

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE AGREGADOS  
RECICLADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS**

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

**AUTOR**

**ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ**

**ASESOR**

**JOAQUIN HERNAN ROJAS OBLITAS**

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

**Chiclayo, 2022**

**DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE  
AGREGADOS RECICLADOS DE CARPETAS  
ASFÁLTICAS**

PRESENTADA POR  
**ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ**

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

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Juan Ignacio Luna Mera  
PRESIDENTE

Anibal Teodoro Diaz Orrego  
SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas  
VOCAL

## **Dedicatoria**


Esta investigación va dedicada a mis padres, Feliciano Manchay Ortiz y Estela López Naira, por creer en mis capacidades para desarrollarme personalmente y llegar a ser un profesional formado en conocimientos y valores. A mi novia Lorena Benavides Sanchez por su constante preocupación y apoyo en todos los capítulos de este proceso universitario.

El camino ha sido duro, con altos y bajos, pero siempre puedo encontrar respaldo y fuerza en ellos para poder seguir adelante y lograr todos mis objetivos planteados.

Gracias por todo su amor y comprensión.

Feedback Studio - Google Chrome  
ev.turmitin.com/app/carta/es/?s=18tu=1080622985&lang=es&ro=1956963706&ro=103

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE AGREGADOS  
RECICLADOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS**

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

**AUTOR**  
**ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ**

**ASESOR**  
**JOAQUIN HERNAN ROJAS OBLITAS**  
<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

27%  
1. Introducción 9%  
2. Marco teórico 2%  
3. Objetivos 1%  
4. Metodología 1%  
5. Resultados 1%  
6. Discusión 1%  
7. Conclusiones 1%  
8. Bibliografía 1%  
9. Anexos 1%  
10. Resumen 1%  
11. Índice 1%  
12. Introducción 1%  
13. Marco teórico 1%  
14. Objetivos 1%  
15. Metodología 1%  
16. Resultados 1%  
17. Discusión 1%  
18. Conclusiones 1%  
19. Bibliografía 1%  
20. Anexos 1%  
21. Resumen 1%  
22. Introducción 1%  
23. Marco teórico 1%  
24. Objetivos 1%  
25. Metodología 1%  
26. Resultados 1%  
27. Discusión 1%  
28. Conclusiones 1%  
29. Bibliografía 1%  
30. Anexos 1%  
31. Resumen 1%  
32. Introducción 1%  
33. Marco teórico 1%  
34. Conclusiones 1%

22°C Soleado 03:27 p.m. 17/11/2022

## Índice

Resumen.....	10
Abstract.....	11
I.INTRODUCCIÓN.....	12
II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes del problema.....	14
2.2 Bases teórico científicas.....	17
2.2.1. Pavimentos.....	17
2.2.2. Funciones de un pavimento.....	17
2.2.3. Tipos de pavimentos.....	18
2.2.3.1 Pavimentos flexibles.....	18
2.2.3.2. Pavimentos rígidos.....	21
2.2.4. Agregados pétreos.....	23
2.2.5. Agregados reciclados.....	24
2.2.6. Sub bases granulares.....	25
2.2.7. Bases granulares.....	27
2.2.8. Ensayos para la caracterización de los agregados.....	30
2.2.9. Método de diseño para pavimentos AASHTO 93.....	34
2.2.9. Deformaciones en capas granulares.....	38
2.2.8. Ley general del ambiente.....	38
2.2.9. Ley general de residuos sólidos.....	38
2.2.10. Reglamento para la gestión y manejo de residuos sólidos de las actividades de construcción y demolición.....	39
III. MÉTODOLOGIA.....	42
3.1. Hipótesis.....	42
3.2. Variables.....	42
3.3. Tipo y nivel de investigación.....	42
3.4. Diseño de investigación.....	42
3.5. Población, muestra, muestreo.....	43
3.5.1. Población.....	43
3.5.2. Muestra.....	43
3.5.3. Muestreo.....	44
3.6. Criterios de selección.....	45

3.7. Operacionalización de variables .....	46
3.8. Objetivos .....	47
3.8.1. Objetivo general.....	47
3.8.2. Objetivos específicos .....	47
3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	47
3.10. Procedimiento de experimentación .....	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	49
4.1. Resultados del estudio.....	49
4.1.1. Caracterización de los materiales .....	49
4.1.2. Ensayos a mezclas de agregados. ....	54
4.1.3. Diseño de pavimentos método AASHTO 93.....	64
4.1.4. Análisis ambiental.....	98
4.2. Discusión de resultados.....	99
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	105
5.1. CONCLUSIONES .....	105
5.2. RECOMENDACIONES.....	107
VII. LISTA DE REFERENCIAS.....	108
VIII. ANEXOS.....	110
8.1. Ensayo de agregados y mezclas de agregados .....	110
8.2. Diseño de pavimentos .....	128
8.2.1. Diseño de pavimento 1 .....	128
8.2.2. Diseño de pavimento 2 .....	130
8.2.2. Diseño de pavimento 3 .....	135
8.3. Evaluación de impacto ambiental .....	140
8.4. Panel fotográfico.....	160

## Lista de tablas

Tabla 1: Porcentaje de reciclaje en diferentes países de Europa .....	25
Tabla 2: Requerimientos granulométricos para sub base granular .....	26
Tabla 3: Requerimientos de ensayos especiales .....	27
Tabla 4: Requerimientos granulométricos para base granular .....	28
Tabla 5: Valor relativo de soporte CBR .....	28
Tabla 6: Requerimientos para agregado grueso .....	29
Tabla 7: Requerimientos para agregado fino .....	29
Tabla 8: Diferencia de Serviciabilidad .....	35
Tabla 9: Coeficientes de drenaje m <sup>2</sup> y m <sup>3</sup> .....	38
Tabla 10: Diseño de muestreo .....	43
Tabla 11: Caracterización del material recuperado .....	49
Tabla 12: Porcentaje de material recuperado .....	52
Tabla 13: Caracterización del agregado natural .....	53
Tabla 14: Correlación de CBR - MR recomendada por el MEPDG .....	66
Tabla 15: Porcentajes de Confiabilidad según el tipo de vía .....	67
Tabla 16: Coeficientes de drenaje m <sup>2</sup> y m <sup>3</sup> .....	70
Tabla 17: Datos para el diseño de Pavimento 1 .....	71
Tabla 18: Módulo de resiliencia y coeficiente estructural Fuente: Gráfico 4 y Gráfico 5 .....	72
Tabla 19: Espesores mínimos recomendados por capa .....	74
Tabla 20: Cálculo de espesores de Pavimento 1 para 1 000 000 EE .....	75
Tabla 21: Espesores calculados de pavimento 1 para 5 000 000 EE y 10 000 000 EE ..	76
Tabla 22: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural Fuente: Gráfico 4 y Gráfico 5 .....	79
Tabla 23: Cálculo de espesores de pavimento 2 para 1 000 000 EE .....	81
Tabla 24: Espesores calculados de pavimento 2 para 5 000 000 EE y 10 000 000 EE ..	82
Tabla 25: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural Fuente: Gráfico 4 y Gráfico 5 .....	85
Tabla 26: Cálculo de espesores pavimento 3 para 1 000 000 EE .....	86
Tabla 27: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 y 10 000 000 EE .....	87
Tabla 28: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural .....	90
Tabla 29: Cálculo de espesores pavimento 4 para 1 000 000 EE .....	91

Tabla 30: Espesores calculados de pavimento 4 para 5 000 000 y 10 000 000 EE.....	92
Tabla 31: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural.....	95
Tabla 32: Cálculo de espesores pavimento 5 para 1 000 000 EE.....	96
Tabla 33: Espesores calculados de pavimento 5 para 5 000 000 y 10 000 000 EE.....	97
Tabla 34: Resumen de los estudios realizados .....	100
Tabla 35: Espesores de las capas estructurales .....	103

## Lista de figuras

Ilustración 1: Conformación de un pavimento flexible .....	19
Ilustración 2: Distribucion de presiones en un pavimento flexible .....	20
Ilustración 3: Composición de un pavimento rígido .....	22
Ilustración 4: Distribución de esfuerzos en un pavimento rígido.....	22
Ilustración 5: Desechos de pavimentos asfálticos en Carretera Chiclayo-Lambayeque	41
Ilustración 6: Botadero de Reque .....	41
Ilustración 7: Identificación de la muestra .....	44
Ilustración 8: Esquema del pavimento N°01 .....	70
Ilustración 9: Cálculo del número estructural por medio de la ecuación AASHTO 93 .	71
Ilustración 10: Cálculo de SN1.....	73
Ilustración 11: Cálculo de SN2.....	73
Ilustración 12: Espesores calculados de pavimento 1 para 1 000 000 EE.....	75
Ilustración 13: Espesores calculados de pavimento 1 para 5 000 000 EE.....	76
Ilustración 14: Espesores calculados de pavimento 1 para 10 000 000 EE .....	77
Ilustración 15: Esquema del pavimento N°02 .....	77
Ilustración 16: Cálculo de SN1 – pavimento N°02 .....	79
Ilustración 17: Cálculo de SN2 – pavimento N°02 .....	80
Ilustración 18: Espesores calculados de pavimento 2 para 1 000 000 EE.....	81
Ilustración 19: Espesores calculados de pavimento 2 para 5 000 000 EE.....	82
Ilustración 20: Espesores calculados de pavimento 2 para 10 000 000 EE.....	83
Ilustración 21: Esquema del pavimento N°03 .....	83
Ilustración 22: Cálculo de SN1 - pavimento N°03.....	85
Ilustración 23: Cálculo de SN2 – pavimento N°03 .....	86
Ilustración 24: Espesores calculados de pavimento 3 para 1 000 000 EE.....	87
Ilustración 25: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 EE.....	88
Ilustración 26: Espesores calculados de pavimento 3 para 10 000 000 EE.....	88
Ilustración 27: Esquema del pavimento N°04 .....	88
Ilustración 28: Cálculo de SN1 - pavimento N°04.....	90
Ilustración 29: Cálculo de SN2 – pavimento N°04 .....	91
Ilustración 30: Espesores calculados de pavimento 4 para 1 000 000 EE.....	92
Ilustración 31: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 EE.....	93
Ilustración 32: Espesores calculados de pavimento 3 para 10 000 000 EE.....	93

Ilustración 33: Esquema del pavimento N°05 .....	93
Ilustración 34: Cálculo de SN1 - pavimento N°05 .....	95
Ilustración 35: Cálculo de SN2 – pavimento N°05 .....	96
Ilustración 36: Espesores calculados de pavimento 4 para 1 000 000 EE.....	97
Ilustración 37: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 EE.....	98
Ilustración 38: Espesores calculados de pavimento 3 para 10 000 000 EE.....	98
Ilustración 39: Departamento de Lambayeque.....	143
Ilustración 40: Mapa de la provincia de Chiclayo.....	144
Ilustración 41: Ubicación del laboratorio de suelos de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.....	144
Ilustración 42: Área de estudio del proyecto .....	145
Ilustración 43: Planta de algarrobo .....	147
Ilustración 44: Planta de Faique .....	148
Ilustración 45: planta de zapote .....	148
Ilustración 46: Oso de anteojos .....	149
Ilustración 47: Venado.....	149
Ilustración 48: Colambo .....	150
Ilustración 49: Iguana .....	150
Ilustración 50: Huerequeque.....	151
Ilustración 51: Pava aliblanca.....	151
Ilustración 52: Recolección de la carpeta asfáltica.....	160
Ilustración 53: Asfalto triturado .....	160
Ilustración 54: Carpeta asfáltica triturada.....	161
Ilustración 55: Cuarteo de la muestra a ensayar .....	161
Ilustración 56: Determinación del límite líquido y el límite plástico .....	162
Ilustración 57: Ensayo de proctor modificado.....	162
Ilustración 58: Preparación de la muestra para ensayo de CBR.....	163
Ilustración 59: Medición de la expansión.....	163
Ilustración 60: Introducción de muestras al horno para la determinación del contenido de humedad.....	164
Ilustración 61: Análisis granulométrico por tamizado .....	164
Ilustración 62: Lectura del dial en el ensayo de penetración para cálculo de CBR .....	165
Ilustración 63: Testigos luego del ensayo de penetración .....	165
Ilustración 64: Mezcla 30 AR - 70 AN .....	166

## Resumen

En esta investigación se realizó el análisis del efecto de utilizar agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas deterioradas en la fabricación de carpetas anticontaminantes de base y sub base granular para el posterior diseño de pavimentos. Con el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados, podemos contribuir a la mejora de las condiciones de las capas granulares, logrando aumentar los rendimientos y como consecuencia disminuir los costos de conformación de los proyectos viales.

Por otro lado, se centra en la búsqueda de tecnologías innovadoras para la construcción de vías de bajo volumen de tránsito en lo que se refiere a Bases y Sub bases granulares, tiene como objetivo lograr disminuir la contaminación ambiental, la reducción del uso de materiales naturales y la explotación de canteras, también se logra generar conciencia sobre el posible uso de los materiales reciclados producidos por la industria de la construcción y fomentar las investigaciones con un corte ecológico.

**Palabras clave:** Agregados Reciclados, Pavimentos reciclados, Agregado natural, Proctor modificado, CBR

### **Abstract**

In this investigation there was realized the analysis of the effect of using recycled material from asphalt folders spoilt in the manufacture of folders anti pollutant of base and sub granular base for the later design of pavements. With the study of the physical properties and mechanics of the recycling material, we can contribute to the improvement of the conditions of the granular caps, managing to increase the performances and as consequence to diminish the costs of conformation of the road projects.

On the other hand, the search of innovative technologies in the construction of routes, seeks to manage to diminish the environmental pollution, the reduction of the use of natural materials and the exploitation of quarries, also it is achieved to generate conscience on the possible use of the recycled materials produced by the industry of the construction and to promote the investigations with an ecological cut and view of world.

**Keywords:** Recycled attachés, recycled Pavements, natural Attaché, modified Proctor, CBR.

## I. INTRODUCCIÓN.

Las carpetas de rodadura están sometidas continuamente a acciones de tráfico y a las condiciones climatológicas que se puedan presentar, lo que en su medida puede ocasionar el deterioro de la superficie asfáltica y por lo consiguiente una pérdida en su nivel de serviciabilidad. El daño llega a tal nivel que la comodidad y la transitabilidad de la vía quedan afectadas de manera significativa, lo que trae consigo acciones de conservación y rehabilitación para mantener un adecuado servicio.

Las grandes cantidades de desechos de pavimentos asfálticos producidos por las obras de rehabilitación y saneamiento, sumado a la falta de infraestructura para su correcta disposición final hacen de esto un problema latente. El desecho de pavimentos discontinuados no solo representa un problema desde el punto de vista ambiental, también lo es desde el punto de vista técnico, ya que a pesar de estar en condiciones que no les permite cumplir con su deber de soportar el tráfico vehicular, aún mantienen la mayoría de sus propiedades. Los materiales usados en la fabricación de conglomerados asfálticos son de gran calidad, y nos dan un abanico de posibilidades para poder reutilizarlos.

La necesidad de cerrar las brechas existentes en lo que concierne al sistema vial de nuestro país, el creciente sentimiento de conservación ambiental, y los elevados costos del material utilizado en la conformación de los pavimentos, y si a esto se le adiciona la falta de infraestructura adecuada para la correcta disposición final de los residuos de construcción y demolición, hace de la operación de reciclado de carpetas asfálticas una alternativa viable y posible de realizar.

Lo que se quiere lograr responder con esta investigación es, ¿El uso de agregados reciclados lograra influir en el diseño de pavimentos mejorando las características físicas de los materiales empleados en la conformación de su estructura?

La reutilización de materiales no es nada nuevo en el ámbito de la construcción, muchos de los países desarrollados lo vienen usando con peculiar éxito. El darles un segundo uso a los materiales desechados trae consigo un importante impacto de carácter positivo en el medio ambiente, ya que al reducir la cantidad de materiales pétreos

utilizados en la construcción de vías estaremos contribuyendo a la conservación de las reservas (canteras).

De manera colateral la contaminación por los escombros se verá ampliamente reducida. Como es conocido nuestra ciudad no cuenta con la infraestructura necesaria para dar albergue a este tipo de residuos, por consiguiente, estos son arrojados, en el mejor de los casos en un botadero, o en las vías que conducen a la periferia de la ciudad. La incorrecta disposición de los residuos asfálticos no solamente genera contaminación ambiental, también genera contaminación visual, logrando alterar el paisaje y la cuenca visual. Debemos tener en cuenta la ley general de los residuos sólidos que nos exhorta a no ver a los residuos como un desecho sino como una oportunidad para darles un uso diferente.

## II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Antecedentes del problema

El pavimento reciclado no es una idea nueva ya que en los Estados Unidos se empezó a utilizar hacia el año 1915, pero las obras de esta índole no fueron sustanciosas debido al bajo precio del asfalto y a la falta de maquinaria capaz de realizar dicho trabajo.

De acuerdo con [1] los ingenieros canadienses han dejado de ver al asfalto maltrecho como un residuo, ya que lograron reciclar 500, 300 toneladas de mezcla bituminosa reciclada las cuales fueron acopiadas para su posterior uso.

Los Estados Unidos es uno de los países pioneros en el reciclaje de pavimentos para su posterior uso. [2] nos da a conocer que entre 1997 y 1983 se utilizaron más de 23, 000 toneladas de MBR para la construcción y rehabilitación de su sistema viario.

Durante los últimos años, el uso de materiales reciclados ha ido en aumento en todos los países del mundo. Esto es debido a la creciente política de conservación ambiental que se viene siendo adoptada por los gobiernos, con el fin de minimizar los impactos ambientales, el uso de nuevos materiales y de manera paralela promover el empleo de materiales reciclados. En los últimos años se han dado avances significativos en lo que concierne tecnología para el reciclaje de agregados, lo que hace cada vez más fácil su empleo.

También se debe tener en cuenta otras consideraciones cuando se evalúa la gestión de residuos sólidos; como el precio que la correcta disposición final, que cada vez va en aumento, debido al déficit que existe de instalaciones que cuenten con la infraestructura adecuada, a esto debemos agregarle las leyes sobre la conservación ambiental que rigen actualmente. En algunos países que cuentan con una gran densidad poblacional han llevado este problema hasta puntos donde insostenibles, como es el caso de España que, aun cuenta con gran extensión de terreno para la construcción de nuevos centros de control de residuos sólidos, pero debido a la creciente conciencia ambiental y las regulaciones impuestas por la Comunidad Europea, restringe cada vez más su utilización.

[3] En Bogotá – Colombia, se llevó a cabo una investigación en la cual se hizo un análisis comparativo de la granulometría de agregados provenientes de cantera y agregados reciclados (RCD), que brindo información para identificar características semejantes y diferencias. Los resultados obtenidos no fueron muy alentadores, para la preparación de concreto hidráulico, pero no se descarta su uso para la fabricación de otros componentes en el ámbito de la construcción, en este caso para el uso como capas estructurales para carreteras.

El objetivo principal a la cual se avoca esta investigación, [4] se basa en identificar una técnica para la utilización de agregados reciclados provenientes de residuos de demolición para la confección de bloques prefabricados de concreto, y verificar si es que cumple con los requerimientos que dispone la Normativa Chilena para la elaboración de dichos elementos.

Se llevó a cabo el análisis de las propiedades físicas y granulométricas de los agregados que formaran parte de la prueba, luego se realizó la dosificación de áridos y cemento siguiendo la metodología implantada por Faury – Joisel. Los agregados sometidos a las pruebas presentaron un déficit en lo que concierne a sus densidades, mostrándose por debajo que la densidad del material natural, pero pese a esta disminución de densidad se mantuvo dentro de los márgenes establecidos por la norma de construcción actual. El ensayo a comprensión al que fueron sometidos los bloques de hormigón fabricados con los agregados reciclados, muestran una considerable reducción de resistencia en comparación con el grupo de prueba, que en este caso es los bloques conformados con materiales pétreos. Sin embargo, ambos grupos de estudio cumplieron con los requerimientos normativos establecidos, tanto para la resistencia a la compresión, la absorción de agua máxima y el contenido de humedad.

[5] El estudio buscó la reutilización de material de desecho adquirido de la rehabilitación y la reconstrucción de la red vial, para luego reutilizarlo como un material capaz de cumplir la función de capa granular, tanto de base como sub base. Con la elaboración del estudio se pretende incursionar en el estudio de materiales alternativos que sean capaces de cumplir con las especificaciones pertinentes y controles de calidad con base procesos constructivos novedosos, la búsqueda de materiales alternativos es

fundamental dentro de la construcción, tanto por la demanda como por la rigurosidad que se tiene.

[6] Plantea la reutilización de los materiales reciclados para los millones de kilómetros de vías urbanas no pavimentadas, como una alternativa de solución a la problemática viaria. Esta investigación analiza el comportamiento mecánico del agregado reciclado para su empleo en capas de base y sub base granular. Consiste en una gama de ensayos de laboratorio para determinar el porcentaje de uso de los materiales reciclados. Se evaluó diferentes parámetros como, por ejemplo: compactación, espesor, variedad de materiales, peso específico, absorción, granulometría, índice de soporte California (CBR), módulo de resiliencia y deformación permanente.

Los resultados obtenidos demuestran la posibilidad de usar el agregado reciclado como una alternativa a los agregados naturales, con la variación en la energía de compactación para lograr condiciones óptimas y una pavimentación de calidad.

La investigación de [7] tiene como objetivo lograr una comparativa entre la conservación de pavimentos utilizando la alternativa correspondiente al reciclado de pavimentos in situ y los métodos convencionales.

De la evaluación económica se concluyó que mediante el método tradicional la suma asciende de 8'937,947 soles, mientras que el costo de la rehabilitación mediante el reciclado de la carpeta reciclada el presupuesto asciende a la suma de 7'335,000. Se logra notar claramente una reducción sustancial del presupuesto de la obra.

Esta investigación [8] permitirá determinar la relación entre el costo y beneficio de usar el asfalto reciclado para la producción de nuevas mezclas bituminosas en diferentes obras de construcción y rehabilitación de pavimentos asfálticos. Se plantea como alternativa ante la creciente demanda de materiales naturales y su elevado costo.

Como medida ambiental se pretende minimizar la cantidad de residuos proveniente de la rehabilitación y mantenimientos de las vías de la ciudad de Chiclayo, ante la falta de lugares adecuados para la disposición final de estos, se ve como una alternativa tentadora.

Analizando todo lo anterior, se puede decir con certeza, que el reciclado de agregados de mezclas asfálticas deterioradas es posible y cuenta con un gran potencial para su reutilización en la fabricación de diferentes componentes constructivos.

## **2.2 Bases teórico científicas**

### **2.2.1. Pavimentos**

Para el MTC [9] el pavimento es una conformación de varias capas apoyadas sobre la sub rasante de un camino, las cuales tienen por finalidad distribuir y soportar las cargas que ejercen los vehículos durante su vida útil, ofreciendo un mayor seguridad y comodidad. Los pavimentos están conformados por 3 capas: Base, sub base y una carpeta de rodadura que a su vez puede ser asfáltica o de concreto hidráulico.

Base granular: Es la primera capa de una estructura de pavimento, posee material especificado y un espesor previamente diseñado con soporta a la base y que se asienta sobre la sub rasante de la vía. Cumple una función de drenaje y controla la capilaridad del sistema. Según la norma debe contar con un soporte de CBR mínimo de 40%, también se puede conformar de una superficie tratada con cal, asfalto o cemento.

Base granular: Es la capa intermedia de la estructura, sirve como apoyo para la carpeta de rodadura por lo cual deberá poseer un índice de soporte de CBR mayor al 80%. Tiene la función de recibir y distribuir uniformemente las cargas ejercidas por los vehículos.

Capa de rodadura: Es la capa superior del pavimento, esta estará sometida directamente al efecto de las cargas vehiculares. Puede ser de tipo flexible (bituminoso), rígido (concreto) o de adoquines.

### **2.2.2. Funciones de un pavimento**

Un pavimento viene a ser una estructura compuesta por capas estructurales dentro de las cuales podemos identificar: La capa de rodadura, la base y la sub base, las cuales se encuentran apoyadas sobre una sub rasante adecuada debidamente. Tiene por finalidad proporcionar una superficie sobre la cual los vehículos puedan transitar de manera segura y confortable, a una velocidad de operación adecuada, además este se debe mantener su operatividad bajo cualquier condición climática que se presente. A partir de las

condiciones del proyecto: número de ejes equivalentes, condiciones climáticas, tipo de fundación, tipo de vehículos que transitan; se dispone de una amplia gama de pavimentos, por ejemplo: rígidos, flexibles, adoquinados.

La principal función de un pavimento es la de brindar una superficie de rodadura confortable de tal manera que los vehículos logren trasladarse por la vía de manera segura, del mismo modo la estructura del pavimento debe ser capaz de distribuir las cargas ejercidas por el tráfico y distribuirlas en las diferentes capas de la estructura con el fin de no sobrepasar las tensiones admisibles de estas.

El pavimento tiene que estar diseñado de tal manera que cumpla satisfactoriamente las condiciones impuestas por el proyecto, de tal manera que las funciones desempeñadas se den con el menor costo para la sociedad, por ello el diseño de una pavimentación es una actividad multidisciplinaria, dentro de la cual se ven inmersos diferentes campos de la ingeniería.

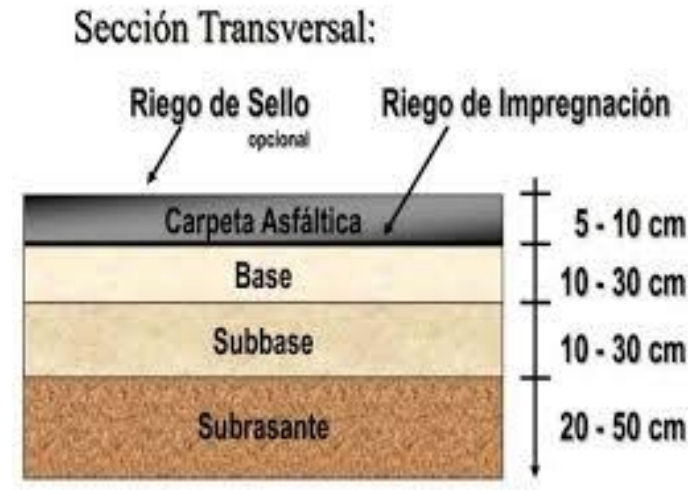
### **2.2.3. Tipos de pavimentos**

#### **2.2.3.1 Pavimentos flexibles.**

Los pavimentos flexibles son aquellos en los cuales su estructura total sufre flexiones o deformaciones dependiendo del número de ejes equivalentes y al tipo de cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se en zonas donde se cuenta con un tráfico abundante, como autopistas, parkings, aceras, etc.

Para [16] la construcción de un pavimento flexible suele variar en función de la intensidad del tráfico, la resistencia de la sub rasante y las características de los materiales utilizados, a su vez dependen de las condiciones climáticas existentes en la zona del proyecto.

Los pavimentos flexibles están conformados principalmente por una capa de rodadura, generalmente de un material bituminoso y por capas de material granular. Estas capas presentan una mayor deformación en comparación con la capa revestida el material ligante.



**Ilustración 1: Conformación de un pavimento flexible**

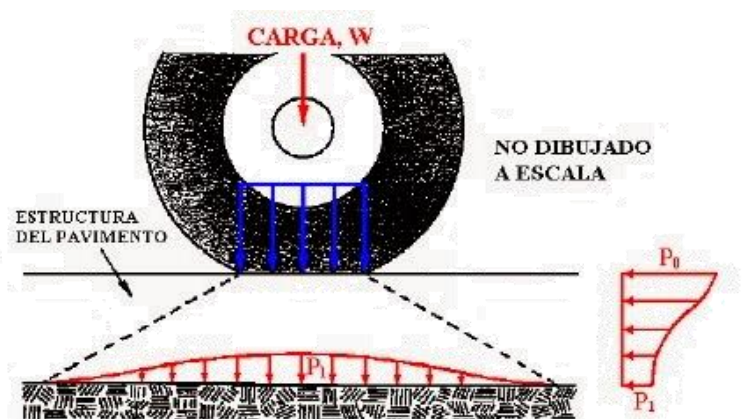
La capa de rodadura está compuesta por una mezcla de material de cantera y un material ligante, en este caso cemento asfáltico, lo que le brinda resistencia a esfuerzos de compresión y tracción.

Las capas inferiores de un pavimento flexible, base y sub base, están conformadas por material granular, estabilizado mecánicamente, presentando espesores mayores que la capa de rodadura. Dicha composición debe resistir los esfuerzos de compresión, de la misma manera presentan una resistencia considerablemente baja a los esfuerzos de tracción. Con la construcción de una base y sub base granular las presiones que se presentan por la acción de las cargas dinámicas, son atenuadas por los diferentes componentes del pavimento.

La sub base es la primera capa de la estructura de un pavimento, es la que se encuentra en contacto con el terreno natural o sub rasante y deberá transmitir adecuadamente los esfuerzos al terreno. También cumple la función de impedir que el agua contenida debajo de esta ascienda por capilaridad y cause daños considerables a la estructura. El material con el que se conforma la sub base es de menor calidad en comparación al de la base, es por ello también cumple una función económica ya que nos permite transformar un determinado espesor de base a un espesor equivalente de material para Sub base, cabe recalcar que no siempre se hace uso de la sub base en el diseño de un pavimento.

La capa intermedia de la estructura es denominada capa base, es la que recibe y soporta la mayor cantidad de esfuerzos transmitidos por los vehículos, la capa de rodadura es colocada sobre esta debido a la capacidad de carga del material empleado, regularmente a la base se le adiciona un material estabilizante para que logre soportar de manera óptima todas las cargas ejercidas. En caso no cumplir con las demandas necesarias, la acción del tráfico hace que se presenten deformaciones transversales. Se recomienda no realizar la compactación de agregados que cuenten con una humedad igual o superior al límite plástico.

La versatilidad en la construcción de los pavimentos flexibles, nos permite que su cálculo y dimensionamiento este en función del número de capas y de las características que presentan los materiales a utilizar, las mismas que depende de las solicitaciones ambientales y del tráfico. Para las condiciones que se presentan en el proyecto existen un sin número de soluciones de las cuales se debe elegir la que más convenga, evaluando tanto el aspecto ingenieril como el aspecto económico ya que los agregados demandan un gran porcentaje dentro de la construcción de nuevas vías.



**Ilustración 2: Distribución de presiones en un pavimento flexible**  
Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual

Las capas de base y sub base granular pueden ser materiales naturales o procedentes de un tratamiento previo. Las capas granulares tienen como principales funciones:

- Garantizar una superficie de trabajo estable durante la construcción del pavimento.

- La función de capa drenante, sirviendo de protección a las capas superiores de la acción del agua.
- De elemento estructural del pavimento.

Para que un material trabaje correctamente como un elemento estructural, depende de tres factores esenciales: Contacto entre partículas, el índice de vacíos, y su contenido de humedad.

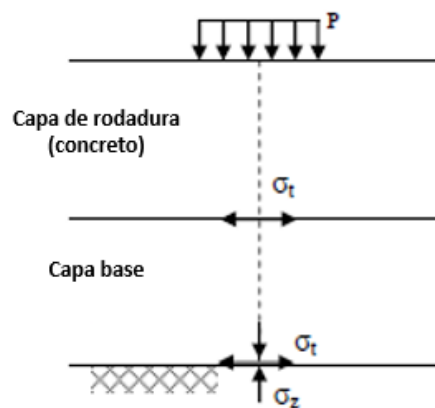
### **2.2.3.2. Pavimentos rígidos**

Existe una diferencia fundamental entre los pavimentos flexibles y rígidos, que está dada por la distribución de cargas sobre la sub base o sub rasante. En el pavimento rígido debido a las características del material empleado en su conformación, concreto hidráulico, la distribución de esfuerzos sobre la sub rasante es baja debido a que gracias a la rigidez y al alto módulo de elasticidad presente en la capa de rodadura, los esfuerzos son resistidos en su mayoría por la losa de concreto.

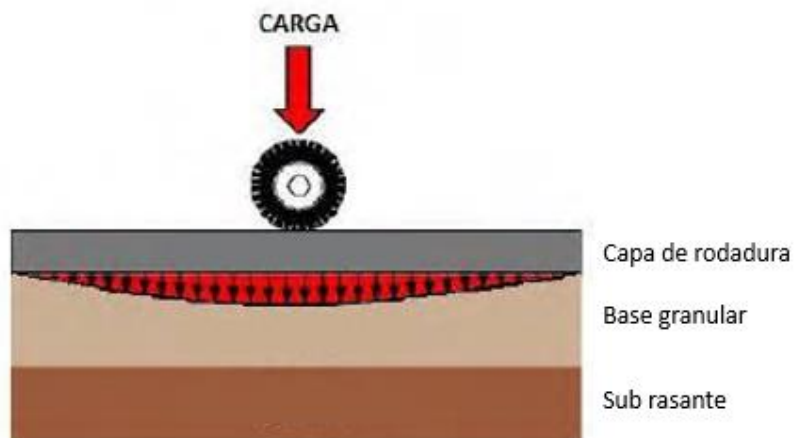
[16] Los pavimentos rígidos tienen una construcción y modo de funcionamiento diferentes a los pavimentos flexibles. Son constituidos por una capa de rodadura compuesta por concreto hidráulico, apoyada en una base granular, constituida por un material natural compactado mecánicamente.

Este tipo de pavimento es normalmente utilizado cuando el número de ejes equivalentes es elevado, pues debido a su elevada rigidez y resistencia, no surge deformaciones lo que permite que no sea necesario una capa inferior de espesor considerable como lo es en los pavimentos flexibles.

Antes de iniciar la construcción de un pavimento rígido se debe revisar si la sub rasante cumple con las condiciones necesarias para soportar la estructura de concreto. La construcción se realiza por medio de paños intercalados para luego proceder con el vaciado del concreto. Se tiene que colocar entre cada paño barras lisas o dowels para permitir la transmisión de cargas entre losas.



**Ilustración 3: Composición de un pavimento rígido**  
**Fuente: Adaptación (Branco 2005)**



**Ilustración 4: Distribución de esfuerzos en un pavimento rígido**  
**Fuente: Propia**

Durante la construcción de los pavimentos rígidos es necesario la colocación de juntas de contracción o dilatación, debido a la reacción natural del concreto que ocurre durante el proceso de fraguado.

Para el RNE en [17], las juntas deben ser diseñadas y construidas con cautela para garantizar un correcto funcionamiento, con excepción de las juntas de construcción que dividen el pavimento en el avance logrado por jornada de trabajo. Lo ideal sería que las juntas de construcción y de contracción deberían coincidir.

Además de las juntas transversales, se hace uso de las juntas longitudinales que son colocadas para lograr controlar el agrietamiento longitudinal, generalmente su espaciamiento coincide con la separación de los carriles de la vía.

#### **2.2.4. Agregados pétreos**

Los agregados pétreos o naturales son el resultado de la acción de los agentes climáticos, principalmente pluviales. Estos son elementos que son de fácil obtención, generalmente solo requieren de la actividad de extracción de sus respectivos depósitos (canteras), dependiendo al tipo de actividad para el que serán destinados se realizará un respectivo tamizado para adaptarlo a la normativa vigente. Los agregados naturales pueden ser: Agregados gruesos: Según la NTP son aquellos que son retenidos por el tamiz N°04. Todo material que pase la malla N°04 será considerado como agregado fino (arenas).

Los agregados cumplen una parte fundamental dentro de la composición de una mezcla asfáltica, ya que ocupan entre el 90 y 95 de porcentaje en peso, y entre el 70 y 85 en lo que concierne a volumen; cabe resaltar que si los agregados utilizados son de gran calidad la mezcla también lo será, ya que la resistencia de esta viene a ser proporcionada por esencialmente por los agregados usados, por ello la importancia de elegir los agregados adecuados para la elaboración, que cumplan con todos los requisitos impuestos por las normativas vigentes, haciendo mención especial al ensayo de granulometría.

Los agregados son tan determinantes dentro de la mezcla asfáltica que la variación de un porcentaje determinado del tamaño del agregado logra causar daños significativos en la mezcla, por consiguiente, se hace de suma importancia llevar un estricto control de calidad para garantizar que la materia prima sea óptima, la planta de producción puede realizar:

- a) Control de calidad del agregado que se produce en la planta trituradora.
- b) Acopio de agregados.

El adecuado control de calidad de un agregado óptimo para la construcción de capas granulares es un factor de suma importancia, sin embargo además de la calidad del

insumo, este debe cumplir con otros requisitos de selección, como lo son: la disponibilidad del insumo dentro del ámbito del proyecto, el costo del material, entre otras; el agregado seleccionado para la pavimentación deberá cumplir expresamente todos los criterios de selección para llegar a un resultado óptimo, tanto se refiere al aspecto técnico como al aspecto económico.

### **2.2.5. Agregados reciclados**

Los agregados reciclados son aquellos que se obtienen a partir de procesos de construcción y demolición. Estos agregados tienen que pasar previamente por un proceso de trituración para darles las condiciones óptimas para ser utilizados en el ámbito de la construcción. Pueden ser una alternativa eco amigable para reducir el consumo de agregados pétreos, poseen características similares y está demostrada su factibilidad en la construcción.

Según la European Asphalt Pavement Association (EAPA) [10], realizó un estudio de la cantidad de agregados que son reciclados en diferentes países de Europa.

Los agregados reciclados de las carpetas asfálticas son reutilizados en un mayor porcentaje en la fabricación de nuevas carpetas de rodadura con un reciclado en caliente o semicaliente. En un menor porcentaje ocupa el reciclado en frío y el uso del reciclaje para la fabricación de capas granulares (base y sub base). Los países que encabezan la lista en lo que es reciclaje son: Alemania, Austria y Suecia.

País	(t) Material asfáltico reciclable disponible	% Material asfáltico reciclable disponible usado en				% De la producción de las nuevas mezclas en caliente y templadas que contengan material reciclado
		Reciclado en caliente y reciclado semicaliente	Reciclado templado	Reciclado en frío	Capas granulares	
Alemania	14.000.000	82			18	60
Austria	400.000	85		5	10	
Bélgica	1.300.000	57				44
Dinamarca	307.000	55	0	0	45	46
Eslovenia	15.360	30	20	50		
<b>España</b>	<b>1.850.000</b>	<b>52</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>9</b>
Finlandia	500.000					
Francia	7.053.000	41				6,8
Grecia	0	0	0	0	0	0
Hungría	3.000	66	0		33	5,0
Islandia	30.000				25	6,0
Irlanda	100.000	30				1
Italia	12.000.000	20				
Noruega	720.000	11	0	10	63	9
Países Bajos	4.500.000	74				72
Polonia	1.100.000	5				0,2
Reino Unido	4.000.000					
República Checa	1.500.000	20	0	30	30	10
Rumania	13.000	60	10	15	3	12
Suecia	1.000.000	75	10	10	5	50
Suiza	1.200.000	50		50		17
Turquía	1.069.000	9			97	1

**Tabla 1: Porcentaje de reciclaje en diferentes países de Europa**  
Fuente: EAPA 2009

### 2.2.6. Sub bases granulares

[11] La sub base es la capa conformada por agregados naturales u otras fuentes que cumplen correctamente con las condiciones de granulometría y compactación. Deberán obedecer todas las especificaciones técnicas generales y especiales del proyecto. Está apoyada sobre la sub rasante debidamente preparada.

Las sub bases granulares están directamente en contacto con la fundación del pavimento por lo que es necesario que esta logre impedir la subida del agua por medio de la capilaridad, cabe resaltar que el material usado para la conformación de la sub base es

de una calidad inferior al usado en la base, debido a que esta se encuentra sometida a esfuerzos menores.

La granulometría es sumamente importante dentro del proceso de selección de agregados para pavimentos, deberá cumplir expresamente con la normativa especificada. Una buena gradación permite que los vacíos dentro del material sean menores y adquiera una buena trabazón, en cambio si la gradación del material es uniforme este presentara pocos puntos de contacto y baja trabazón, esto último dependiendo del tipo de forma de las partículas.

En la normativa peruana actualmente existen 4 usos granulométricos. Para que un agregado sea seleccionado su curva granulométrica debe estar dentro de cualquiera de los 4 usos, así verificamos una correcta distribución de partículas y por ende una compactación de calidad.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. ( $\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

**Tabla 2: Requerimientos granulométricos para sub base granular**  
Fuente: ASTM D1241- Manual de carreteras, EG-2013, (sección 402-01)

(1) La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Además de la granulometría, los agregados analizados para ser utilizados como sub base granular deben cumplir con los requerimientos técnicos impuestos por la Normatividad peruana:

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-.-	-.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-.-	D 4791	-.-	20% máx.	20% máx.

**Tabla 3: Requerimientos de ensayos especiales**

**Fuente: ASTM D1241- Manual de carreteras, EG-2013, (sección 402-01)**

- (1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1” (2.5 mm)
- (2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

El material provisto para la fabricación de capas granulares deberá tener una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de los usos sin variaciones intensas de un tamiz superior a uno adyacente y viceversa, con la finalidad de prevenir las segregaciones y para asegurar el nivel de compactación y resistencia exigidos por la normativa.

### **2.2.7. Bases granulares**

[12] La capa base es la que se ubica entre la sub base y la carpeta de rodadura. Debido a la cercanía con la superficie, está sometida a grandes esfuerzos provenientes de las cargas vehiculares, es por ello deberá contar con una alta resistencia a las deformaciones. Para conformar base granular se hace uso de agregados naturales, procesados o estabilizados y, también de materiales provenientes de desechos.

Los agregados usados para la construcción de bases granulares, son de mayor calidad que los usados en la construcción de la sub base por ello, deberán cumplir con las especificaciones indicadas en el EG-2013 para lograr una correcta compactación y que los esfuerzos sean distribuidos uniformemente hacia la fundación. Deberán cumplir con los siguientes requisitos.

[11] La composición granulométrica del agregado seleccionado deberá ser continua y deberá cumplir con al menos una de las granjas granulométricas que se indican a continuación. Con excepción para las zonas mayores o iguales a 3000 m.s.n.m que deberán cumplir con la gradación tipo A.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9,5 mm. ( $\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 $\mu$ m. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 $\mu$ m. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

**Tabla 4: Requerimientos granulométricos para base granular**  
**Fuente: ASTM D 1241-Manual de carreteras, EG-2013 (Sección 403-01)**

Además de los requisitos de gradación el material seleccionado deberá cumplir además con un índice de valor de soporte CBR como se especifica.

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes ( $<10^6$ )	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes ( $\geq 10^6$ )	Mín. 100%

**Tabla 5: Valor relativo de soporte CBR**  
**Fuente: ASTM D 1241-Manual de carreteras, EG-2013 (Sección 403-02)**

El valor a utilizar será establecido por los documentos y las especificaciones del proyecto aprobado.

### 2.2.7.1. Agregado grueso

Se le denomina agregado grueso al porcentaje de material retenido en la malla N° 04, son las partículas que agregan resistencia al agregado, este puede provenir de canteras naturales o de plantas trituradoras donde acondicionan el material para su uso.

Los agregados gruesos analizados deberán cumplir con todas las condiciones físicas y mecánicas que impone las normas vigentes.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3.000 msnm	≥ 3.000 msnm
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 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 6: Requerimientos para agregado grueso**  
**Fuente: Manual de carreteras, EG-2013 (Sección 403-03)**

#### 2.2.7.2. Agregado fino

Se denomina así a la fracción de material que pasa la malla N°04, podrán provenir de fuentes naturales o de procesos de triturado, o de ser el caso una combinación de ambos

Ensayo	Norma	Requerimientos Altitud	
		<3.000 msnm	≥3.000 msnm
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 7: Requerimientos para agregado fino**  
**Fuente: Manual de carreteras, EG-2013 (Sección 403-03)**

## **2.2.8. Ensayos para la caracterización de los agregados**

### **2.2.8.1 NTP 400.012 Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global**

[15] Determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido.

El ensayo de granulometría es uno de los ensayos más sencillos a la hora de realizar, pero no por ello deja de ser sumamente importante en la caracterización de los agregados, de tal manera que con los resultados obtenidos de la gradación podemos darnos una idea aproximada sobre las principales características de la muestra, por ejemplo: la capacidad de carga, permeabilidad o deformabilidad.

El ensayo de granulometría consiste en calcular una curva granulométrica del material de muestra, la cual representa la distribución por tamaño de las partículas. Para confeccionar la curva granulométrica se selecciona una porción de material representativa, luego se hace pasar la muestra por mallas o tamices; que se encuentran debidamente normados, varían desde los 125 mm hasta el tamiz N°200. Para calcular la granulometría de suelos con partículas inferiores a la malla N°200 es necesario usar el higrómetro. La curva se ve representada por los porcentajes acumulados retenidos en cada tamiz.

### **2.2.8.2. NTP 400.019 Resistencia a la abrasión mediante la máquina de los ángeles.**

[15] Establece el procedimiento a seguir para ensayar el agregado grueso de granulometría mayor a 37.5 mm (1 ½") con el fin de determinar la resistencia al desgaste e impacto utilizando la Máquina de los Ángeles

Para determinar la resistencia a la abrasión que presenta un agregado se utiliza la máquina de los ángeles, se coloca dentro del tambor cilíndrico de la máquina una determinada cantidad de agregado; cuenta con esferas de acero que son las cargas abrasivas y se aplica una determinada cantidad de revoluciones por minuto.

La colisión entre las cargas abrasivas y el agregado dentro del tambor da como resultado el desgaste del material (abrasión), los efectos son medidos como la diferencia de la masa inicial del agregado y la masa del material después del ensayo, masa desgastada; expresando el resultado como porcentaje inicial.

#### **2.2.8.3. NTL - 354: Índice de lajas y agujas de los áridos para carreteras.**

[15] Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.

#### **2.2.8.4. MTC E 223 Partículas chatas y alargadas en agregados**

[15] Este ensayo mide el porcentaje de partículas chatas o alargadas presentes en el agregado grueso, estas partículas pueden incidir con la consolidación de la capa estructural y hacen que la colocación de los materiales se torne dificultosa.

Los agregados que tienen una alta concentración de partículas alargadas o aplanadas son más propensos a sufrir fallas al momento de aplicar cargas ya que su forma no es la apropiada, de ahí la importancia de determinar el índice de partículas aplanadas presentes en el agregado, el cual se encarga de proporcionar resistencia a la mezcla asfáltica.

Es recomendable evitar la alta concentración de partículas alargadas, es mejor que nuestro agregado posea partículas de formas irregulares o que posean un área que logre adecuarse correctamente con las demás y así lograr la compacidad del material.

#### **2.2.8.5. NTP 339.141 Proctor modificado**

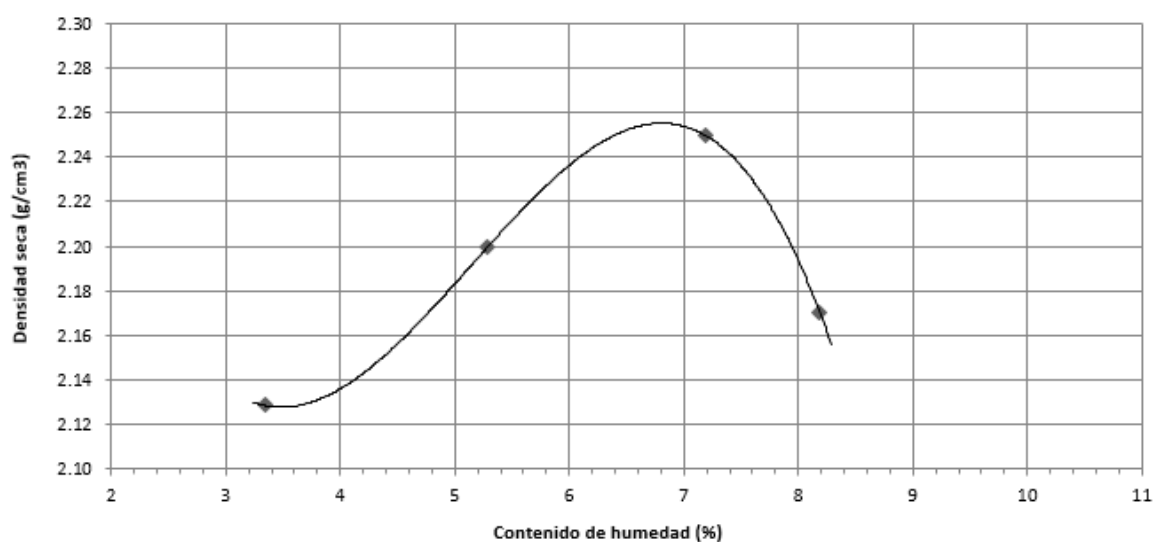
[15] El ensayo de proctor modificado es uno de los más importantes dentro del estudio y control de calidad de la compactación del terreno, a partir de este se logra estipular la relación entre la humedad del material y la máxima densidad seca, a una determinada energía de compactación.

El Grado de compactación de un terreno se expresa en porcentaje respecto al ensayo Proctor; es decir, una compactación del 85% de Proctor Modificado quiere decir que se

alcanza el 85% de la máxima densidad del Proctor Standard. El porcentaje puede ser mayor al 100%, por ejemplo, en casos en que la energía de compactación en campo es mayor a la del Proctor Modificado.

El proctor modificado se realiza elaborando testigos en los cuales vamos variando el contenido de humedad de dicha muestra, si la experiencia lo permite, podemos empezar con un nivel de humedad cercano al óptimo. El máximo punto de la gráfica del proctor modificado nos representa la humedad óptima de la muestra ensayada.

La humedad óptima del proctor modificado teóricamente representa las condiciones para que un suelo alcance su máxima capacidad de compactación. Los suelos granulares presentaran humedades bajas, mientras que los suelos en los cuales predominan arcillas y limos tendrán un porcentaje de humedad mucho más elevado.



**Gráfico 1: Curva de Proctor Modificado**  
Fuente: Propia

#### **2.2.8.6. California Bering Ratio (CBR) ASTM D 1883: Standard test method for CBR**

Este método de ensayo para caracterizar la resistencia en potencia de los materiales de base, sub base y sub rasante, siendo posible también su uso para materiales provenientes de actividades previas (materiales reciclados).

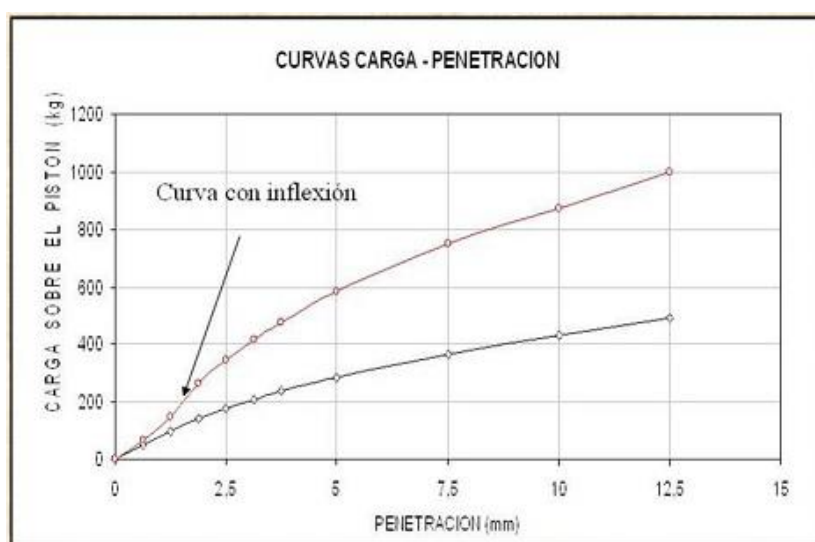
El índice de CBR es un componente importante en lo que a diseño de pavimentos se refiere ya que para [18] plantea una tabla de correlación del índice de CBR con el módulo de residencia, por lo tanto, mientras mayor sea el porcentaje de CBR menor será el espesor de la capa granular, son inversamente proporcionales.

Este ensayo calcula la carga que se necesita para penetrar una muestra compactada de suelo; sumergido con anterioridad en agua durante cuatro días, con el fin de alcanzar su grado de saturación más desfavorable. El pistón utilizado para realizar la penetración de los testigos tiene unas dimensiones establecidas.

La muestra es sumergida para simular las condiciones más desfavorables de acumulación de agua en el suelo una vez terminada la construcción. Es por ello, que luego de haberse compactado el testigo se lo penetra con un pistón el cual está conectada a un instrumento de medición con el cual se va calculando la penetración en un lapso de tiempo determinado para luego obtener una gráfica.

La gráfica obtenida por lo general es una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo; cuando el tramo inicial no es recto se le corrige.

Con la gráfica observamos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento (%), tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados.



**Gráfico 2: Gráfica de CBR, carga vs penetración**  
Fuente: Propia

### 2.2.9. Método de diseño para pavimentos AASHTO 93

[18] La metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimentos flexibles se presenta como una ecuación, mediante la cual se obtiene el número estructural SN, cuyo valor, además de ser directamente una relación con el número de ejes equivalentes, viene a ser afectado por la confiabilidad, el índice de serviciabilidad, la desviación estándar, cada SN representa el espesor de la capa que conforma la estructura de un pavimento flexible.

VARIABLES que intervienen en el modelo AASHTO 93, como se mencionó anteriormente el método vienen dado por la siguiente ecuación, en la cual se detallan los elementos presentes.

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot S_o + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{APSI}{42-15}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8,07$$

Donde:

- **W o W18:** [19] Número estimado acumulado de ejes simples equivalentes para un determinado periodo de diseño, corresponde al número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, en cual se establece basado en el previo estudio de tráfico.
- **Módulo de residencia (Mr):** Es un parámetro que mide la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo se emplea una ecuación que correlaciona el CBR con el módulo de residencia.

$$Mr(\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

- **Desviación estándar normal ZR:** Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad respecto a la predicción del tráfico, para caminos de bajo volumen de tránsito se encuentra en el rango de 65%-80% y para los demás caminos el rango está entre 80% y 95%
- **So:** Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural. La guía AAHSTO recomienda usar para pavimentos flexibles valores de So entre 0.4 y 0.5.

- **ΔPSI:** Diferencia entre índice de servicio inicial y final asumida para el proyecto en cuestión.

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( ΔPSI)
Caminos de bajo volumen de tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	1.80
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	1.80
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	1.80
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	1.80
Resto de caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	1.50
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	1.50
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	1.50
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	1.50
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	1.50
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	1.50
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	1.50
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	1.20
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	1.20
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	1.20
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	1.20

**Tabla 8: Diferencia de Serviabilidad**  
fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos

- SN: Número estructural

De la ecuación anterior se halla un número estructural SN que luego será usado para calcular un conjunto de capas granulares cuyo espesor (D) iguale o superen el número estructural calculado (SN).

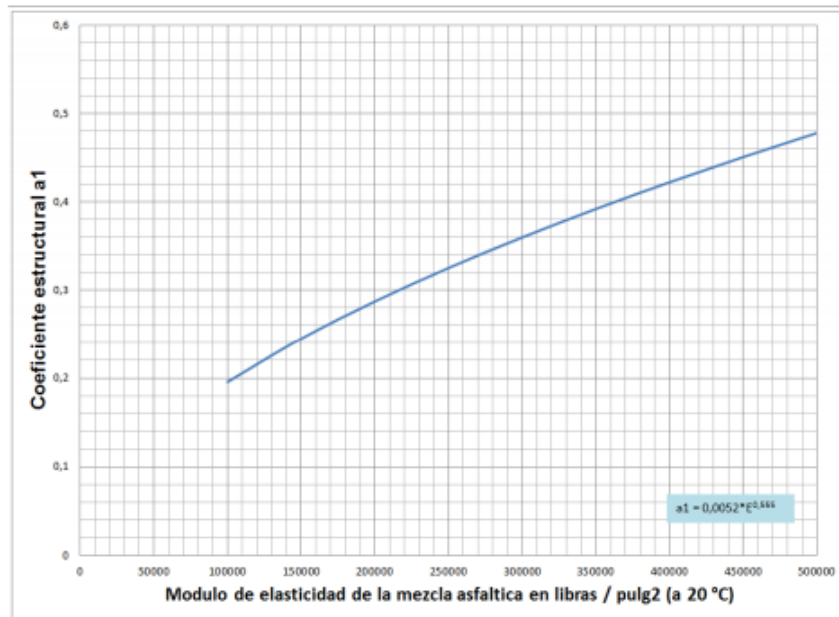
$$SN = a1.D1 + a2.m2.D2 + a3.m3.D3$$

Donde:

- ai: Coeficiente estructural de la capa i.
- Di: Espesor de la capa i en pulgadas.
- mi: Coeficiente de drenaje de la capa i.

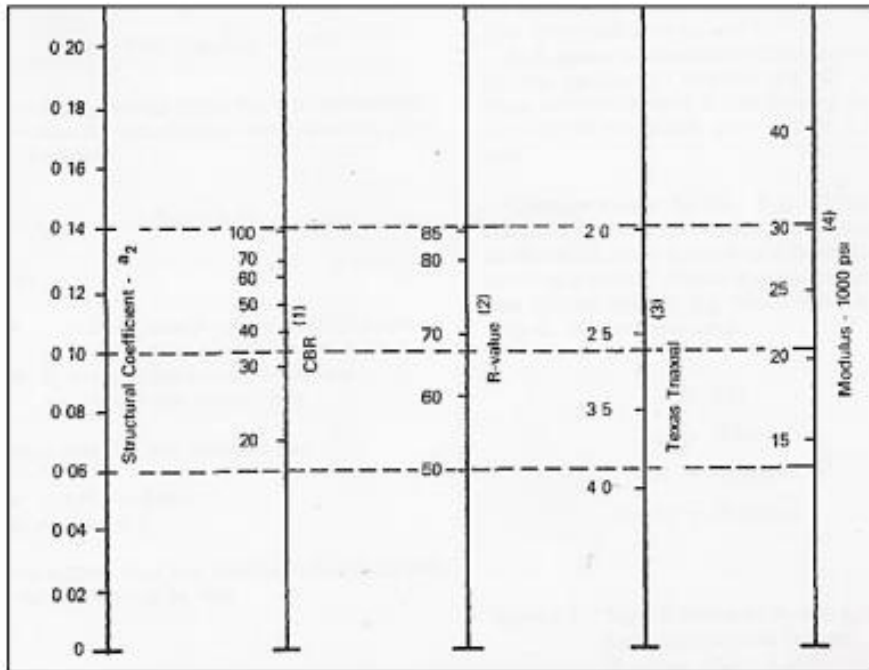
Para obtener el coeficiente estructural  $a_1$  se emplea la siguiente tabla a la cual se entra con el módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica determinada por las solicitaciones del proyecto.

Es importante poner en claro que el valor del aporte estructural obtenido es para un módulo de mezcla a una determinada temperatura en este caso 20° tal y como está estipulado en la guía AASHTO.

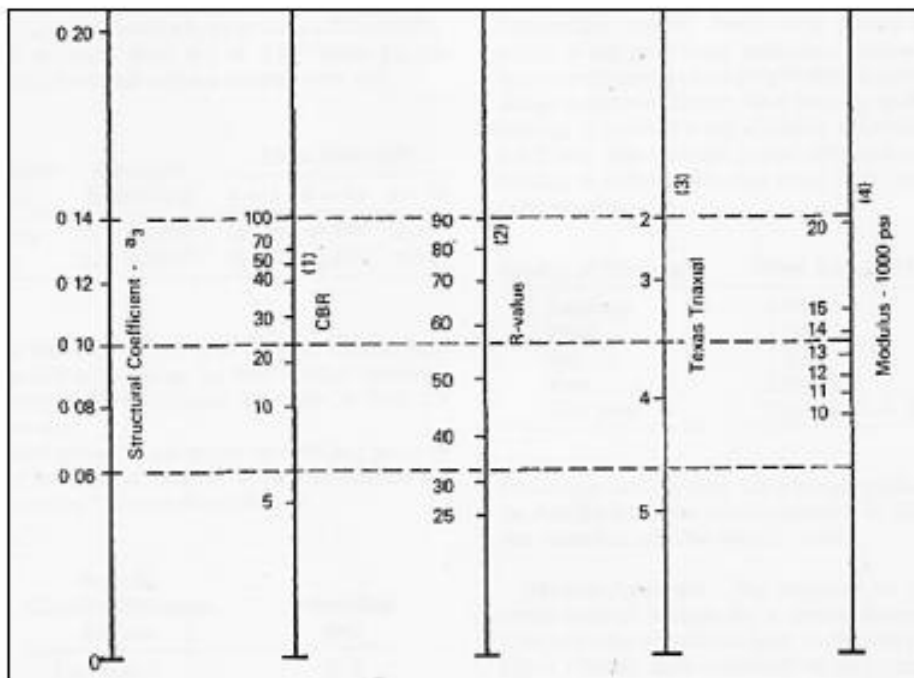


**Gráfico 3: Coeficiente estructural  $a_1$**   
**Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures 1993**

Para la obtención de los coeficientes  $a_2$  y  $a_3$  se ingresa al gráfico con el índice de CBR de la base y sub base respectivamente.



**Gráfico 4: Coeficiente estructural  $a_2$**   
 Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures 1993



**Gráfico 5: Coeficiente estructural  $a_3$**   
 Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures 1993

Los coeficientes  $m_2$  y  $m_3$ , que dependen de las características de drenaje de la base y sub base granular se toma los valores recomendados por la guía de diseño de pavimentos AASTHO 93.

CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE	AGUA EVACUADA EN	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL AÑO, QUE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ESTA EXPUESTA A UN NIVEL DE HUMEDAD			
		<1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
EXCELENTE	2 HORAS	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,2
BUENO	1 DIA	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,0
REGULAR	1 SEMANA	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
POBRE	1 MES	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
MUY MALO	NO DRENA	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,4

**Tabla 9: Coeficientes de drenaje m2 y m3**

Fuente: AASHTO guide for designig of pavement structures 1993

### 2.2.9. Deformaciones en capas granulares

Cuando a un material granular se le inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total ( $\epsilon_t$ ) que se genera es recuperada (deformación resiliente,  $\epsilon_r$ ). Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente ( $\epsilon_p$ ). En un pavimento estas deformaciones generan hundimientos o desplazamientos que, en exceso, pueden generar fallas funcionales y/o estructurales.

### 2.2.8. Ley general del ambiente

[13] “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva”

La Ley N°28661 es la encargada de ordenar el marco de normas legales para la gestión ambiental en el Perú.

Tiene como finalidad la prevención y protección de riesgos de daños ambientales. También tiene la tarea de fomentar el uso de nuevas tecnologías, procesos y métodos capaces de minimizar los impactos sobre el medio ambiente, para lograr una coexistencia armoniosa entre la biosfera y las actividades humanas.

### 2.2.9. Ley general de residuos sólidos

[14] Artículo 1: “La Ley tiene como objetivo central asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios

de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud, así como la búsqueda del bienestar de la persona humana”

La ley destaca a los residuos como primera prioridad e implementa política capaz de reunir y darle una disposición final correcta, que no afecte al medio ambiente en ninguno de sus factores.

La ley general de residuos sólidos deja de ver al residuo como una amenaza contra la salud y el ambiente, al contrario, esta propone apreciarlos como un recurso capaz de ser reutilizado en las diversas actividades económicas del país. Impulsa el reciclaje de los materiales producidos por todas las actividades humanas y busca generar la mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales.

Además de contribuir al cuidado medio ambiental también puede influir en la economía como una oportunidad de negocio.

#### **2.2.10. Reglamento para la gestión y manejo de residuos sólidos de las actividades de construcción y demolición**

Para [20] los residuos provenientes de la construcción y demolición, incluyen cualquier desecho proveniente de edificios demolidos, calles levantadas, aceras, puentes y otras actividades pertenecientes al rubro de la construcción. Las cantidades de RCD son variables y por lo tanto difícil de cuantificar. Estos deben ser debidamente dispuestos, según el reglamento de gestión de RCD en una planta de tratamiento para su posterior reutilización o en una escombrera.

Según [23] en el artículo 21 del reglamento para la gestión de RCD, el generador tiene la obligación de contratar un EPS-RS para la recolección, transporte y disposición final de los residuos generados. El manejo de residuos sólidos es una actividad conjunta entre los productores y las autoridades pertinentes, en este caso las municipalidades que están en la obligación de formular estrategias para facilitar el correcto tratamiento de los RCD.

Para [21] la industria de la construcción es una de las principales productoras de residuos, históricamente, pero es una actividad necesaria para el desarrollo de un país. Generalmente la generación de residuos se da en todas las fases de una obra de

construcción, desde la extracción de materiales, la fabricación de los materiales hasta los distintos procesos que conforman el ciclo de construcción. EL

El reglamento de gestión para RCD contempla el reaprovechamiento como una forma de minimizar el impacto ambiental y una forma de minimizar la cantidad de residuos producidos. La actividad de reaprovechar o procesar los RCD puede ser realizada por el propio productor o puede ser derivada a una EPS-RS o una EC-RS. De tal manera que la entidad encargada del proceso previo a la reutilización de los materiales provenientes de la construcción y demolición deberá contar con una planta de reciclaje especializada y se consideran los procesos de minimización o reducción en partículas.

Según [21] para facilitar la reutilización de RCD, estos deben ser separados en origen dividiéndolos en residuos aptos para su posterior procesamiento y residuos peligrosos. En lo que concierne al almacenamiento estos deben ser almacenados temporalmente en la misma obra, para lo cual se determinara un área considerando su accesibilidad y los criterios de seguridad, salud y ambientales.

Se prohíbe tajantemente el abandono de residuos en lugares no autorizados, y en lugares de dominio público. Esto no es respetado en la ciudad de Chiclayo ya que todos los RCD provenientes de las obras realizadas por la “Reconstrucción con cambios”, son arrojados al costado de las vías de salida en la periferia de la ciudad, en el mejor de los casos es arrojado en el botadero de Reque, lugar que no es el indicado para albergar permanentemente RCD.



**Ilustración 5: Desechos de pavimentos asfálticos en Carretera Chiclayo-Lambayeque**  
**Fuente: Propia**

Con la reutilización como alternativa latente y una correcta acción de las autoridades en la regulación de las actividades de construcción y demolición se puede lograr disminuir el impacto ambiental, visual y técnico que trae consigo la incorrecta disposición de los residuos de construcción y demolición



**Ilustración 6: Botadero de Reque**  
**Fuente: Propia**

### **III. MÉTODOLÓGIA.**

#### **3.1. Hipótesis**

La incorporación de agregados reciclados provenientes de pavimentos reciclados contribuirá en el diseño de pavimentos mejorando las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción de bases granulares para carreteras.

#### **3.2. Variables**

##### **3.2.1. Variables independientes**

- Adición de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas

##### **3.2.2. Variables dependientes**

- Propiedades mecánicas de las bases granulares
- Evaluación de impacto ambiental

##### **3.2.3. Variable interviniente**

- Agregado natural

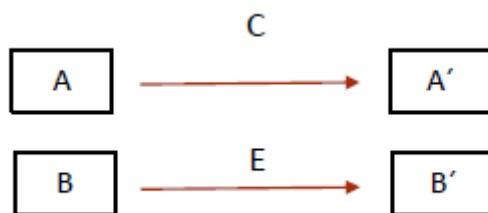
#### **3.3. Tipo y nivel de investigación**

- Según el fin que persigue: Aplicativa
- Según el diseño: Experimental

#### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño experimental es el clásico, donde se manipula al menos una variable y las unidades de medición son asignadas aleatoriamente en niveles variables.

La variable una vez manipulada será comparada con una muestra modelo generando la discusión de los resultados obtenidos



A= Es una muestra con 100% de agregado natural

B= Es una muestra combinada de agregado reciclado y agregado natural en una proporción determinada

### 3.5. Población, muestra, muestreo

#### 3.5.1. Población

Se utilizarán residuos de los pavimentos de las distintas calles de la ciudad de Chiclayo que están siendo demolidas por motivos de cambio de redes de saneamiento.

Se elaborará una base granular utilizando pavimento reciclado, teniendo en cuenta los índices concernientes en la Norma Técnica Peruana

#### 3.5.2. Muestra

Se determinará diversas combinaciones entre agregado natural y los agregados reciclados en porcentajes de 0, 10, 20 y 30 %, se procederá a ensayar las propiedades físicas y mecánicas con el fin de determinar el porcentaje más óptimo.

<b>BASES GRANULARES CON ASFALTO RECICLADO</b>	MUESTRA 1:	TRES TOMAS	0%
			10%
			20%
			30%
			40%
	MUESTRA 2:	TRES TOMAS	0%
			10%
			20%
			30%
			40%

**Tabla 10: Diseño de muestreo**  
**Fuente: Propia**

### 3.5.3. Muestreo

El muestreo es de tipo aleatorio. En este tipo de obtención de muestras todos los individuos de la población pueden formar parte de la muestra, todas tienen la misma probabilidad de formar ser incluidas en los estudios.



**Ilustración 7: Identificación de la muestra**  
**Fuente: Propia**

Debe obtenerse muestras que representen claramente los agregados a utilizar en la investigación. La cantidad y el estado de la muestra dependerán de la cantidad y del tipo de ensayos que se realizarán.

El tamaño de las muestras depende del ensayo a realizar:

- Clasificación visual: 500 gr
- Ensayo de Proctor modificado: 20 a 40 kg
- Ensayo de valor de índice de CBR (laboratorio) 20 a 25 kg
- Análisis granulométrico y constantes de suelo granulares 0.50 a 2.5 kg

### 3.6. Criterios de selección

Los agregados seleccionados para la experimentación serán de la cantera tres tomas, debido a su gran calidad, con la condición de que logren cumplir satisfactoriamente las especificaciones planteadas en el Manual de Carreteras EG-2013.

En cuanto a los agregados provenientes del reciclado de los firmes serán triturados hasta alcanzar un tamaño no máximo de  $\frac{3}{4}$ ", para la posterior evaluación de las propiedades físicas y químicas.



**Ilustración 8: Trituración de la carpeta asfáltica**  
**Fuente: Propia**

### 3.7. Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO	MEDICION	RANGO DE VARIABILIDAD
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> INCORPORACION DE AGREGADOS RECICLADOS	Cantidad de agregados reciclados	Balanza	% en peso, % en volumen	0, 10, 20, 30 %
	Granulometria	Juego de tamices	Porcentaje de peso (%)	-
	Particulas fracturadas en una cara	Balanza/tamiz	Porcentaje (%)	-
	Particulas fracturadas en dos caras	Balanza/tamiz	Porcentaje (%)	-
	Particulas chatas y alargadas	Balanza/tamiz	Porcentaje (%)	-
	Abrasion	Maquina de los angeles	Porcentaje (%)	-
	Equivalente de arena	Instrumento de laboratorio	Proporcion	-
	Proceso de reciclado	Manual	peso	-
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS	CBR ( California Bearing Ratio)	Prensa, estufa, piston de penetracion	Indice de resistencia	-
	Proctor Modificado	Molde y pison	Energia de compactacion	-
	Resistencia a la Abrasion	Maquina de los angeles	Porcentaje (%)	-
	Indice de durabilidad	Equipo de laboratorio	Indicador de durabilidad	-
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	Produccion de RCD	Metodo de Battelle-Columbus o matriz de Leopold	Porcentaje (%)	-
	Contaminacion al Suelo			-
	Contaminacion al Aire			-
	Contaminacion al agua			-
<b>VARIABLE INTERVINIENTE:</b> AGREGADO MINERAL	Granulometria	Juego de tamices	Porcentaje de peso (%)	-
	Particulas fracturadas en una cara	Balanza/tamiz	Porcentaje (%)	-
	Particulas fracturadas en dos caras	Balanza/tamiz	Porcentaje (%)	-
	Particulas chatas y alargadas	Balanza/tamiz	Porcentaje (%)	-
	Abrasion	Maquina de los angeles	Porcentaje (%)	-
	CBR ( California Bearing Ratio)	Prensa, estufa, piston de penetracion	Indice de resistencia	-
	Proctor Modificado	Molde y pison	Energia de compactacion	-
	Costos	Programa de computo s10	Soles (S/)	-

**Tabla N° 08: Operacionalización de variables**  
Fuente: propia

### **3.8. Objetivos**

#### **3.8.1. Objetivo general**

- Diseñar una gama de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de mezclas asfálticas en porcentajes óptimos tanto en base como en sub base

#### **3.8.2. Objetivos específicos**

- Determinar el porcentaje adecuado a utilizar de agregados reciclados para la fabricación de capas granulares de calidad.
- Evaluar la influencia de los agregados reciclados en el índice de CBR de las capas granulares.
- Evaluar la influencia de los agregados reciclados en la humedad y máxima densidad seca.
- Indagar sobre el porcentaje de recuperación de materiales de pavimentos asfálticos deteriorados
- Evaluar los costos vinculados al uso de agregados reciclados en la fabricación de bases granulares.
- Realizar la evaluación de impacto ambiental.

### **3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Luego de la recolección de agregados pétreos y el procedimiento previo para convertir los bloques de pavimento en un agregado reciclado capaz de ser utilizado, evaluaremos las propiedades físicas, químicas y mecánicas, siguiendo la normativa especificada en el Manual de ensayos de materiales EM 2000 – MTC

1. El primer procedimiento que se realizara es la determinación del tamaño de las partículas del material mediante el ensayo normalizado de granulometría por tamizado.
2. Cantidades de sales totales – ensayos químicos
3. De igual manera se calculará el índice de soporte CBR, el porcentaje de abrasión mediante la máquina de los ángeles

### **3.10.Procedimiento de experimentación**

El procesamiento de los datos obtenidos en laboratorio como resultado de los ensayos realizados será sometido al análisis estadístico para posteriormente ser presentados en cuadros resumen.

Se procederá a experimentar agregando determinados porcentajes de agregados reciclados a una muestra base, que en este caso vendría a ser el agregado procedente de cantera, y capturar la variación que se presente en las propiedades de los agregados.

Se analizará principalmente el índice de soporte de california (CBR) y el ensayo de proctor modificado que son los principales indicadores en lo que ha diseño de pavimentos se refiere.

Se realizará un análisis comparativo entre cada una de las muestras con el fin de apreciar la incidencia de la adición de agregados reciclados provenientes de mezclas asfálticas y, poder diseñar los pavimentos con la alternativa más conveniente.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Resultados del estudio

#### 4.1.1. Caracterización de los materiales

##### 4.1.1.1. Caracterización de agregados reciclados de carpetas asfálticas

En nuestro país la inexistente reglamentación para el uso de los agregados reciclados hace difícil la caracterización del material por lo cual los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio serán cotejados con los parámetros que plantea la Norma Peruana.

Ensayo de materiales	Norma	Agregado Reciclado (AR)	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	-----	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	-----	
Límite Líquido	MTC E 110	-----	
Límite plástico	MTC E 111	-----	
Índice de plasticidad	MTC E 111	-----	
Proctor modificado	MTC E 115	MDS	2.20 g/cm <sup>3</sup>
		% H	5.90%
CBR	MTC E 132	43.00%	
Sales Solubles Totales	USBR E-8	0.40%	

**Tabla 11: Caracterización del material recuperado**  
**Fuente: Propia**

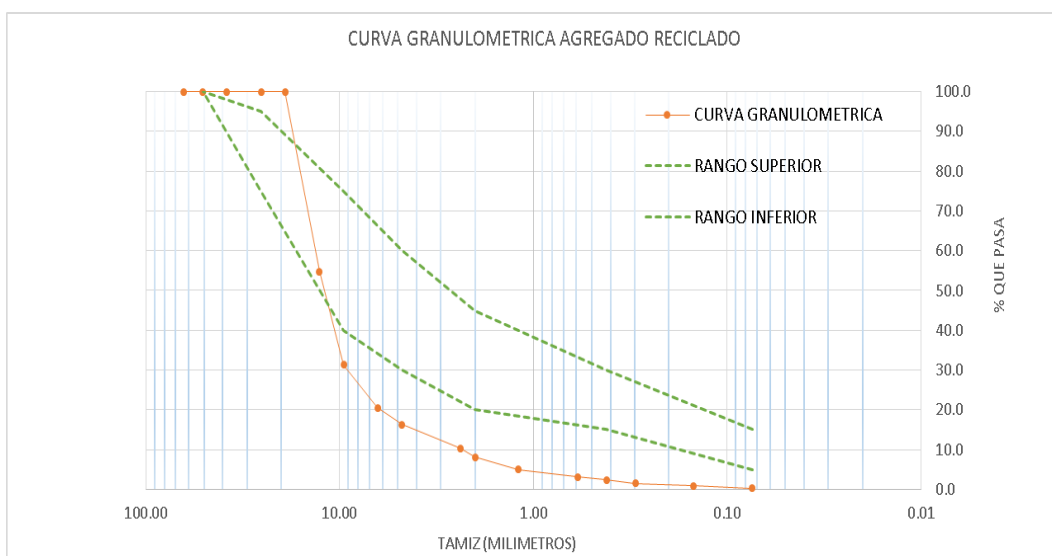
[22] los materiales reciclados en la mayoría de los casos no cumplen con los requisitos granulométricos que exige la normativa, pero no se descarta su reutilización como materia prima en la conformación de nuevos elementos.

El índice de valor de CBR es de 43.0%, valor que no cumple para los requerimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana para bases granulares, sin embargo, puede ser usado como material para sub base ya que el CBR mínimo exigido por la norma es de 40%.

El valor de máxima densidad seca es de 2.200 g/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 5.9%, ambos resultados del ensayo de proctor con energía de compactación modificada, esta humedad optima fue utilizada para realizar el ensayo de CBR del material reciclado, realizando 3 testigos con un mismo contenido de humedad.

El valor de sales de 0.4% cumple con la normativa vigente.

Se realizó el ensayo de granulometría por tamizado para el agregado reciclado, el cual es triturado mediante un proceso manual, lo cual puede explicar la inconsistencia en el tamaño de las partículas que presente a la hora de hacer la curva granulométrica, además los bloques de pavimento han sido obtenidos de diferentes puntos dentro de la ciudad de Chiclayo donde el material utilizado no ha sido el mismo.



**Gráfico 6: Curva granulométrica del material reciclado**  
Fuente: Propia

Según el análisis granulométrico el agregado reciclado presenta un tamaño máximo nominal de 1/2'', presentando un mayor porcentaje de gruesos considerablemente alto. Por ello se realizó el acondicionamiento pertinente para que el agregado cumpla con las especificaciones necesarias.

#### 4.1.1.2. Porcentaje de material recuperado

El material utilizado para el estudio proviene de la descomposición de bloques de pavimentos flexibles mediante métodos manuales debido a la envergadura del estudio que se limita solamente a pruebas de laboratorio. En el caso se quiera utilizar un reciclaje para obras se necesita una producción a mayor escala y para esto es necesario una trituración mecánica.

El método para la trituración mecánica influirá en la composición del agregado reciclado ya que como lo plantea [24] las maquinas trituradoras mediante impacto son las que mayor cantidad de finos ofrecen ya que puede generar partículas de tamaños reducidos, mientras las trituradoras de cono o de mandíbulas dan una cantidad de finos inferior.



**Ilustración 9: Recolección de la Carpeta Asfáltica removida de la calle Los Tréboles**  
**Fuente: Propia**

Para hallar la cantidad de material recuperado mediante el método manual se ha realizado una serie de pruebas con bloques de pavimento asfáltico de no más de 6kg para facilitar la manipulación, hallando un porcentaje de recuperación de alrededor del 95 % en cada ensayo realizado.

numero de muestra	peso de bloque	peso de bloque triturado	peso de perdida	% de perdidas	%Material recuperado
1	5.164	4.856	0.308	5.96%	94.04%
2	6.236	5.949	0.28726	4.61%	95.39%
3	5.764	5.345	0.419	7.27%	92.73%
4	4.353	4.134	0.2188	5.03%	94.97%
5	6.343	5.9354	0.4076	6.43%	93.57%
6	8.642	8.112	0.53	6.13%	93.87%
7	5.987	5.693	0.294	4.91%	95.09%
8	4.825	4.498	0.327	6.78%	93.22%
9	7.833	7.521	0.312	3.98%	96.02%
10	6.453	6.012	0.441	6.83%	93.17%
11	5.761	5.467	0.294	5.10%	94.90%
12	6.343	6.052	0.291	4.59%	95.41%
					<b>94.36%</b>

**Tabla 12: Porcentaje de material recuperado**  
Fuente: Propia



**Gráfico 7: Porcentaje de material recuperado de pavimentos flexibles**  
Fuente: Propia

#### 4.1.1.3. Procedencia del agregado natural

Debido a la al proceso de reconstrucción que está viviendo la ciudad de Chiclayo, muchas de las vías se encuentran en rehabilitación; por lo que la obtención del material, para el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas, no presentara mayor dificultad. Se tuvo en cuenta que el material seleccionado pertenezca a una pavimentación nueva para dar seguridad de que el material utilizado para la realización de la investigación es el usado en las obras de la ciudad.

El material elegido para ser el grupo de control de nuestro estudio fue obtenido de la pavimentación de la calle Juan Buendía en la cual se hallan haciendo trabajos de reconstrucción y conformación de un nuevo pavimento, el agregado proviene de la cantera tres tomas una de las principales proveedoras de material para la construcción en todos los campos que este comprende.



**Ilustración 10: Calle Juan Buendía, lugar de recolección de material para estudio**

**Fuente: Propia**

#### 4.1.1.4. Agregados naturales

ENSAYO DE MATERIALES	NORMA	AGREGADO NATURAL	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GP	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A1-a(0)	
Límite Líquido	MTC E110	20.1	
Límite Plástico	MTC E111	15.63	
Índice de Plasticidad	MTC E111	4.47	
Proctor Modificado	MTC E114	MDS	2.283
		Humedad	5.90%
CBR	MTC E132	90.30%	
Sales solubles totales	USBR E-8	0.10%	

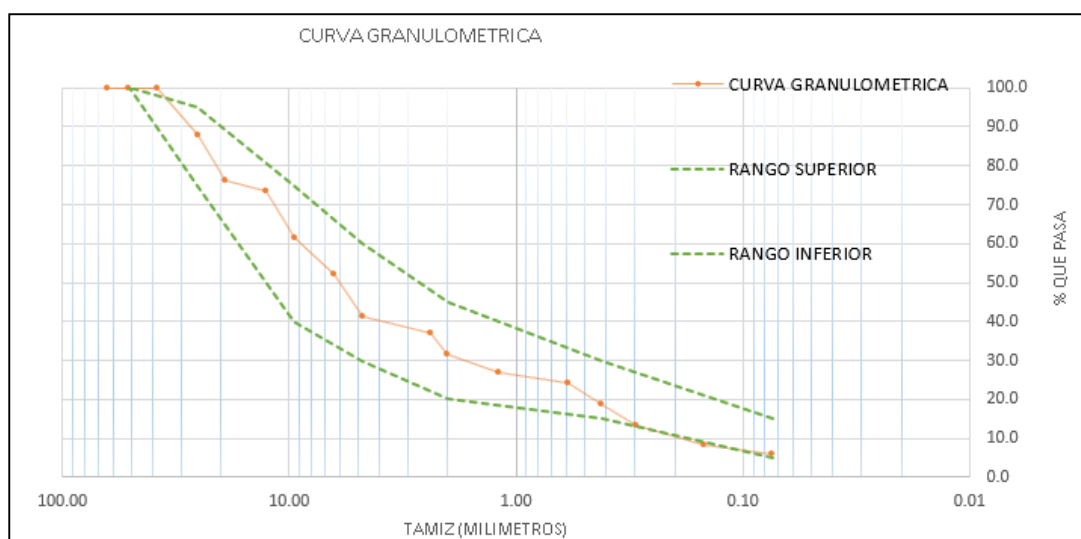
**Tabla 13: Caracterización del agregado natural**

**Fuente: Propia**

El agregado seleccionado cumple con los requisitos impuestos por la normatividad peruana ya que el Índice de Soporte de California (CBR) es de 90.3% y el mínimo exigido es de 80% para bases. El límite líquido del material es de 20.10 menor al máximo establecido que es de 25%

El índice de plasticidad cumple con los requerimientos siendo menor que 6% que es lo que exige la norma. Las sales soluble presentes en el agregado natural son de 0.1% siendo menor al 1%.

Se realizó el ensayo de granulometría, con el fin de obtener la curva granulométrica y compararla con los usos establecidos en la norma.



**Gráfico 8: Curva granulométrica del agregado natural**  
Fuente: Propia

Como se puede apreciar la curva granulométrica está dentro de los parámetros establecidos por la norma peruana en este caso, logrando cumplir con las expectativas del material, una buena repartición de las partículas del agregado nos asegura una mejor compactación y trabazón del material.

#### 4.1.2. Ensayos a mezclas de agregados.

Como se planteó en la investigación, al agregado natural se le adiciono cierto porcentaje de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas, con una variación

del 10% en cada una de las muestras. Así pues, se realizaron 4 combinaciones entre agregados que hasta llegar a un 60% de agregado natural y 40% de agregado reciclado.

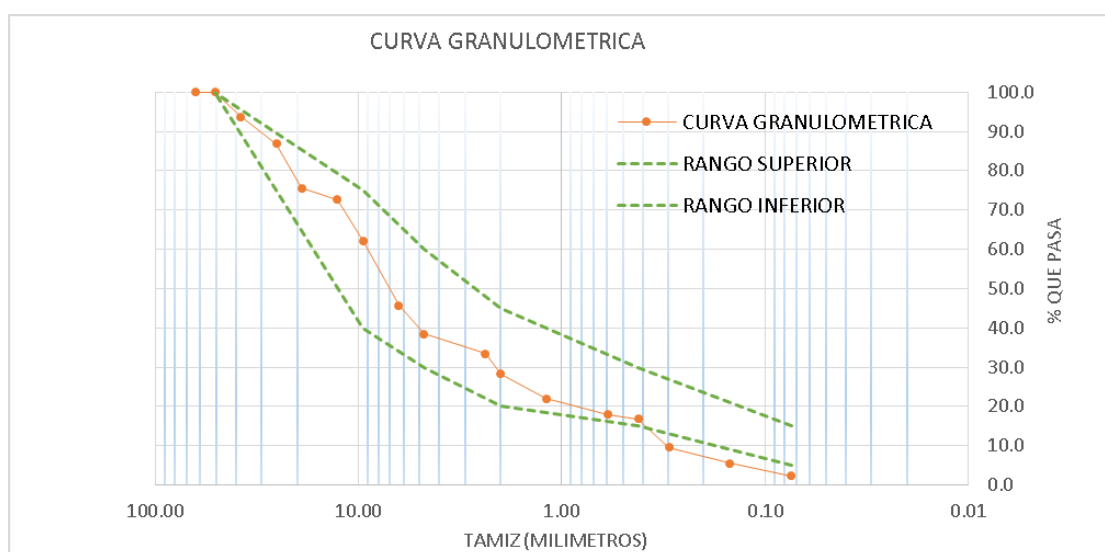
#### 4.1.2.1. Combinación 90-10

Se realizó la combinación de 90% agregado proveniente de cantera y 10% proveniente del acondicionamiento de los desechos de asfalto provenientes de las diversas obras de reconstrucción que se están dando en la ciudad.

Para esta combinación se ha realizado los ensayos de granulometría, proctor modificado y el ensayo de CBR, que son los principales cuando se pavimentaciones se refiere.

### Granulometría

Para la granulometría por tamizado se realizó previamente la mezcla de los agregados en las proporciones correspondientes. Se generó la siguiente curva.

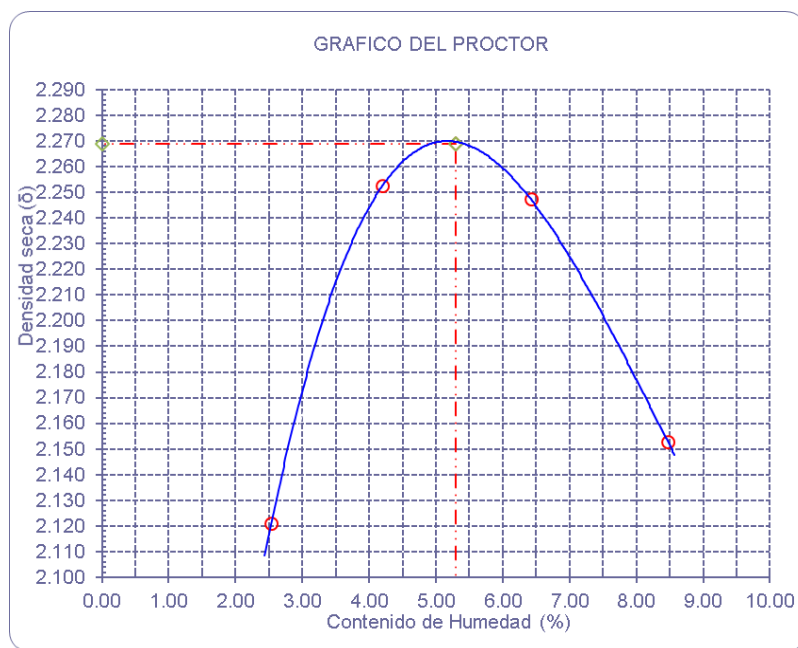


**Gráfico 9: Curva Granulométrica de la combinación de agregados 90 AN - 10 AR**  
Fuente: Propia

La curva está siendo comparada con los usos granulométricos establecidos en la norma peruana específicamente con la gradación "B". Debido a la irregularidad de las partículas de agregado reciclado y la gran cantidad de partículas gruesas que presenta hace que la curva granulométrica pierda continuidad en su recta final, saliéndose de los límites establecidos

### Proctor modificado.

El proctor modificado fue realizado según lo especificado en el manual de ensayo de materiales, variando la humedad de la muestra hasta obtener una curva representativa para poder hallar la máxima densidad seca y el porcentaje de humedad óptimo.



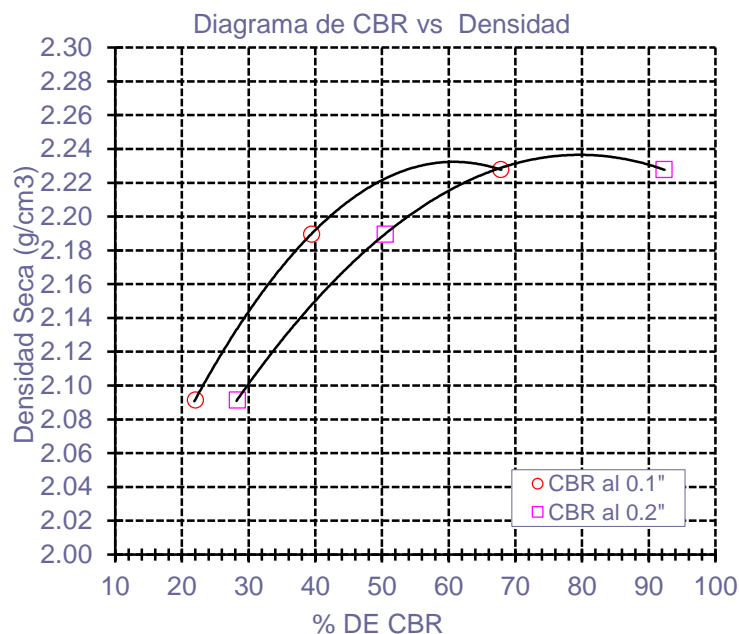
**Gráfico 10: Curva del Proctor Modificado combinación de agregados 90 AN - 10 AR**  
Fuente: Propia

Para la combinación 90 AN – 10 AR, el ensayo de proctor modificado arrojó los siguientes resultados: La máxima densidad seca se ubica en 2.269 g/cm<sup>3</sup> y, el porcentaje de humedad óptimo es de 5.3%

### Ensayo de CBR.

El ensayo de CBR cumple una función muy importante dentro del diseño de pavimentos, ya que se usa para correlacionarlo con el módulo de resiliencia del material, dato usado para el cálculo del número estructural del pavimento.

El CBR se realizó con el porcentaje de humedad óptima obtenida del ensayo de proctor modificado elaborado con anterioridad.



**Gráfico 11: Diagrama de CBR combinación de agregados 90 AN - 10 AR**  
Fuente: Propia

VALOR DEL C.B.R.		
	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100%	<b>81.6</b> %	<b>137.5</b> %

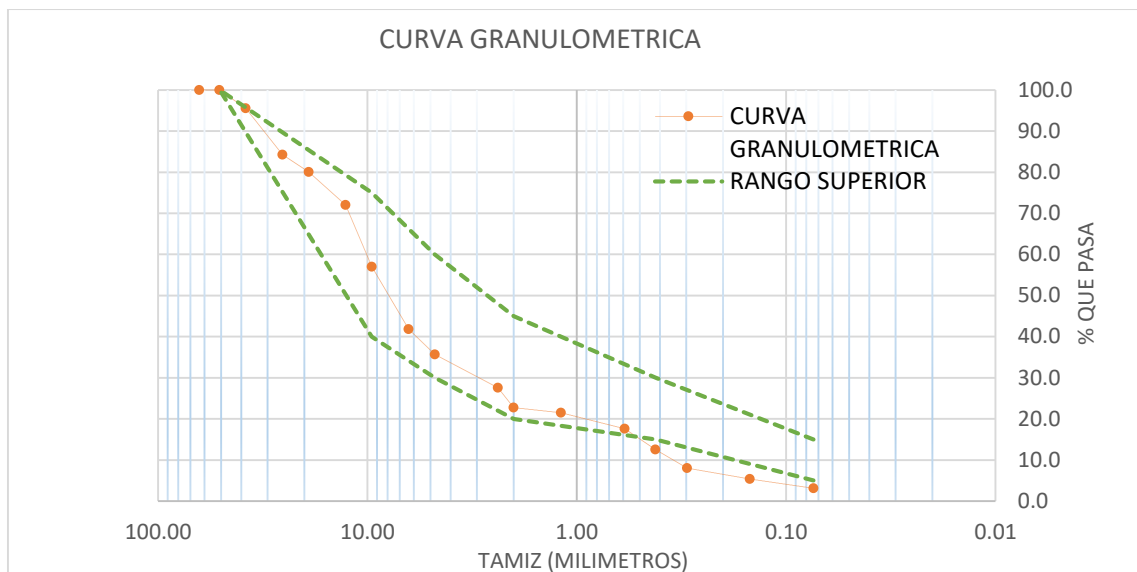
El CBR de la primera combinación realizada arrojó 81.6% cumpliendo el requerimiento de la norma técnica peruana para bases granulares. Además, se registró un porcentaje de expansión máximo de 1.8%.

#### 4.1.2.2. Combinación 80-20

Para la segunda combinación, se adicionó el 20% de material reciclado, para evaluar la incidencia de este sobre el material natural. Los ensayos realizados son los mismos para todas las combinaciones con el fin de realizar un análisis comparativo.

### Granulometría

El ensayo de granulometría se ha realizado inicialmente la mezcla de los agregados en los porcentajes correspondientes 80% de agregado procedente de cantera y 20% del material procedente del acondicionamiento de los residuos de asfalto.



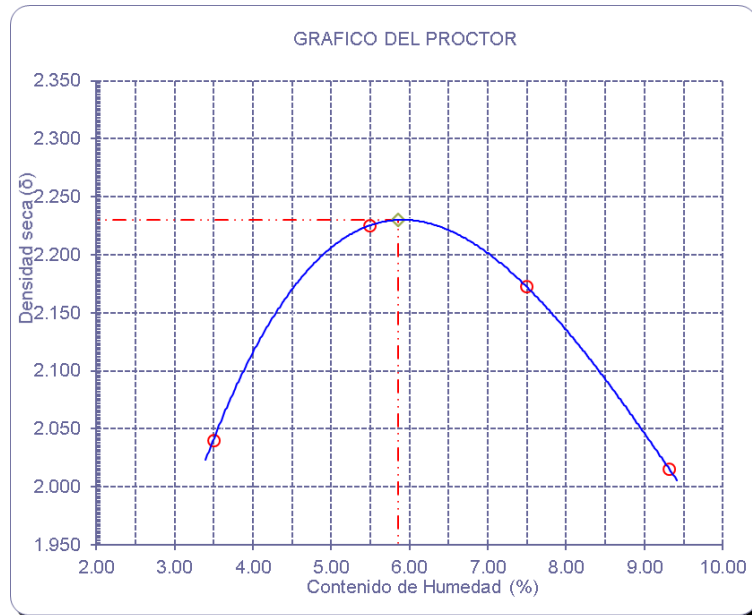
**Gráfico 12: Granulometría de la combinación de agregados 80 AN - 20 AR**  
**Fuente: Propia**

Del mismo modo que la primera muestra la condición de, que el agregado reciclado presente un mayor porcentaje de partículas gruesas hace que la curva granulométrica pierda continuidad y exista unos escasos de material fino, tal que ayuda al agregado a tener una mejor compactación y resistencia. Se realizó la comparación con el uso granulométrico “B” de la norma, como se puede apreciar, la curva granulométrica sale del límite mínimo establecido.

### **Proctor modificado**

Para el material 80 AN – 20 AR se realizaron 4 testigos, con una variación de 2%, con el fin de confeccionar la curva del proctor modificado y poder obtener la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo.

Para la combinación 90 AN – 10 AR, el ensayo de proctor modificado arrojó los siguientes resultados: La máxima densidad seca se ubica en 2.23 g/cm<sup>3</sup> y, el porcentaje de humedad óptimo es de 5.85%, datos que serán de suma importancia para realizar el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR)

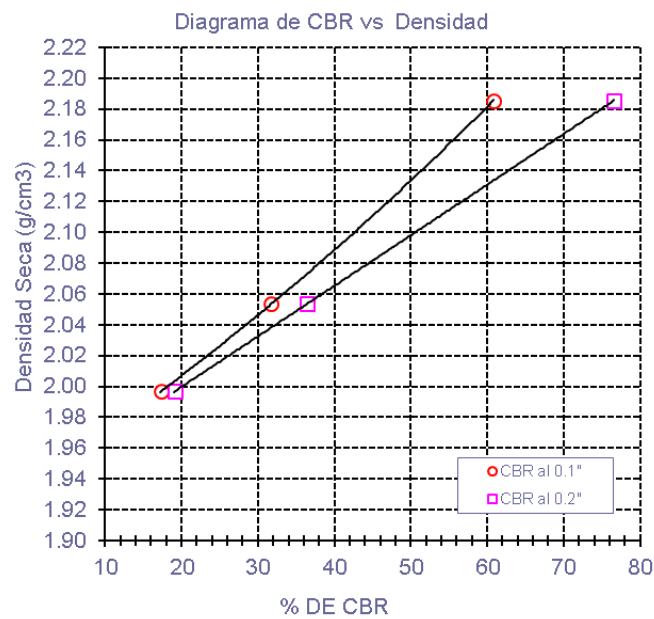


**Gráfico 13: Curva del Proctor Modificado de la combinación de agregados 80 AN - 20 AR**  
Fuente: Propia

### Ensayo de CBR

El CBR se realizó con el porcentaje de humedad óptima obtenida del ensayo de proctor modificado elaborado con anterioridad.

En este caso la mezcla realizada paso por el procedimiento estándar para el cálculo del CBR.



**Gráfico 14: Curva del CBR de la combinación de agregados 90 AN - 10 AR**  
Fuente: Propia

VALOR DEL C.B.R.		
	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100%	71.1 %	90.1 %

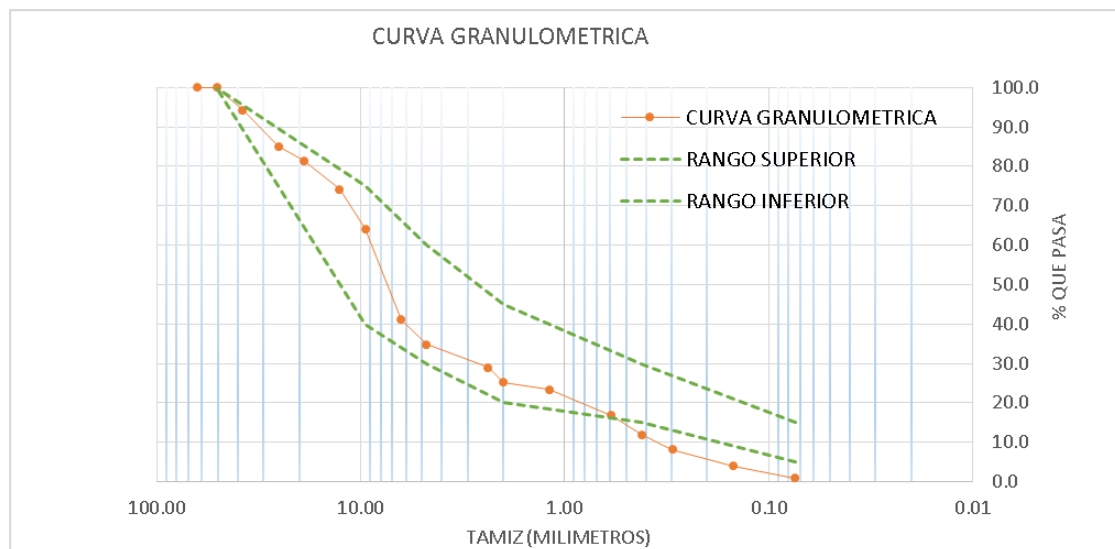
Una vez procesados los datos obtenemos el CBR de la mezcla 80 AN – 20 AR que viene a ser de 71.1%, el cual por ser menor de 80% no cumple con el requisito para poder ser utilizado como material para base granular. Sin embargo, la mezcla puede ser usada como material granular para la elaboración de sub rasantes ya que para poder ser utilizado como sub rasante se necesita solo 40% de CBR, el cual cumple satisfactoriamente.

El porcentaje máximo de expansión del material es de 2.9 %

#### 4.1.2.3. Combinación 70-30

##### Granulometría

Al aumentar la cantidad de agregado reciclado al material natural se observa que la curva granulométrica se distorsiona saliéndose de los límites permitidos, en este caso se está comparando con la gradación B de la ASTM D124.

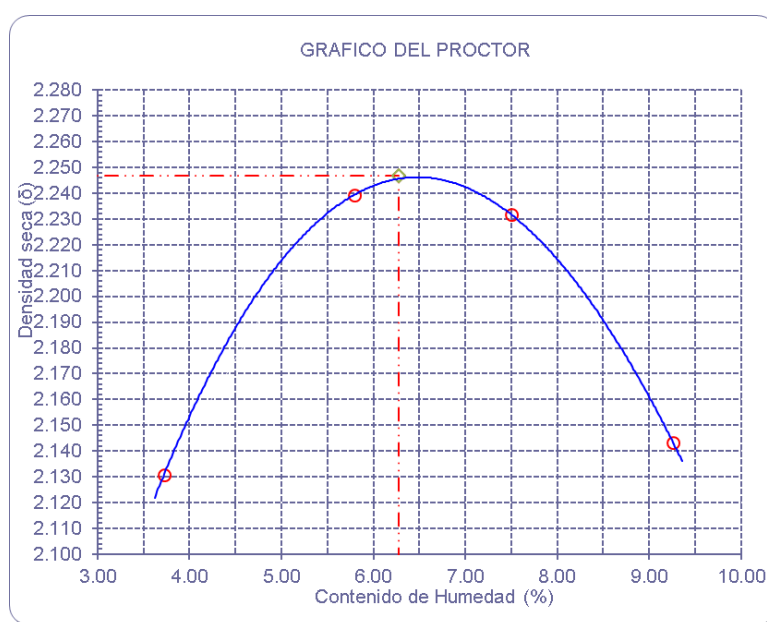


**Gráfico 15: Curva granulométrica de la combinación de agregados 70 AN - 30 AR**  
Fuente: Propia

### Proctor modificado

Siguiendo el procedimiento normado se pasó a realizar el ensayo de proctor modificado para así, obtener la máxima densidad seca y la humedad óptima de compactación del material estudiado.

El ensayo de proctor modificado realizado nos arrojó como resultado: Una máxima densidad seca de 2.248 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptimo de 6.3%, obtenida de la curva confeccionada.



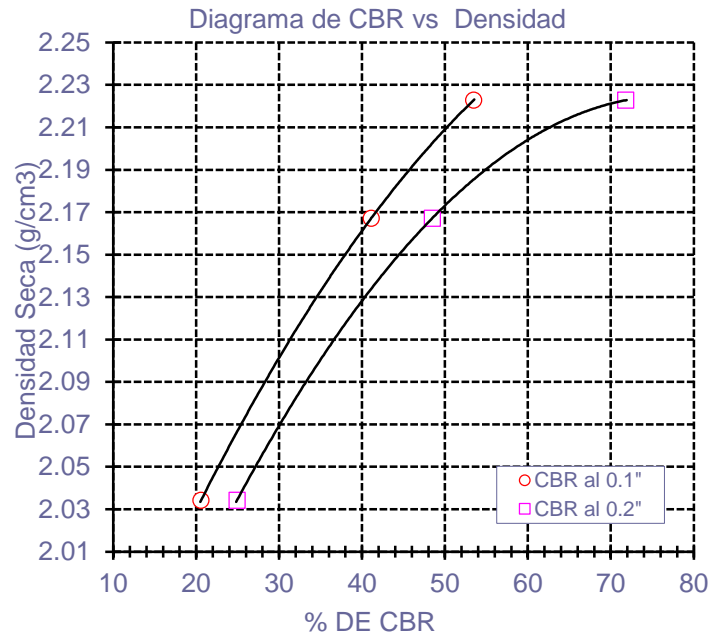
**Gráfico 16: Curva del Proctor Modificado combinación de agregados 70 AN - 30 AR**  
Fuente: Propia

### Ensayo de CBR

Una vez procesados los datos obtenemos el CBR de la mezcla 80 AN – 20 AR que viene a ser de 57.9%, el cual por ser menor de 80% no cumple con el requisito para poder ser utilizado como material para base granular. Sin embargo, la mezcla puede ser usada como material granular para la elaboración de sub rasantes ya que para poder ser utilizado como sub rasante se necesita solo 40% de CBR, el cual cumple satisfactoriamente.

El porcentaje máximo de expansión es 2.4%, proveniente del tercer testigo el cual posee menos cantidad de golpes para la compactación.

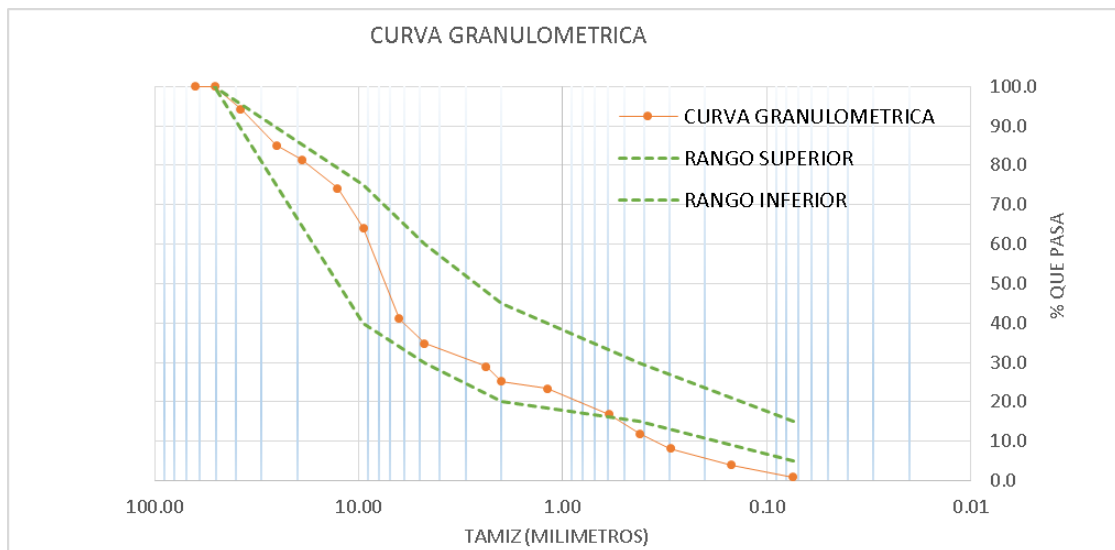
VALOR DEL C.B.R.			
	0.1"		0.2"
C.B.R. AL 100%	57.9	%	82.4



**Gráfico 17: Diagrama de CBR de la combinación de agregados 70 AN - 30 AR**  
Fuente: Propia

**4.1.2.3. Combinación 60-40**

**Granulometría**

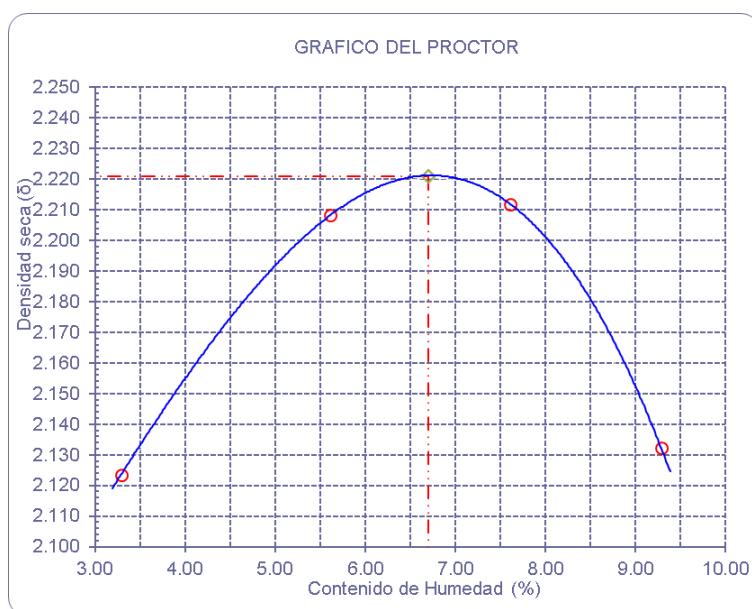


**Gráfico 18: Curva Granulométrica de la combinación de agregados 60 AN - 40 AN**  
Fuente: Propia

### Proctor modificado

Siguiendo el procedimiento normado se pasó a realizar el ensayo de proctor modificado a la combinación 60% agregado natural y 40% agregado reciclado, para así, obtener la máxima densidad seca y la humedad óptima de compactación del material estudiado.

El ensayo de proctor modificado realizado nos arrojó como resultado: Una máxima densidad seca de 2.221 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptimo de 6.7%, obtenida de la curva confeccionada.

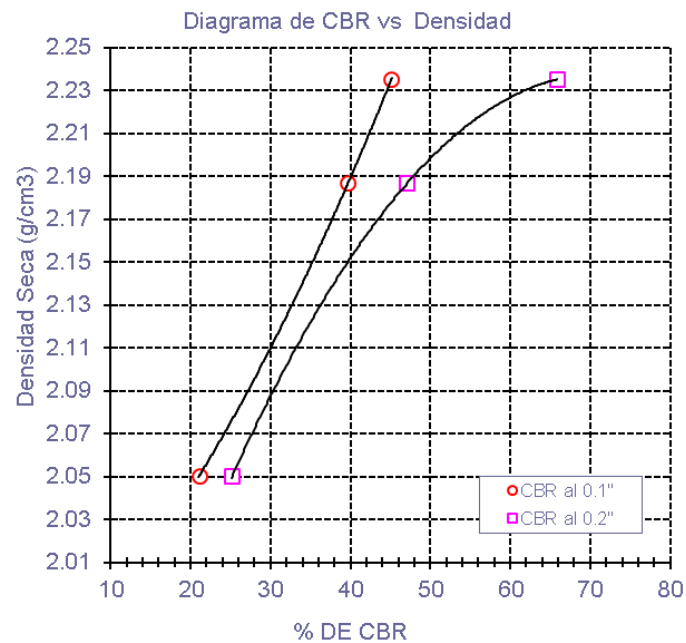


**Gráfico 19: Curva de Proctor Modificado de la combinación de agregados 60AN - 40AR**  
Fuente: Propia

### ENSAYO DE CBR

Una vez procesados los datos obtenemos el CBR de la mezcla 80 AN – 20 AR que viene a ser de 43.9%, el cual por ser menor de 80% no cumple con el requisito para poder ser utilizado como material para base granular. Sin embargo, la mezcla puede ser usada como material granular para la elaboración de sub rasantes ya que para poder ser utilizado como sub rasante se necesita solo 40% de CBR, el cual cumple satisfactoriamente.

El porcentaje máximo de expansión es 2.7%, proveniente del tercer testigo el cual posee menos cantidad de golpes para la compactación.



**Gráfico 20: Diagrama de CBR de la combinación de agregados 60 AN - 40 AR**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3. Diseño de pavimentos método AASHTO 93

Para el diseño de pavimentos se hará uso de la metodología AASHTO 93 que consiste en calcular el número estructural teniendo en cuenta diversos factores, tanto propiedades de los materiales como factores climáticos. Para el cálculo del SN se tendrá que resolver la siguiente ecuación.

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot So + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8,07$$

Donde:

- W = Número de ejes equivalentes durante el periodo de diseño
- ZR = Desviación Estandar
- So = Error estandar de la prediccion del TRÁFICO y comportamiento estructural
- $\Delta PSI$  = Índice de serviciabilidad
- MR = Módulo de Resilencia
- SN = Número estructural

De esta ecuación, obtenemos el número estructural (SN), para proceder a determinar las capas que conformaran la estructura del pavimento rígido, cuyos espesores están en función de las características de los materiales y la calidad de drenaje que se tiene. Los espesores seleccionados deben ser mayores que el número estructural cálculo con el módulo resiliente de la sub rasante, entonces:

$$SN = a1. D1 + a2. m2. D2 + a3. m3. D3$$

Donde:

- $a_i$  = Coeficiente estructural de la capa
- $D_i$  = Espesor de la capa en pulgadas
- $m_i$  = Coeficiente de drenaje.

#### 4.1.3.1. Variables que intervienen en el cálculo de la estructura de un pavimento flexible.

##### 4.1.3.1.1 Tránsito

Para efectos de esta investigación se ha optado por diseñar una gama de pavimentos variando el tráfico (W); este iniciará con 1 000 000 de ejes equivalentes, 5 00 0000 EE y por último la estructura será diseñada para 10 000 000 EE.

TRÁNSITO	T1	T2	T3
	1.00E+06	5.00E+06	1.00E+07

##### 4.1.3.1.2. Módulo de resiliencia (MR)

El módulo de resiliencia mide la rigidez del suelo de fundación de un pavimento, para hallar el MR se usará la correlación con el CBR. Como este trabajo tiene por finalidad utilizar las bases modificadas para elaborar pavimentos en distintos proyectos, se ha tenido conveniente usar como CBR de la sub rasante el mínimo especificado en el Manual de Carreteras en su sección de Suelos y Pavimentos que vendría a ser 6%.

CBR% SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (PSI)	MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE (MR) (MPA)
6	8,043.00	55.45
7	8,877.00	61.20
8	9,669.00	66.67
9	10,426.00	71.88
10	11,153.00	76.90
11	11,854.00	81.73
12	12,533.00	86.41
13	13,192.00	90.96
14	13,833.00	95.38
15	14,457.00	99.68
16	15,067.00	103.88
17	15,663.00	107.99
18	16,247.00	112.02

**Tabla 14: Correlación de CBR - MR recomendada por el MEPDG**  
**Fuente: Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos**

Como el CBR elegido es de 6%, usando la correlación, el Módulo resiliente de la subrasante es igual a 8043.00 PSI.

#### **4.1.3.1.3. Confiabilidad (%R)**

La ecuación dada por AASHTO incluye la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad que tiene la estructura de lograr el comportamiento previsto durante su periodo de uso. En la siguiente tabla se muestra los porcentajes de confiabilidad que recomienda AASHTO según el tipo de vía.

CLASIFICACIÓN	NIVEL DE CONFIABILIDAD RECOMENDADO	
	URBANO	RURAL
Autopistas interestatales y otras	85-99.9	80-99.9
Arterias colectoras	80-90	75-95
Colectoras de tránsito	80-95	75-95
Carreteras Locales	50-80	50-80

**Tabla 15: Porcentajes de Confiabilidad según el tipo de vía**  
**Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures 1993**

A mayor porcentaje de confiabilidad se obtendrán mayores espesores en las diferentes capas del pavimento.

Para diseñar la gama de pavimentos previstos, tomaremos como porcentaje de confiabilidad 90% debido a que en la ciudad de Chiclayo existen diferentes vías colectoras de tránsito. La desviación estándar para una confiabilidad de 90%:  $ZR = 1.28$

#### **4.1.3.1.4. Desviación estándar (So)**

La desviación estándar combinada (So), toma en cuenta la incertidumbre que se espera del pronóstico del tránsito y demás elementos que inciden directamente el comportamiento de la estructura del pavimento. La guía para el diseño de pavimentos AASHTO recomienda que el valor de la desviación estándar fluctúe entre 0.40 y 0.5, el Manual de Diseño de Carreteras en su sección de Suelos y Pavimentos recomienda usar 0.45.

#### **4.1.3.1.5. Índice de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )**

Viene a ser la capacidad de un pavimento para brindar servicio al tipo de tránsito para el cual fue diseñado. [18] El índice de serviciabilidad inicial es aquel que se le asigna a un pavimento cuando está recién rehabilitado o construido, usualmente los valores que se le asignan son:

- Pavimentos Flexibles: 4.2
- Pavimentos Rígidos: 4.5

[18] El índice de serviciabilidad final mínimo aceptado para vías de baja importancia es de 1.5 y para vías principales esta entre 2.5 a 3.0.

Entonces:

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta\text{PSI} = 1.7$$

#### **4.1.3.1.2. Coeficiente de drenaje**

La ecuación de AASHTO, requiere como parámetro el coeficiente de drenaje de las capas que conforman la base y la sub base. Este parámetro tiene por propósito el predominio que tiene la capacidad de drenaje sobre la estructura del pavimento. El coeficiente de drenaje depende de dos condiciones que son:

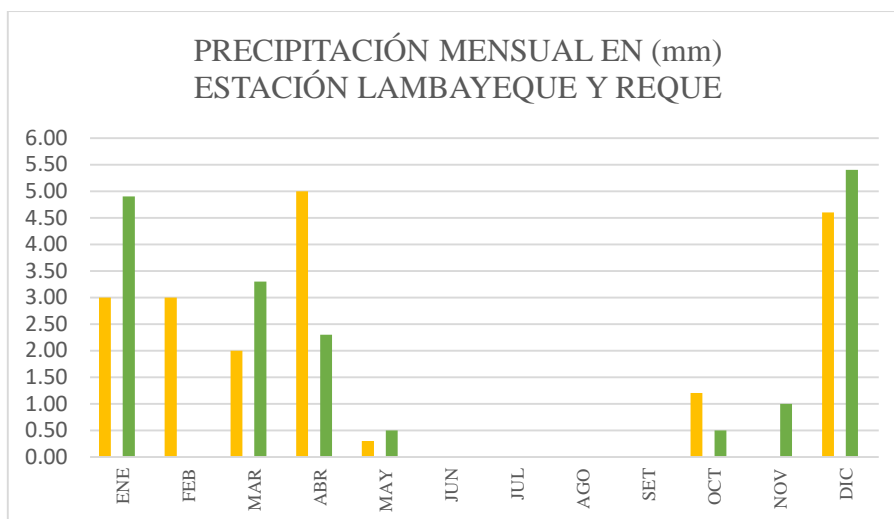
- Calidad de drenaje
- Tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximados a la saturación.

#### **Calidad de drenaje**

La calidad del drenaje está determinada por el tiempo que demora el agua en ser evacuada de la estructura. Para efectos de cálculo consideraremos que la calidad de drenaje es regular, lo que significa que el agua llega a drenar en menos de una semana.

#### **Tiempo de exposición**

Se obtuvieron las precipitaciones diarias de las estaciones cercanas a la zona de estudio en este caso la estación pluviométrica de Reque y Lambayeque, correspondientes al año 2018 para realizar el análisis correspondiente.



**Gráfico 21: Precipitaciones mensuales estaciones Lambayeque y Reque – 2018**  
Fuente: SENAMHI

De los datos recolectados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú se ha obtenido el porcentaje de tiempo que el pavimento está expuesto a niveles cercanos a la saturación. El porcentaje de tiempo calculado es de 4.11%, representa 15 días en los cuales se produjeron precipitaciones registradas en la estación hidrológica de Lambayeque. En la estación ubicada en Reque se realizó el mismo procedimiento identificando el tiempo de exposición del pavimento, dando como resultado 26 días lo que representa el 7.123% de tiempo de exposición

Para el cálculo del coeficiente de drenaje, el tiempo de exposición seleccionado será el promedio del resultado entre ambas estaciones.

$$\text{Tiempo de exposición} = 4.11\% + 7.123\%$$

$$\text{Tiempo de exposición} = 5.6175\%$$

Una vez obtenidos ambos factores, procedemos a seleccionar el coeficiente de drenaje m2 y m3. De la tabla 9 se tomará los valores recomendados por la AASHTO.

CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE	AGUA EVACUADA EN	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL AÑO, QUE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ESTA EXPUESTA A UN NIVEL DE HUMEDAD			
		<1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
EXCELENTE	2 HORAS	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,2
BUENO	1 DIA	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,0
REGULAR	1 SEMANA	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
POBRE	1 MES	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
MUY MALO	NO DRENA	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,4

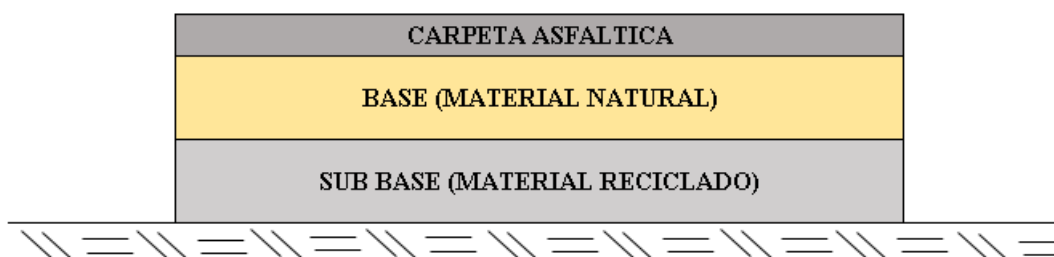
**Tabla 16: Coeficientes de drenaje m2 y m3**  
**Fuente: AASHTO guide for design of pavement structures 1993**

Para una calidad regular y un tiempo de exposición mayor al 5% los valores de drenaje están entre 1.00 y 0.8. Para el cálculo de los diversos pavimentos optamos por elegir como valor para el coeficiente de drenaje igual a 0.9

#### 4.1.3.2. Diseño de pavimento número uno

Para el primer diseño de pavimentos se usará el material natural extraído de la cantera tres tomas para la conformación de la capa base del pavimento y el agregado reciclado para la conformación de la sub base.

La capa de rodadura será una carpeta asfáltica colocada en caliente con un módulo de elasticidad de 2.965 MPa o 430 000 PSI a 20° C o 68 °F, con un coeficiente estructural igual a



**Ilustración 8: Esquema del pavimento N°01**  
**Fuente: Propia**

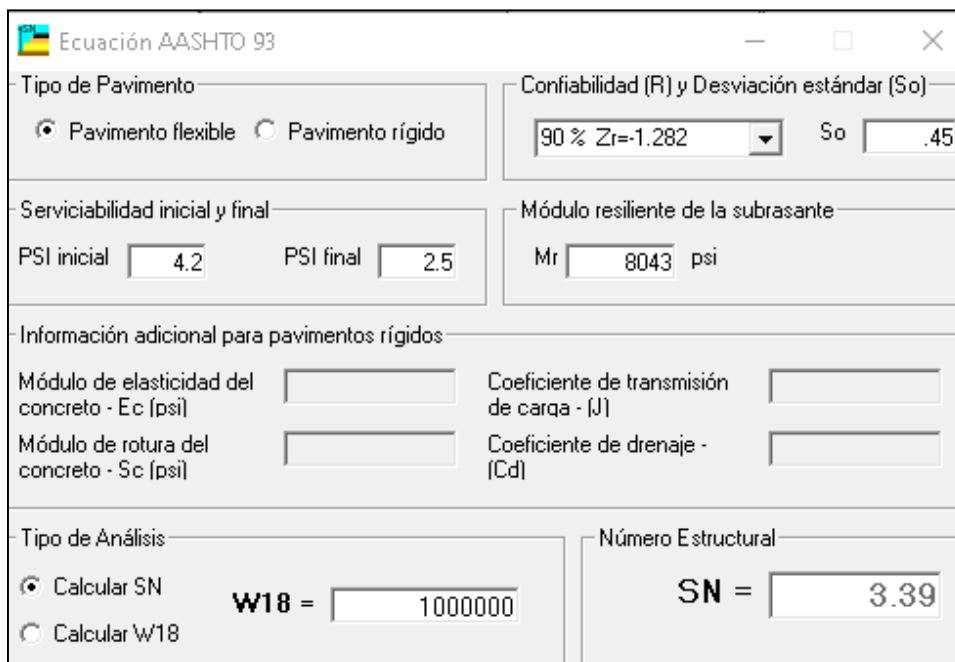
#### 4.1.3.2.1. Datos de diseño

TRÁNSITO	1000000
	5000000
	10000000
MR SUB RASANTE	8043.00
R	90%
ZR	-1.28
$\Delta$ PSI	1.7
m2, ,m3	0.9
Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica	0.44

**Tabla 17: Datos para el diseño de Pavimento 1**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.2.2. Cálculo del número estructural SN

Para el cálculo del número estructural se tendrá en cuenta el Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante, así como los demás factores calculados anteriormente.



The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = .45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 8043 psi'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, showing 'W18 = 1000000'. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 3.39'.

**Ilustración 9: Cálculo del número estructural por medio de la ecuación AASHTO 93**  
Fuente: Propia

Para un tráfico de un millón de ejes equivalentes el número estructural requerido es igual a 3.39, con esto procederemos a calcular la dimensión de cada uno de las capas estructurales.

#### 4.1.3.2.3. Cálculo de espesores

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

$$SN1' = a1 \cdot D1 \geq SN1$$

$$D2' \geq \frac{SN2 - SN1'}{a2 \cdot m2}$$

$$SN1' + SN2' \geq SN2$$

$$D3' \cdot a3 \cdot m3 + SN1' + SN2' \geq SN3'$$

#### Módulo de resiliencia y coeficiente estructural de las capas granulares

Para calcular los espesores de las capas granulares son necesarios: El módulo de resiliencia y el coeficiente estructural de cada una de las capas. Para ellos usaremos el Gráfico 4 y el Gráfico 5, que correlacionan el índice de CBR con ambos parámetros.

	CBR (%)	MR	COEF. EST	
BASE	90.3	28500	a2	0.139
SUB BASE	43.7	17600	a3	0.122

**Tabla 18: Módulo de resiliencia y coeficiente estructural**  
Fuente: Gráfico 4 y Gráfico 5

## Cálculo de SN1 Y SN2

Para el cálculo de SN1 se realizará tomando el valor del Módulo de resiliencia de la base que es 28500, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes, de igual forma se resuelve la ecuación de AASHTO teniendo en cuenta los datos de entrada antes presentados.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confianza (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = .45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 28500 psi'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1000000'. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 2.08'.

**Ilustración 10: Cálculo de SN1**  
Fuente: Propia

Para el cálculo de SN2 se usará el módulo resiliente de la sub rasante que tiene un valor de 17600 PSI

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confianza (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = .45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 17600 psi'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1000000'. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 2.51'.

**Ilustración 11: Cálculo de SN2**  
Fuente: Propia

Entonces, los números estructurales SN1 y SN2 son 2.08 y 2.51 correspondientemente

### **Dimensionamiento de las capas**

Por motivos económicos y técnicos se considerará para la carpeta de rodadura el espesor mínimo recomendado por AASHTO de acuerdo al número de ejes equivalentes que presenta el diseño, ver tabla 19.

<b>ESALs</b>	<b>ASFALTO</b>	<b>BASE GRANULAR</b>
Menos de 50 000	2.5 cm	10.0 cm
50 000 - 150 000	5.0 cm	10.0 cm
150 000 - 500 000	6.5 cm	10.0 cm
500 000 - 2 000 000	7.5 cm	15.0 cm
2 000 000 - 7 000 000	9.0 cm	15.0 cm
Más de 7 000 000	10.0 cm	15.0 cm

**Tabla 19: Espesores mínimos recomendados por capa**  
**Fuente: AASHTO guide for designig of pavement structures 1993**

Para la solución de la ecuación de AASHTO 93 existen una infinidad de soluciones, por lo tanto, es permisible plantear una gama de espesores que logren cumplir con el SN requerido, sin embargo, hay que considerar que cada capa debe tener una protección y comportamiento idóneo ante las cargas de tráfico.

TRÁFICO	1000000	
CBR SR (%)	6	
CBR (BASE)	90.3	
CBR (SUB BASE)	43.7	
MR SR	8043	
MR (BASE)	28500	
MR (SUB BASE)	17600	
SN3	3.39	
SN2	2.51	
SN1	2.08	
a1	0.44	
a2	0.139	
a3	0.122	
m2	0.9	
m3	0.9	
D1	4.73 pulg	3.00 pulg
SN1*	1.32	
D2	9.51 pulg	8.00 pulg
SN2*	2.3208	
D3	9.73770492	10.00 pulg
SN3*	3.4188	
<b>VERIFICACION</b>	<b>CUMPLE</b>	

Tabla 20: Cálculo de espesores de Pavimento 1 para 1 000 000 EE  
Fuente: Propia

\*Número estructurales recalculados con las dimensiones de capa elegidas

Se hace la verificación del número estructural SN con el corregido y cerciorarse que sea mayor al calculado con el módulo de resiliencia de la Sub Rasante.

$$SN3' \geq SN3$$

$$3.4188 \geq 3.39 \dots \text{CUMPLE}$$

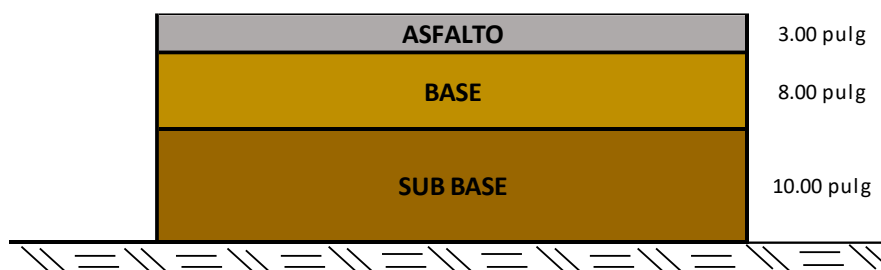


Ilustración 12: Espesores calculados de pavimento 1 para 1 000 000 EE  
Fuente: Propia

Siguiendo el mismo procedimiento se realizó el cálculo para los tráficos de 5 000 000 y 10 000 000 de ejes equivalentes, teniendo en cuenta los espesores mínimos recomendados por AASHTO.

TRÁFICO	5000000		10000000	
CBR SR (%)	6		6	
CBR (BASE)	90.3		90.3	
CBR (SUB BASE)	43.7		43.7	
MR SR	8043		8043	
MR (BASE)	28500		28500	
MR (SUB BASE)	17600		17600	
SN3	4.38		4.85	
SN2	3.27		3.67	
SN1	2.72		3.05	
a1	0.44		0.44	
a2	0.139		0.139	
a3	0.122		0.122	
m2	0.9		0.9	
m3	0.9		0.9	
D1	6.18 pulg	3.00 pulg	6.93 pulg	3.00 pulg
SN1*	1.32		1.32	
D2	15.59 pulg	8.00 pulg	18.78 pulg	15.00 pulg
SN2*	2.3208		3.1965	
D3	18.7540984	19.00 pulg	15.0591985	16.00 pulg
SN3*	4.407		4.9533	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>	

Tabla 21: Espesores calculados de pavimento 1 para 5 000 000 EE y 10 000 000 EE  
Fuente: Propia

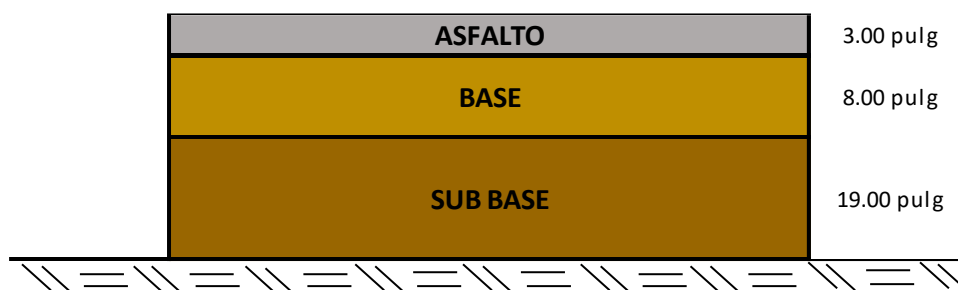
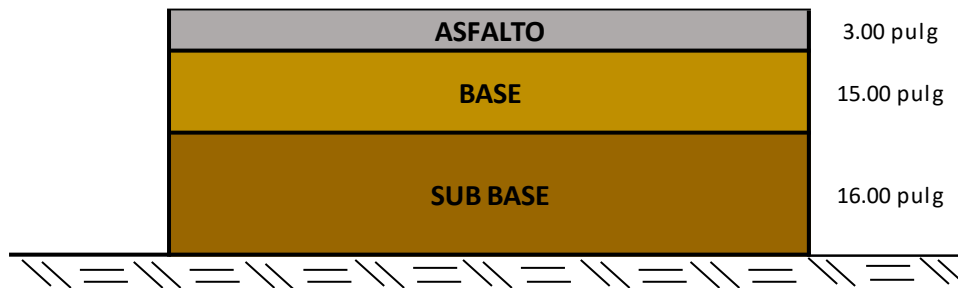


Ilustración 13: Espesores calculados de pavimento 1 para 5 000 000 EE  
Fuente: Propia

Como se aprecia en la repartición de espesores, para tráficos intensos como 5 millones y 10 millones de ejes equivalentes los espesores empiezan a tomar valores

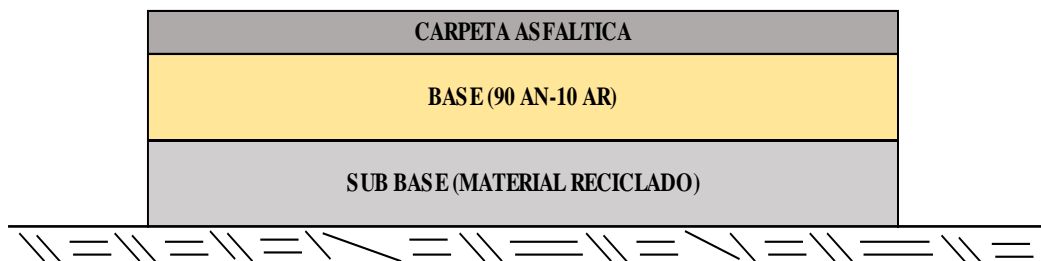
considerablemente elevados, por lo cual es recomendable el mejoramiento de la subrasante y así lograr disminuir los espesores las capas estructurales.



**Ilustración 14: Espesores calculados de pavimento 1 para 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.3. Diseño de pavimento número dos

Para el segundo diseño de pavimentos se usará el material natural adicionando un 10% de material reciclado para la conformación de la capa base del pavimento y el agregado reciclado para la conformación de la sub base. La capa de rodadura será una carpeta asfáltica colocada en caliente con un módulo de elasticidad de 2.965 MPa o 430 000 PSI a 20° C o 68 °F, con un coeficiente estructural igual a 0.44.



**Ilustración 15: Esquema del pavimento N°02**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.2.1. Datos de diseño

<b>TRÁNSITO</b>	1000000
	5000000
	10000000
<b>MR SUB RASANTE</b>	8043.00
<b>R</b>	90%
<b>ZR</b>	-1.28
<b><math>\Delta</math>PSI</b>	1.7
<b>m2, ,m3</b>	0.9
<b>Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica</b>	0.44

Los datos serán tomados de la tabla N° 17, anteriormente mostrada.

#### 4.1.3.2.2. Cálculo del número estructural SN

Para el cálculo del número estructural se tendrá en cuenta el Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante, así como los demás factores calculados anteriormente.

Se ha considerado para la sub rasante el mismo valor de módulo de resiliencia de la sub rasantes, el número estructural para todos los diseños será la misma, por consiguiente, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes el número estructural requerido es igual a 3.39, con esto procederemos a calcular la dimensión de cada uno de las capas estructurales.

#### 4.1.3.2.3. Cálculo de espesores

##### **Módulo de resiliencia y coeficiente estructural de las capas granulares**

Para calcular los espesores de las capas granulares son necesarios: El módulo de resiliencia y el coeficiente estructural de cada una de las capas. Para ellos usaremos el Gráfico 4 y el Gráfico 5, que correlacionan el índice de CBR con ambos parámetros.

	CBR (%)	MR	COEF. EST	
BASE	81.6	28100	a2	0.137
SUB BASE	43.7	17600	a3	0.122

**Tabla 22: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural**  
Fuente: Gráfico 4 y Gráfico 5

### Cálculo de SN1 Y SN2

Para el cálculo de SN1 se realizará tomando el valor del Módulo de resiliencia de la base que es 28100, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes, de igual forma se resuelve la ecuación de AASHTO teniendo en cuenta los datos de entrada antes presentados.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface with the following input fields and values:

- Tipo de Pavimento:**  Pavimento flexible,  Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 %  $Z_r = -1.282$ ,  $S_o = .45$
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.5
- Módulo resiliente de la subrasante:**  $M_r = 28100$  psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
  - Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi): [Empty]
  - Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi): [Empty]
  - Coefficiente de transmisión de carga - (J): [Empty]
  - Coefficiente de drenaje - (Cd): [Empty]
- Tipo de Análisis:**  Calcular SN,  Calcular W18
- Número Estructural:**  $W_{18} = 1000000$ ,  $SN = 2.09$

**Ilustración 16: Cálculo de SN1 – pavimento N°02**  
Fuente: Propia

Para el cálculo de SN2 se usará el módulo resiliente de la sub rasante que tiene un valor de 17600 PSI

Ecuación AASHTO 93

- Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

- Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

- Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

- Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =**   
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN =**

**Ilustración 17: Cálculo de SN2 – pavimento N°02**  
**Fuente: Propia**

Entonces, los números estructurales SN1 y SN2 son 2.09 y 2.51 correspondientemente

### **Dimensionamiento de las capas**

Por motivos económicos y técnicos se considerará para la carpeta de rodadura el espesor mínimo recomendado por AASHTO de acuerdo al número de ejes equivalentes que presenta el diseño, ver tabla 19.

TRÁFICO	1000000	
CBR SR (%)	6	
CBR (BASE)	81.6	
CBR (SUB BASE)	43.7	
MR SR	8043	
MR (BASE)	28100	
MR (SUB BASE)	17600	
SN3	3.39	
SN2	2.51	
SN1	2.09	
a1	0.44	
a2	0.137	
a3	0.122	
m2	0.9	
m3	0.9	
D1	4.75 pulg	3.00 pulg
SN1*	1.32	
D2	9.65 pulg	8.00 pulg
SN2*	2.3064	
D3	9.86885246	10.00 pulg
SN3*	3.4044	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>	

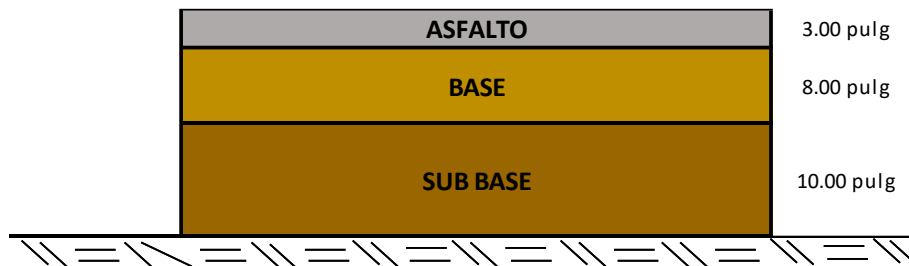
**Tabla 23: Cálculo de espesores de pavimento 2 para 1 000 000 EE**  
Fuente: Propia

\*Número estructurales recalculados con las dimensiones de capa elegidas

Se hace la verificación del número estructural SN con el corregido y cerciorarse que sea mayor al calculado con el módulo de resiliencia de la Sub Rasante.

$$SN3' \geq SN3$$

$$3.4044 \geq 3.39 \dots \text{CUMPLE}$$

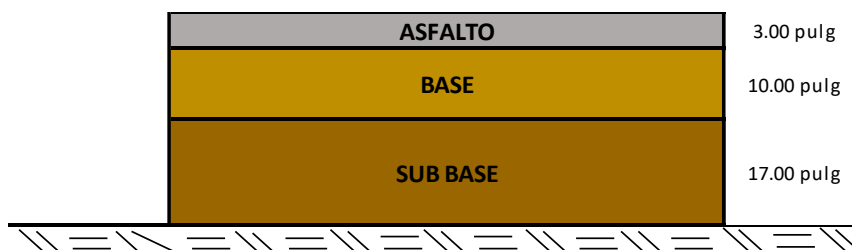


**Ilustración 18: Espesores calculados de pavimento 2 para 1 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Siguiendo el mismo procedimiento se realizó el cálculo para los tráficos de 5 000 000 y 10 000 000 de ejes equivalentes, teniendo en cuenta los espesores mínimos recomendados por AASHTO.

TRÁFICO	5000000		1000000	
CBR SR (%)	6		6	
CBR (BASE)	81.6		81.6	
CBR (SUB BASE)	43.7		43.7	
MR SR	8043		8043	
MR (BASE)	28100		28100	
MR (SUB BASE)	17600		17600	
SN3	4.38		4.85	
SN2	3.27		3.67	
SN1	2.74		3.07	
a1	0.44		0.44	
a2	0.137		0.137	
a3	0.122		0.122	
m2	0.9		0.9	
m3	0.9		0.9	
D1	6.23 pulg	3.00 pulg	6.98 pulg	4.00 pulg
SN1*	1.32		1.76	
D2	15.82 pulg	10.00 pulg	15.49 pulg	12.00 pulg
SN2*	2.553		3.2396	
D3	16.6393443	17.00 pulg	14.6666667	15.00 pulg
SN3*	4.4196		4.8866	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>	

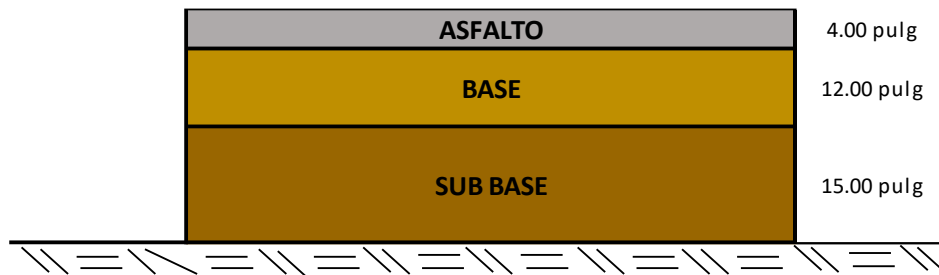
**Tabla 24: Espesores calculados de pavimento 2 para 5 000 000 EE y 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia



**Ilustración 19: Espesores calculados de pavimento 2 para 5 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Como se aprecia en la repartición de espesores, para tráficos intensos como 5 millones y 10 millones de ejes equivalentes los espesores empiezan a tomar valores

considerablemente elevados, por lo cual es recomendable el mejoramiento de la sub rasante y así lograr disminuir los espesores las capas estructurales.

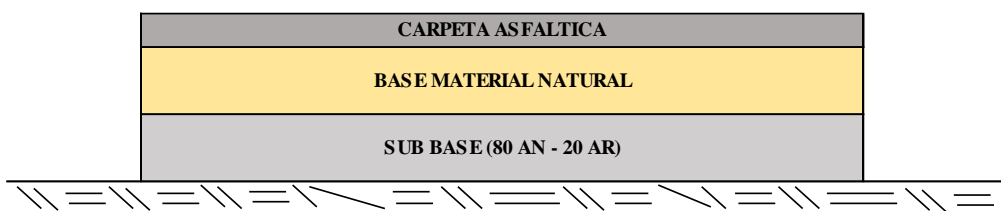


**Ilustración 20: Espesores calculados de pavimento 2 para 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Para 10 000 000 EE AASHTO recomendando incrementar la carpeta de rodadura a 4 pulgadas de concreto asfáltico lo que permite que este soporte una mayor cantidad de cargas, como consecuencia directa, el espesor de las capas base y sub base

#### 4.1.3.4. Diseño de pavimento número tres

Para el segundo diseño de pavimentos se usará el material natural adicionando un 20% de material reciclado para la conformación de la capa base del pavimento y el agregado reciclado para la conformación de la sub base. La capa de rodadura será una carpeta asfáltica colocada en caliente con un módulo de elasticidad de 2.965 MPa o 430 000 PSI a 20° C o 68 °F, con un coeficiente estructural igual a 0.44.



**Ilustración 21: Esquema del pavimento N°03**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.2.1. Datos de diseño

<b>TRÁNSITO</b>	1000000
	5000000
	10000000
<b>MR SUB RASANTE</b>	8043.00
<b>R</b>	90%
<b>ZR</b>	-1.28
<b><math>\Delta</math>PSI</b>	1.7
<b>m2, ,m3</b>	0.9
<b>Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica</b>	0.44

Los datos serán tomados de la tabla N° 17, anteriormente mostrada.

#### 4.1.3.2.2. Cálculo del número estructural SN

Para el cálculo del número estructural se tendrá en cuenta el Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante, así como los demás factores calculados anteriormente.

Se ha considerado para la sub rasante el mismo valor de módulo de resiliencia de la sub rasantes, el número estructural para todos los diseños será la misma, por consiguiente, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes el número estructural requerido es igual a 3.39, con esto procederemos a calcular la dimensión de cada uno de las capas estructurales.

#### 4.1.3.2.3. Cálculo de espesores

##### **Módulo de resiliencia y coeficiente estructural de las capas granulares**

Para calcular los espesores de las capas granulares son necesarios: El módulo de resiliencia y el coeficiente estructural de cada una de las capas. Para ellos usaremos el Gráfico 4 y el Gráfico 5, que correlacionan el índice de CBR con ambos parámetros.

	CBR (%)	MR	COEF. EST	
<b>BASE</b>	90.3	28500	a2	0.139
<b>SUB BASE</b>	71.1	18750	a3	0.131

**Tabla 25: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural**  
Fuente: Gráfico 4 y Gráfico 5

## CÁLCULO DE SN1 Y SN2

Para el cálculo de SN1 se realizará tomando el valor del Módulo de resiliencia de la base que es 28500, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes, de igual forma se resuelve la ecuación de AASHTO teniendo en cuenta los datos de entrada antes presentados.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):  
 90 % Zr=-1.282 So = .45

Serviciabilidad inicial y final:  
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.5

Módulo resiliente de la subrasante:  
 Mr = 28500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:  
 Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto - S<sub>c</sub> (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (C<sub>d</sub>)

Tipo de Análisis:  
 Calcular SN  Calcular W18  
 W18 = 1000000

Número Estructural:  
 SN = 2.08

**Ilustración 22: Cálculo de SN1 - pavimento N°03**  
Fuente: Propia

Para el cálculo de SN2 se usará el módulo resiliente de la sub rasante que tiene un valor de 18750 PSI

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  $W_{18} =$    
 Calcular  $W_{18}$

Número Estructural  
 SN =

**Ilustración 23: Cálculo de SN2 – pavimento N°03**

Fuente: Propia

Entonces, los números estructurales SN1 y SN2 son 2.08 y 2.51 correspondientemente

### Dimensionamiento de las capas

Por motivos económicos y técnicos se considerará para la carpeta de rodadura el espesor mínimo recomendado por AASHTO de acuerdo al número de ejes equivalentes que presenta el diseño, ver tabla 19.

TRÁFICO	1000000
CBR SR (%)	6
CBR (BASE)	90.3
CBR (SUB BASE)	71.1
MR SR	8042.808064
MR (BASE)	28500
MR (SUB BASE)	18750
SN3	3.39
SN2	2.45
SN1	2.08
a1	0.44
a2	0.139
a3	0.131
m2	0.9
m3	0.9
D1	4.73 pulg   3.00 pulg
SN1*	1.32
D2	9.03 pulg   8.00 pulg
SN2*	2.3208
D3	9.06870229   9.50 pulg
SN3*	3.44085
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>

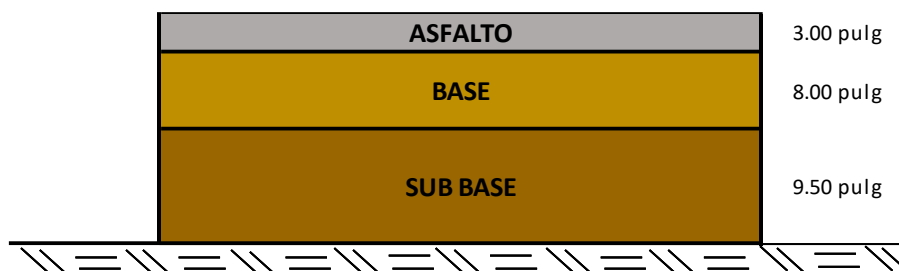
**Tabla 26: Cálculo de espesores pavimento 3 para 1 000 000 EE**

**Fuente: Propia**

Se hace la verificación del número estructural SN con el corregido y cerciorarse que sea mayor al calculado con el módulo de resiliencia de la Sub Rasante.

$$SN3' \geq SN3$$

$$3.44 \geq 3.39 \dots \text{CUMPLE}$$

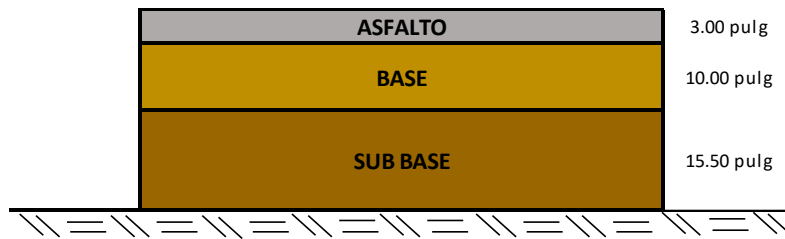


**Ilustración 24: Espesores calculados de pavimento 3 para 1 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Siguiendo el mismo procedimiento se realizó el cálculo para los tráficos de 5 000 000 y 10 000 000 de ejes equivalentes, teniendo en cuenta los espesores mínimos recomendados por AASHTO.

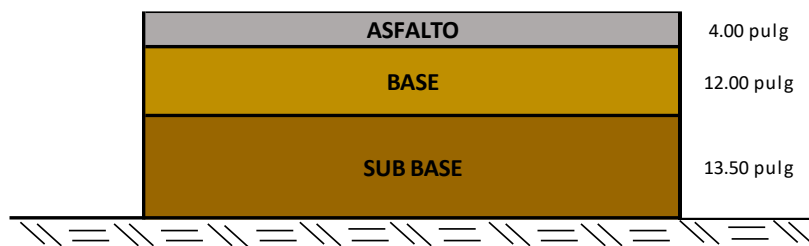
TRÁFICO	50000000		10000000	
CBR SR (%)	6		6	
CBR (BASE)	90.3		90.3	
CBR (SUB BASE)	71.1		71.1	
MR SR	8042.808064		8042.808064	
MR (BASE)	28500		28500	
MR (SUB BASE)	18750		18750	
SN3	4.38		4.85	
SN2	3.2		3.58	
SN1	2.72		3.05	
a1	0.44		0.44	
a2	0.139		0.139	
a3	0.131		0.131	
m2	0.9		0.9	
m3	0.9		0.9	
D1	6.18 pulg	3.00 pulg	6.93 pulg	4.00 pulg
SN1*	1.32		1.76	
D2	15.03 pulg	10.00 pulg	14.55 pulg	12.00 pulg
SN2*	2.571		3.2612	
D3	15.3435115	15.50 pulg	13.475827	13.50 pulg
SN3*	4.39845		4.85285	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>	

**Tabla 27: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 y 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia



**Ilustración 25: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Como se aprecia en la repartición de espesores, para tráficos intensos como 5 millones y 10 millones de ejes equivalentes los espesores empiezan a tomar valores considerablemente elevados, por lo cual es recomendable el mejoramiento de la sub rasante y así lograr disminuir los espesores las capas estructurales.

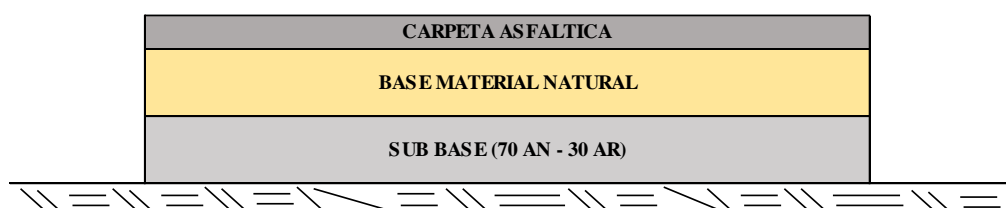


**Ilustración 26: Espesores calculados de pavimento 3 para 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Para 10 000 000 EE AASHTO recomiendo incrementar la carpeta de rodadura a 4 pulgadas de concreto asfáltico lo que permite que este soporte una mayor cantidad de cargas, como consecuencia directa, el espesor de las capas base y sub base.

#### 4.1.3.5. Diseño de pavimento número cuatro

Para el segundo diseño de pavimentos se usará el material natural adicionando un 30% de material reciclado para la conformación de la capa base del pavimento y el agregado reciclado para la conformación de la sub base.



**Ilustración 27: Esquema del pavimento N°04**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.2.1. Datos de diseño

<b>TRÁNSITO</b>	1000000
	5000000
	10000000
<b>MR SUB RASANTE</b>	8043.00
<b>R</b>	90%
<b>ZR</b>	-1.28
<b>ΔPSI</b>	1.7
<b>m2, m3</b>	0.9
<b>Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica</b>	0.44

Los datos serán tomados de la tabla N° 17, anteriormente mostrada.

#### 4.1.3.2.2. Cálculo del número estructural SN

Para el cálculo del número estructural se tendrá en cuenta el Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante, así como los demás factores calculados anteriormente.

Se ha considerado para la sub rasante el mismo valor de módulo de resiliencia de la sub rasantes, el número estructural para todos los diseños será la misma, por consiguiente, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes el número estructural requerido es igual a 3.39, con esto procederemos a calcular la dimensión de cada uno de las capas estructurales.

#### 4.1.3.2.3. Cálculo de espesores

##### Módulo de resiliencia y coeficiente estructural de las capas granulares

Para calcular los espesores de las capas granulares son necesarios: El módulo de resiliencia y el coeficiente estructural de cada una de las capas. Para ellos usaremos el Gráfico 4 y el Gráfico 5, que correlacionan el índice de CBR con ambos parámetros.

	CBR (%)	MR	COEF. EST	
<b>BASE</b>	90.3	28500	a2	0.137
<b>SUB BASE</b>	57.1	18000	a3	0.129

**Tabla 28: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural**  
Fuente: Propia

### Cálculo de SN1 Y SN2

Para el cálculo de SN1 se realizará tomando el valor del Módulo de resiliencia de la base que es 28500, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes, de igual forma se resuelve la ecuación de AASHTO teniendo en cuenta los datos de entrada antes presentados.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):  
 90 % Zr=-1.282   So = .45

Serviciabilidad inicial y final:  
 PSI inicial = 4.2   PSI final = 2.5

Módulo resiliente de la subrasante:  
 Mr = 28500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:  
 Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi)   Coeficiente de transmisión de carga - (J)  
 Módulo de rotura del concreto - S<sub>c</sub> (psi)   Coeficiente de drenaje - (C<sub>d</sub>)

Tipo de Análisis:  
 Calcular SN   **W18 = 1000000**  
 Calcular W18

Número Estructural:  
**SN = 2.08**

**Ilustración 28: Cálculo de SN1 - pavimento N°04**  
Fuente: Propia

Para el cálculo de SN2 se usará el módulo resiliente de la sub rasante que tiene un valor de 18000 PSI

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

**Ilustración 29: Cálculo de SN2 – pavimento N°04**  
**Fuente: Propia**

Entonces, los números estructurales SN1 y SN2 son 2.08 y 2.49 correspondientemente

### Dimensionamiento de las capas

Por motivos económicos y técnicos se considerará para la carpeta de rodadura el espesor mínimo recomendado por AASHTO de acuerdo al número de ejes equivalentes que presenta el diseño, ver tabla 19.

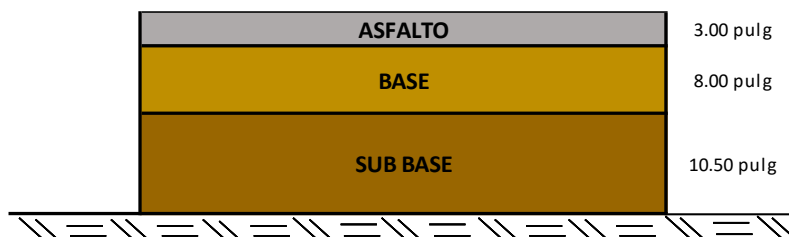
TRÁFICO	1000000	
CBR SR (%)	6	
CBR (BASE)	90.3	
CBR (SUB BASE)	57.9	
MR SR	8042.808064	
MR (BASE)	28500	
MR (SUB BASE)	18000	
SN3	3.49	
SN2	2.49	
SN1	2.08	
a1	0.44	
a2	0.139	
a3	0.129	
m2	0.9	
m3	0.9	
D1	4.73 pulg	3.00 pulg
SN1*	1.32	
D2	9.35 pulg	8.00 pulg
SN2*	2.3208	
D3	10.0706288	10.50 pulg
SN3*	3.53985	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>	

**Tabla 29: Cálculo de espesores pavimento 4 para 1 000 000 EE**  
**Fuente: Propia**

Se hace la verificación del número estructural SN con el corregido y cerciorarse que sea mayor al calculado con el módulo de resiliencia de la Sub Rasante.

$$SN3' \geq SN3$$

$$3.53 \geq 3.39 \dots \text{ CUMPLE}$$

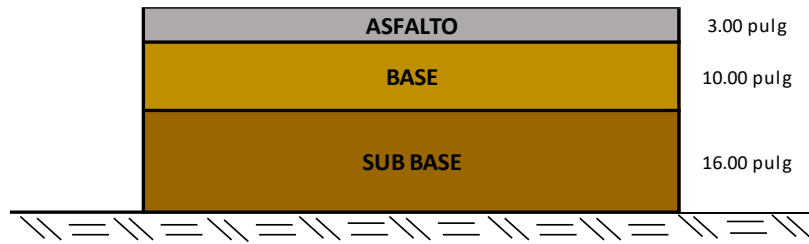


**Ilustración 30: Espesores calculados de pavimento 4 para 1 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Siguiendo el mismo procedimiento se realizó el cálculo para los tráficos de 5 000 000 y 10 000 000 de ejes equivalentes, teniendo en cuenta los espesores mínimos recomendados por AASHTO.

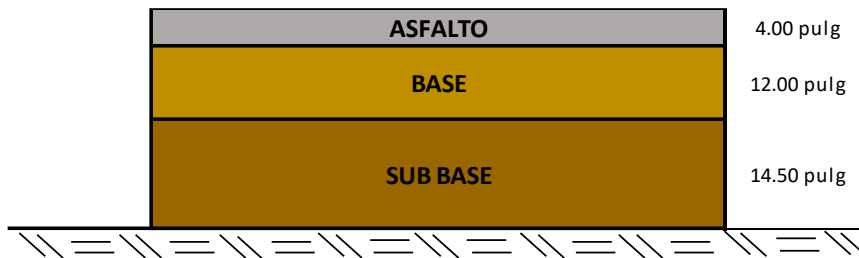
TRÁFICO	5000000		10000000	
CBR SR (%)	6		6	
CBR (BASE)	90.3		90.3	
CBR (SUB BASE)	57.9		57.9	
MR SR	8042.808064		8042.808064	
MR (BASE)	28500		28500	
MR (SUB BASE)	18000		18000	
SN3	4.4		4.89	
SN2	3.25		3.64	
SN1	2.72		3.05	
a1	0.44		0.44	
a2	0.139		0.139	
a3	0.129		0.129	
m2	0.9		0.9	
m3	0.9		0.9	
D1	6.18 pulg	3.00 pulg	6.93 pulg	4.00 pulg
SN1*	1.32		1.76	
D2	15.43 pulg	10.00 pulg	15.03 pulg	12.00 pulg
SN2*	2.571		3.2612	
D3	15.7536606	16.00 pulg	14.0292851	14.50 pulg
SN3*	4.4286		4.94465	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>	

**Tabla 30: Espesores calculados de pavimento 4 para 5 000 000 y 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia



**Ilustración 31: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 EE**  
Fuente: Propia

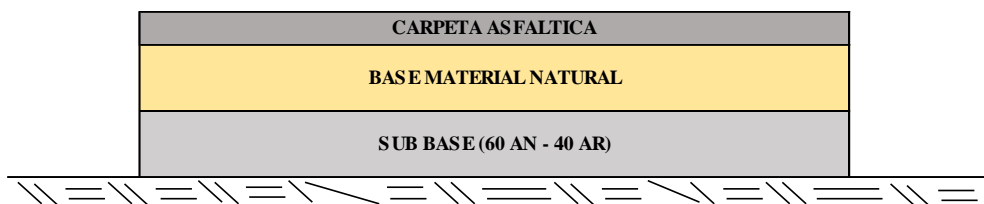
Como se aprecia en la repartición de espesores, se busca que la capa inferior sea de mayor dimensión que la base, ya que al ser de menor calidad demandara un costo menor permitiendo ahorrar en material de base.



**Ilustración 32: Espesores calculados de pavimento 3 para 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.5. Diseño de pavimento número cinco

Para el segundo diseño de pavimentos se usará el material natural adicionando un 40% de material reciclado para la conformación de la capa base del pavimento y el agregado reciclado para la conformación de la sub base.



**Ilustración 33: Esquema del pavimento N°05**  
Fuente: Propia

#### 4.1.3.2.1. Datos de diseño

<b>TRÁNSITO</b>	1000000
	5000000
	10000000
<b>MR SUB RASANTE</b>	8043.00
<b>R</b>	90%
<b>ZR</b>	-1.28
<b><math>\Delta</math>PSI</b>	1.7
<b>m2, ,m3</b>	0.9
<b>Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica</b>	0.44

Los datos serán tomados de la tabla N° 17, anteriormente mostrada.

#### 4.1.3.2.2. Cálculo del número estructural SN

Para el cálculo del número estructural se tendrá en cuenta el Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante, así como los demás factores calculados anteriormente.

Se ha considerado para la sub rasante el mismo valor de módulo de resiliencia de la sub rasantes, el número estructural para todos los diseños será la misma, por consiguiente, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes el número estructural requerido es igual a 3.39, con esto procederemos a calcular la dimensión de cada uno de las capas estructurales.

#### 4.1.3.2.3. Cálculo de espesores

##### Módulo de resiliencia y coeficiente estructural de las capas granulares

Para calcular los espesores de las capas granulares son necesarios: El módulo de resiliencia y el coeficiente estructural de cada una de las capas. Para ellos usaremos el Gráfico 4 y el Gráfico 5, que correlacionan el índice de CBR con ambos parámetros.

	CBR (%)	MR	COEF. EST	
<b>BASE</b>	90.3	28500	a2	0.139
<b>SUB BASE</b>	43.9	18000	a3	0.123

**Tabla 31: Modulo de resiliencia y coeficiente estructural**  
Fuente: Propia

### Cálculo de SN1 Y SN2

Para el cálculo de SN1 se realizará tomando el valor del Módulo de resiliencia de la base que es 28500, para un tráfico de un millón de ejes equivalentes, de igual forma se resuelve la ecuación de AASHTO teniendo en cuenta los datos de entrada antes presentados.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):  
 90 % Zr=-1.282 So .45

Serviciabilidad inicial y final:  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante:  
 Mr 28500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:  
 Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto - S<sub>c</sub> (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (C<sub>d</sub>)

Tipo de Análisis:  
 Calcular SN **W18 =**   
 Calcular W18

Número Estructural:  
**SN =**

**Ilustración 34: Cálculo de SN1 - pavimento N°05**  
Fuente: Propia

Para el cálculo de SN2 se usará el módulo resiliente de la sub rasante que tiene un valor de 16500 PSI

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 %  $Z_r = -1.282$  So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr = 16500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural: SN = 2.57

W18 = 1000000

**Ilustración 35: Cálculo de SN2 – pavimento N°05**

**Fuente: Propia**

Entonces, los números estructurales SN1 y SN2 son 2.08 y 2.57 correspondientemente

### Dimensionamiento de las capas

Por motivos económicos y técnicos se considerará para la carpeta de rodadura el espesor mínimo recomendado por AASHTO de acuerdo al número de ejes equivalentes que presenta el diseño, ver tabla 19.

TRÁFICO	1000000	
CBR SR (%)	6	
CBR (BASE)	90.3	
CBR (SUB BASE)	43.9	
MR SR	8043	
MR (BASE)	28500	
MR (SUB BASE)	16500	
SN3	3.49	
SN2	2.57	
SN1	2.08	
a1	0.44	
a2	0.139	
a3	0.123	
m2	0.9	
m3	0.9	
D1	4.73 pulg	3.00 pulg
SN1*	1.32	
D2	9.99 pulg	8.00 pulg
SN2*	2.3208	
D3	10.561879	11.00 pulg
SN3*	3.5385	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>	

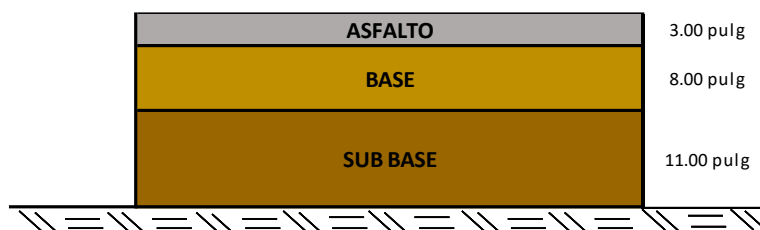
**Tabla 32: Cálculo de espesores pavimento 5 para 1 000 000 EE**

**Fuente: Propia**

Se hace la verificación del número estructural SN con el corregido y cerciorarse que sea mayor al calculado con el módulo de resiliencia de la Sub Rasante.

$$SN3' \geq SN3$$

$$3.5385 \geq 3.39.... \text{ CUMPLE}$$

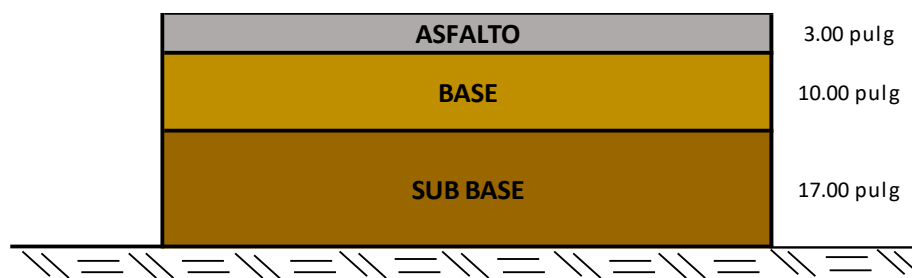


**Ilustración 36: Espesores calculados de pavimento 4 para 1 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Siguiendo el mismo procedimiento se realizó el cálculo para los tráficos de 5 000 000 y 10 000 000 de ejes equivalentes, teniendo en cuenta los espesores mínimos recomendados por AASHTO.

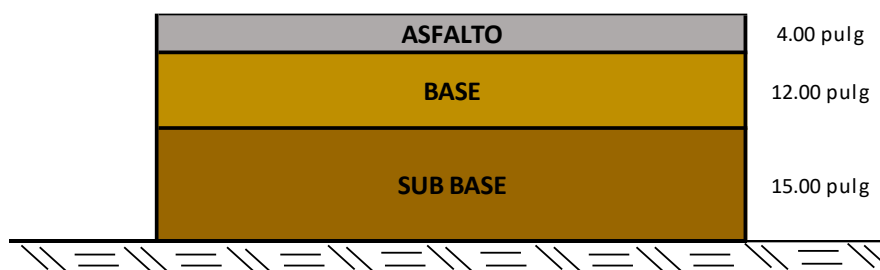
TRÁFICO	50000000		10000000	
CBR SR (%)	6		6	
CBR (BASE)	90.3		90.3	
CBR (SUB BASE)	43.9		43.9	
MR SR	8043		8043	
MR (BASE)	28500		28500	
MR (SUB BASE)	16500		16500	
SN3	4.4		4.89	
SN2	3.36		3.76	
SN1	2.72		3.05	
a1	0.44		0.44	
a2	0.139		0.139	
a3	0.123		0.123	
m2	0.9		0.9	
m3	0.9		0.9	
D1	6.18 pulg	3.00 pulg	6.93 pulg	4.00 pulg
SN1*	1.32		1.76	
D2	16.31 pulg	10.00 pulg	15.99 pulg	12.00 pulg
SN2*	2.571		3.2612	
D3	16.5221319	17.00 pulg	14.7136405	15.00 pulg
SN3*	4.4529		4.9217	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>	

**Tabla 33: Espesores calculados de pavimento 5 para 5 000 000 y 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia



**Ilustración 37: Espesores calculados de pavimento 3 para 5 000 000 EE**  
Fuente: Propia

Como se aprecia en la repartición de espesores, se busca que la capa inferior sea de mayor dimensión que la base, ya que al ser de menor calidad demandara un costo menor permitiendo ahorrar en material de base.



**Ilustración 38: Espesores calculados de pavimento 3 para 10 000 000 EE**  
Fuente: Propia

#### 4.1.4. Análisis ambiental

El análisis ambiental del proyecto se realizó con la finalidad de identificar los posibles impactos negativos y positivos que puede traer consigo el desarrollo del proyecto. En el caso que los impactos encontrados sean negativos se plantearan opciones para mitigar y/o eliminar dichos impactos.

El ámbito de influencia directo vendría a ser la ciudad de Chiclayo mientras que ámbito de influencia indirecto se está considerando a la región Lambayeque, ya que un proyecto de estas características representa una oportunidad para incursionar en la industria de la región.

Los principales efectos negativos encontrados siguiendo la metodología de Leopold, vienen a ser la generación de particulados y el ruido; debido a las operaciones de

extracción y movilización de los materiales tanto el agregado natural como el agregado reciclado. Además, se presenta que la seguridad social esta como un punto importante dentro de los impactos negativos, es por eso se plantea el uso de equipos de protección personal para todo los involucrados en los distintos procesos del proyecto.

Los beneficios que trae consigo son: la reutilización de los desechos producidos por las demoliciones y nuevas pavimentaciones y la disminución de residuos arrojados en lugares no apropiados para su disposición final. Otro de los beneficios es la generación de nuevos empleos y la incursión en la industria de los agregados reciclados.

#### **4.2. Discusión de resultados**

Una vez realizada la caracterización del material obtenido de la pavimentación de la calle Juan Buendía y del material reciclado se procederá a realizar las mezclas en diferentes proporciones para el estudio de los parámetros más importantes que son proctor modificado y el índice de porte de california (CBR) que son esenciales en el cálculo y en el proceso de construcción de un pavimento.

El porcentaje de material recuperado del proceso de trituración es altamente eficaz, ya que en cada prueba realizada se ha recuperado un promedio de 95% de material década bloque procesado, cabe resaltar que el acondicionamiento del material se ha hecho por medios manuales. Los medios mecánicos tienden a generar un mayor porcentaje de pérdida según el tipo de trituración que se presente: los medios mecánicos por golpeo generan una mayor cantidad de pérdidas.

El proceso de trituración influye dentro de la granulometría de las mezclas de agregados, ya que, al ser un proceso manual, para el estudio, las partículas no siguen un patrón definido, la presencia en gran porcentaje de partículas gruesas hace que la curva del agregado reciclado no cumpla con los estándares establecidos. Si bien, la granulometría del agregado de cantera cumple de una manera ajustada; la adición de agregados reciclados hace que esta se tergiverse impidiendo que las granulometrías de las combinaciones cumplan con el requerimiento granulométrico. La pérdida de partículas finas hace que la mezcla de agregados no alcance la compacidad adecuada, debido a que no existe el suficiente material fino para llenar los espacios entre las partículas más grandes.

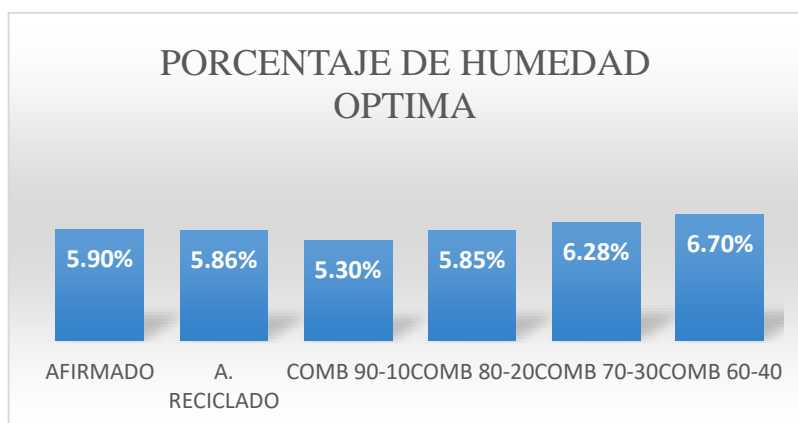
Las mezclas han sido conformadas en porcentajes de 10, 20, 30 y 40 por cien de material recuperado y procesado de capetas flexibles. Los datos serán obtenidos serán cotejados con las especificaciones técnicas del manual de carreteras EG-2013 del MTC en su sección 402 y 403, correspondiente a materiales para base y sub base granular.

<b>CUADRO RESUMEN</b>			
<b>PRUEBAS</b>	<b>%H.O</b>	<b>MDS</b>	<b>CBR</b>
<b>AFIRMADO</b>	5.90%	2.28	90.30
<b>A. RECICLADO</b>	5.86%	2.20	43.00
<b>COMB 90-10</b>	5.30%	2.26	81.60
<b>COMB 80-20</b>	5.85%	2.23	71.10
<b>COMB 70-30</b>	6.28%	2.25	57.90
<b>COMB 60-40</b>	6.70%	2.22	43.30

**Tabla 34: Resumen de los estudios realizados**

**Fuente: Propia**

Como se puede observar en el cuadro resumen, las humedades óptimas que presentan tanto el grupo de control, afirmado, como las mezclas fluctúan entre el 5% y 6%, demostrando que la adición de material recuperado no afecta significativamente el óptimo contenido de humedad para la compactación del material.

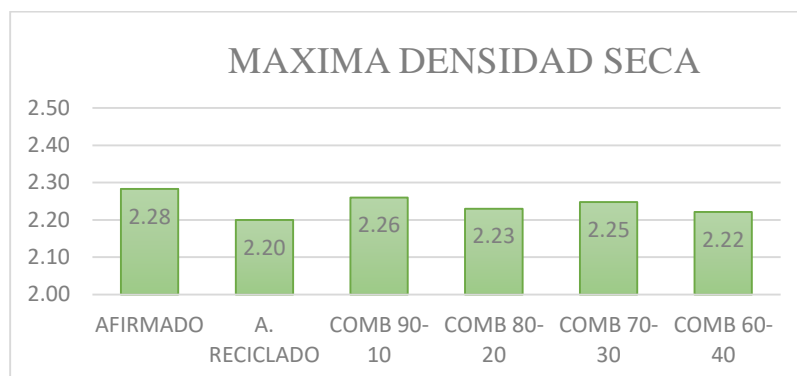


**Gráfico 22: Porcentaje de humedad óptima de los testigos ensayados**

**Fuente: Tabla 34**

Lo máxima densidad seca a medida que la fracción reciclada va en aumento esta va disminuyendo, lo que nos da un indicativo que tenemos problemas en la compactación. A medida que el porcentaje de AR aumenta la compactación se hace más difícil, ya que se aumenta el porcentaje de gruesos y se va perdiendo la capacidad de ser compactado.

Dato curioso lo ocurrido en la combinación 30-70 que presenta una máxima densidad seca similar a la del grupo de control,

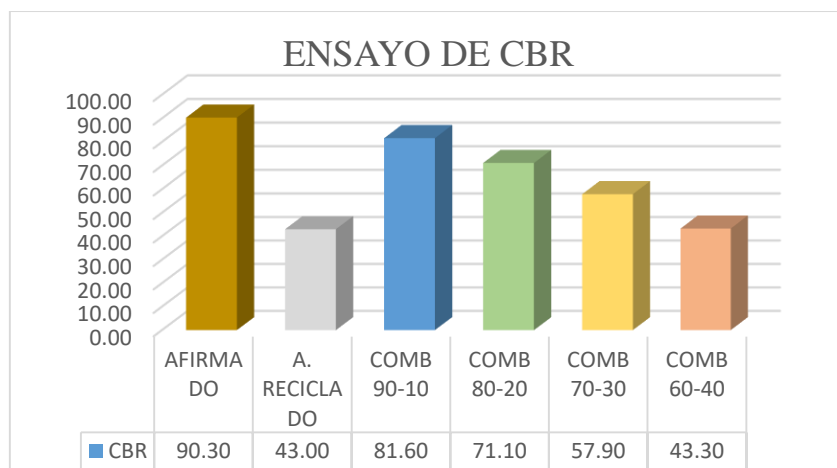


**Gráfico 23: Máxima densidad seca de los testigos ensayados**  
Fuente: Tabla 34

En lo concerniente al índice de soporte de california CBR, el material proveniente de las pavimentaciones realizadas en la ciudad de Chiclayo arrojó un índice de CBR de 90.3% cumpliendo el requerimiento de la norma técnica que contempla como mínimo 80% para bases granulares.

El agregado proveniente de la trituración de los bloques de pavimentos recolectados cumplió con el mínimo establecido por EG-2013, arrojando un 43.00 % superando el 40% que se requiere para sub bases granulares.

La primera combinación 90AN – 10AR pese a que, el CBR tuvo una disminución de casi 10%, aun cumple los requisitos para ser usada como Base granular ya que el CBR calculado es igual a 81.60%. Para el resto de combinaciones 80-20, 70-30. 60-40, el CBR siguió disminuyendo a medida que el porcentaje de agregado reciclado es mayor, sin embargo, el CBR de estas es mayor a 40% siendo posible usar las combinaciones como Sub base granular.



**Gráfico 24: Ensayo de CBR**

**Fuente: Tabla 34**

Para el cálculo de los espesores de pavimentos se ha utilizado la metodología AASHTO 93 que consiste en determinar el número estructural requerido en base a las características de los materiales y de la fundación. Existen infinitas soluciones para la ecuación AASHTO, para resolverla se utilizó el programa “ecuación AASHTO 93, que nos permite calcular el SN en base a datos previos.

Dentro de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de las capas estructurales del pavimento, se encuentra el tiempo de exposición del pavimento a niveles cercanos al punto de saturación; la ciudad de Chiclayo por estar ubicada en la costa peruana no presenta lluvias abundantes, a excepción del fenómeno del niño que es una condición extraordinaria con un tiempo de retorno elevado, es por ello que se ha elegido el año 2018 para el análisis de las precipitaciones.

El coeficiente de drenaje debe ser elegido con mucha cautela, ya que la variación de este hace que los espesores varíen en algunas pulgadas que; en una extensión considerable puede generar una elevación en los costos de construcción.

La carpeta asfáltica ha sido seleccionada del Manual de Carreteras, sección de Suelos y Pavimentos; será una carpeta colocada en caliente con un módulo de elasticidad de 430 000 PSI y con un coeficiente estructural de 0.17 cm, todo esto a temperatura normal de 20°C.

Se ha realizado el cálculo de los espesores teniendo en cuenta las características de las muestras ensayadas, en total se ha realizado el dimensionamiento de 15 secciones distintas.

ESPEORES DE CAPAS ESTRUCTURALES					
PAVIMENTO			TRÁFICO		
			1 000 000	5 000 000	10 000 000
PAV 1	C.R	ASFALTO	3.00	3.00	4.00
	B	AN	8.00	8.00	15.00
	SB	AR	10.00	19.00	16.00
PAV 2	C.R	ASFALTO	3.00	3.00	4.00
	B	90 AN -10 AN	8.00	10.00	12.00
	SB	AR	10.00	17.00	15.00
PAV 3	C.R	ASFALTO	3.00	3.00	4.00
	B	AN	8.00	10.00	12.00
	SB	80 AN - 20 AR	9.50	15.50	13.50
PAV 4	C.R	ASFALTO	3.00	3.00	4.00
	B	AN	8.00	10.00	12.00
	SB	70 AN - 30 AR	10.50	16.00	14.50
PAV 5	C.R	ASFALTO	3.00	3.00	4.00
	B	AN	8.00	10.00	12.00
	SB	60 AN - 40 AR	11.00	17.00	15.00

**Tabla 35: Espesores de las capas estructurales**  
Fuente: Propia

Se ha considerado el CBR de la sub rasante como el mínimo permitido por la Norma que es 6%; sin embargo cuando el tráfico empieza a tornarse intenso, las capas estructurales tiendes a tener un mayor espesor para ser capaces de comportarse idóneamente ante los esfuerzos, si bien la carpeta de rodadura ayuda a la distribución de las cargas, un gran porcentaje es absorbido por las capas granulares; es por ello se recomienda el mejoramiento de la Sub Rasante para disminuir el SN; por consiguiente disminuir los espesores de base y sub base.

Para los diseños se ha tomado en cuenta un espesor mínimo en la carpeta de rodadura, siendo este menor al calculado por la formula, las capas granulares se incrementarán en dimensión para poder distribuir mejor los esfuerzos. En el caso de los tráficos de 1 000 000 y 5 000 000 las recomendaciones de AASHTO indican que la capa mínima es de 70 mm; en este caso se consideró 3 pulgadas y para el tráfico de 10 000 000 de eje equivalente el espesor mínimo es de 100 mm. Usar espesores que sobrepasen excesivamente el mínimo requerido es poco práctico además involucrar un mayor costo; ya que, la carpeta asfáltica es más costosa que el agregado para base y sub base.

Para el primer y segundo diseño se ha usado el material reciclado como sub base granular; ya que, tanto el agregado natural como la primera combinación cumplen el requerimiento de CBR para la conformación de Bases Granulares. Para el diseño de pavimento 1 y pavimento dos no se aprecian diferencias marcadas en tanto a espesor se refiere.

Para el diseño 3,4 y 5 se observan que mientras el porcentaje de agregado reciclado aumenta, los espesores de la capa sub base varían entre 0.5 y 1.0 pulgadas; tal es el caso del diseño 4 y 5, en el diseño 4 la sub base para 1 000 000 de ejes equivalentes tiene un espesor de 16 pulgadas y en el diseño 5 bajo las mismas condiciones el espesor de 17 pulgadas.

El proyecto es altamente beneficioso, pese a que se cuenta con algunos factores afectados, para el medio ambiente; ya que se logra darle una segunda oportunidad a un material que es considerado como desecho y que es arrojado sin ningún control sobre las vías a las afueras de la ciudad.

El proyecto traerá consigo la formación de nuevos puestos de trabajo y aportará a la economía de la región, además abre las puertas para el uso de nuevas tecnologías en la construcción.

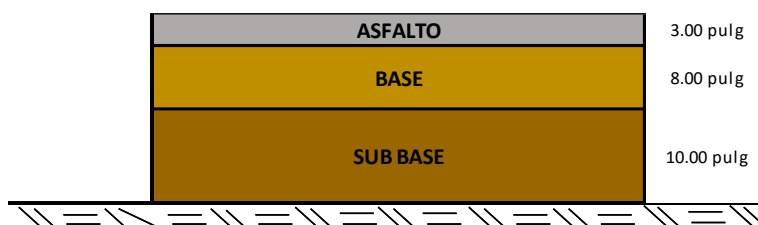
## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Los ensayos realizados a los materiales granulares reciclados dieron como resultado que se pueden comportar como un agregado natural llegando a cumplir con los requerimientos normativos especificados para sub bases granulares.
- El agregado natural cumple con las especificaciones para capas base, pero al momento de ir incorporando el agregado reciclado sufre una pérdida en sus propiedades; tal es el caso de su granulometría, ya que al momento de agregar los porcentajes de agregados reciclados esta iba perdiendo continuidad y no llegaba a cubrir los usos granulométricos planteados por el MTC.
- La adición de partículas recicladas no modifica bruscamente el porcentaje de humedad óptima del material, ya que este se mantiene entre 5 y 6 % para todos los testigos ensayados.
- Es posible la reutilización del material proveniente del acondicionamiento de los bloques residuales de mezcla asfáltica hasta en un porcentaje de 10% para bases granulares y 40% para sub bases granulares
- La adición de agregados presenta resultados óptimos, aunque no se obtuvo ganancia en el CBR, la combinación de estos aun logra cumplir con el requerimiento mínimo para sub-base granular que es de 40%.
- La adición de particular gruesas provenientes de los pavimentos flexibles, a medida que va incrementando su porcentaje hace más difícil la compactación del material, lo mismo que se ve reflejado en la máxima densidad seca y en el índice de CBR.
- Debido a que la muestra de material reciclado fue obtenida de distintos puntos de la ciudad de Chiclayo, la gradación no es uniforme, a esto se le suma los

constantes trabajos de rehabilitación que se encargan de curar las pistas con parches de asfalto.

- La presencia del ligante bituminoso unido a los materiales provenientes del reciclaje dificulta el proceso de compactación ya que no logra unir correctamente con el material pétreo.
- No existe una sola solución para la ecuación de AASHTO 93 por lo que se ha calculado una gama de pavimentos con las diferentes combinaciones con el fin de buscar la óptima combinación que en este caso vino a ser la conformación del 100% de la capa sub base
- Otra combinación que dio buenos resultados es la combinación 90-10 que al cumplir con las condiciones para capa granular fue usada en el diseño de pavimentos conjuntamente con el agregado reciclado como carpeta de sub base, dando un espesor para 1 000 000 EE de:



- Para tráficos intensos como 5 millones y 10 millones que han sido los que se ha considerado para el diseño, la Sub Rasante de 6% de CBR los espesores se tornan muy grandes lo que hace poco conveniente su construcción, debido al gran costo que demanda

## 5.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda usar las fracciones gruesas y finas del material reciclado, ya que esto se asemeja de mejor manera a un agregado natural con gradaciones y tamaños adecuados para lograr una buena compactación
- Se recomienda realizar la trituración del material por medios mecánicos para lograr una mejor distribución de las partículas y lograr la compacidad deseada
- Se recomienda el uso de un material ligante o una adición de finos para compensar la pérdida de estos al momento de realizar las mezclas y lograr una curva granulométrica dentro de los parámetros aceptables
- Se recomienda explorar la posibilidad de realizar la mezcla de agregados sometiendo previamente los AR al calor para lograr desprender el ligante presente y así lograr una compactación adecuada
- Para grandes tráfico se recomienda realizar la estabilización de la sub rasante para aumentar su valor de CBR y por consiguiente disminuir el número estructural necesario para absorber las cargas provenientes de los vehículos.

## VII. LISTA DE REFERENCIAS.

- ✓ [1] Emery, J. Asphalt Concrete Recycling in Canada. Transportation Research Record, Vol. 1427, p. 38-46.1993
- ✓ [2] k. Anderson. “advocates and Aggregates”, TR News, Vol 184, Transportation reseach board, National Reaseach Council, N.W, Washington DC, pp 8-13
- ✓ [3] O. Palacio, A. Chávez, Y. Velásquez, “Evaluación y comparación del análisis granulométrico,” *TECNURA*, pp. 96-106, 2017
- ✓ [4] G. Valdés, J. Rapimán, “Propiedades físicas y mecánicas de bloques de hormigón compuestos con áridos reciclados”, *Universidad de la frontera*, pp. 81-88, 2007. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n3/art10.pdf>.
- ✓ [5] E, Guio, H. Sánchez, “Mezclas asfálticas recicladas y su uso en capas granulares para pavimentos”, tesis doctorado en ingeniería y ciencia de los materiales, UPTC de Tunja, Colombia, 2014
- ✓ [6] F. Conceicao, “Comportamiento mecanico de agregado reciclado de residuo da construcao em camadas de base e sub base de pavimentos”, Tesis de maestría, Politecnica Universidad de Sao Paulo, Brasil, 2007
- ✓ [7] V. Fernández, “Reciclado en frio de pavimentos flexibles, con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas”, Tesis pre grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2012
- ✓ [8] G. Paiva, G. Ramos, “Reciclado de pavimentos asfalticos y su reutilización para el diseño de mezclas de asfalto en caliente”, Tesis pre grado, Universidad Señor de Sipan, Chiclayo, Perú, 2013
- ✓ [9] Manual de carreteras, “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, sección de suelos y pavimentos.
- ✓ [10] European Asphalt Pavement Association (EAPA), 2009
- ✓ [11] Manual de carreteras EG-2013
- ✓ [12] Manual de asfalto
- ✓ [13] La Ley N°28661, Ley general del ambiente
- ✓ [14] Ley general de residuos sólidos
- ✓ [15] Manual de Carreteras: Ensayos de materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016
- ✓ [16] Branco. F, Pereira. P, “Pavimentos rodoviaros”. Ed Almedina. Coimbra (2005)

- ✓ [17] Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.
- ✓ [18] American Association of state Highway Transportation Officials – AASHTO-93. Guide for design of pavement Structures. Washington D.C.
- ✓ [19] “Diseño de pavimentos flexibles”, notas de clase del curso de pavimentos, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. 2017-I
- ✓ [20] G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil. “Gestión integral de residuos sólidos”, Vol 1, Ed. McGraw-Hill. 1994
- ✓ [21] C. Pacheco, L. Fuentes, E. Sánchez, H. Rondón, “Residuos de la construcción y demolición RCD, una perspectiva de reaprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión”, Ingeniería y desarrollo, pp. 533-555, 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/852/85252030015.pdf>
- ✓ [22] O. Palacio, A. Chávez, Y. Velásquez, “Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados”, TECNURA, pp 21-53, 2016, disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v21n53/0123-921X-tecn-21-53-00096.pdf>
- ✓ [23] Reglamento para la gestión y manejo de residuos sólidos de las actividades de construcción y demolición.
- ✓ [24] K. Contreras, V. Herrera, “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote – Santa – Anchas”, Tesis pre grado, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, 2015

## VIII. ANEXOS.

### 8.1. Ensayo de agregados y mezclas de agregados

LEM USAT

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Chiclayo

ESCUELA Ingeniería Civil Ambiental

TESISTA Manchay Lopez Alex Alejandro

TESIS

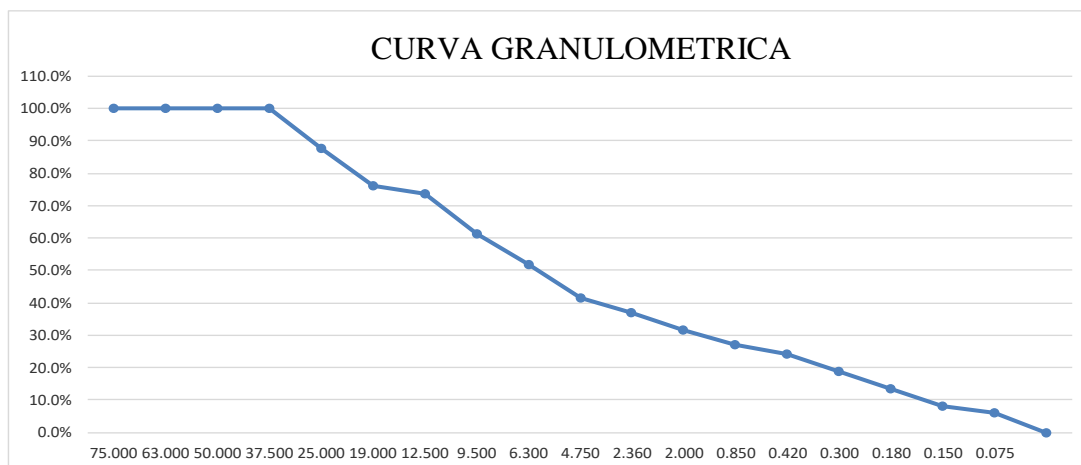
Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas

UBICACIÓN Chiclayo-Lambayeque

ENSAYO: : SUELOS. Método de ensayo para el analisis granulométrico por tamizado.

REFERENCIA: N.T.P. 339.128 ASTM D - 422

	TAMIZ	RETENIDO	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
75.000	3"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
63.000	2 1/2"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
50.000	2"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
37.500	1 1/2"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
25.000	1"	397.8	12.2%	12.2%	87.8%
19.000	3/4"	371.8	11.4%	23.7%	76.3%
12.500	1/2"	86.1	2.6%	26.3%	73.7%
9.500	3/8"	401.4	12.4%	38.7%	61.3%
6.300	1/4"	302.9	9.3%	48.0%	52.0%
4.750	Nº4	348.1	10.7%	58.7%	41.3%
2.360	Nº8	135.5	4.2%	62.9%	37.1%
2.000	Nº10	180.7	5.6%	68.4%	31.6%
0.850	Nº20	149.2	4.6%	73.0%	27.0%
0.420	Nº40	92.6	2.8%	75.9%	24.1%
0.300	Nº50	177.1	5.5%	81.3%	18.7%
0.180	Nº80	173.9	5.4%	86.7%	13.3%
0.150	Nº100	167.7	5.2%	91.8%	8.2%
0.075	Nº200	67.0	2.1%	93.9%	6.1%
	< Nº 200	198.3	6.1%	100.0%	0.0%
		3250.0			



CLASIFICACION SUCS		GP
CLASIFICACION AASHTO		A1-a (0)
D10	D30	D60
0.41	4.75	10.2
Cu		24.878
Cc		5.395
GRAVA		52.61%
ARENA		41.29%
FINO		6.10%

  
 Rivaldeyra Rojas Arri  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

**LEM USAT**

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Chiclayo

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Alex Alejandro Manchay Lopez  
 TESIS : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas

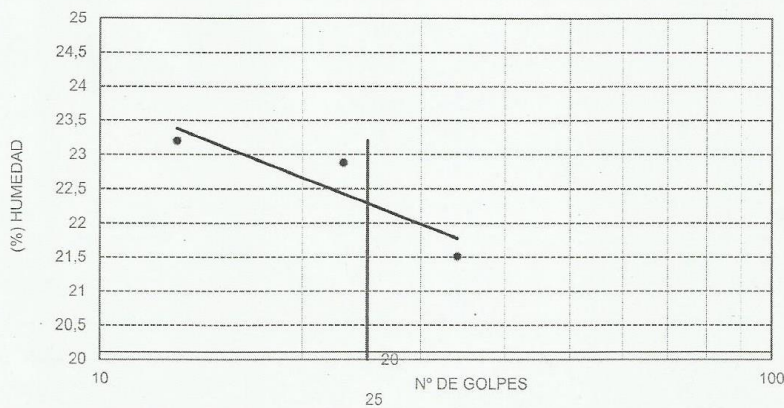
UBICACIÓN : Chiclayo - Labayeque

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido. Límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.

REFERENCIA N.T.P. 339.129 ASTM D - 4318

Nº DE TARRO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	4	5	6	21		
Nº DE GOLPES	34	23	13	-----		
TARRO + SUELO HUMEDO	32,6	32,96	36,41	22,2		
TARRO + SUELO SECO	29,7	29,96	32,55	21,7		
AGUA	2,9	3	3,86	0,5		
PESO DEL TARRO	16,22	16,85	15,91	18,5		
PESO DEL SUELO SECO	13,48	13,11	16,64	3,2		
% DE HUMEDAD	21,51	22,88	23,2	15,63		

CURVA DE FLUIDEZ



CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	20,10
LIMITE PLASTICO	15,63
INDICE DE PLASTICIDAD	4,47

*Rivadeneyra*  
 Rivadeneyra Obitas Jelli  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ENSAYO Método de ensayo para Determinar el contenido de humedad de un suelo  
 REFERENCIA N.T.P. 339.127

MUESTRA : M-1  
 CALICATA : 2  
 Profundidad : 0,15 m a 0.80 m

Numero de tara	Nº	1	2
Peso de la muestra humeda	gr.	1416,00	1416,00
Peso de la muestra seca	gr.	1313,95	1313,95
Peso del Agua	gr.	102,05	102,05
Peso de recipiente	gr.	0,00	0,00
Peso de la muestra seca utilizado	gr.	1313,95	1313,95
Contenido de humedad	%	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>

7,8

: SUELOS. Metodo de ensayo normalizado para la determinacion del contenido de sales solubles en  
 suelos v aguas subterránea.  
 NTP 339.152 / USBR E - 8

Muestra : Afirmado

Muestra usada	g.	50	50
Agua destilada usada	ml	250	250

Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5,00	5,00
Número de beaker		1	2
Peso de beaker	g.	173,96	173,96
Peso de beaker + residuo de sales	g.	173,98	173,98
Peso de residuo de sales	(4)-(3) g.	0,02	0,02
Volumen de la solución tomada	ml	100	100
Constituyentes de sales solubles totales	$[(5) \times (1000000)] / (6) \times (1)$ ppm	1000	1000
Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(7) / 10000 (%)	0,10	0,10
	PROMEDIO (ppm) =	1000	
	PROMEDIO (%) =	0,10	

*[Firma]*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 RIVERA JENNY

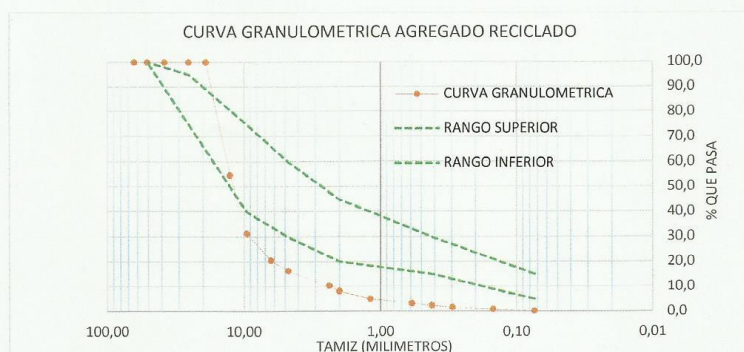
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Proyecto: DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE MEZCLAS ASFALTICAS MUESTRA : Agregado reciclado  
FECHA :  
LUGAR : Chiclayo - Lambayeque  
SOLICITA : Manchay López, Alex Alejandro

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

METODO AASHTO T-89 Y ASTM D-1422

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q' PASA	ESPECIF. "B y C"	
4"	101,600	0,0	0,0	0,0	100,0		
3"	76,200	0,0	0,0	0,0	100,0		
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100
1 1/2"	38,100	0,0	0,0	0,0	100,0		
1"	25,400	0,0	0,0	0,0	100,0	75	95
3/4"	19,050	0,0	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,700	1358,6	45,3	45,3	54,7		
3/8"	9,525	701,6	23,4	68,7	31,3	40	75
1/4"	6,350	325,9	10,9	79,5	20,5		
N° 4	4,760	126,8	4,2	83,8	16,2	30	60
N° 8	2,380	177,2	5,9	89,7	10,3		
N°10	2,000	65,4	2,2	91,9	8,1	20	45
N°16	1,190	96,7	3,2	95,1	4,9		
N° 30	0,590	52,4	1,7	96,8	3,2		
N° 40	0,420	25,6	0,9	97,7	2,3	15	30
N° 50	0,297	23,1	0,8	98,4	1,6		
N° 100	0,149	20,3	0,7	99,1	0,9		
N° 200	0,074	19,6	0,7	99,8	0,2	5	15
< N° 200		6,7	0,2	100,0	0,0		
		3000	100,0				



*Rivadeneyra Jblitas denri*  
TÉCNICO DE LABORATORIO

**DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

Proyecto: **DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS** MUESTRA : 90 - 10  
 FECHA :

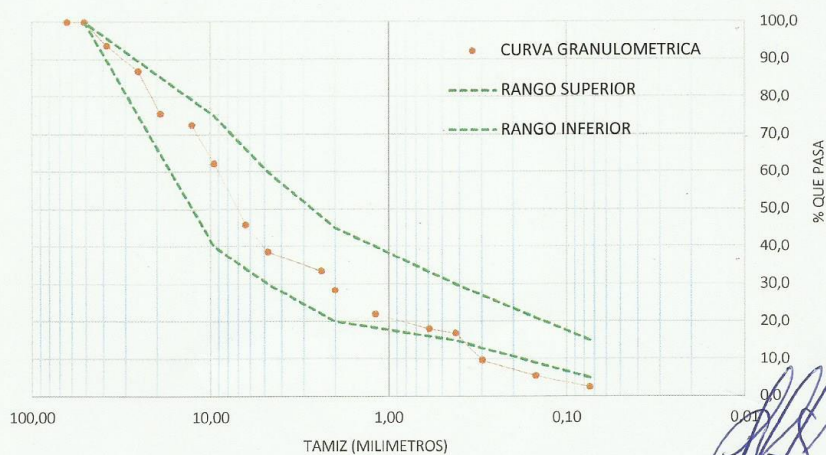
LUGAR Chiclayo - Lambayeque  
 SOLICITA Manchay López, Alex Alejandro

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MÉTODO AASHTO T-89 Y ASTM D-1422

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q' PASA	ESPECIF. "B"	
4"	101,600	0,0	0,0	0,0	100,0		
3"	76,200	0,0	0,0	0,0	100,0		
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,100	153,3	6,3	6,3	93,7		
1"	25,400	163,9	6,8	13,1	86,9	75,0	95,0
3/4"	19,050	274,8	11,3	24,4	75,6		
1/2"	12,700	72,5	3,0	27,4	72,6		
3/8"	9,525	252,6	10,4	37,8	62,2	40,0	75,0
1/4"	6,350	397,3	16,4	54,2	45,8		
N° 4	4,760	177,3	7,3	61,5	38,5	30,0	60,0
N° 8	2,380	123,5	5,1	66,6	33,4		
N° 10	2,000	123,4	5,1	71,7	28,3	20,0	45,0
N° 16	1,190	153,3	6,3	78,0	22,0		
N° 30	0,590	96,2	4,0	82,0	18,0		
N° 40	0,420	28,5	1,2	83,2	16,8	15,0	30,0
N° 50	0,297	175,1	7,2	90,4	9,6		
N° 100	0,149	99,5	4,1	94,5	5,5		
N° 200	0,074	75,7	3,1	97,6	2,4	5,0	15,0
< N° 200		57,2	2,4	100,0	0,0		
	2424	100,0					

CURVA GRANULOMÉTRICA



Rivadeneiro Obiñas de la  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

**DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

Proyecto: **DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE MEZCLAS ASFALTICAS** MUESTRA : 80 - 20  
 FECHA :

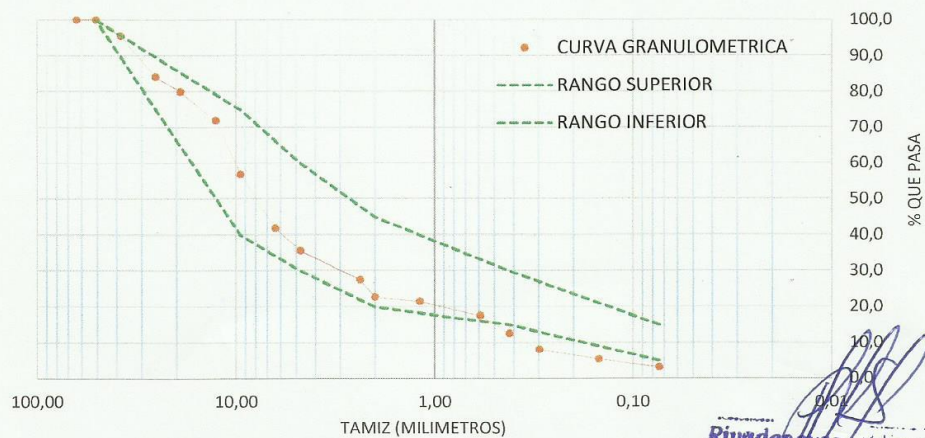
LUGAR : Chiclayo - Lambayeque  
 SOLICITA : Manchay López, Alex Alejandro

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

METODO AASHTO T-89 Y ASTM D-1422

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q' PASA	ESPECIF. "B"	
4"	101,600	0,0	0,0	0,0	100,0		
3"	76,200	0,0	0,0	0,0	100,0		
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,100	110,4	4,5	4,5	95,5		
1"	25,400	280,3	11,3	15,8	84,2	75,0	95,0
3/4"	19,050	102,8	4,1	19,9	80,1		
1/2"	12,700	199,5	8,1	28,0	72,0		
3/8"	9,525	372,8	15,1	43,0	57,0	40,0	75,0
1/4"	6,350	375,0	15,1	58,2	41,8		
N° 4	4,760	152,8	6,2	64,3	35,7	30,0	60,0
N° 8	2,380	200,8	8,1	72,4	27,6		
N° 10	2,000	119,6	4,8	77,3	22,7	20,0	45,0
N° 16	1,190	31,0	1,3	78,5	21,5		
N° 30	0,590	96,3	3,9	82,4	17,6		
N° 40	0,420	124,8	5,0	87,4	12,6	15,0	30,0
N° 50	0,297	111,3	4,5	91,9	8,1		
N° 100	0,149	66,6	2,7	94,6	5,4		
N° 200	0,074	55,5	2,2	96,9	3,1	5,0	15,0
< N° 200		77,5	3,1	100,0	0,0		
	2477	100,0					

CURVA GRANULOMETRICA



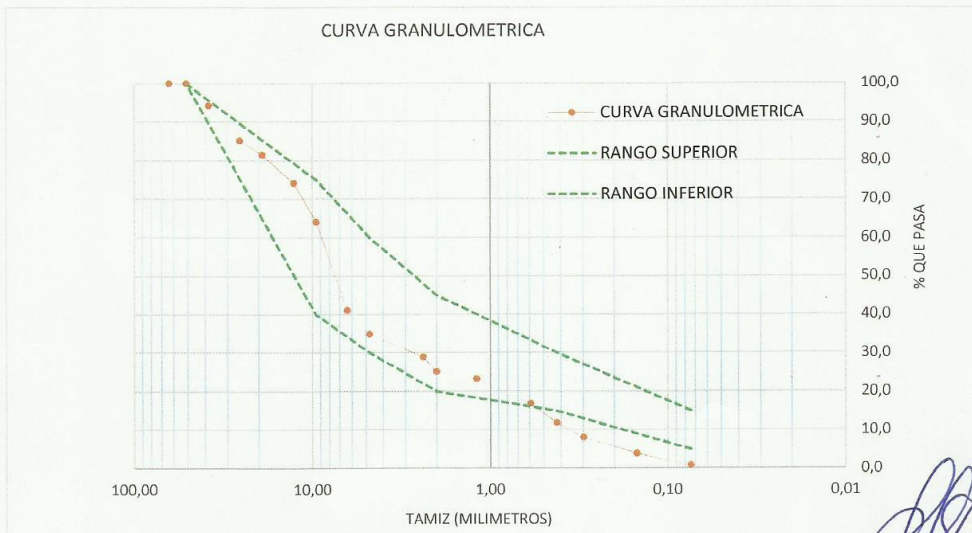
Rivudenyra Obllitas Jenu  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

**DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS**

Proyecto: **DISEÑO DE PAVIMENTOS HACIENDO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE MEZCLAS ASFALTICAS** MUESTRA : **70-30**  
 FECHA :  
 LUGAR : **Chiclayo - Lambayeque**  
 SOLICITA : **Manchay López, Alex Alejandro**

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
 METODO AASHTO T-89 Y ASTM D-1422

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acum	% Q' PASA	ESPECIF. "B"	
4"	101,600	0,0	0,0	0,0	100,0		
3"	76,200	0,0	0,0	0,0	100,0		
2 1/2"	63,500	0,0	0,0	0,0	100,0		
2"	50,800	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,100	174,4	5,8	5,8	94,2		
1"	25,400	276,1	9,1	14,9	85,1	75,0	95,0
3/4"	19,050	111,6	3,7	18,6	81,4		
1/2"	12,700	221,1	7,3	25,8	74,2		
3/8"	9,525	305,3	10,1	35,9	64,1	40,0	75,0
1/4"	6,350	698,1	23,0	59,0	41,0		
N° 4	4,760	186,4	6,1	65,1	34,9	30,0	60,0
N° 8	2,380	180,0	5,9	71,1	28,9		
N°10	2,000	115,3	3,8	74,9	25,1	20,0	45,0
N°16	1,190	54,0	1,8	76,6	23,4		
N° 30	0,590	196,7	6,5	83,1	16,9		
N° 40	0,420	149,1	4,9	88,1	11,9	15,0	30,0
N° 50	0,297	115,1	3,8	91,8	8,2		
N° 100	0,149	125,3	4,1	96,0	4,0		
N° 200	0,074	93,9	3,1	99,1	0,9	5,0	15,0
< N° 200		27,8	0,9	100,0	0,0		
		3030,2	100,0				



**Rivadeneiro Oblitás Jélio**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

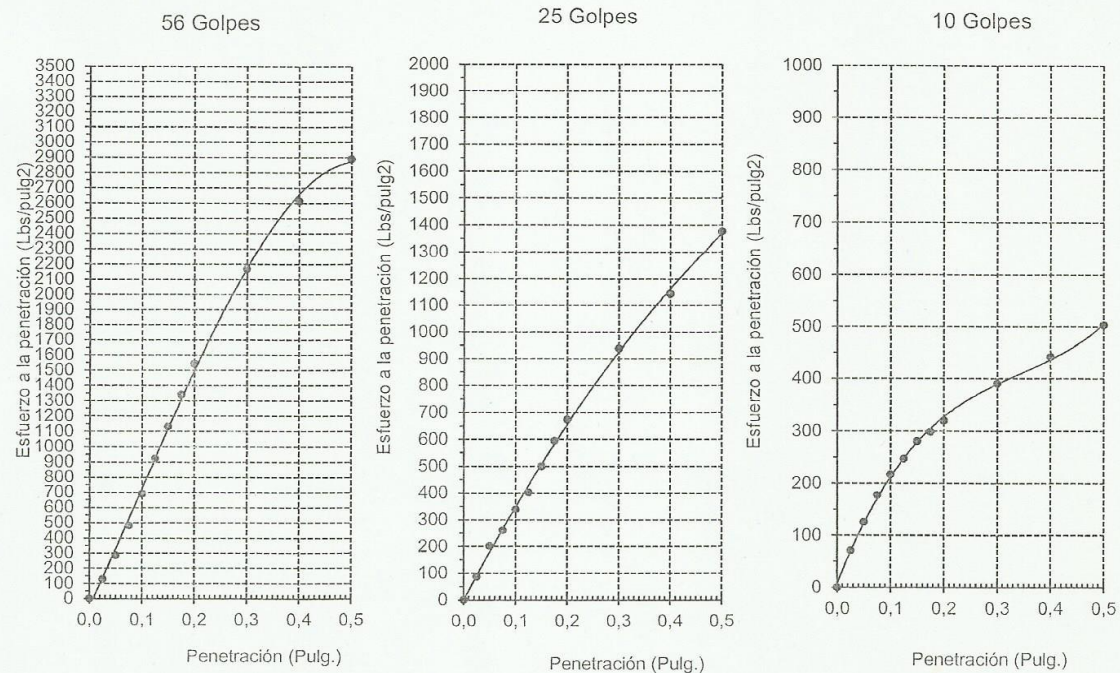
Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Obra : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas  
 Ubicación : Chiclayo - Lambayeque  
 Fecha de emisión : Chiclayo, de Noviembre del 2019

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

Identificación de la muestra


MATERIAL Afirmado

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.



## OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

  
 Rivas de la Cruz, J. J.  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 02 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Obra : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Ubicación : Chiclayo - Lambayeque  
 Fecha de emisión : Chiclayo, de Noviembre del 2019  
 Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama del Proctor y CBR

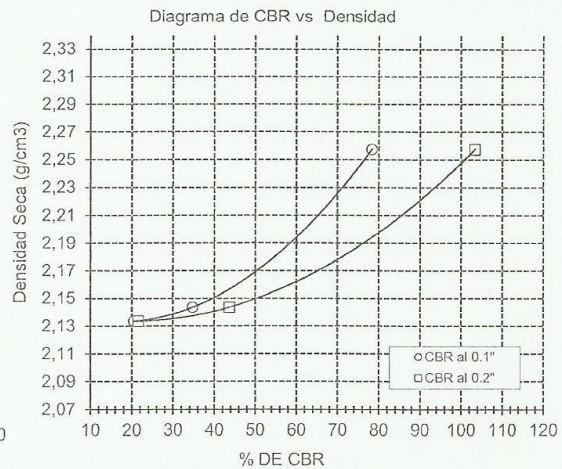
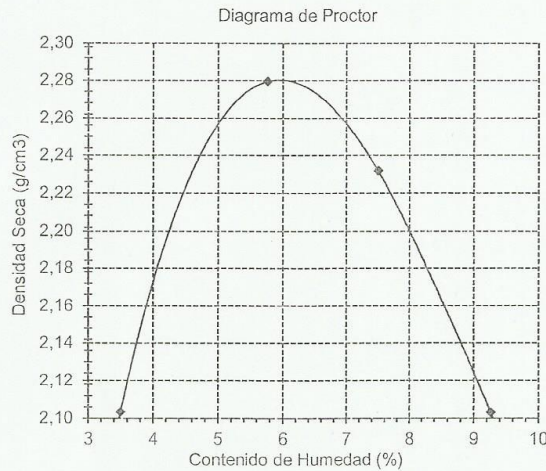
Identificación de la muestra

MATERIAL Afirmado

LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR SON :

Máxima densidad seca	2,283 g/cm <sup>3</sup>
Óptimo contenido de humedad	5,9 %

Espécimen	Número de golpes por capa	CBR (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	% de MDS	CBR (%)
01	56	78,3	2,257	3,8	0.1"	100	90,3
02	25	34,8	2,143	1,2	0.1"	95	71,1
03	10	20,5	2,134	0,5	0.2"	100	116,8
					0.2"	95	99,9



**OBSERVACIONES :**

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)

Inicio de ensayo: 30-oct-2018  
 Fin de ensayo: 0-ene-1900

  
**Rivadeneiro Oblitas de la Cruz**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

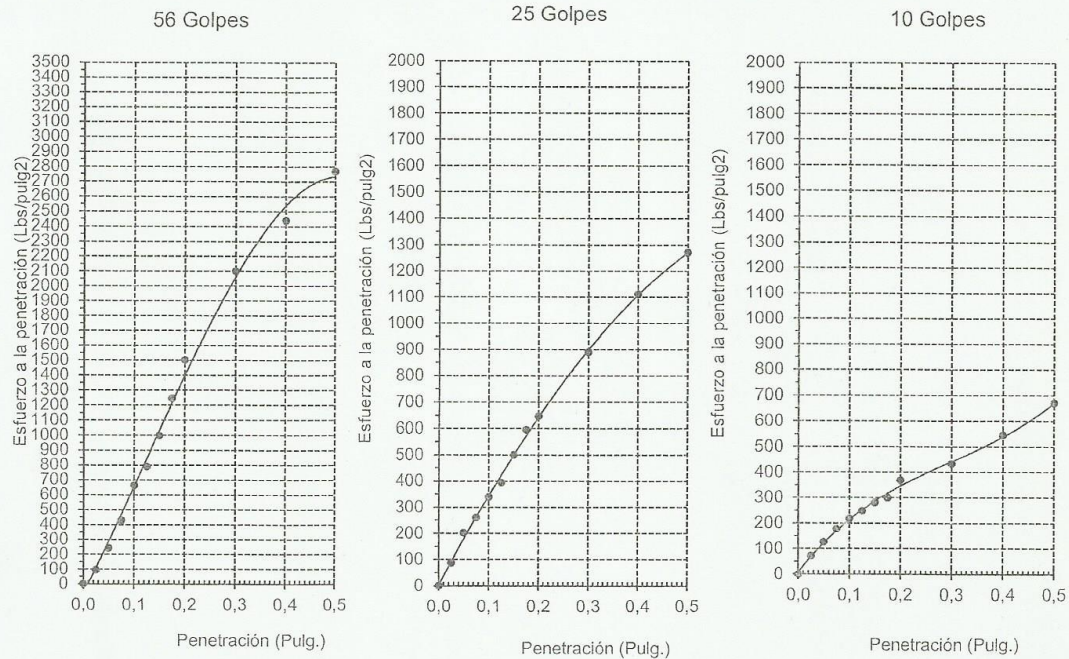
Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Obra : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas  
 Ubicación : Chiclayo - Lambayeque  
 Fecha de emisión : Chiclayo, Noviembre del 2019

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

Identificación de la muestra

Muestra Agregados reciclados

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.



## OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

  
 RIVERA GARCÍA, JUAN ANTONIO  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 02 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ

Obra : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas

Ubicación : Chiclayo - Lambayeque

Fecha de emisión : Chiclayo, Noviembre del 2019

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama del Proctor y CBR

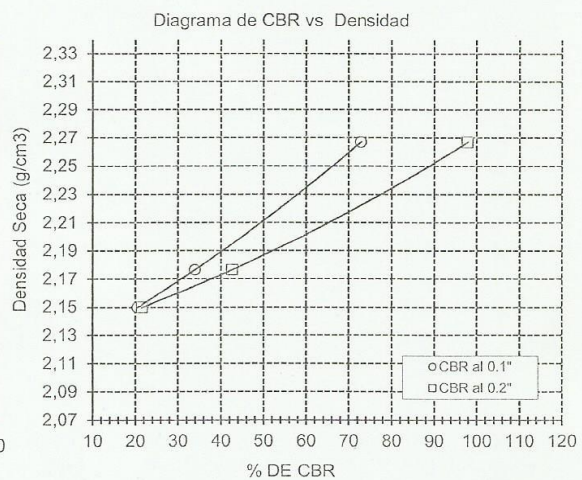
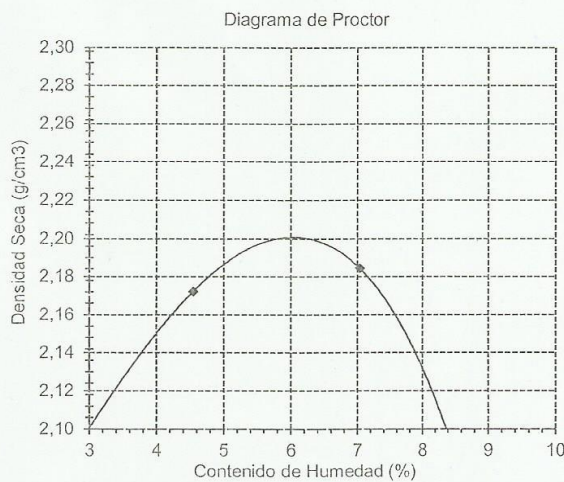
Identificación de la muestra

Muestra Agregados reciclados

LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR SON :

Máxima densidad seca	2,200 g/cm <sup>3</sup>
Óptimo contenido de humedad	5,9 %

Espécimen	Número de golpes por capa	CBR (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	% de MDS	CBR (%)
01	56	72,8	2,267	2,8	0.1"	100	43,0
02	25	34,0	2,176	1,2	0.1"	95	20,5
03	10	20,5	2,150	0,5	0.2"	100	57,0
					0.2"	95	21,6



## OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)

Inicio de ensayo: 30-oct-2018  
 Fin de ensayo: 0-ene-1900

*[Firma]*  
**Rivadeneira J. J. J.**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

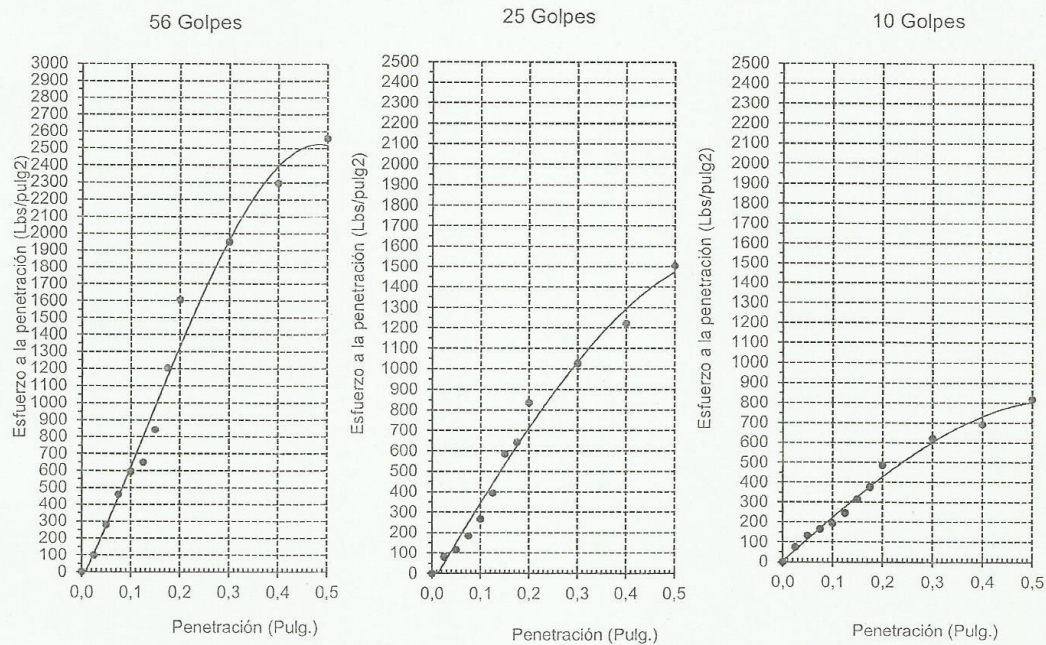
Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

Identificación de la muestra


Muestra Combinación agregados 90-10

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.



## OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

  
 Rivaldo Alberto Abitas Henrí  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 02 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama del Proctor y CBR

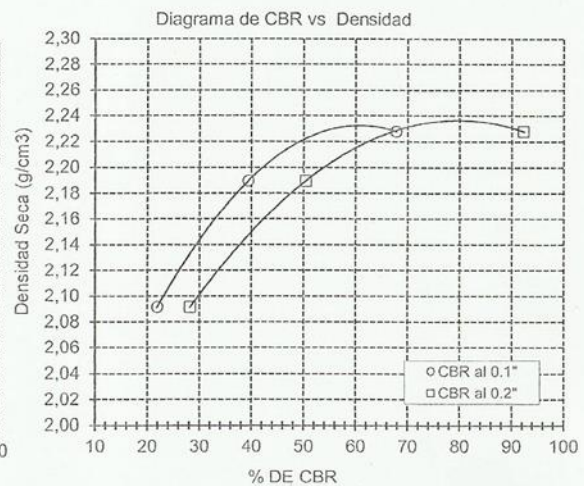
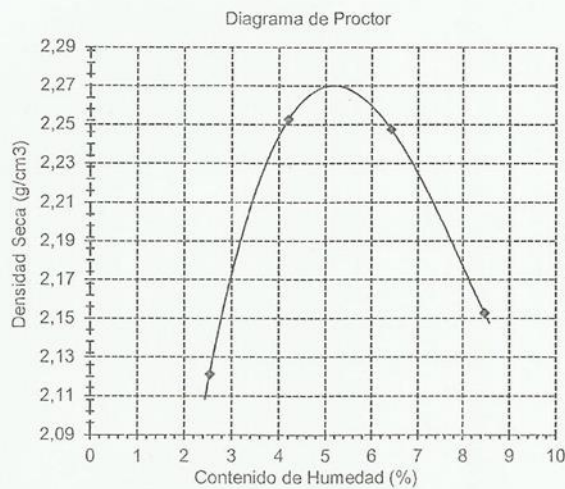
Identificación de la muestra

Muestra Combinación agregados 90-10

LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR SON :


Máxima densidad seca	2,269 g/cm <sup>3</sup>
Óptimo contenido de humedad	5,3 %

Espécimen	Número de golpes por capa	CBR (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	% de MDS	CBR (%)
01	56	67,8	2,228	1,8	0.1"	100	81,6
02	25	39,4	2,190	1,7	0.1"	95	33,3
03	10	22,0	2,092	1,4	0.2"	100	137,5
					0.2"	95	42,7



## OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)

  
 RIVANDREYRA JOLITAS A.E.N.  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 02 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama del Proctor y CBR

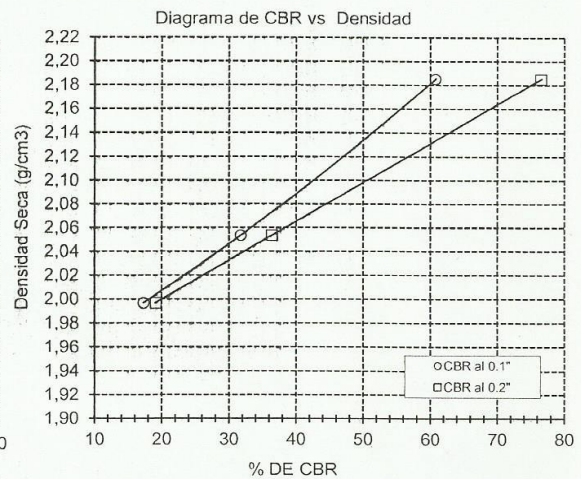
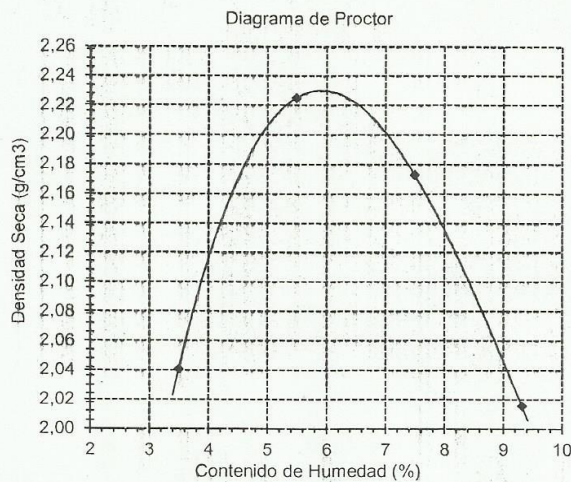
Identificación de la muestra

Muestra Combinación agregados 80-20

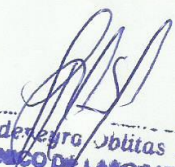
LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR SON :

Máxima densidad seca	2,230 g/cm <sup>3</sup>
Óptimo contenido de humedad	5,9 %

Espécimen	Número de golpes por capa	CBR (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	% de MDS	CBR (%)
01	56	60,8	2,185	2,0	0.1"	100	71,1
02	25	31,8	2,054	2,1	0.1"	95	48,3
03	10	17,3	1,997	2,9	0.2"	100	90,1
					0.2"	95	56,3

**OBSERVACIONES :**

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI ; GP 004:1993)

  
 RIVUDETEGRA J. B. J. J. J.  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

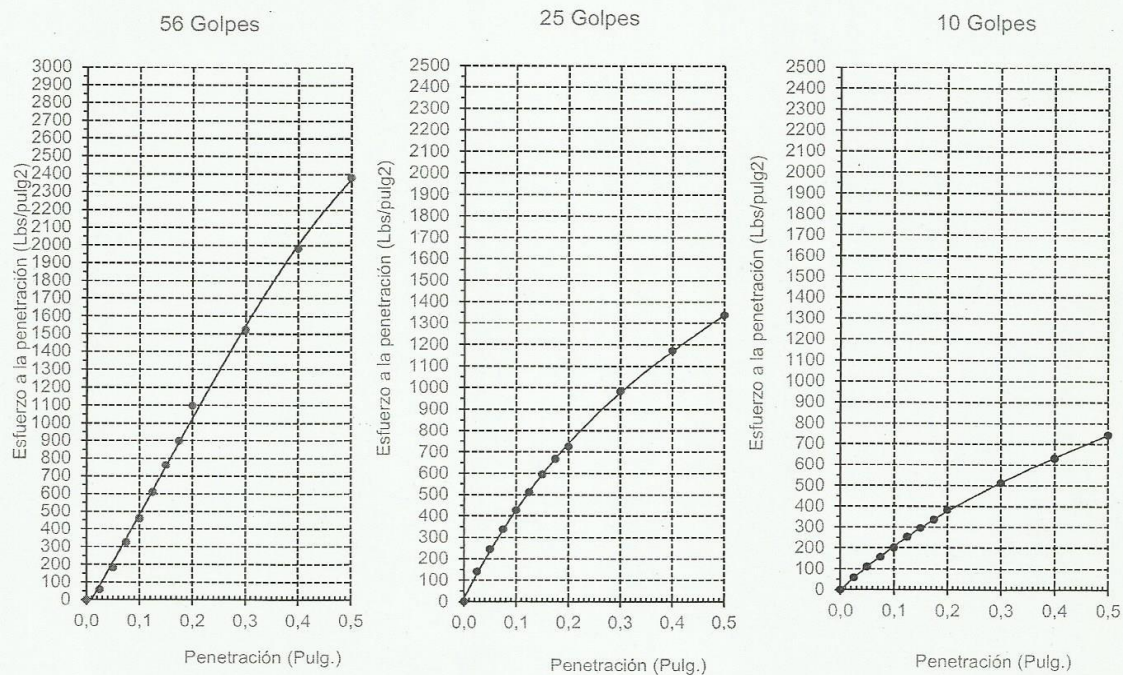
Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

Identificación de la muestra


Muestra                      combinación agregados 70-30

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.



## OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

  
 Rivas de la Cruz  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



NIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

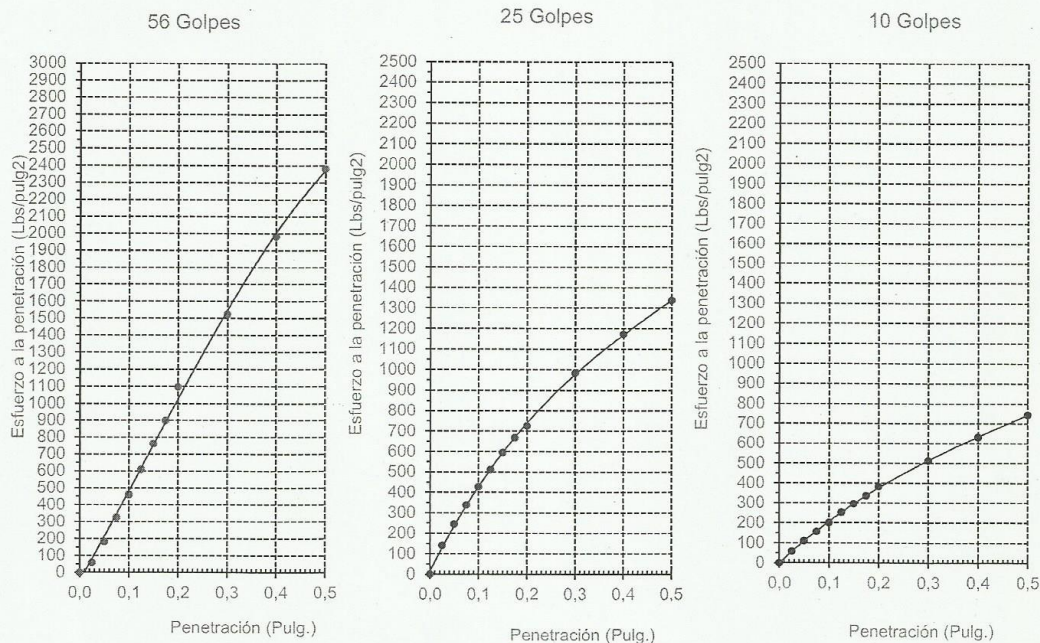
Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

Identificación de la muestra

Muestra combinación agregados 70-30

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.



## OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

*[Firma]*  
 Rivaldo...  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

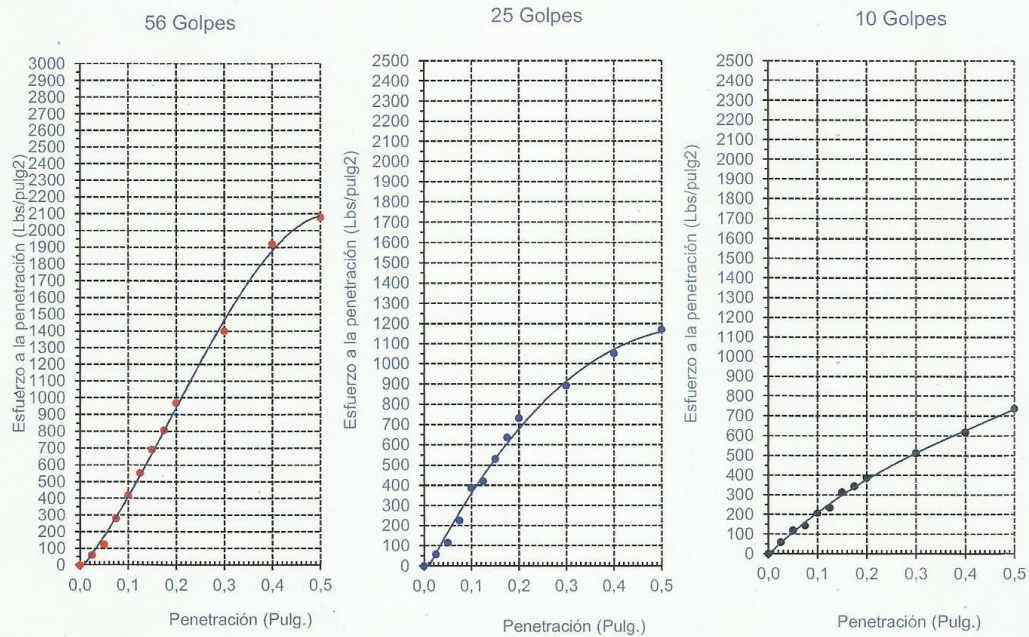
Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

Identificación de la muestra


Muestra Combinación de agregados 60-40

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.



## OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

  
**Rivaldeyro Oblitas Henry**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

(Pág. 01 de 02)

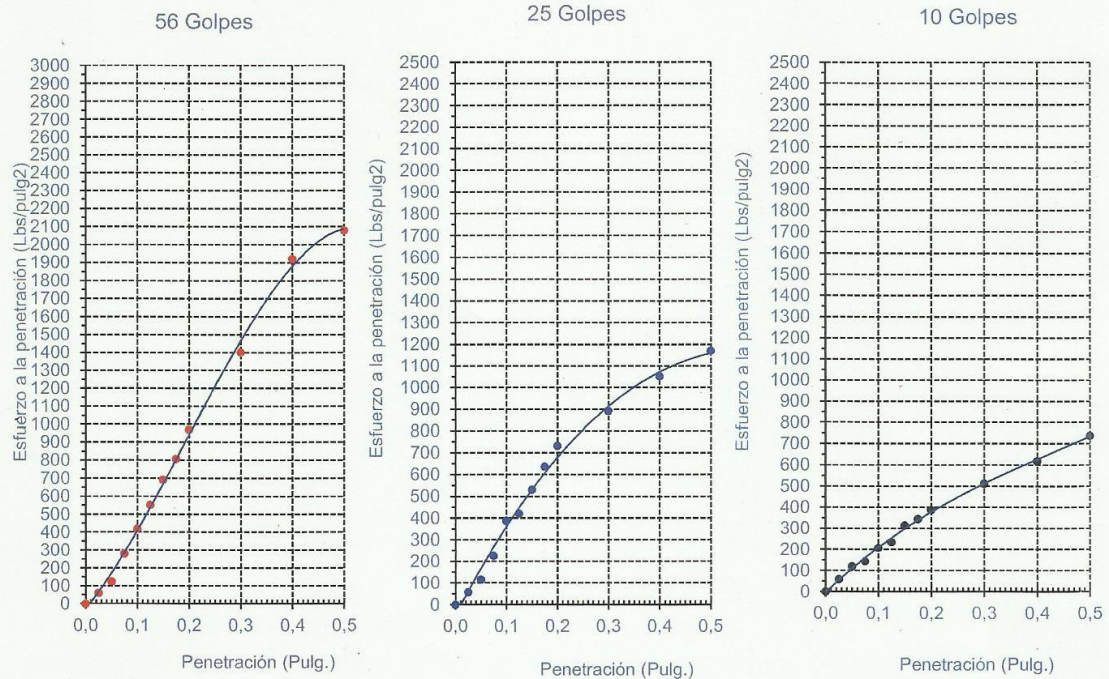
Solicitante : ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ  
 Atención : Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de carpetas asfálticas  
 Obra : Chiclayo - Lambayeque  
 Ubicación : Chiclayo, Noviembre del 2019  
 Fecha de emisión : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos

Código : N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883  
 Norma : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración


Identificación de la muestra

Muestra Combinación de agregados 60-40

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS A : 56, 25 y 10 golpes.

OBSERVACIONES :

1) Muestreo e identificación no fue realizado por el LEM

  
 Rivaldo Obitas Henrí  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

## 8.2. Diseño de pavimentos

### 8.2.1. Diseño de pavimento 1

Delta PSI	4.2	2.5	1.7
Confiabilidad	90%		
So	0.45		

TRÁFICO	1000000		50000000		10000000	
CBR SR (%)	6		6		6	
CBR (BASE)	90.3		90.3		90.3	
CBR (SUB BASE)	43.7		43.7		43.7	
MR SR	8043		8043		8043	
MR (BASE)	28500		28500		28500	
MR (SUB BASE)	17600		17600		17600	
SN3	3.39		4.38		4.85	
SN2	2.51		3.27		3.67	
SN1	2.08		2.72		3.05	
a1	0.44		0.44		0.44	
a2	0.139		0.139		0.139	
a3	0.122		0.122		0.122	
m2	0.9		0.9		0.9	
m3	0.9		0.9		0.9	
D1	4.73 pulg	3.00 pulg	6.18 pulg	3.00 pulg	6.93 pulg	3.00 pulg
SN1*	1.32		1.32		1.32	
D2	9.51 pulg	8.00 pulg	15.59 pulg	8.00 pulg	18.78 pulg	15.00 pulg
SN2*	2.3208		2.3208		3.1965	
D3	9.73770492	10.00 pulg	18.7540984	19.00 pulg	15.0591985	16.00 pulg
SN3*	3.4188		4.407		4.9533	
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>		<b>CUMPLE</b>	

### 1 000 000 EJES EQUIVALENTES

#### CÁLCULO DE SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

### CÁLCULO DE SN2

**Ecuación AASHTO 93**

<b>Tipo de Pavimento</b> <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido		<b>Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)</b> 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value=".45"/>	
<b>Serviciabilidad inicial y final</b> PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.5"/>		<b>Módulo resiliente de la subrasante</b> Mr <input type="text" value="17600"/> psi	
<b>Información adicional para pavimentos rígidos</b>			
Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>
<b>Tipo de Análisis</b> <input checked="" type="radio"/> Calcular SN <b>W18 =</b> <input type="text" value="1000000"/> <input type="radio"/> Calcular W18		<b>Número Estructural</b> <b>SN =</b> <input type="text" value="2.51"/>	
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

### CÁLCULO DE SN1

**Ecuación AASHTO 93**

<b>Tipo de Pavimento</b> <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido		<b>Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)</b> 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value=".45"/>	
<b>Serviciabilidad inicial y final</b> PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.5"/>		<b>Módulo resiliente de la subrasante</b> Mr <input type="text" value="28500"/> psi	
<b>Información adicional para pavimentos rígidos</b>			
Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>
<b>Tipo de Análisis</b> <input checked="" type="radio"/> Calcular SN <b>W18 =</b> <input type="text" value="1000000"/> <input type="radio"/> Calcular W18		<b>Número Estructural</b> <b>SN =</b> <input type="text" value="2.08"/>	
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

## 8.2.2. Diseño de pavimento 2

Delta PSI	4.2	2.5	1.7
Confiabilidad	90%		
So	0.45		

TRÁFICO	1000000	50000000	10000000
CBR SR (%)	6	6	6
CBR (BASE)	81.6	81.6	81.6
CBR (SUB BASE)	43.7	43.7	43.7
MR SR	8043	8043	8043
MR (BASE)	28100	28100	28100
MR (SUB BASE)	17600	17600	17600
SN3	3.39	4.38	4.85
SN2	2.51	3.27	3.67
SN1	2.09	2.74	3.07
a1	0.44	0.44	0.44
a2	0.137	0.137	0.137
a3	0.122	0.122	0.122
m2	0.9	0.9	0.9
m3	0.9	0.9	0.9
D1	4.75 pulg   3.00 pulg	6.23 pulg   3.00 pulg	6.98 pulg   4.00 pulg
SN1*	1.32	1.32	1.76
D2	9.65 pulg   8.00 pulg	15.82 pulg   10.00 pulg	15.49 pulg   12.00 pulg
SN2*	2.3064	2.553	3.2396
D3	9.86885246   14.00 pulg	16.6393443   17.00 pulg	14.6666667   15.00 pulg
SN3*	3.8436	4.4196	4.8866
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

Tabla 36: Diseño pavimento 1

Fuente: Propia

### 1000000 EJES EQUIVALENTES CÁLCULO DE SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

## CÁLCULO DE SN2

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

Calcular Salir

## CÁLCULO DE SN1

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

### 5 000 000 EJES EQUIVALENTES

#### CÁLCULO DE SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 95 %  $Z_r = -1.645$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =**   
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN =**

Calcular Salir

#### CÁLCULO DE SN2

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =**   
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN =**

Calcular Salir

### CÁLCULO DE SN1

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

Calcular Salir

### 10 000 000 EJES EQUIVALENTES

### CÁLCULO DE SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =

W18 =

Calcular Salir

### CÁLCULO DE SN2

**Ecuación AASHTO 93**

**Tipo de Pavimento**  
 Pavimento flexible     Pavimento rígido

**Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)**  
 90 %  $Z_r = -1.282$     So

**Serviciabilidad inicial y final**  
 PSI inicial     PSI final

**Módulo resiliente de la subrasante**  
 Mr  psi

**Información adicional para pavimentos rígidos**

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

**Tipo de Análisis**  
 Calcular SN     Calcular W18

**Número Estructural**  
 SN =

**W18 =**

### CÁLCULO DE SN1

**Ecuación AASHTO 93**

**Tipo de Pavimento**  
 Pavimento flexible     Pavimento rígido

**Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)**  
 90 %  $Z_r = -1.282$     So

**Serviciabilidad inicial y final**  
 PSI inicial     PSI final

**Módulo resiliente de la subrasante**  
 Mr  psi

**Información adicional para pavimentos rígidos**

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

**Tipo de Análisis**  
 Calcular SN     Calcular W18

**Número Estructural**  
 SN =

**W18 =**

### 8.2.2. Diseño de pavimento 3

Delta PSI	4.2	2.5	1.7
Confiabilidad	90%		
So	0.45		

TRÁFICO	1000000	5000000	10000000
CBR SR (%)	6	6	6
CBR (BASE)	90.3	90.3	90.3
CBR (SUB BASE)	71.1	71.1	71.1
MR SR	8043	8043	8043
MR (BASE)	28500	28500	28500
MR (SUB BASE)	18750	18750	18750
SN3	3.39	4.38	4.85
SN2	2.45	3.2	3.58
SN1	2.08	2.72	3.05
a1	0.44	0.44	0.44
a2	0.139	0.139	0.139
a3	0.131	0.131	0.131
m2	0.9	0.9	0.9
m3	0.9	0.9	0.9
D1	4.73 pulg   3.00 pulg	6.18 pulg   3.00 pulg	6.93 pulg   4.00 pulg
SN1*	1.32	1.32	1.76
D2	9.03 pulg   8.00 pulg	15.03 pulg   10.00 pulg	14.55 pulg   12.00 pulg
SN2*	2.3208	2.571	3.2612
D3	9.06870229   9.50 pulg	15.3435115   15.50 pulg	13.475827   13.50 pulg
SN3*	3.44085	4.39845	4.85285
<b>VERIFICACIÓN</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

### 1 000 000 EJES EQUIVALENTES

#### CÁLCULO DE SN3

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi


Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN =


W18 =

### CÁLCULO DE SN2

 Ecuación AASHTO 93

<b>Tipo de Pavimento</b> <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido		<b>Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)</b> 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value=".45"/>	
<b>Serviciabilidad inicial y final</b> PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.5"/>		<b>Módulo resiliente de la subrasante</b> Mr <input type="text" value="18750"/> psi	
<b>Información adicional para pavimentos rígidos</b>			
Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>
<b>Tipo de Análisis</b> <input checked="" type="radio"/> Calcular SN <input type="radio"/> Calcular W18		<b>Número Estructural</b> SN = <input type="text" value="2.45"/>	
<b>W18 =</b> <input type="text" value="1000000"/>			


### CÁLCULO DE SN1

 Ecuación AASHTO 93

<b>Tipo de Pavimento</b> <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido		<b>Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)</b> 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value=".45"/>	
<b>Serviciabilidad inicial y final</b> PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.5"/>		<b>Módulo resiliente de la subrasante</b> Mr <input type="text" value="28500"/> psi	
<b>Información adicional para pavimentos rígidos</b>			
Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>
<b>Tipo de Análisis</b> <input checked="" type="radio"/> Calcular SN <input type="radio"/> Calcular W18		<b>Número Estructural</b> SN = <input type="text" value="2.08"/>	
<b>W18 =</b> <input type="text" value="1000000"/>			

### 5 000 000 EJES EQUIVALENTES

#### CÁLCULO DE SN3

 Ecuación AASHTO 93

**Tipo de Pavimento**  
 Pavimento flexible     Pavimento rígido

**Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)**  
 95 %  $Z_r = -1.645$     So

**Serviciabilidad inicial y final**  
 PSI inicial     PSI final

**Módulo resiliente de la subrasante**  
 Mr  psi

**Información adicional para pavimentos rígidos**

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)

Coefficiente de transmisión de carga - (J)


Coefficiente de drenaje - (Cd)

**Tipo de Análisis**  
 Calcular SN    **W18 =**   
 Calcular W18

**Número Estructural**  
**SN =**

#### CÁLCULO DE SN2

 Ecuación AASHTO 93

**Tipo de Pavimento**  
 Pavimento flexible     Pavimento rígido

**Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)**  
 90 %  $Z_r = -1.282$     So

**Serviciabilidad inicial y final**  
 PSI inicial     PSI final

**Módulo resiliente de la subrasante**  
 Mr  psi

**Información adicional para pavimentos rígidos**

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)


Coefficiente de transmisión de carga - (J)

Coefficiente de drenaje - (Cd)

**Tipo de Análisis**  
 Calcular SN    **W18 =**   
 Calcular W18

**Número Estructural**  
**SN =**

### CÁLCULO DE SN1

 Ecuación AASHTO 93

**Tipo de Pavimento**  
 Pavimento flexible     Pavimento rígido

**Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)**  
 90 %  $Z_r = -1.282$     So

**Serviciabilidad inicial y final**  
 PSI inicial     PSI final

**Módulo resiliente de la subrasante**  
 Mr  psi

**Información adicional para pavimentos rígidos**

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)


**Tipo de Análisis**  
 Calcular SN    **W18 =**   
 Calcular W18

**Número Estructural**  
**SN =**

### 10 000 000 EJES EQUIVALENTES

### CÁLCULO DE SN3

 Ecuación AASHTO 93

**Tipo de Pavimento**  
 Pavimento flexible     Pavimento rígido

**Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)**  
 90 %  $Z_r = -1.282$     So

**Serviciabilidad inicial y final**  
 PSI inicial     PSI final

**Módulo resiliente de la subrasante**  
 Mr  psi

**Información adicional para pavimentos rígidos**

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

**Tipo de Análisis**  
 Calcular SN    **W18 =**   
 Calcular W18

**Número Estructural**  
**SN =**

### CÁLCULO DE SN2

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$    So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial    PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)    Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)    Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN    Calcular W18

Número Estructural  
**W18 =**    **SN =**

### CÁLCULO DE SN1

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$    So

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial    PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)    Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)    Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN    Calcular W18

Número Estructural  
**W18 =**    **SN =**

### **8.3. Evaluación de impacto ambiental**

#### **8.3.1. Resumen ejecutivo**

El presente estudio de impacto ambiental se desarrolla con el fin de prever los posibles impactos ambientales que puede traer consigo el desarrollo del proyecto denominado “Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de mezclas asfálticas”.

Actualmente la disposición final de residuos sólidos provenientes de la construcción y demolición, representa un problema primordial; debido al creciente volumen de estos y a la falta de instalaciones apropiadas para su disposición final.

Por ello se tiene como fin buscar alternativas socio amigables o nuevas técnicas para reciclar los desechos de construcción y transformarlos en un producto que pueda ser de utilidad para el sector, y del mismo modo contribuir a la disminución de material depositado en sectores no aptos para ello.

#### **8.3.2. Generalidades**

##### **8.3.2.1. Objetivos y alcance**

###### **Objetivo General**

Llevar a cabo el estudio de impacto ambiental del proyecto denominado “Diseño de pavimentos haciendo uso de agregados reciclados provenientes de mezclas asfálticas”

###### **Objetivos específico**

- Realizar la descripción del proyecto
- Llevar a cabo el desarrollo de la línea base
- Caracterización de los posibles impactos ambientales
- Estrategias de mitigación ambiental

### 8.3.2.2. Alcances

El presente proyecto, permite abrir las puertas a nuevos generadores de ingresos como lo son los agregados reciclados, a parte, se logrará un desarrollo ambiental ya que, al reutilizar los desechos de las demoliciones de pavimentos se contribuirá a la disminución de un agente contaminante que es depositado de manera poco segura en el Botadero de Reque o a las afuera de la Ciudad de Chiclayo.

Al reutilizar estos residuos se verá disminuida la contaminación ambiental de la ciudad y por consecuencia la calidad ambiental y la de la población.

### 8.3.3. Marco legal administrativo

#### 8.3.3.1. Normas generales

- **La Constitución Política del Perú (1993)**, es la norma legal de mayor jerarquía del Perú. Se detalla en ella los derechos esenciales de la persona humana, el derecho a gozar a un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida. En el Artículo N°2 habla del derecho a la paz, al descanso y a un medio ambiente equilibrado, en su Artículo 66° sobre los Recursos Naturales y en el Artículo 67° sobre la Política Nacional Ambiental.
- **La Ley General del Ambiente (2205)**, en su Capítulo III: Gestión Ambiental, Artículo N° 25: “De los estudios de impacto ambiental”, indica que los estudios de impacto ambiental, son instrumentos de gestión de contienen una descripción de la actividad propuesta y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico y social, a corto y largo plazo, así como la evaluación técnica del mismo
- **El Código Penal**, en su título XIII, Capítulo Único: “Delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente “, Artículo 304° describe los términos de contaminación y responsabilidad culposa. En el Artículo 305° se habla de la contaminación agravada y en el 313ª del daño al medio ambiente natural. Además, se menciona los delitos contra la ecología
- **La Ley de Evaluación de impacto Ambiental Ley N°26786(1997)**, establece con los Ministerios deberán comunicar al Consejo Nacional del Ambiente

/CONAM) las regulaciones al respecto. Esta ley no modifica las atribuciones sectoriales en cuanto a las autoridades ambientales competentes. Las actividades a realizarse no requerirán una coordinación directa con el CONAM. La autoridad competente ambiental para dichas actividades hará de conocimiento respecto al CONAM, si el caso lo requiriese.

- **La Ley del Sistema Nacional de Evacuación del Impacto Ambiental N°27446 (2001)**, este dispositivo legal establece un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas a través de los proyectos de inversión.
- **La Ley Orgánica de Municipalidades. Ley N° 23853**, en esta ley se establece que la Municipalidad de es una unidad fundamental de la gestión local. El municipio como gobierno local y como parte del estado manifiesta una correlación de fuerzas locales que se redefinen en el tiempo y en el territorio. En materia ambiental, las municipalidades tienen las siguientes funciones: velar por la conservación de la flora y fauna local y promover ante las entidades necesarias para el desarrollo, aprovechamiento racional y recuperación de los recursos naturales unificados en el territorio de su jurisdicción; normar y controlar las actividades relacionadas con el saneamiento ambiental; difundir programas de educación ambiental; promover y asegurar la conservación y custodia del patrimonio cultural local.
- **La Ley General de Residuos Sólidos Ley N° 27314 (2000) y su Reglamento, D.S. N° 057 – 2004 – PCM**, indican que el manejo de los residuos que realiza toda persona deberá ser sanitaria y ambiental adecuado de manera tal de prevenir impactos negativos y asegurar la protección de la salud, con sujeción a los lineamientos de política establecidos en el artículo 4to de la Ley.

También estipula que la prestación de servicios de residuos sólidos puede ser realiza directamente por las municipales distritales y provinciales a través de Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos /EPSRS), que las actividades comerciales conexas deberán ser realizadas por Empresas Comercializadoras de Residuos Sólidos (ECSR), de acuerdo a lo establecido en el artículo 61 del Reglamento y que la prestación del servicio debe cumplir con

condiciones mínimas de periodicidad, cobertura y calidad que establezca la autoridad competente.

- **La Ley General de Salud Ley N° 26842**, norma los derechos, deberes y responsabilidades concernientes a la salud individual, así como los deberes, restricciones y responsabilidades en consideración a la salud de terceros, considerando la protección de la salud como indispensable del desarrollo humano y medio fundamental para alcanzar el bienestar individual y colectivo
- **La Ley General de Aguas N°17752**, la cual establece el uso justificado de aguas o cuerpos de agua a nivel nacional incluyendo las aguas producidas de nevados, glaciales y de las precipitaciones, indicando que las aguas son de propiedad del estado y su dominio es inalterable e imprescindible, no existe propiedad sobre ellas ni derechos adquiridos sobre ella, indica además que su uso solo puede ser otorgado en armonía con interés social y del país.

#### 8.3.4. Descripción del proyecto

##### 8.3.4.1. Ubicación del proyecto

La realización del proyecto para generar nuevos materiales a partir de los residuos de asfalto, tuvo como centro de operaciones el laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque



**Ilustración 39: Departamento de Lambayeque**  
Fuente: Google



Ilustración 40: Mapa de la provincia de Chiclayo  
Fuente: Google



Ilustración 41: Ubicación del laboratorio de suelos de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
Fuente: Google Earth

### 8.3.5. Línea base ambiental

#### 8.3.5.1. Área de influencia directa e indirecta del proyecto

Para poder establecer el área sobre la cual influye el proyecto, como primer punto debemos identificar los aspectos e impactos que pueden afectar, de manera tanto negativa como positiva. El área de influencia del proyecto puede ser tanto directa como indirecta;

la primera puede sufrir cambios en diferentes aspectos, mientras que el área indirecta viene dada por el espacio afectado por los cambios directos.

El área de influencia directa del proyecto vendría a ser la ciudad de Chiclayo, ya que el estudio pretende reutilizar los residuos producidos por las obras de reconstrucción y nuevas pavimentaciones que se vienen dando en la ciudad. El área indirecta vendría a ser la región Lambayeque ya que representa una oportunidad de minimizar los desechos producidos por la demolición, además se puede plantear una oportunidad de elevar la economía local.

### 8.3.6. Descripción del medio físico

#### 8.3.6.1. Mapa base



**Ilustración 42: Área de estudio del proyecto**  
fuente: Propia

#### 8.3.6.2. Accesibilidad

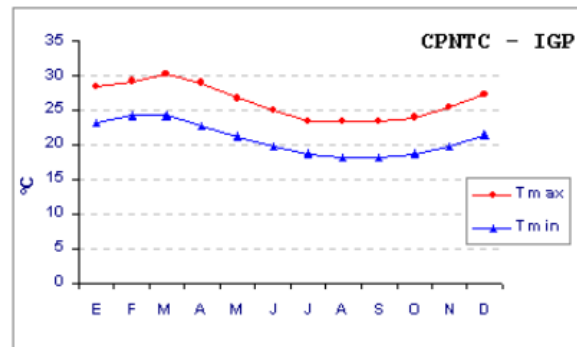
Las calles de la ciudad de Chiclayo se encuentran en mal estado por lo cual se están realizando obras para mejorar la transitabilidad de las principales vías de la ciudad.

#### 8.3.6.3. Aire y clima

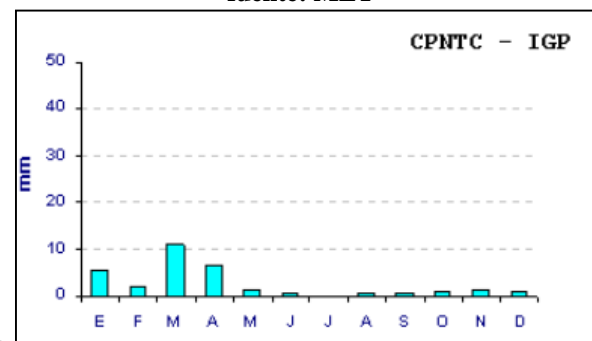
##### 8.3.6.3.1. Climatología

La ciudad de Chiclayo se encuentra ubicada en la zona costera del país, presenta un clima sub tropical, con estaciones secas, escasas lluvias y una predominante fuerza del viento que se mantiene durante casi todo el año. La temperatura máxima que se presenta en la Ciudad es de 26.3 °C y la mínima presentada es de 20.9°. Las precipitaciones no

son muy abundantes durante el año la precipitación media acumulada es 29.6mm aproximadamente.



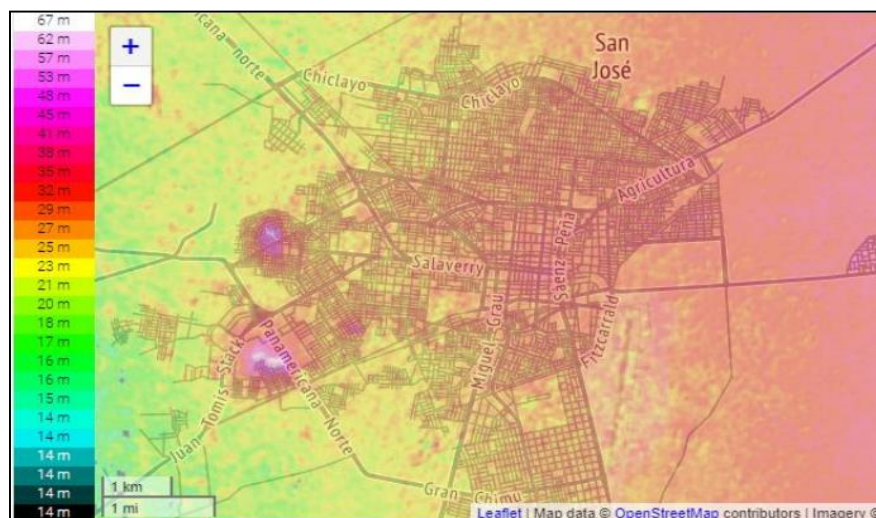
**Gráfico 25: Temperaturas máximas y mínimas en la ciudad de Chiclayo**  
fuente: MET



**Gráfico 26: Precipitación acumulada mensual**  
Fuente: Propia

### 8.3.6.3.2. Relieve

La ciudad de Chiclayo posee un relieve que no presenta muchas variaciones, ya que se encuentra ubicado sobre una llanura costera con presencia de pequeñas elevaciones y planicies elevadas.



**Gráfico 27: Altitudes de la Ciudad de Chiclayo**  
Fuente: Topographic – map

### 8.3.6.3.3. Extensión territorial

Su extensión territorial es de 252.39 km<sup>2</sup>. El distrito central de la ciudad limita:

- Al Norte, con los distritos de Picsi, José Leonardo Ortiz y Lambayeque
- Al Sur, con Monsefú, Reque y La Victoria
- Al Este, con Pomalca
- Al Oeste, con Pimentel y San José

## 8.3.7. DESCRIPCION DEL MEDIO BIOLOGICO

### 8.3.7.1. Flora

- Algarrobo (*Prosopis pallida*): Es propio de la costa norte del Perú, la madera extraída de este árbol posee una elevada dureza, por ello es muy utilizado para la construcción de viviendas en la zona rural y en la antigüedad fue usado para construir en las ciudades de Lambayeque, Ferrenafe y Chiclayo.



**Ilustración 43: Planta de algarrobo**

**Fuente: SENARNP**

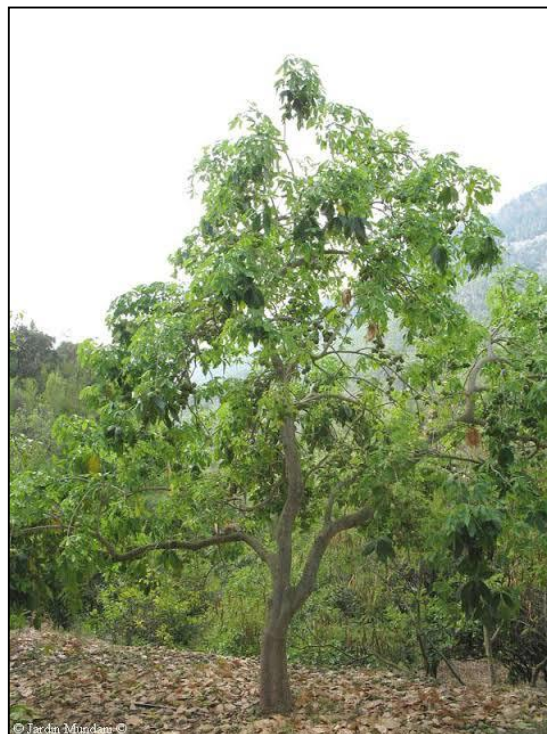
- Faiques (*Acacia macracantha*): Pertenece a la familia de las fabáceas, es un árbol que posee una gran cantidad de espina, llega a alcanzar alturas de alrededor de 4 metros, con un tronco oscuro y con hojas que posee grandes espinas, florece durante la época lluviosa. Puede ser utilizada para la construcción de viviendas,

como leña, carbón y para la fabricación de pequeñas embarcaciones. Sus espinas pueden ser usadas para aliviar dolores dentales.



**Ilustración 44: Planta de Faique**  
Fuente: Google

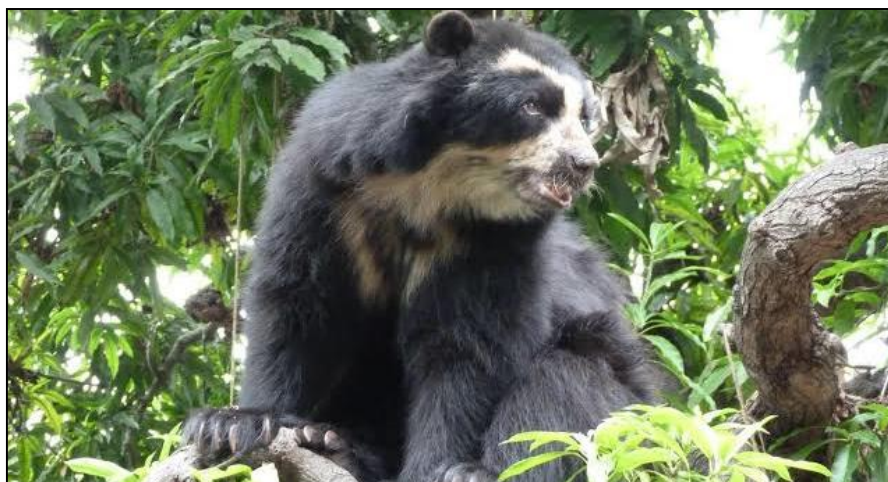
- La planta de zapote (*achras sapota*), es una planta que crece principalmente en los pisos altitudinales costa y yunga, durante las estaciones secas, brota de este una resina a la cual se le denomina “Goma de Zapote”. De la madera extraída de este árbol se fabrican diferentes obras de artesanía.



**Ilustración 45: planta de zapote**  
Fuente: Google

### 8.3.7.2.Fauna

La fauna dentro del departamento es muy variada, depende de los factores y las zonas en las cuales se encuentra; dentro de los animales que se puede encontrar dentro de la región Lambayeque tenemos al oso de anteojos, venados, ardillas, ratas y ratones.



**Ilustración 46: Oso de anteojos**  
fuente: Google



**Ilustración 47: Venado**  
Fuente: Google

- También se pueden encontrar una variedad de reptiles como iguana, lagartija, saltojo, camaleón, colambo y sapo



**Ilustración 48: Colambo**  
**Fuente: Google**



**Ilustración 49: Iguana**  
**Fuente: Google**

- Aves como perdiz, cuculí, garza, la pava aliblanca y el ave más representativa de la región Lambayeque el huerequeque.



**Ilustración 50: Huerequeque**  
Fuente: Google



**Ilustración 51: Pava aliblanca**  
fuente: Google

### **8.3.8. Descripción del medio socio economico**

#### **8.3.8.1. Ambiente social**

##### **Vivienda**

La ciudad de Chiclayo está conformada principalmente por viviendas multifamiliares, la mayoría de las construcciones son de concreto armado y de material noble.

##### **Uso comercial**

La ciudad de Chiclayo es altamente comercial debido a que es un punto de conexión entre las ciudades de la sierra y la costa peruana, en la ciudad convergen productos que son traídos desde todo el territorio norte del país.

### **Uso industrial**

La industria está presente dentro de la periferia de la ciudad ubicándose en las salidas de la ciudad de Chiclayo. En lo que concierne a la industria, los molinos son los que ocupan un amplio porcentaje dentro de estos, como por ejemplo: los ubicados en la vía Chiclayo – Lambayeque, que prácticamente se encuentran unidas por la industria arrocera.

### **8.3.9. Caracterización de los impactos**

Para la determinación de los impactos se ha identificado las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto de investigación que podrían generar algún impacto sobre el ambiente, ya sea positivo o negativo. Una vez identificados los posibles impactos se procederá a plantear un plan de manejo ambiental para la reducción o eliminación de los impactos negativos.

#### **8.3.9.1. Matriz de Leopold**

Es recomendable realizar un análisis matricial, se ha seleccionado la matriz de Leopold debido a la facilidad de entendimiento que esta presenta y, el fin del estudio de impacto ambiental es la identificación de los impactos producidos en las distintas etapas de desarrollo del proyecto

### MATRIZ DE LEOPOLD

ACCIONES DEL PROYECTO "DISEÑO DE PAVIMIENOS HACIENDO USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE MEZCLAS ASFALTICAS"

Componentes ambientales	FACTORES AMBIENTALES		ACCIONES DEL PROYECTO												IMPACTO TOTAL	
			EXTRACCION DE A.N	TRANSPORTE Y DESCARGA DE A.N	ALMACENAMIENTO DE A.N	RECOLECCION DE A.R	TRANSPORTE Y DESCARGA DE A.R	ALMACENAMIENTO	ACONDICIONAMIENTO DE A.R	ENSAYOS A.N	ENSAYOS A.R	MEZCLAS AR-AN	ENSAYOS DE MEZCLAS AR-AN	USO DE MEZCLAS COMO BASE O SUB BASE	MAGNITUD +/-	PONDERADO
FACTORES FISICO QUIMICOS	TIERRA	Morfologia del terreno	-3			3								4	4	12
			2			2							3			
		Contaminacion del suelo	-2	-2	-2	3	-2	-2						2	-5	-4
			3	2	1	2	2	1					2			
	AGUA	Contaminacion de aguas superficiales y subterranas	-2			5				-1	-1	-1	-1	2	1	24
			1			4				1	1	1	1	5		
		Calidad	-2			2								2	2	8
			2			2								4		
	AIRE	Calidad (polvo)	-5	-3	-4	-2	-3	-4	-3	-2	-2	-3	-2	-3	-36	-88
			3	2	4	2	2	4	3	1	1	2	1	3		
		Calidad (Gases y Humo)	-3	-3		-4	-3		-3	-1	-1	-1	-1	-3	-23	-42
			2	3		2	3		2	1	1	1	1	3		
PROCESOS	Erosion	-3												-3	-9	
		3														
CONDICIONES BIOLOGICAS	FLORA	Diversidad	-2			1							2	1	0	
			2			2							1			
	FAUNA	Diversidad de especies	-2	-1		1	-1						2	-1	-1	
			2	1		2	1						1			

FACTORES CULTURALES	USOS DEL SUELO	Naturaleza y espacios abiertos	-3		-3			-3	-1			-1		2	-9	-22			
			4		2			2	1			1		2					
		Pastos		-1			-1							1			-1	0	
				1			1							1					
	ESTETICA	Vistas esteticas y panoramicas	-4		-1			-1	-1					2			-5	-8	
			2		1			1	2					2					
	NIVEL CULTURAL	Calidad de vida	-3	-2		-2	-2		-2	-2	-2	-1	-2	3			-15	-10	
			2	2		2	2		2	1	1	1	1	5					
		Salud y seguridad			-2	-2		-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2			-2	-17	-35
					2	2		2	1	2	2	2	2	2			3		
	Empleo estacional	4	4	3	2	3	3	4	2	2	2	2	2	2			33	78	
		2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	4					
	ACTIVIDADES	Eliminacion de residuos				5								8			13	84	
						4								8					
Beneficios economicos													6	6	30				
												5							
IMPACTO TOTAL		MAGNITUD	-30	-8	-9	12	-9	-9	-7	-6	-6	-7	-6	30					
		PONDERADO	-74	-17	-23	44	-19	-23	-11	-4	-4	-10	-4	140					

Tabla 37: Matriz de Leopold  
Fuente: Propia

### 8.3.10. Resultados y análisis de la matriz de Leopold

Una vez concluida la matriz de Leopold pasamos analizar los resultados, para ver cuál de los factores es el que resulta más afectado con la realización del proyecto, de la misma manera se logra identificar cual es la actividad que aporta más al deterioro de la calidad ambiental.

Morfología del terreno	4	12
Contaminacion del suelo	-5	-4
Contaminacion de aguas superficiales y subterranas	1	24
Calidad	2	8
Calidad (polvo)	-36	-88
Calidad (Gases y Humo)	-23	-42
Erosion	-3	-9
Diversidad	1	0
Diversidad de especies	-1	-1
Naturaleza y espacios abiertos	-9	-22
Pastos	-1	0
Vistas esteticas y panoramicas	-5	-8
Calidad de vida	-15	-10
Salud y seguridad	-17	-35
Empleo estacional	33	78
Eliminacion de residuos	13	84
Beneficios economicos	6	30

**Tabla 38: Factores afectados por el proyecto**  
Fuente: Propia

Como se puede apreciar el principal factor afectado es el aire, debido a la emisión de gases durante el proceso y la emisión de polvo lo cual genera un impacto negativo sobre la calidad del aire. Otro de los puntos a tener en cuenta es la seguridad ocupacional que se debe tener, según la matriz de Leopold confeccionada, la salud y seguridad es el tercer factor que puede sufrir mermas en su calidad.

EXTRACCION DE A.N	-30	-74
TRANSPORTE Y DESCARGAR DE A.N	-8	-17
ALMACENAMIENTO DE A.N	-9	-23
RECOLECCION DE A.R	12	44
TRANSPORTE Y DESCARGA DE A.R	-9	-19
ALMACENAMIENTO	-9	-23
ACONDICIONAMIENTO DE A.R	-7	-11
ENSAYOS A.N	-6	-4
ENSAYOS A.R	-6	-4
MEZCLAS AR-AN	-7	-10
ENSAYOS DE MEZCLAS AR-AN	-6	-4
USO DE MEZCLAS COMO BASE O SUB BASE	30	140

**Tabla 39: Actividad que genera mayor impacto**  
**Fuente: Propia**

La actividad que más impacta sobre los factores ambientales es, naturalmente la extracción de agregados de cantera, ya que debido a su operación con maquinaria genera una gran cantidad de polvo y gases que son liberados sin ningún control sobre la atmósfera terrestre, caso que, debido a la creciente conciencia ambiental debería regularse con mayor firmeza y tenacidad. El acondicionamiento del material reciclado también está dentro de las actividades con potenciales efectos negativos, debido a la generación de polvo y ruido que genera la trituración del material recuperado.

### 8.3.11. Plan de manejo ambiental.

Se procede a plantear un plan de manejo ambiental (PMA), en el cual se encuentran plasmadas las medidas necesarias para reducir, mitigar o eliminar el posible impacto negativo sobre los factores.

#### 8.3.11.1. Programa de mitigación ambiental

Una vez identificados los posibles impactos negativos sobre los diferentes factores ambientales, se presentara una serie de medidas que tiene como fin último el mitigar o eliminar los impactos negativos.

#### 8.3.11.2. Características físico químicas

##### 8.3.11.2.1. Suelo

CONTAMINACIÓN DEL SUELO	
Impactos negativos identificados	Actividades a desarrollar para la mitigación de los impactos
El suelo puede verse contaminado debido al constante uso de combustible por las maquinarias en el proceso de extracción del material	Realizar la revisión técnica de las maquinarias con el fin de prever derrames de combustible u otros fluidos

##### 8.3.11.2.2. Aire

PARTÍCULAS	
Impactos negativos identificados	Actividades a desarrollar para la mitigación de los impactos
El polvo generado debido a la extracción y a la trituración de los materiales.	Programar riegos constantes con el fin de evitar la producción de partículas, buscar la optimización de la maquinaria usada.

GASES	
Impactos negativos identificados	Actividades a desarrollar para la mitigación de los impactos
La producción de gases producidos por los motores de combustión de la maquinaria involucrada dentro del proceso de extracción y acondicionamiento	Realizar un mantenimiento constante para garantizar el buen estado de la maquinaria a utilizar.

RUIDO	
Impactos negativos identificados	Actividades a desarrollar para la mitigación de los impactos
Ruido generada por la maquinaria en las distintas fases del proyecto	Programar un horario pertinente para las actividades y, el personal involucrado deberá usar EPP

### 8.3.11.3. Factores socio culturales

DEMANDA DE BIENES Y SERVICIOS
Se requerirá de personal calificado y no calificado para llevar a cabo todas las actividades involucradas en el proyecto, desde la recolección del material reciclado hasta su disposición y almacenamiento final

SEGURIDAD	
Impactos negativos identificados	Actividades a desarrollar para la mitigación de los impactos
Trabajar con maquinaria siempre tiene su nivel de riesgo, además el ruido y las partículas en suspensión producido por estas puede generar mermas en la salud del trabajador	Usar el EPP para minimizar los riesgos en la salud de los trabajadores

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS
Con el reciclaje de los desechos de carpetas asfálticas, se estará contribuyendo a la disminución de RCD que, al no tener un lugar acondicionado para su disposición final, son potenciales fuentes de contaminación del ambiente.

BENEFICIOS ECONÓMICOS
Se abren las puertas para una nueva industria en la región de agregados reciclados que aportara en la economía de la región

### 8.3.12. Conclusiones

- Se ha llegado a concluir que el área de influencia del proyecto es la ciudad de Chiclayo ya que el material reciclado ha sido recolectado de las obras presentes en la ciudad.
- Para la realización del impacto ambiental se ha realizado la división del proyecto por factores y por actividades con el fin de identificar que factor es el más afectado y que actividad es la que tiene más impactos negativos.
- Los impactos más significativos, ruido y partículas suspendidas, están relacionados con la etapa de extracción y acondicionamiento, tanto del agregado natural como la trituración del agregado reciclado;
- El uso de los elementos de protección personal será indispensable para prevenir posibles problemas de salud en los trabajadores involucrados en el proyecto. Para contrarrestar el ruido y el polvo deberá hacerse uso de mascarillas y orejeras.
- El proyecto es altamente beneficioso, pese a que se cuenta con algunos factores afectados, para el medio ambiente; ya que se logra darle una segunda oportunidad a un material que es considerado como desecho y que es arrojado sin ningún control sobre las vías a las afueras de la ciudad.
- El proyecto traerá consigo la formación de nuevos puestos de trabajo y aportará a la economía de la región, además abre las puertas para el uso de nuevas tecnologías en la construcción.

#### 8.4. Panel fotográfico



**Ilustración 52: Recolección de la carpeta asfáltica**  
**Fuente propia**



**Ilustración 53: Asfalto triturado**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 54: Carpeta asfáltica triturada**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 55: Cuarteo de la muestra a ensayar**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 56: Determinación del límite líquido y el límite plástico**  
Fuente: Propia



**Ilustración 57: Ensayo de proctor modificado**  
Fuente: Propia



**Ilustración 58: Preparación de la muestra para ensayo de CBR**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 59: Medición de la expansión**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 60: Introducción de muestras al horno para la determinación del contenido de humedad**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 61: Análisis granulométrico por tamizado**  
**Fuente: propia**



**Ilustración 62: Lectura del dial en el ensayo de penetración para cálculo de CBR**  
fuente: Propia



**Ilustración 63: Testigos luego del ensayo de penetración**  
Fuente: propia



**Ilustración 64: Mezcla 30 AR - 70 AN**  
**Fuente: Propia**



**Ilustración 65: Determinación del contenido de humedad de la muestra**  
**Fuente: propia**

## PLAN DE PRESENTACIÓN DE AVANCES CICLO 2018 - II

### DATOS GENERALES

SEMINARIO DE TESIS:	I	MODALIDAD DE MATRÍCULA (Regular / Extraordinario):	<b>REGULAR</b>
TITULO DE TESIS:	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN DE SUELOS EN LAS ZONAS COSTERAS DE LAMBAYEQUE Y MORROPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE, 2017.		
ASESOR:	<b>ING JOAQUIN ROJAS OBLITAS</b>		
TESISTA	<b>ALEX ALEJANDRO MANCHAY LOPEZ</b>		
HORARIO DE ASESORIA ACORDADO:	<b>Viernes 2:00 p.m</b>		

ENTREGABLE	% AVANCE
Recolección de pavimentos reciclados	10%
Obtención de los materiales a estudiar	20%
Procesamiento de los residuos de pavimentos flexible	30%
Selección y optimización de los materiales a utilizar	40%
Ensayos de laboratorio para la caracterización de los agregados	50%
Análisis de las propiedades físicas y químicas	60%
elaboración de las mezclas AR-AN	70%
Análisis de los resultados	80%
<b>TOTAL</b>	<b>80%</b>

FECHA DE PLAN DE PRESENTACION DE AVANCES:	26 de Noviembre de 2018
---	-------------------------

\_\_\_\_\_  
FIRMA DEL TESISTA

\_\_\_\_\_  
FIRMA DEL ASESOR

