplen con el mínimo establecido en la normativa que es 35% [22] y [30].

**ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA PARA  
MUESTRA CON 5% CAR Y 95% MATERIAL DE  
CANTERA**

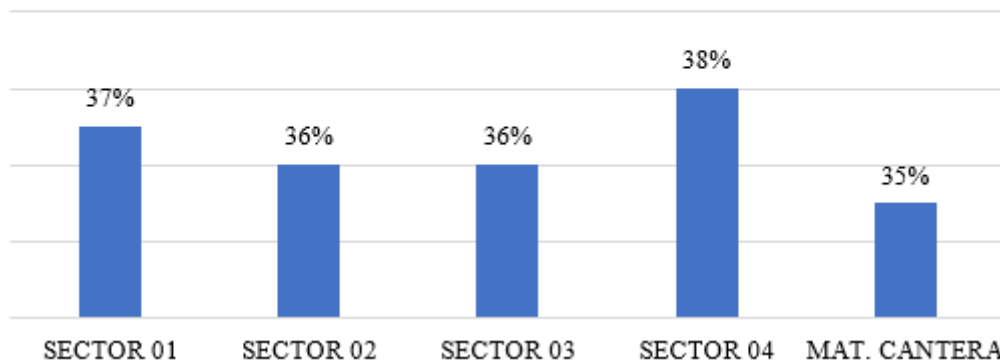


Gráfico 9 Equivalente de arena, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.

**ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA PARA  
MUESTRA CON 10% CAR Y 90% MATERIAL DE  
CANTERA**

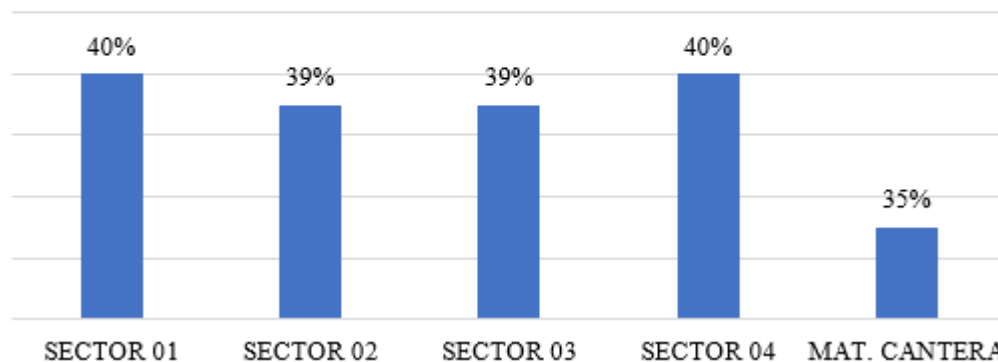


Gráfico 10 Equivalente de arena, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.

**Sales solubles totales**

En el gráfico 11 se puede apreciar que para ambos casos los valores de sales solubles están por debajo de lo establecido en la normativa para bases granulares que es 1.0%, dicho contenido de sales variara en las carpetas asfálticas de acuerdo con el tiempo que estén expuestas a la intemperie y/o agentes contaminantes; este parámetro es determinante para el uso de las CAR.

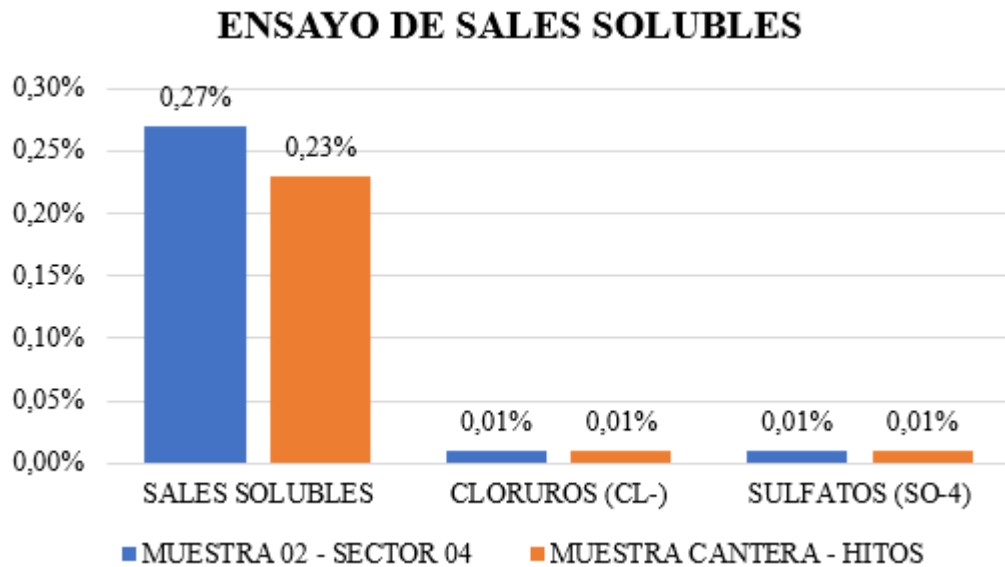


Gráfico 11 Sales Solubles totales de la muestra 02 del sector 4 y la muestra de cantera.

### Proctor modificado

La compactación de un suelo o material es un papel importante en el proceso constructivo de vías, debido a que con esto logramos aumentar la resistencia, una buena densificación del suelo con su óptimo contenido de humedad asegurara la calidad de la capa que estemos conformando.

A través de los gráficos, se determina el valor de su densidad máxima seca  $2.278 \text{ g/cm}^3$  y un óptimo contenido de humedad de 6.87% para la muestra de cantera. Se puede apreciar como el óptimo contenido de humedad disminuye para la dosificación de 5% hasta un 36.24% y para la dosificación de 10% disminuye hasta en un 29.11% con respecto al material de cantera. Así aseguramos lo afirmado en [20] que cuando reducimos el óptimo contenido de humedad se asegura que el suelo no llegue al punto en que todos sus vacíos estén saturados, aumentando su volumen y complicando la evacuación del agua, haciendo más difícil su compactación.

Se evidencia lo demostrado en [31] que el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca disminuyen con la adición de RAP, sin embargo, esto se puede asociar a la distribución granulométrica de las dosificaciones.

El contenido de humedad debe ser controlado durante el proceso constructivo para asegurar la máxima densidad seca

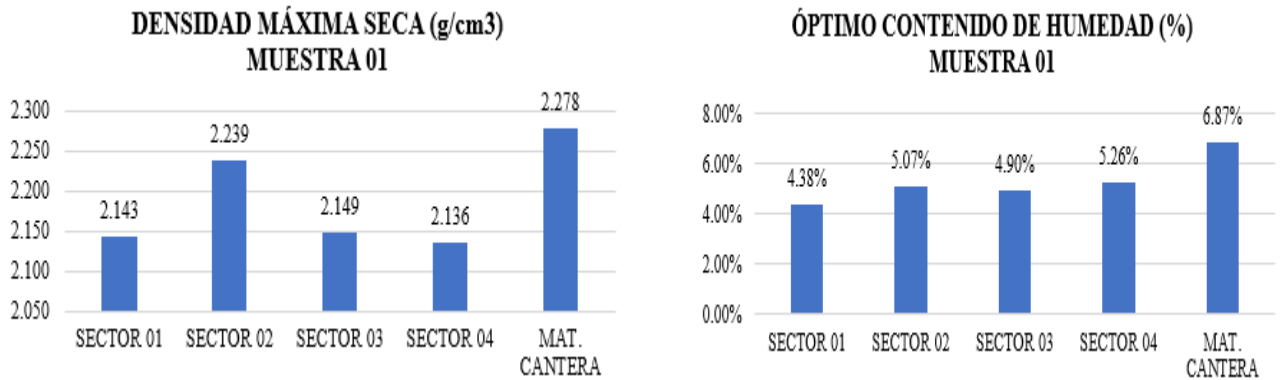


Gráfico 12 Óptimo contenido de humedad, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera

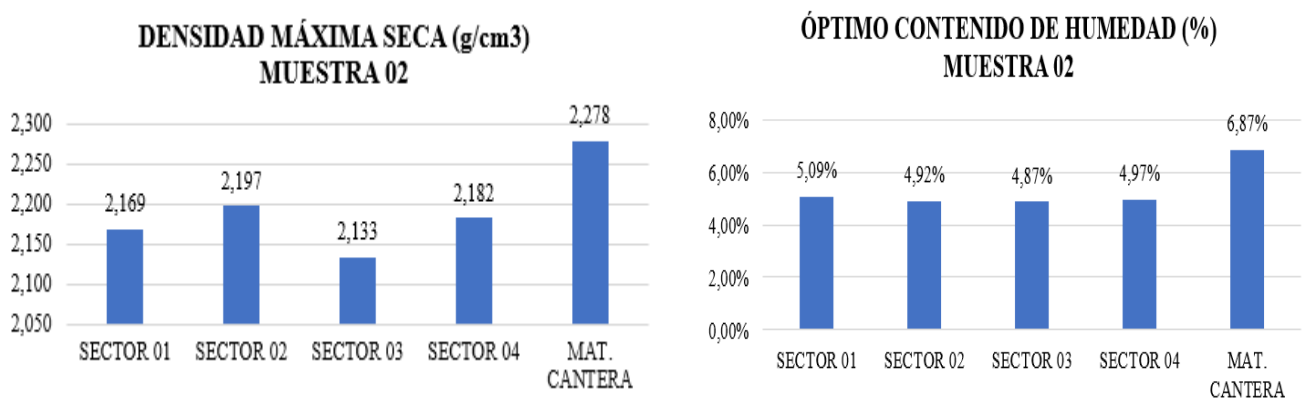


Gráfico 13 Óptimo contenido de humedad, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera

### Relación californiana de soporte, CBR

Después de analizar los resultados obtenidos del ensayo de Proctor Modificado se realizaron los ensayos de CBR para la muestra de cantera y los porcentajes de 5% y 10% de CAR; este parámetro es muy importante para determinar la resistencia de un suelo a la deformación por esfuerzo cortante.

De los gráficos podemos obtener que para una adición de 5% de CAR el valor de CBR de 0.1” al 100% de la m.d.s aumenta en un 10.48% con respecto al material de cantera; y para una adición del 10% de CAR la muestra del sector 04 aumenta en un 24.21%, ambos casos cumplen con el 80% mínimo de CBR establecido para bases granulares [22] y [30].

Durante este ensayo se determinó que las muestras no presentan expansión.

**RESULTADOS DE ENSAYO CBR PARA MUESTRA  
CON 5% CAR Y 95% DE MATERIAL DE CANTERA**

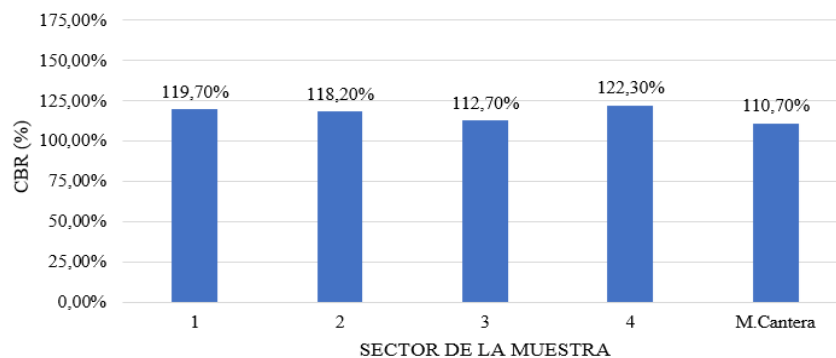


Gráfico 15 CBR 0.1” al 100% de la d.m.s, muestras con 5% de CAR y 95% de material de cantera.

**RESULTADOS DE ENSAYO CBR PARA MUESTRA  
CON 10% CAR Y 90% DE MATERIAL DE  
CANTERA**

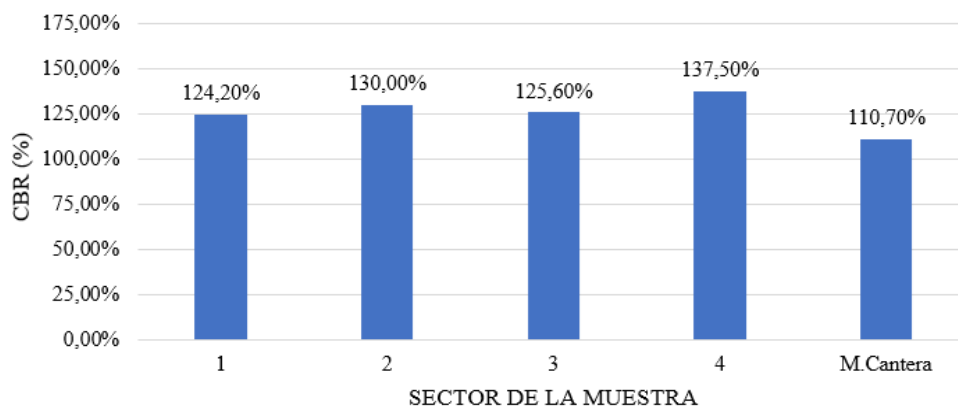


Gráfico 14 CBR 0.1” al 100% de la d.m.s, muestras con 10% de CAR y 90% de material de cantera.

**Penetrómetro dinámico de cono, DCP**

Se realizó este ensayo in-situ para lograr correlacionar con el CBR, mediante la fórmula establecida por la norma MTC, obteniendo valores muy cercanos a los de laboratorio; se comparó la muestra 02 del sector 4, debido a que obtuvo un mayor porcentaje de CBR; con la muestra patrón de cantera, en ambos casos tenemos índice de DCP de entre 1.8 hasta 2.6 mm/golpe, sin embargo se debe tener en cuenta que este ensayo es un tanto impreciso, porque durante su ejecución nos podemos encontrar con alguna

partícula que altere los resultados, asimismo como el grado de compactación que tenga la capa a ensayar.

En ambos casos por lo establecido en la normativa que pide como mínimo 80% de CBR al 100% de la m.d.s y una penetración de 0.1” para vías locales y colectoras y 100% de CBR para vías arteriales y expresas.[22]

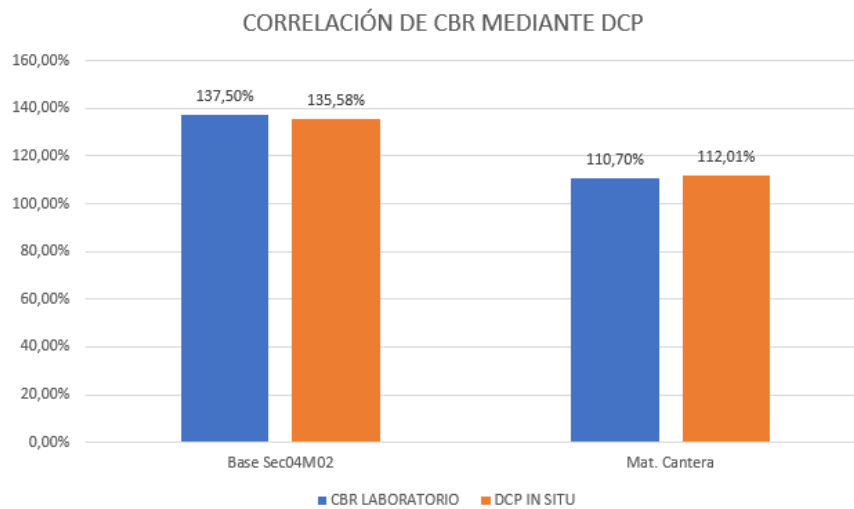


Gráfico 16 Correlación de CBR mediante DCO, muestra de cantera y Muestra 02 del sector 4

### Densidad en campo mediante el cono de arena

Para ambas muestras se realizaron dos ensayos in situ, teniendo como resultados para la muestra de cantera un grado de compactación de 103% y 100% así mismo para la muestra 02 del sector 4 (10% CAR y 90% material de cantera) tenemos 106% y 107%

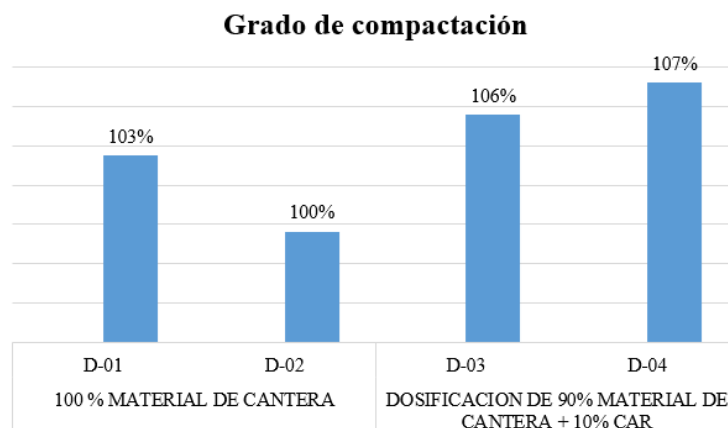


Gráfico 17 Densidad de campo, muestra de cantera(D1-D2) y Muestra 02 del sector 4 (D3-D4)

de grado de compactación cumpliendo en ambos casos con el mínimo de 100% compactado de la m.d.s del ensayo proctor modificado.

### Extracción cuantitativa de asfalto

Este ensayo se realizó para determinar la cantidad de asfalto en cada una de las muestras de los 4 sectores, teniendo como valor más alto y bajo en la muestra 1 y 3 del sector 4 respectivamente.

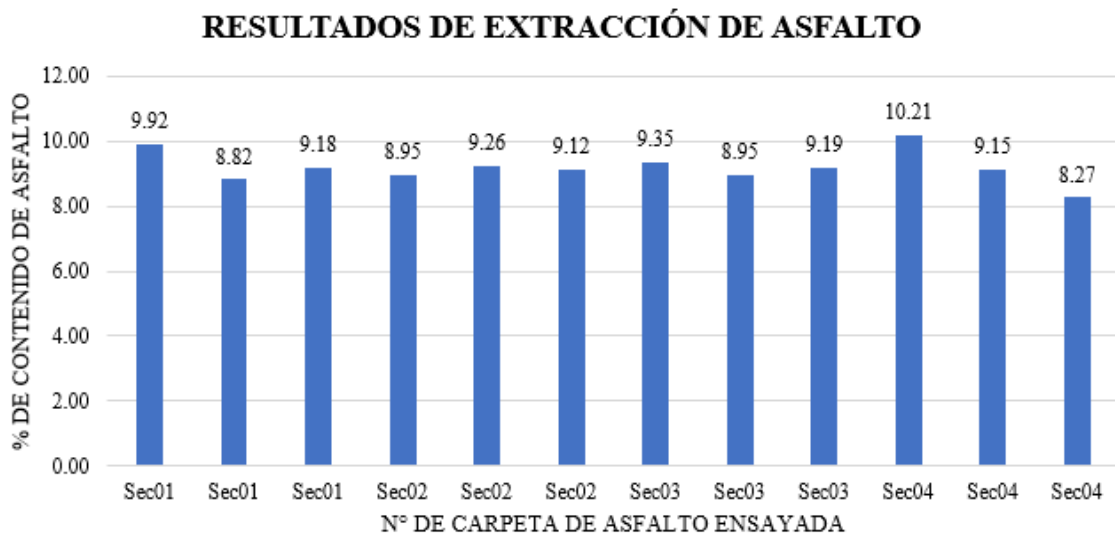


Gráfico 18 Contenido de Asfalto de los 4 sectores

### Comparación de Resultados de muestra 5% CAR y 95% Mat. De Cantera con la Norma CE.010

En esta sección se hará una compilación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, comparándolos con los requerimientos exigidos en la normativa vigente para pavimento flexibles urbanos.

| ENSAYO                 | NORMA       | RESULTADOS DE MUESTRAS ENSAYADAS 5% CAR +95% MAT. CANT |               |               |               | MAT CANT. 100% | REQ.PARA BASE | VERIF.  |        |
|------------------------|-------------|--|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------|--------|
|                        |             | Base Sec01M01  | Base Sec02M01 | Base Sec03M01 | Base Sec04M01 |                |               |         |        |
| Granulometría          | MTC E204    | Gradación B  | Gradación A   | Gradación A   | Gradación A   | Gradación A    | A,B,C,D       | CUMPLE  |        |
| Límite Líquido         | MTC E 110   | 20%  | 19%           | 19%           | 20%           | 24%            | 25% Máx       | CUMPLE  |        |
| Índice de Plasticidad  | MTC E 111   | 4%   | 4%            | 3%            | 4%            | 3%             | 4% Máx        | CUMPLE  |        |
| Clasificación SUCS     | ASTM D 2487 | GP   | GP            | GW            | GP            | GP             | -             | -       |        |
| Clasificación AASHTO   | ASTM D 3282 | A-1 -a(0)  | A-1 -a(0)     | A-1 -a(0)     | A-1 -a(0)     | A-1 -a(0)      | -             | -       |        |
| Sales Solubles Totales | MTC E 219   | -  | -             | -             | -             | 0,23%          | 0.5% Máx      | CUMPLE  |        |
| Abrasión Los Angeles   | MTC E 207   | 36,70%   | 37,00%        | 36,90%        | 36,50%        | 32,20%         | 40% Máx       | CUMPLE  |        |
| Equivalente de Arena   | MTC E 114   | 37%  | 36%           | 36%           | 38%           | 35%            | 35% Mín       | CUMPLE  |        |
| Partículas Fracturadas | 1 Cara      | MTC E 211  | 81,20%        | 81,40%        | 83,00%        | 81,00%         | 81,10%        | 80% Mín | CUMPLE |
|                        | 2 Caras     |  | 72,10%        | 69,60%        | 77,40%        | 72,80%         | 69,60%        | 40% Mín | CUMPLE |
| Proctor modificado     | MDS(gr/cm3) | MTC E 115  | 2,143         | 2,239         | 2,149         | 2,136          | 2,278         | -       | -      |
|                        | OCH(%)      |  | 4,38%         | 5,07%         | 4,90%         | 5,26%          | 6,87%         | -       | -      |
| CBR al 100% mds y 0.1" | MTC E 132   | 124,20%  | 118,20%       | 112,70%       | 122,30%       | 110,70%        | 80% Mín       | CUMPLE  |        |
| Contenido de asfalto   | MTC E 502   | 9,92   | 9,26          | 9,35          | 10,21         |                | -             |         |        |

Tabla 60 Resultados finales de Combinación 5% CAR y 95% Mat. de cantera

| ENSAYO                 | NORMA       | RESULTADOS DE MUESTRAS ENSAYADAS 10% CAR +90% MAT. CANT |               |               |               | MAT CANT. 100% | REQ.PARA BASE | VERIF.  |        |
|------------------------|-------------|---|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------|--------|
|                        |             | Base Sec01M02   | Base Sec02M02 | Base Sec03M02 | Base Sec04M02 |                |               |         |        |
| Granulometría          | MTC E204    | Gradación B   | Gradación A   | Gradación A   | Gradación A   | Gradación A    | A,B,C,D       | CUMPLE  |        |
| Límite Líquido         | MTC E 110   | 21%   | 20%           | 20%           | 20%           | 24%            | 25% Máx       | CUMPLE  |        |
| Índice de Plasticidad  | MTC E 111   | 4%  | 3%            | 4%            | 4%            | 3%             | 4% Máx        | CUMPLE  |        |
| Clasificación SUCS     | ASTM D 2487 | GP-GC   | GP            | GP            | GP            | GP             | -             | -       |        |
| Clasificación AASHTO   | ASTM D 3282 | A-1 -a(0)   | A-1 -a(0)     | A-1 -a(0)     | A-1 -a(0)     | A-1 -a(0)      | -             | -       |        |
| Sales Solubles Totales | MTC E 219   | -   | -             | -             | 0,27%         | 0,23%          | 0.5% Máx      | CUMPLE  |        |
| Abrasión Los Angeles   | MTC E 207   | 37,00%  | 37,50%        | 37,30%        | 37,20%        | 32,20%         | 40% Máx       | CUMPLE  |        |
| Equivalente de Arena   | MTC E 114   | 40%   | 39%           | 39%           | 40%           | 35%            | 35% Mín       | CUMPLE  |        |
| Partículas Fracturadas | 1 Cara      | MTC E 211   | 84,00%        | 84,50%        | 85,90%        | 87,10%         | 81,10%        | 80% Mín | CUMPLE |
|                        | 2 Caras     |   | 77,80%        | 77,70%        | 73,20%        | 73,40%         | 69,60%        | 40% Mín | CUMPLE |
| Proctor modificado     | MDS(gr/cm3) | MTC E 115   | 2,169         | 2,197         | 2,133         | 2,182          | 2,278         | -       | -      |
|                        | OCH(%)      |   | 5,09%         | 4,92%         | 4,87%         | 4,97%          | 6,87%         | -       | -      |
| CBR al 100% mds y 0.1" | MTC E 132   | 124,20%   | 130,00%       | 125,60%       | 137,50%       | 110,70%        | 80% Mín       | CUMPLE  |        |
| DCP In situ            | MTC E 133   | -   | -             | -             | 135,58%       | 112,01%        | 80% Mín       | CUMPLE  |        |
| Contenido de asfalto   | MTC E 502   | 9,92  | 9,26          | 9,35          | 10,21         |                | -             |         |        |

Tabla 61 Resultados finales de Combinación 5% CAR y 95% Mat. de cantera

## Evaluación Económica

### Introducción

Dentro de los objetivos específicos de esta investigación se encuentra la evaluación económica del uso de las carpetas asfálticas recicladas (CAR) para la conformación de una base granular en un pavimento flexible (VER ANEXO); por ello se realizara el diseño de un pavimento de dicho tipo mediante la metodología AASHTO 93 y los criterios establecidos en la norma CE010 de pavimentos urbanos, con la finalidad de obtener los espesores de las capas y luego evaluar los precios comparando material de cantera al 100 % y la dosificación de 10% CAR y 90% material de cantera.

Según [30], se debe tomar las siguientes consideraciones para el diseño de pavimentos flexibles

- **Periodo de diseño**

Para los pavimentos flexibles el periodo de diseño se permite por etapas, en dos etapas de 10 años y en una sola etapa de 20 años, para este caso se ha considerado trabajar en una sola etapa.

Periodo de diseño  $T = 20$  años

- **Tráfico**

Se obtiene a partir de un estudio de tráfico del cual se realiza una conversión para hallar los EE de diseño, el cual representa el tráfico esperado para el periodo que se esté diseñando. Para nuestra investigación se consideró el  $W_{18}$  obtenido en el estudio de trafico de [31].

$$W_{18} = 2.49 \times 10^6 \text{ Ejes equivalentes} = T_{P8}$$

- **Sub Rasante**

Según [19], las subrasantes se clasifican de acuerdo con su CBR por categorías que van desde  $S_0$  (Subrasante Inadecuada  $< 3\%$ ) hasta  $S_5$  (Subrasante Extraordinaria  $\geq 30\%$ ). Para nuestro estudio se ha considerado el valor obtenido en el estudio de mecánica de suelos de [33].

$$CBR_{\text{SUBRASANTE}} = 7.47\%$$

Dicha subrasante se clasifica como  $S_2$  (Subrasante Regular) la cual no requiere mejoramiento.

- **Materiales para la Base y Subbase**

Según [30], los materiales que se emplearan en las capas granulares deben cumplir con todos los parámetros de la norma CE 010 pavimentos urbanos. La normativa establece que los materiales de base y subbase deben tener como mínimo un CBR:

CBR Base Granular: 80% mín. para vías locales y colectoras

CBR Base Granular: 100% mín. para vías arteriales y expresas

CBR Sub-Base Granular: 40% mín.

- **Método de Diseño**

En la actualidad existen varios métodos para el diseño de pavimentos, Sin embargo, en la presente investigación de aplico el método establecido por la AASHTO 93. Con los parámetros obtenidos de los ensayos y algunos asumidos que fueron mencionados anteriormente.

El diseño por realizarse se hará para la Av. Soberanía entre Av. Elvira García y García a Av. 09 de octubre distrito de Chiclayo, considerándose una vía de tipo local debido a que une dos vías colectoras.

## Diseño de Pavimento Flexible con 100% Material de cantera

- **Datos de diseño**

### 1) REQUISITOS DE DISEÑO

|    |                                     |       |           |      |
|----|-------------------------------------|-------|-----------|------|
| a) | Periodo de diseño en años           | T =   | 20        | años |
| b) | Numero de Ejes Equivalentes:Trafico | W18 = | 2 490 000 | TP6  |
| c) | Indice de servicialidad inicial     | Pi =  | 4,20      |      |
| d) | Indice de servicialidad final       | Pt =  | 2         |      |
| e) | Indice de confianza                 | R =   | 85%       |      |
| f) | Desviacion estandar normal          | ZR =  | -1,036    |      |
| g) | Error de combinacion estandar       | So =  | 0,45      |      |

Tabla 62 Datos de diseño para pavimento flexible

- **Propiedades de los materiales**

### 2) PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

|    |   |   |            |         |
|----|---|---|------------|---------|
| a) | Carpeta asfaltica Convencional              | = | 430 000,00 | psi     |
| b) | CBR de la Base Granular                     | = | 111,00%    |         |
| c) | CBR de la Subbase Granular                  | = | 40,00%     |         |
| d) | Modulo De Resiliencia de la Base Granular   | = | 31 000,00  | psi     |
| e) | Modulo De Resiliencia de laSubBase Granular | = | 17 000,00  | psi     |
| f) | CBR de la Sub Rasante                       | = | 7,47%      | Regular |
| g) | Modulo de Resilencia                        | = | 9 253,71   | psi     |

Tabla 63 Propiedades de los materiales que conformarán el pavimento flexible con material de cantera

- **Coefficientes estructurales y de drenaje**

### 4) ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO

#### a) COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CADA CAPA

|                               |      |         |                    |
|-------------------------------|------|---------|--------------------|
| Carpeta asfaltica en Caliente | a1 = | 0,450   | pulg <sup>-1</sup> |
| Base Granular                 | a2 = | 0,14135 | pulg <sup>-1</sup> |
| Subbase Granular              | a3 = | 0,120   | pulg <sup>-1</sup> |

#### b) COEFICIENTES DE DRENAJE DE CADA CAPA

|                  |      |       |
|------------------|------|-------|
| Base Granular    | m2 = | 1,100 |
| Subbase Granular | m3 = | 1,100 |

Tabla 64 Coeficientes estructurales y de drenaje de capas del pavimento

- **Cálculos de espesores**

Alternativa 1 **Asumidos: métodos espesores mínimos referencial**

|    | Capa              | Espesores de Diseño Asumido (pulg) | SNi* - Estimado |
|----|-------------------|------------------------------------|-----------------|
| D1 | Carpeta Asfáltica | 2,50                               | 1,13            |
| D2 | Base              | 7,84                               | 1,22            |
| D3 | Sub Base          | 8,00                               | 1,07            |
|    |                   |                                    | 3,41            |

| SN REQUERIDO              | REDONDEANDO |
|---------------------------|-------------|
| Carpeta Asfáltica 6,35 cm | 7,00        |
| Base 19,91 cm             | 20,00       |
| Sub Base 20,00 cm         | 20,00       |
| 3,41 <b>Ok</b>            |             |

Alternativa 2 **Asumidos: métodos espesores mínimos referencial**

|    | Capa              | Espesores de Diseño Asumido (pulg) | SNi* - Estimado |
|----|-------------------|------------------------------------|-----------------|
| D1 | Carpeta Asfáltica | 2,50                               | 1,13            |
| D2 | Base              | 6,00                               | 0,93            |
| D3 | Sub Base          | 10,14                              | 1,35            |
|    |                   |                                    | 3,41            |

| SN REQUERIDO              | REDONDEANDO |
|---------------------------|-------------|
| Carpeta Asfáltica 6,35 cm | 7,00        |
| Base 15,24 cm             | 15,00       |
| Sub Base 25,35 cm         | 25,00       |
| 3,41 <b>Ok</b>            |             |

Tabla 65 Cálculo de espesores

- **Espesores finales de cada capa del pavimento flexible**

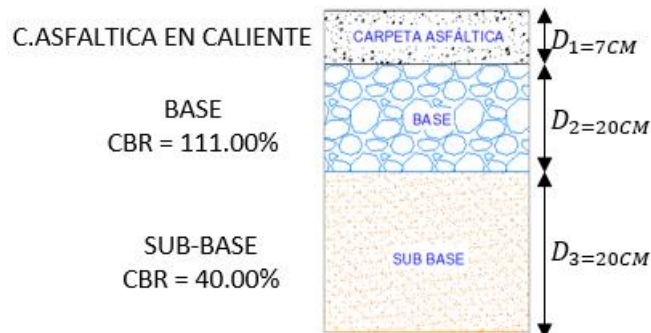


Ilustración 34 Espesores de pavimento con material de cantera de cantera

## Diseño de Pavimento Flexible con 10% CAR y 90% Material de cantera

- Datos de diseño**

### 1) REQUISITOS DE DISEÑO

|    |                                     |     |   |           |      |
|----|-------------------------------------|-----|---|-----------|------|
| a) | Periodo de diseño en años           | T   | = | 20        | años |
| b) | Numero de Ejes Equivalentes:Trafico | W18 | = | 2 490 000 | TP6  |
| c) | Indice de servicialidad inicial     | Pi  | = | 4,20      |      |
| d) | Indice de servicialidad final       | Pt  | = | 2         |      |
| e) | Indice de confianza                 | R   | = | 85%       |      |
| f) | Desviacion estandar normal          | ZR  | = | -1,036    |      |
| g) | Error de combinacion estandar       | So  | = | 0,45      |      |

Tabla 66 Datos de diseño para pavimento flexible

- Propiedades de los materiales**

### 2) PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

|    |   |   |            |         |
|----|---|---|------------|---------|
| a) | Carpeta asfaltica Convencional              | = | 430 000,00 | psi     |
| b) | CBR de la Base Granular                     | = | 136,00%    |         |
| c) | CBR de la Subbase Granular                  | = | 40,00%     |         |
| d) | Modulo De Resiliencia de la Base Granular   | = | 33 000,00  | psi     |
| e) | Modulo De Resiliencia de laSubBase Granular | = | 17 000,00  | psi     |
| f) | CBR de la Sub Rasante                       | = | 7,47%      | Regular |
| g) | Modulo de Resiliencia                       | = | 9 253,71   | psi     |

Tabla 67 Propiedades de los materiales que conformaran el pavimento flexible con 10% de CAR + 90% material de cantera

- Coefficientes estructurales y de drenaje**

### 4) ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO

#### a) COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CADA CAPA

|                               |    |   |         |                    |
|-------------------------------|----|---|---------|--------------------|
| Carpeta asfaltica en Caliente | a1 | = | 0,450   | pulg <sup>-1</sup> |
| Base Granular                 | a2 | = | 0,14135 | pulg <sup>-1</sup> |
| Subbase Granular              | a3 | = | 0,120   | pulg <sup>-1</sup> |

#### b) COEFICIENTES DE DRENAJE DE CADA CAPA

|                  |    |   |       |
|------------------|----|---|-------|
| Base Granular    | m2 | = | 1,100 |
| Subbase Granular | m3 | = | 1,100 |

Tabla 68 Coeficientes estructurales y de drenaje de capas del pavimento.

• **Cálculos de espesores**

| Alternativa 1 |                   | Asumidos: métodos espesores mínimos referencial |                 |                   |             |       |
|---------------|-------------------|---|-----------------|-------------------|-------------|-------|
|               | Capa              | Espesores de Diseño Asumido (pulg)              | SNi* - Estimado | SN REQUERIDO      | REDONDEANDO |       |
| D1            | Carpeta Asfáltica | 2,50  | 1,13            | Carpeta Asfáltica | 6,35 cm     | 7,00  |
| D2            | Base              | 7,43  | 1,21            | Base              | 18,88 cm    | 20,00 |
| D3            | Sub Base          | 8,00  | 1,07            | Sub Base          | 20,00 cm    | 20,00 |
|               |                   |   | 3,41            | > 3,41            | Ok          |       |

| Alternativa 2 |                   | Asumidos: métodos espesores mínimos referencial |                 |                   |             |       |
|---------------|-------------------|---|-----------------|-------------------|-------------|-------|
|               | Capa              | Espesores de Diseño Asumido (pulg)              | SNi* - Estimado | SN REQUERIDO      | REDONDEANDO |       |
| D1            | Carpeta Asfáltica | 2,50  | 1,13            | Carpeta Asfáltica | 6,35 cm     | 7,00  |
| D2            | Base              | 6,00  | 0,98            | Base              | 15,24 cm    | 15,00 |
| D3            | Sub Base          | 9,81  | 1,31            | Sub Base          | 24,54 cm    | 25,00 |
|               |                   |   | 3,41            | > 3,41            | Ok          |       |

Tabla 69 Cálculo de espesores

• **Espesores finales de cada capa del pavimento flexible**

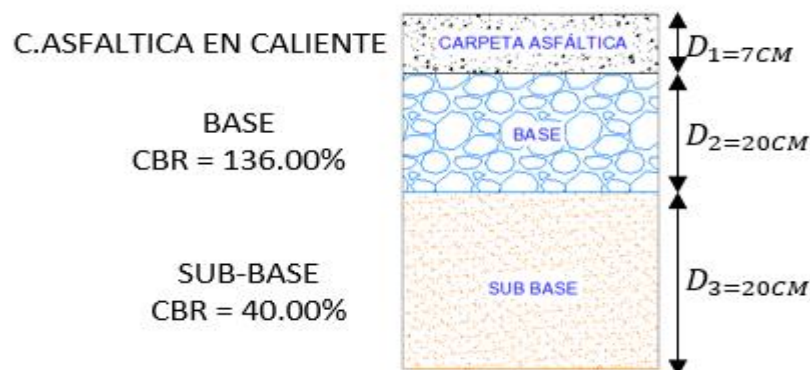


Ilustración 35 Espesores de pavimento con 10% de CAR + 90% mat. de cantera

**Comparación de resultados de diseño de pavimento flexible**

El espesor real para la base granular conformada por 100% material de cantera es de 19.91 cm y para la dosificación de 10% CAR y 90% material de cantera es de 18.88 cm reduciendo 1.03 cm, sin embargo, esta reducción no se puede aplicar en la evaluación de costos debido al redondeo que se aplica a los espesores, se podría tener en cuenta esta reducción para un mayor número de ESAL.

## Proceso Constructivo para la conformación de base granular con material de cantera

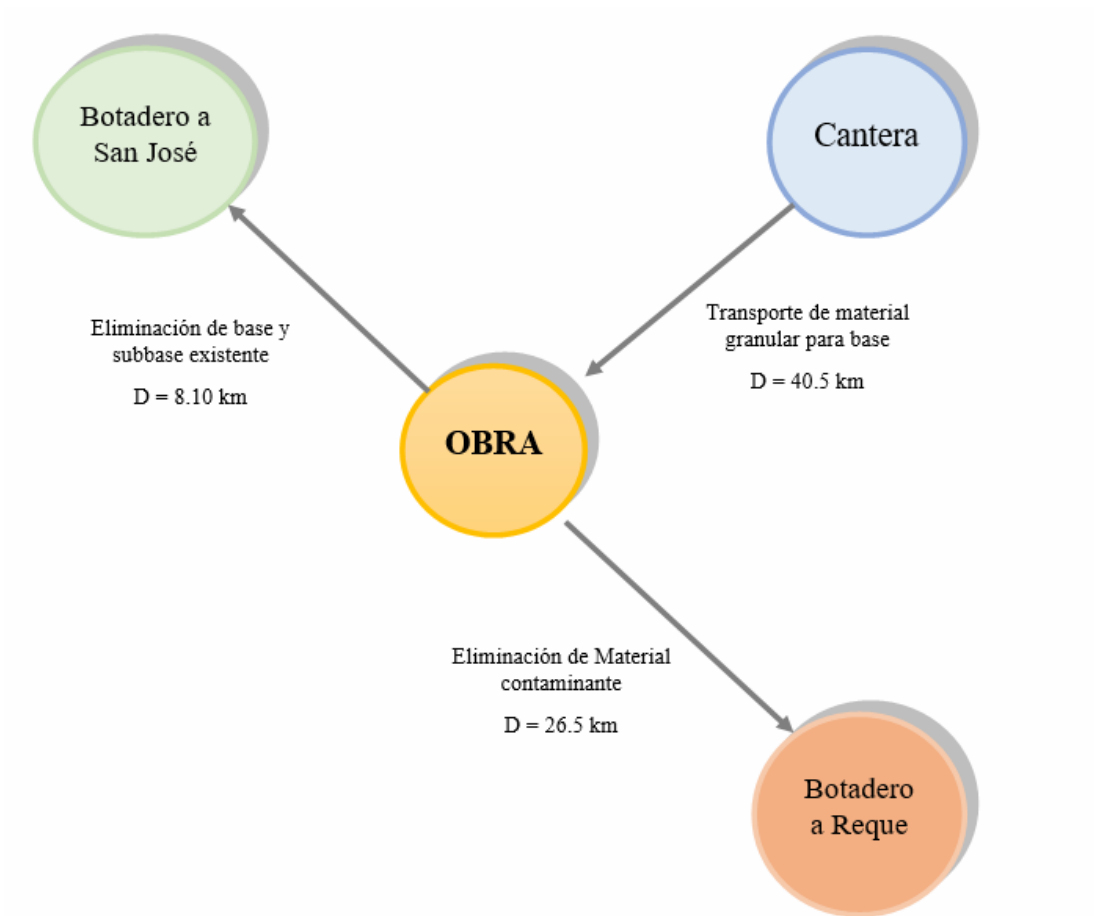


Gráfico 19 Transporte de material en alternativa 01

### Etapa 1: Remoción de Capas existentes

Al encontrarse capas de pavimento existente se deben remover, la carpeta asfáltica para llevarla a un vertedero especial y darle el adecuado manejo para no contaminar al suelo y al ambiente.

La capa de base y subbase al encontrarse en mal estado también serán removidas hasta un nivel de subrasante y todo el material retirado será evacuado a un botadero o una zona de relleno.

### Etapa 2: Manejo de CAR

Las CAR al ser un material contaminante se debe buscar la manera de evitar su contacto directo con el suelo, para lo cual se necesitaría impermeabilizar un área para acumular las CAR y coberturarlas

**Etapa 3: Base Granular de Cantera hacia obra**

El material de préstamo de cantera será trasladado hacia la obra para llevar a cabo la conformación de base granular

**Etapa 4: Conformación de base granular**

Durante esta etapa se esparce el material y se va compactando en capas hasta alcanzar su máxima densidad seca con el óptimo contenido, este proceso se irá controlando mediante ensayos de calidad para determinar la compactación del suelo y CBR in situ, buscando también no presentar irregularidades en su conformación.

**Proceso Constructivo de Conformación de base granular con adición de CAR**

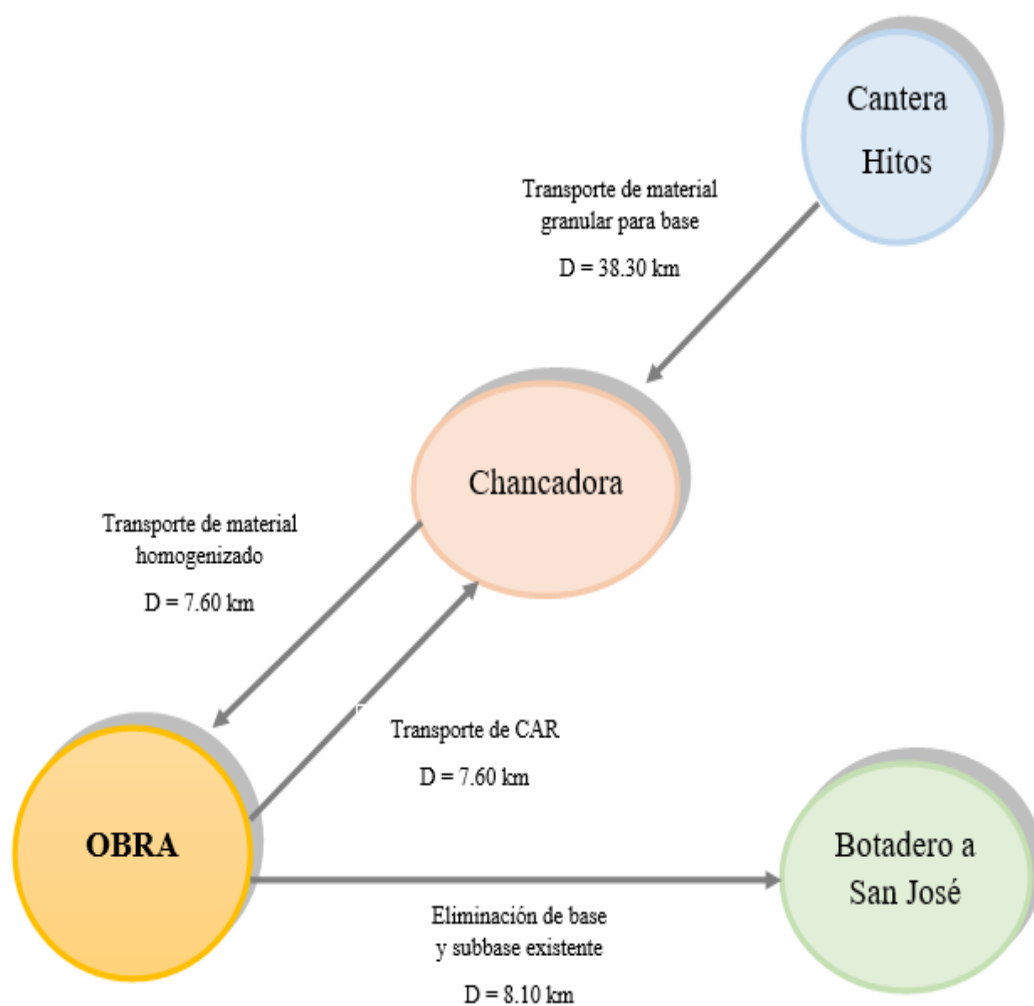


Gráfico 20 Transporte de material en alternativa 02

#### Etapa 1: Remoción de Capas existentes

Al encontrarse capas de pavimento existente, se debe remover la carpeta asfáltica cuidadosamente evitando contaminarla con la base granular para su posterior traslado a la chancadora.

La capa de base y subbase al encontrarse en mal estado también serán removidas hasta un nivel de subrasante y todo el material retirado será evacuado a un botadero o una zona de relleno.

#### Etapa 2: Transporte de CAR hacia chancadora

Las CAR serán trasladadas hacia la chancadora donde serán trituradas y tamizadas de acuerdo con la granulometría requerida.

#### Etapa 3: Base Granular de Cantera hacia chancadora

El material de préstamo de cantera será trasladado hacia la chancadora para llevar a cabo el proceso de homogenización con las CAR.

#### Etapa 4: Homogenización de Material de cantera y CAR

Con el fin de garantizar una buena distribución de partículas entre el material de cantera y las CAR se utilizará una planta de suelos con capacidad de 300 a 600 ton/h, dichas plantas están diseñadas para dosificar los agregados por intermedio de 3 o 4 tolvas, así mismo se puede añadir agua, cemento o cualquier aditivo. El rendimiento de esta maquinaria para base granular es de 3,692.31 m<sup>3</sup>/día.



Ilustración 36 Planta de suelos

### Etapa 5: Transporte de material homogenizado hacia obra

En esta etapa se trasladará el material mezclado hacia la obra para la conformación de la base granular.

### Etapa 6: Conformación de base granular

Durante esta etapa se esparce el material y se va compactando en capas hasta alcanzar su máxima densidad seca con el óptimo contenido de humedad para así asegurar una capa de buena calidad, buscando también no presentar irregularidades en su conformación.

### Evaluación de Costos

En base al diseño de pavimentos para ambos casos, se realizó la evaluación económica solo para la partida de conformación de la base granular (en esta capa varía algunas subpartidas para la dosificación del material), debido a que el resto de las partidas tendrían el mismo costo.

- Sección típica para la evaluación económica en ambos casos para Pav. Flexible

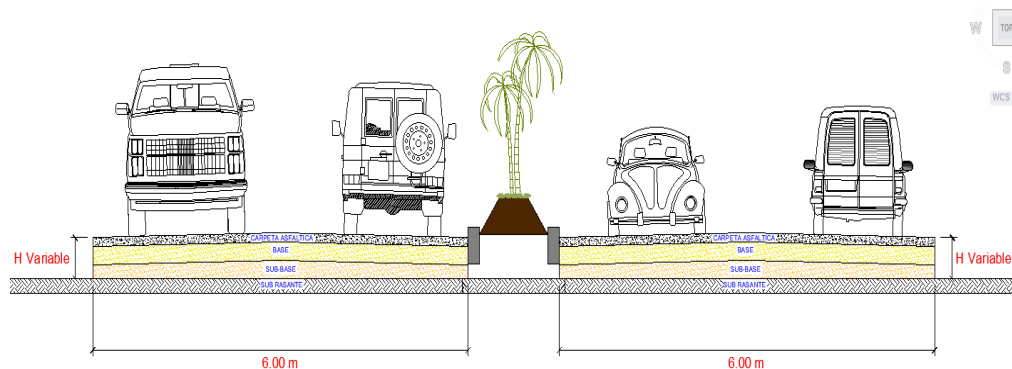


Ilustración 37 Sección típica de pavimento flexible

Se realizará para un tramo de 1km para obtener así los precios por km.

## Análisis de precios unitarios de conformación de Base Granular 100% Material de Cantera

| Partida      | 01.01  | REMOCIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE |              |        |           |                                 |             |              |
|--------------|--|---|--------------|--------|-----------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento  | m3/DIA                                       | MO. 500.0000                            | EQ. 500.0000 |        |           | Costo unitario directo por : m3 | 6.80        |              |
| Código       | Descripción Recurso                          |   |              | Unidad | Cuadrilla | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |
|              |  | <b>Mano de Obra</b>                     |              |        |           |                                 |             |              |
| 0147010004   | PEON   |   |              | hh     | 2.0000    | 0.0320                          | 17.98       | 0.58         |
| 0147010031   | CAPATAZ "A"                                  |   |              | hh     | 0.1000    | 0.0016                          | 25.24       | 0.04         |
|              |  | <b>Equipos</b>                          |              |        |           |                                 |             |              |
| 0337010001   | HERRAMIENTAS MANUALES                        |   |              | %MO    |           | 5.0000                          | 0.62        | 0.03         |
| 910312010103 | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 |   |              | hm     | 1.0000    | 0.0160                          | 384.16      | 6.15         |
|              |  |   |              |        |           |                                 |             | <b>6.18</b>  |

| Partida      | 01.02  | ELIMINACIÓN ESPECIAL PARA MATERIAL CONTAMINANTE HACIA EL BOTADERO REQUE D=26.5 KM |             |        |           |                                  |             |              |
|--------------|--|---|-------------|--------|-----------|----------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento  | m3k/DIA                                      | MO. 90.0000   | EQ. 90.0000 |        |           | Costo unitario directo por : m3k | 18.17       |              |
| Código       | Descripción Recurso                          |   |             | Unidad | Cuadrilla | Cantidad                         | Precio \$/. | Parcial \$/. |
|              |  | <b>Mano de Obra</b>   |             |        |           |                                  |             |              |
| 0147010003   | OFICIAL                                      |   |             | hh     | 0.0900    | 0.0080                           | 19.90       | 0.16         |
|              |  | <b>Equipos</b>  |             |        |           |                                  |             |              |
| 910312010101 | CAMION VOLQUETE 15 m3                        |   |             | hm     | 1.0000    | 0.0889                           | 175.80      | 15.63        |
| 910312010103 | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 |   |             | hm     | 0.0700    | 0.0062                           | 384.16      | 2.38         |
|              |  |   |             |        |           |                                  |             | <b>18.01</b> |

| Partida      | 01.03                           | ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN BOTADERO |              |        |           |                                 |             |              |
|--------------|---------------------------------|---|--------------|--------|-----------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento  | m3/DIA                          | MO. 500.0000                              | EQ. 500.0000 |        |           | Costo unitario directo por : m3 | 8.11        |              |
| Código       | Descripción Recurso             |   |              | Unidad | Cuadrilla | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |
|              |                                 | <b>Mano de Obra</b>                       |              |        |           |                                 |             |              |
| 0147010004   | PEON                            |   |              | hh     | 2.0000    | 0.0320                          | 17.98       | 0.58         |
| 0147010031   | CAPATAZ "A"                     |   |              | hh     | 1.0000    | 0.0160                          | 25.24       | 0.40         |
|              |                                 | <b>Equipos</b>                            |              |        |           |                                 |             |              |
| 0337010001   | HERRAMIENTAS MANUALES           |   |              | %MO    |           | 3.0000                          | 0.98        | 0.03         |
| 910312010123 | TRACTOR DE ORUGAS DE 190-240 HP |   |              | hm     | 1.0000    | 0.0160                          | 443.95      | 7.10         |
|              |                                 |   |              |        |           |                                 |             | <b>7.13</b>  |

| Partida      | 01.04  | REMOCIÓN DE BASE Y SUBBASE EXISTENTE H=0.40 m |              |        |           |                                 |             |              |
|--------------|--|---|--------------|--------|-----------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento  | m3/DIA                                       | MO. 400.0000                                  | EQ. 400.0000 |        |           | Costo unitario directo por : m3 | 8.49        |              |
| Código       | Descripción Recurso                          |   |              | Unidad | Cuadrilla | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |
|              |  | <b>Mano de Obra</b>                           |              |        |           |                                 |             |              |
| 0147010004   | PEON   |   |              | hh     | 2.0000    | 0.0400                          | 17.98       | 0.72         |
| 0147010031   | CAPATAZ "A"                                  |   |              | hh     | 0.1000    | 0.0020                          | 25.24       | 0.05         |
|              |  | <b>Equipos</b>                                |              |        |           |                                 |             |              |
| 0337010001   | HERRAMIENTAS MANUALES                        |   |              | %MO    |           | 5.0000                          | 0.77        | 0.04         |
| 910312010103 | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 |   |              | hm     | 1.0000    | 0.0200                          | 384.16      | 7.68         |
|              |  |   |              |        |           |                                 |             | <b>7.72</b>  |



## Análisis de precios unitarios de conformación de base granular, 90% material de cantera y 10% CAR.

| Partida       | 01.01  | REMOCIÓN DE CARPETA ASFALTICA EXISTENTE                              |                  |                                  |                    |                     |              |  |
|---------------|--|--|------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------|--------------|--|
| Rendimiento   | m3/DIA                                       | MO. 500.0000   | EQ. 500.0000     | Costo unitario directo por : m3  |                    |                     | <b>6.80</b>  |  |
| <b>Código</b> | <b>Descripción Recurso</b>                   | <b>Unidad</b>  | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                  | <b>Precio \$/.</b> | <b>Parcial \$/.</b> |              |  |
|               | <b>Mano de Obra</b>                          |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 0147010004    | PEON   | hh   | 2.0000           | 0.0320                           | 17.98              | 0.58                |              |  |
| 0147010031    | CAPATAZ "A"                                  | hh   | 0.1000           | 0.0016                           | 25.24              | 0.04                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>0.62</b>         |              |  |
|               | <b>Equipos</b>                               |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 0337010001    | HERRAMIENTAS MANUALES                        | %MO  |                  | 5.0000                           | 0.62               | 0.03                |              |  |
| 910312010103  | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 | hm   | 1.0000           | 0.0160                           | 384.16             | 6.15                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>6.18</b>         |              |  |
| Partida       | 02.02  | TRANSPORTE DE CAR HACIA LA CHANCADORA D=7.60 KM                      |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| Rendimiento   | m3k/DIA                                      | MO. 195.0000   | EQ. 195.0000     | Costo unitario directo por : m3k |                    |                     | <b>10.41</b> |  |
| <b>Código</b> | <b>Descripción Recurso</b>                   | <b>Unidad</b>  | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                  | <b>Precio \$/.</b> | <b>Parcial \$/.</b> |              |  |
|               | <b>Mano de Obra</b>                          |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 0147010003    | OFICIAL                                      | hh   | 1.0000           | 0.0410                           | 19.90              | 0.82                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>0.82</b>         |              |  |
|               | <b>Equipos</b>                               |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 910312010101  | CAMION VOLQUETE 15 m3                        | hm   | 1.0000           | 0.0410                           | 175.80             | 7.21                |              |  |
| 910312010103  | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 | hm   | 0.1512           | 0.0062                           | 384.16             | 2.38                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>9.59</b>         |              |  |
| Partida       | 02.03  | REMOCIÓN DE BASE Y SUBBASE EXISTENTE H=0.40 m                        |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| Rendimiento   | m3/DIA                                       | MO. 400.0000   | EQ. 400.0000     | Costo unitario directo por : m3  |                    |                     | <b>8.49</b>  |  |
| <b>Código</b> | <b>Descripción Recurso</b>                   | <b>Unidad</b>  | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                  | <b>Precio \$/.</b> | <b>Parcial \$/.</b> |              |  |
|               | <b>Mano de Obra</b>                          |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 0147010004    | PEON   | hh   | 2.0000           | 0.0400                           | 17.98              | 0.72                |              |  |
| 0147010031    | CAPATAZ "A"                                  | hh   | 0.1000           | 0.0020                           | 25.24              | 0.05                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>0.77</b>         |              |  |
|               | <b>Equipos</b>                               |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 0337010001    | HERRAMIENTAS MANUALES                        | %MO  |                  | 5.0000                           | 0.77               | 0.04                |              |  |
| 910312010103  | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 | hm   | 1.0000           | 0.0200                           | 384.16             | 7.68                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>7.72</b>         |              |  |
| Partida       | 02.04  | ELIMINACIÓN DE BASE Y SUBBASE HACIA EL BOTADERO DE SAN JOSÉ D=8.1 KM |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| Rendimiento   | m3k/DIA                                      | MO. 240.0000   | EQ. 240.0000     | Costo unitario directo por : m3k |                    |                     | <b>8.29</b>  |  |
| <b>Código</b> | <b>Descripción Recurso</b>                   | <b>Unidad</b>  | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                  | <b>Precio \$/.</b> | <b>Parcial \$/.</b> |              |  |
|               | <b>Mano de Obra</b>                          |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 0147010003    | OFICIAL                                      | hh   | 0.0900           | 0.0030                           | 19.90              | 0.06                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>0.06</b>         |              |  |
|               | <b>Equipos</b>                               |  |                  |                                  |                    |                     |              |  |
| 910312010101  | CAMION VOLQUETE 15 m3                        | hm   | 1.0000           | 0.0333                           | 175.80             | 5.85                |              |  |
| 910312010103  | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 | hm   | 0.1860           | 0.0062                           | 384.16             | 2.38                |              |  |
|               |  |  |                  |                                  |                    | <b>8.23</b>         |              |  |

| Partida     | 02.05                          | TRITURADO DE CARPETA ASFÁLTICA RECICLADA |              |                                 |             |              |
|-------------|--------------------------------|--|--------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m3/DIA                         | MO. 150.0000                             | EQ. 150.0000 | Costo unitario directo por : m3 |             | <b>8.00</b>  |
| Código      | Descripción Recurso            | Unidad                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| 0209010053  | Chancado de material reciclado | m3                                       |              | 1.0000                          | 8.00        | 8.00         |
|             |                                |  |              |                                 |             | <b>8.00</b>  |

| Partida     | 01.06               | BASE GRANULAR (CANTERA HITOS). |            |                                 |             |              |
|-------------|---------------------|--------------------------------|------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m3/DIA              | MO. 1.0000                     | EQ. 1.0000 | Costo unitario directo por : m3 |             | <b>15.60</b> |
| Código      | Descripción Recurso | Unidad                         | Cuadrilla  | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| 0209010052  | Base granular       | m3                             |            | 1.2000                          | 13.00       | 15.60        |
|             |                     |                                |            |                                 |             | <b>15.60</b> |

| Partida      | 02.07  | TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR DE CANTERA HACIA CHANCADORA D=38.30 KM |             |                                  |             |              |
|--------------|--|--|-------------|----------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento  | m3k/DIA                                      | MO. 75.0000  | EQ. 75.0000 | Costo unitario directo por : m3k |             | <b>23.26</b> |
| Código       | Descripción Recurso                          | Unidad   | Cuadrilla   | Cantidad                         | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| 0147010003   | OFICIAL                                      | hh   | 1.0000      | 0.1067                           | 19.90       | 2.12         |
|              |  |  |             |                                  |             | <b>2.12</b>  |
|              |  | <b>Equipos</b>   |             |                                  |             |              |
| 910312010101 | CAMION VOLQUETE 15 m3                        | hm   | 1.0000      | 0.1067                           | 175.80      | 18.76        |
| 910312010103 | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 | hm   | 0.0581      | 0.0062                           | 384.16      | 2.38         |
|              |  |  |             |                                  |             | <b>21.14</b> |

| Partida     | 02.08               | HOMOGENIZADO DE BASE GRANULAR EN PLANTA DE SUELOS |            |                                 |             |              |
|-------------|---------------------|---|------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento | m3/DIA              | MO. 1.0000  | EQ. 1.0000 | Costo unitario directo por : m3 |             | <b>1.84</b>  |
| Código      | Descripción Recurso | Unidad  | Cuadrilla  | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| 0209010054  | Planta de suelos    | m3  |            | 1.0000                          | 1.84        | 1.84         |
|             |                     |   |            |                                 |             | <b>1.84</b>  |

| Partida      | 02.09  | TRANSPORTE DE MATERIAL HOMOGENIZADO HACIA OBRA D=7.60 KM |              |                                  |             |              |
|--------------|--|--|--------------|----------------------------------|-------------|--------------|
| Rendimiento  | m3k/DIA                                      | MO. 195.0000   | EQ. 195.0000 | Costo unitario directo por : m3k |             | <b>10.41</b> |
| Código       | Descripción Recurso                          | Unidad   | Cuadrilla    | Cantidad                         | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| 0147010003   | OFICIAL                                      | hh   | 1.0000       | 0.0410                           | 19.90       | 0.82         |
|              |  |  |              |                                  |             | <b>0.82</b>  |
|              |  | <b>Equipos</b>   |              |                                  |             |              |
| 910312010101 | CAMION VOLQUETE 15 m3                        | hm   | 1.0000       | 0.0410                           | 175.80      | 7.21         |
| 910312010103 | CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4-4.41 yd3 | hm   | 0.1512       | 0.0062                           | 384.16      | 2.38         |
|              |  |  |              |                                  |             | <b>9.59</b>  |

| Partida      | 02.10 CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR                         |              |              |                                 |          |            |              |
|--------------|---|--------------|--------------|---------------------------------|----------|------------|--------------|
| Rendimiento  | m3/DIA  | MO. 350.0000 | EQ. 350.0000 | Costo unitario directo por : m3 |          |            | 18.35        |
| Código       | Descripción Recurso   |              | Unidad       | Cuadrilla                       | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/.  |
|              | <b>Mano de Obra</b>   |              |              |                                 |          |            |              |
| 0147010004   | PEON  |              | hh           | 3.0000                          | 0.0686   | 17.98      | 1.23         |
| 0147010031   | CAPATAZ "A"   |              | hh           | 1.0000                          | 0.0229   | 25.24      | 0.58         |
|              |   |              |              |                                 |          |            | <b>1.81</b>  |
|              | <b>Equipos</b>  |              |              |                                 |          |            |              |
| 0337010001   | HERRAMIENTAS MANUALES                                       |              | %MO          |                                 | 3.0000   | 1.81       | 0.05         |
| 910312010125 | RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135 HP 10-12 ton |              | hm           | 1.0000                          | 0.0229   | 260.19     | 5.96         |
| 910312010138 | MOTONIVELADORA DE 145-150 HP                                |              | hm           | 1.0000                          | 0.0229   | 268.40     | 6.15         |
|              |   |              |              |                                 |          |            | <b>12.16</b> |
|              | <b>Subpartidas</b>  |              |              |                                 |          |            |              |
| 910304110101 | AGUA PARA LA OBRA   |              | m3           |                                 | 0.1200   | 36.51      | 4.38         |
|              |   |              |              |                                 |          |            | <b>4.38</b>  |

### Presupuesto por km de conformación de Base Granular 100% Material de

| Item  | Descripción   | Und. | Metrado  | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------|---|------|----------|------------|-------------|
| 01    | ALTERNATIVA 01 - BASE CON MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA                         |      |          |            | 245,635.20  |
| 01.01 | REMOCIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE   | m3   | 840.00   | 6.80       | 5,712.00    |
| 01.02 | ELIMINACIÓN ESPECIAL PARA MATERIAL CONTAMINANTE HACIA EL BOTADERO REQUE D=26.5 KM | m3k  | 840.00   | 18.17      | 15,262.80   |
| 01.03 | ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EN BOTADERO   | m3   | 840.00   | 8.11       | 6,812.40    |
| 01.04 | REMOCIÓN DE BASE Y SUBBASE EXISTENTE H=0.40 m                                     | m3   | 4,800.00 | 8.49       | 40,752.00   |
| 01.05 | ELIMINACIÓN DE BASE Y SUBBASE HACIA EL BOTADERO DE SAN JOSÉ D=8.1 KM              | m3k  | 4,800.00 | 8.29       | 39,792.00   |
| 01.06 | BASE GRANULAR (CANTERA HITOS).  | m3   | 2,400.00 | 15.60      | 37,440.00   |
| 01.07 | TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR DE CANTERA HACIA OBRA D= 40.5 KM                  | m3k  | 2,400.00 | 23.26      | 55,824.00   |
| 01.08 | CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR   | m3   | 2,400.00 | 18.35      | 44,040.00   |

### Cantera

### Presupuesto por km de conformación de Base Granular 10% CAR y 95%

### Material de Cantera

| Item  | Descripción  | Und. | Metrado  | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------|--|------|----------|------------|-------------|
| 02    | ALTERNATIVA 02 - BASE CON 10% DE ADICION DE CAR                        |      |          |            | 254,298.00  |
| 02.01 | REMOCIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE                                | m3   | 840.00   | 6.80       | 5,712.00    |
| 02.02 | TRANSPORTE DE CAR HACIA LA CHANCADORA D=7.60 KM                        | m3k  | 840.00   | 10.41      | 8,744.40    |
| 02.03 | REMOCIÓN DE BASE Y SUBBASE EXISTENTE H=0.40 m                          | m3   | 4,800.00 | 8.49       | 40,752.00   |
| 02.04 | ELIMINACIÓN DE BASE Y SUBBASE HACIA EL BOTADERO DE SAN JOSÉ D=8.1 KM   | m3k  | 4,800.00 | 8.29       | 39,792.00   |
| 02.05 | TRITURADO DE CARPETA ASFÁLTICA RECICLADA                               | m3   | 240.00   | 8.00       | 1,920.00    |
| 02.06 | BASE GRANULAR (CANTERA HITOS)  | m3   | 2,160.00 | 15.60      | 33,696.00   |
| 02.07 | TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR DE CANTERA HACIA CHANCADORA D=38.30 KM | m3k  | 2,160.00 | 23.26      | 50,241.60   |
| 02.08 | HOMOGENIZADO DE BASE GRANULAR EN PLANTA DE SUELOS                      | m3   | 2,400.00 | 1.84       | 4,416.00    |
| 02.09 | TRANSPORTE DE MATERIAL HOMOGENIZADO HACIA OBRA D=7.60 KM               | m3k  | 2,400.00 | 10.41      | 24,984.00   |
| 02.10 | CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR  | m3   | 2,400.00 | 18.35      | 44,040.00   |

- Comentario

Al finalizar la evaluación económica, la conformación de base granular por km con 100% material de cantera tiene un **costo directo de S/. 245,635.20** y la

conformación de base granular por km con adición de 10% de CAR presenta un **costo directo de S/. 254,298.00** resultando este último más costoso.

### **Evaluación Ambiental**

Las carpetas asfálticas contienen metales pesados como Cu, Ni, Zn, los cuales son tóxicos y que el suelo los llega adquirir al estar en contacto directo con él, lo cual le quita la capacidad de regenerar la capa vegetal.

Si bien no existe una mejora en la propuesta económica, los beneficios ambientales de reutilizar estos materiales son evidentes debido a que ahorramos cantidades considerables de material de cantera, y el costo ambiental para la extracción y preparación de dichos materiales en los proyectos de infraestructuras vial. Con el reciclaje de las CAR, dejan de ser residuos industriales para convertirse en materia prima, esta reutilización ahorra una gran cantidad de energía y de espacio en el vertedero que se necesitaría para manipular dichos residuos, en la ciudad de Chiclayo no se cuenta con un vertedero para residuos de construcción lo cual complica la situación.

Para realizar la evaluación ambiental se empleó la Matriz de Leopold, debido a que esta tiene una manera simplificada para resumir y jerarquizar los impactos ambientales de un proyecto. Dentro de la valorización de las partidas se considera el signo “+” cuando es un impacto positivo y el signo “-” cuando es un impacto perjudicial, en ficha valoración se emplea una escala del 0 al 10. Cuando el valor ponderado es negativo el impacto global del proyecto es perjudicial para el medio ambiente y si este valor es positivo el proyecto tendrá un impacto beneficioso en el medio ambiente.

Para un mejor análisis en la tabla, se dividió los impactos ambientales en dos etapas diferenciadas: La obtención y recolección de las CAR y la conformación de la Base Granular con la adición de CAR. En la primera etapa se obtuvo un impacto positivo con un ponderado de 207 debido a que en esta etapa se evidencia el reciclaje, la eliminación de residuos, y la fomentación de empleos. Por otro lado, en la segunda etapa durante la conformación de la base granular con adición de CAR se obtuvo un impacto negativo con un ponderado de -311 esto es debido al movimiento de tierras efectuado para dicha partida, así como la emisión de gases y partículas en suspensión durante la ejecución de los trabajos.

Después de haber realizado la Matriz de Leopold, se tuvo como resultado del ponderado global -104, esto nos indica una reducción del impacto negativo de la conformación de la

base granular, siendo el factor ambiental más frágil Las partículas en suspensión y la acción más agresiva la excavación y la nivelación.

| ACCIONES DEL PROYECTO<br><br>FACTORES AMBIENTALES |                               | OBTENCIÓN DE LAS CAR     |    |                      |    | CONFORMACIÓN DE LA BASE GRANULAR CON CAR |    |                         |    |  |    |                          |    | IMPACTO TOTAL |             |      |
|---|-------------------------------|--------------------------|----|----------------------|----|--|----|-------------------------|----|--|----|--------------------------|----|---------------|-------------|------|
|   |                               | Recolección de las CAR   |    | Triturado de las CAR |    | Trazo y Replanteo                        |    | Excavación y Nivelación |    | Mezclado de la material de cantera con CAR |    | Perfilado y compactación |    |               |             |      |
|   |                               | I                        | M  | I                    | M  | I  | M  | I                       | M  | I  | M  | I                        | M  | I             | M           | P    |
| Suelo   | Morfología del terreno        | 0                        | 0  | 0                    | 0  | 0  | 0  | 6                       | -7 | 6  | -8 | 2                        | -3 | 14            | -18         | -96  |
|   | Contaminación del suelo       | 4                        | 5  | 0                    | 0  | 2  | -1 | 5                       | -3 | 5  | -3 | 1                        | -2 | 17            | -4          | -14  |
|   | Erosión                       | 0                        | 0  | 0                    | 0  | 0  | 0  | 4                       | -4 | 3  | -3 | 0                        | 0  | 7             | -7          | -25  |
| Aire  | Partículas en suspensión      | 3                        | -2 | 4                    | -5 | 2  | -3 | 6                       | -7 | 5  | -6 | 3                        | -4 | 23            | -27         | -116 |
|   | Gases                         | 1                        | -1 | 4                    | -6 | 2  | -1 | 4                       | -5 | 4  | -5 | 2                        | -3 | 17            | -21         | -73  |
|   | Nivel de ruido                | 2                        | -3 | 6                    | -8 | 2  | -2 | 3                       | -5 | 4  | -5 | 3                        | -4 | 20            | -27         | -105 |
| Flora   | Diversidad                    | 3                        | 3  | 0                    | 0  | 1  | -1 | 2                       | -3 | 1  | -1 | 0                        | 0  | 7             | -2          | 1    |
| Fauna   | Diversidad                    | 3                        | 2  | 0                    | 0  | 1  | -1 | 2                       | -3 | 1  | -1 | 0                        | 0  | 7             | -3          | -2   |
| Calidad visual                                    | Paisaje urbano                | 5                        | 6  | 0                    | 0  | 1  | -1 | 2                       | -4 | 2  | -2 | 0                        | 0  | 10            | -1          | 17   |
| Factor socioeconómico                             | Empleo estacional             | 2                        | 2  | 2                    | 2  | 1  | 2  | 2                       | 2  | 2  | 2  | 2                        | 2  | 11            | 12          | 22   |
|   | Movilización y desplazamiento | 4                        | -3 | 0                    | 0  | 2  | -3 | 4                       | -4 | 3  | -3 | 2                        | -3 | 15            | -16         | -49  |
| Factor humano                                     | Calidad de vida               | 3                        | 4  | 0                    | 0  | 0  | 0  | 3                       | -3 | 2  | 3  | 2                        | 2  | 10            | 6           | 13   |
|   | Salud y seguridad             | 5                        | 4  | 0                    | 0  | 0  | 0  | 3                       | -5 | 0  | 0  | 0                        | 0  | 8             | -1          | 5    |
| Actividades                                       | Eliminación de residuos       | 7                        | 7  | 6                    | 7  | 0  | 0  | 3                       | -4 | 7  | 6  | 0                        | 0  | 23            | 16          | 121  |
|   | Reciclaje                     | 8                        | 8  | 6                    | 7  | 0  | 0  | 0                       | 0  | 7  | 7  | 0                        | 0  | 21            | 22          | 155  |
|   | Beneficios económicos         | 4                        | 5  | 1                    | 2  | 0  | 0  | 0                       | 0  | 4  | 5  | 0                        | 0  | 9             | 12          | 42   |
| IMPACTO TOTAL                                     | Magnitud                      | 37                       |    | -1                   |    | -11                                      |    | -55                     |    | -14  |    | -15                      |    | LEYENDA       |             |      |
|   | Importancia                   | 54                       |    | 29                   |    | 14                                       |    | 49                      |    | 56   |    | 17                       |    | M             | Magnitud    |      |
|   | Ponderado                     | 209                      |    | -2                   |    | -21                                      |    | -218                    |    | -36  |    | -36                      |    | I             | Importancia |      |
|   |                               | 207                      |    |                      |    | -311                                     |    |                         |    |  |    |                          |    |               |             |      |
| Factor Ambiental más frágil                       |                               | Partículas en suspensión |    |                      |    |  |    |                         |    |  |    |                          |    |               |             |      |
| Acción más agresiva                               |                               | Excavación y Nivelación  |    |                      |    |  |    |                         |    |  |    |                          |    |               |             |      |
| Suma del ponderado (filas)                        |                               | -104                     |    |                      |    |  |    |                         |    |  |    |                          |    |               |             |      |
| Suma del ponderado (columnas)                     |                               | -104                     |    |                      |    |  |    |                         |    |  |    |                          |    |               |             |      |

Tabla 70 Matriz de Leopold del Proyecto (Conformación de base granular con CAR)

## Conclusiones

- Se evaluó la influencia de las carpetas asfálticas recicladas en las propiedades físicas y mecánicas de bases granulares para pavimentos flexibles concluyendo que el porcentaje óptimo CAR para mantener dichas propiedades es de 10% de CAR, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas requeridas en los manuales de Especificaciones técnicas generales EG-2013 y la norma Pavimentos Urbanos CE 010.
- Se concluye que las 12 muestras de CAR cumplen con el límite máximo de sales solubles totales, así mismo se les realizó un triturado manual, el cual cumplió con las granulometrías establecidas para su uso en base granulares, seleccionándose los tamaños retenidos en la malla 3/4" y N° 60 para su adición con el material de cantera, Con respecto al contenido de asfalto existió una variación de entre 8.27% y 10.21%, seleccionándose los mayores valores de contenido de asfalto para cada sector.
- Se concluye de los resultados de granulometría por tamizado que para las dosificaciones de 5% y 10% CAR, todas cumplen con lo establecido en la normativa vigente, clasificándose como gradaciones de tipo A y B.
- Se concluye que el contenido de asfalto mejora la adherencia de los agregados en las carpetas asfálticas, sin embargo, se observó durante el proceso de compactación en laboratorio y en campo se disgregaban generando partículas más pequeñas, generando más arenas en el contenido de la muestra.
- Se concluye que las CAR presentan variabilidad en sus características y propiedades, la cual dependerá de los siguientes factores:
  - La Carpeta asfáltica dependerá del tipo de los agregados con el que fue elaborado.
  - Del tiempo de exposición o intemperismo al que fue expuesto.
- Se concluye que el límite líquido disminuye de 24% hasta 19% con la adición de RAP, debido a que en la distribución granulométría el porcentaje de arenas aumenta con respecto a la muestra patrón (material de cantera), mientras el límite plástico disminuye hasta en un 28.57 %.
- Se observó durante el ensayo proctor que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad disminuyen con la adición de CAR, la muestra patrón dio como resultado 2.278 g/cm<sup>3</sup> de máxima densidad seca y 6.87% de óptimo contenido de humedad, para la muestra 01 del sector 2 se obtuvo 2.239 g/cm<sup>3</sup> y 5.07% y para la muestra 02 del sector 4 se obtuvo 2.182 g/cm<sup>3</sup> y 4.97%.

- Durante el ensayo de CBR se observó que aumenta con la adición de CAR, la muestra patrón obtuvo valores de 83% al 95% de su m.d.s y 110.70% al 100% de su d.m.s, con la adición de 5% el CBR obtuvo un valor de 122.30% al 100% de su d.m.s y para la adición de 10% un valor de 137.50% al 100% de su d.m.s, demostrando así que con la adición se mejora esta propiedad de la base granular, permitiendo usarla en vías arteriales y expresas las cuales requieren como mínimo 100% de CBR.
- Se concluye luego de realizar un pequeño tramo de aplicación en campo de dimensiones de 1.20 x 1.20 x 0.3 de profundidad, debidamente compactado y mediante el ensayo DCP se correlaciono para hallar un CBR de 110.70% para el material de cantera y 135.58% para la combinación 10% CAR y 90% Material De cantera, existiendo un rango de variación de 1.18% - 1.39% con los datos de CBR obtenidos en laboratorio.
- De la evaluación de costos de la partida conformación de base granular, se concluye que la conformación con 100% material de cantera tiene un costo por km de S/. 245,635.20 y con 90% material de cantera y 10% CAR tiene un costo por km de 254,298.00 no resultando viable económicamente debido a que aún no es una actividad industrializada.
- De la evaluación ambiental, concluimos que el uso de las CAR es una alternativa sustentable ante la extracción masiva de recursos no renovables como lo son los agregados, así mismo se logra disminuir el volumen de este tipo residuos que tiene como disposición final los botaderos no autorizados en las afueras de la ciudad de Chiclayo generando contaminación ambiental.
- Finalmente concluimos que si se puede utilizar las CAR como sustitución en porcentajes de 10% de una base granular.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda utilizar las fracciones de agregado grueso y finos de las CAR triturada, debido a que estas se asemejan a las gradaciones del material de cantera, asegurando una buena compactación.
- Las CAR asfálticas deben estar libres de materia orgánica o contaminantes, se recomienda su traslado inmediato desde la extracción hacia la chancadora.
- Se debe fomentar el reciclaje de las carpetas asfálticas en nuestra región.
- Se recomienda investigar con materiales de distintas canteras.

## Referencias

- [1] M. Fay, M. Morrison, L. A. Andrés, E. Lora. “La Realidad Macroeconómica: Una Introducción a los Problemas y Políticas del Crecimiento y la Estabilidad en América Latina: Módulo 3: La infraestructura para el Crecimiento”. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://bit.ly/3nRFYbW> (acceso: 29 de agosto del 2021).
- [2] K. Schwab, “The Global Competitiveness Report”, World Economic Forum, Reporte, 91-93, 2019. [En línea]. Disponible en: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)
- [3] R. Meininger, H. Dylla, J. Youtcheff, “Looking to Aggregates to Improve Pavement Sustainability”, *Public Roads*, vol. 85, No. 2, summer 2021. [Online]. Available: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/21summer/06.cfm>. Accessed: August 29, 2021.
- [4] E. L. Solis Yturregui. “Pistas en JLO generan caos y enfermedades en el distrito”. La Industria. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bBPfPH>
- [5] C. Plati y B. Cliatt, “Una perspectiva de sostenibilidad para el pavimento de asfalto recuperado sin consolidar (RAP) como material base de pavimento”, *Sustainability*, vol. 11, no. 1, pág. 17, diciembre de 2018. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/su11010078> Accessed: August 31, 2021.
- [6] Ministerio de vivienda construcción y saneamiento “Diagnóstico de Residuos Sólidos de la construcción en el Perú”, Informe, 2008 [En línea]. Disponible en: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20101021014236.pdf>
- [7] F. Cabrera Bravo, “CREACION DE PISTAS Y VEREDAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN LA UNIDAD VECINAL SANTA VALENTINA DE LA CIUDAD DE FERREÑAFE, PROVINCIA DE FERREÑAFE – LAMBAYEQUE”, Gobierno Regional de Lambayeque, Lambayeque, Perú, Código SNIP 329367, oct.2021.
- [8] MPCH, “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DEL PUEBLO JOVEN ARTURO PASTOR BOGGIANO DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO – LAMBAYEQUE”, MPCH, Lambayeque, Perú, Código Único 2332378, oct.2021.
- [9] MPCH, “REPARACION DE PISTA Y VEREDA, EN EL (LA) URBANIZACION LOS PARQUES EN LA LOCALIDAD CHICLAYO, DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA

DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE””, MPCH, Lambayeque, Perú, Código Único 2498266, oct.2021.

[10] S. Adhikari, "Mechanical Properties of Soil-RAP-Geopolymer for the Stabilization of Road Base/Subbase.", University of Louisiana at Lafayette, Ann Arbor, 2017.

[11] D. M. Solder Vargas, "Evaluación física y mecánica de mezclas fresado y base granular para su empleo como agregados en la conformación de bases estabilizadas de pavimentos flexibles", Título profesional de ingeniería civil, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, Bogotá, 2019.

[12] E. Mousa, S. El-Badawy y A. Azam, "Evaluation of reclaimed asphalt pavement as base/subbase material in Egypt", *Transportation Geotechnics*, vol. 26, Julio de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391220303020> Acceso: septiembre 2021.

[13] L.A, Argumedo Solorzano, “Carpeta asfáltica reciclada y base granular reciclada para la conformación de una subbase granular óptima en la Av. Próceres del distrito de Chilca, provincia de Huancayo”, Título profesional de ingeniería civil. Univ. Continental, Huancayo, 2019.

[14] M. Bereche Fernández y N. Ríos Chilingano, “Diseño De Base granular Estabilizada Con Incorporación De Reciclado asfáltico de Pavimento y Emulsión Asfáltica css-1 En Vía Los Frutales Paraíso Del Valle Huarochiri-2019”, Tesis de pregrado, Fac. de Ingeniería, Escuela Académico Profesional Ingeniería Civil, Univ. César Vallejo, Lima, Perú, 2019.

[15] Y. P. Delgado Pérez, "Carpeta asfáltica reciclada para tratar las propiedades físicas y mecánicas de base granular deteriorada", Título profesional, Fac. Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Univ. Peruana Los Andes, Huancayo, 2021.

[16] J. C. Vera Tello, "Mejoramiento con emulsiones asfálticas de bases granulares, para pavimento en la región Lambayeque", Título profesional de ingeniería civil, Univ. Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2015.

[17] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*, 2ª ed. Colombia. Univ. Católica de Colombia – Ediciones y publicaciones, 2002. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria\\_de\\_pavimentos\\_Alfonso\\_Montejo\\_Fonseca](https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca)

[18] J.R. Menéndez Acurio, *Ingeniería de pavimentos*, 5ª ed. Perú. Fondo Editorial ICG, 2016.

- [19] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras – suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31ludTv> Consultado Sep. 25, 2021.
- [20] L. Bañón Blázquez, J. F. Beviá García, *Manual de Carreteras*, vol.2. España. Editorial Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A, 2000. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/1787>
- [21] S. Minaya González y A. Ordóñez Huamán, *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*, 2a ed. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2006. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIERIA\\_DISE%C3%91O\\_MODERNO\\_DE\\_PAVIMENTOS\\_ASF%C3%81LTICOS\\_M\\_Sc\\_SILENE\\_MINAYA\\_GONZ%C3%81LEZ](https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISE%C3%91O_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASF%C3%81LTICOS_M_Sc_SILENE_MINAYA_GONZ%C3%81LEZ) Consultado Oct. 12, 2021.
- [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3BFxnOC> , Consultado Sep. 25, 2021.
- [23] C. Kraemer, J.M. Pardillo, S. Rocci, M.G. Romana, V. Sánchez Blanco y M.A. del Val, *Ingeniería de Carreteras*, vol. 2. España: Editorial McGRAW-HILL / Interamericana Editores, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3GG1Mjv>
- [24] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017). *Manual de ensayo de materiales*. [En línea]. Disponible en: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf) Consultado Sep. 30, 2021.
- [25] C. Plati and B. Cliatt, “A Sustainability Perspective for Unbound Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) as a Pavement Base Material,” *Sustainability*, vol. 11, no. 1, p. 78, Dec. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/78>
- [26] M. Enieb et al, "Sustainability of using reclaimed asphalt pavement: based-reviewed evidence", *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1973/1/012242> Acceso: Septiembre 2021.
- [27] N. Shi, "The microstructure and evaluation index of reclaimed asphalt pavement", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 300, p. 032044, Agosto de 2019.

[En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/300/3/032044>  
Acceso: septiembre 2021.

[28] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). Glosario de términos de uso frecuente de infraestructura vial. [En línea]. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_4032.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf) Consultado Sep. 20, 2021

[29] G.S. Sanmartín Ramón, R.A. Zhigue Luna y T.P. Alaña Castillo, “El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista”, *Universidad y Sociedad*, vol. 9, N° 1, pp. 36-40. [En línea]. Disponible en: <http://rus.ucf.edu.cu/> Acceso: septiembre 2021.

[30] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2010), Norma técnica de edificación CE 0.10 Pavimentos urbanos. [En línea]. Disponible en: [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Normalizacion/norma\\_010\\_%20pavimentos\\_urbanos.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/norma_010_%20pavimentos_urbanos.pdf) Sep. 20, 2021.

[31] E.J. McGarrah, "Evaluation of Current Practices of Reclaimed Asphalt Pavement/Virgin Aggregate as Base Course Material", tesis de maestría, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Estados Unidos, 2007.

[32] B. Mishra, "A study on use of reclaimed asphalt Pavement (RAP) materials in flexible pavements", In t. J. Innov. Res. Sci Eng. Technol 4, 12170 - 12177, 2015. [En línea]. Disponible en: 10.15680/IJRSET.2015.0412088.

[33] TC Pavements, “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal de la av. Soberanía entre av. Elvira García y García a Av.09 de octubre distrito de Chiclayo - provincia de Chiclayo - departamento de Lambayeque”, 2022.