

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En nuestro medio se tiene un aumento en la población urbana y rural por consiguiente la necesidad de pavimentar carreteras que conduzcan a las comunidades y de manera habitual la capa base y sub base se realizan con agregados granulares de origen pétreo. Por la proximidad que tiene nuestro valle con causas de río que tienen este material apropiado se hace la recolección de estos lugares y también de yacimientos a poca profundidad. Este material conforma la capa base y sub base, debido a que en el paquete estructural de un pavimento es en un 90% de este material entonces nos encontramos en una gran demanda del mismo al momento de pavimentar.

Al mismo tiempo se hace la demolición de infraestructura habitacional y vial para dar paso a nuevas edificaciones. De esta demolición resulta muchos residuos que tienen mucha semejanza con los agregados pétreos es por esto que en este trabajo se busca aprovechar estos residuos en la conformación de la capa base y sub base observando su comportamiento resiliente de esta forma darle utilidad a un componente que hasta ahora solo se utiliza en recuperación de terrenos terminando en rellenos.

El material mezclado en proporciones adecuadas reemplazaría al material granular que forma parte de la capa base y sub base teniendo semejanza al material más adecuado. Ya que tenemos la posibilidad de que el material sea adecuado se realizarán los ensayos de compactación necesarios para demostrar su resistencia.

Los resultados de estos ensayos de compactación serán un aporte al manejo de residuos de construcción y demolición que en nuestro tiempo no representan un problema, pero está claro que al pasar el tiempo esto cambiara y para entonces este estudio será un aporte más a buscar una solución.

El comportamiento irresponsable actual en el manejo de los residuos de construcción o demolición hace que no se reutilice los materiales dándose un saqueo a las fuentes naturales, yacimientos que no se renuevan y que están próximos a agotarse.

Un punto muy importante es el daño ambiental causado ya que en los yacimientos hay vegetación, insectos y animales que se desplazan o retiran para poder explotar los

áridos. Por otro lado al momento de mal utilizar los residuos en rellenos se da paso a la conformación de suelos inestables muy permeables y poco confiables para la construcción de cualquier edificación por no lograrse una estabilización completa.

Luego de un análisis detallado de los resultados se formulara recomendaciones para el momento de utilizar los residuos, haciendo un aporte importante, consiguiendo en la práctica una mayor duración de los recursos destinados para estas infraestructuras.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El tema se estudia para aportar al diseño opcional de capa base y sub base en vista que no existe mucha información en este particular para nuestro medio resultando en un aporte importante y de amplia aplicación.

El trabajo le servirá a distintas empresas que ejecuten pavimento flexible o rígido sean estas privadas o estatales las que podrán tomar en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio haciendo un mejor uso de áridos para capa base y sub base dichas empresas por el momento trabajan con sistemas pre establecido que se pueden mejorar.

También puede ser utilizado por otros estudiosos que quieran profundizar en el tema o usar la información como complemento a un estudio independiente que contemple áridos y residuos de demolición.

Este trabajo le sirve a un sinnúmero de personas y entidades que trabajan con capa base ya sea en la ejecución o en el diseño, además servirá como guía a momento de elegir el material, al encargado de ejecutar la obra teniendo base comprobada por ensayos de laboratorio.

El presente proyecto se utilizara aplicando resultados obtenidos de ensayos en laboratorio, también se puede aplicar a obras viales en construcción siempre buscando una mejora en el destino de residuos de construcción tanto en su duración como en su destino final. En nuestro medio los residuos tienen incidencia al momento de diseñar las capas base y sub base siendo un departamento en crecimiento genera muchos residuos por construcción y demolición de construcciones.

El presente trabajo ayuda en el correcto manejo de residuos de construcción, desde el punto de vista de lugar de procedencia y forma de preparación del mismo. La aplicación es continua y sistemática ya que con los resultados buscados se puede mejorar la instalación de las capas base y sub base.

Los resultados de este trabajo son importantes para mejorar el diseño de las capas base y sub base con un aporte significativo en el conocimiento del comportamiento de los residuos de construcción en cuanto a su comportamiento resiliente.

El estudio propuesto busca demostrar que los residuos pueden tener un comportamiento esperado si tienen la preparación adecuada consiguiendo con esto economizar y reutilizar residuos.

El aporte académico estará plasmado en el establecimiento de parámetros definidos en el ámbito estudiado los ensayos de laboratorio definirán cual es la mejor opción en cuanto a agregados además del comportamiento que tendrá ante la presencia de cargas en la puesta en funcionamiento. Quedando como material de consulta al momento de tener vacíos de conocimiento en este ámbito tan importante y determinante en la vida útil del paquete estructural.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

SITUACIÓN PROBLEMA

En las carreteras de nuestro país se utilizan materiales muy costosos constituyendo un problema permanente sin opciones de economizar en alguno de sus componentes.

En nuestro país varios de los caminos de pavimentos asfálticos tienen problemas a momento se conseguir los materiales adecuados para conformar la capa base y sub base.

Y por lo tanto estudiaremos cual es el efecto si es en el proceso del colocado de la mezcla proveniente de residuos de construcción, es en el proceso de servicio de un camino a tiempo de utilizar un material menos valorado por considerarse que solo sirve para rellenos.

Tomando en cuenta que los diferentes momentos en los que interviene la capa base y sub base tanto de su estructura inicial como en su vida útil ya que puede ser disminuir significativamente de resultar contraproducente el uso de los residuos de construcción.

Los pavimentos tienen una gran debilidad ante el mal uso que se le pueda aplicar a la vía en cuestión que se presenta en todos los lugares de emplazamiento, debido al requerimiento de obras viales en diferentes lugares de nuestro país por la necesidad de comunicación vial por esto los proyectos deben adecuarse a la realidad geográfica y geotécnica en el lugar.

La falta de áridos en algunos lugares de nuestro país, estará afectando el costo de la construcción, como todo este tiempo el pavimento está afectado por cargas puntuales de los vehículos, entonces se presenta la situación de elegir el tipo de árido o residuos, también tiene mucha importancia para minimizar futuros problemas en la vida útil del pavimento.

Además está la influencia que tienen los vehículos que al no cumplir con las normas lineamientos de peso máximo por eje afecta de sobre manera al deterioro de la capa base y sub base y por tanto de los pavimentos provocando el agrietamiento y posterior entrada de la humedad al interior de la carpeta asfáltica debilitándola. Además podemos dejar por sentado que sería un manejo más responsable de los residuos al hacer una reutilización de los mismos como parte estructural de la capa base.

También está el problema de la depredación de los recursos naturales en proximidades de la ciudad ya que afecta mucho al medio ambiente y cobijados en el desarrollo se despoja de áridos a los cauces de ríos.

De manera particular se investigará para ver cuál es el efecto del residuo, el comportamiento resiliente, la presencia del residuo, que sea triturado no triturado la

granulometría que tenga la procedencia, pueda influir en la conformación de la capa base y sub base.

PROBLEMA

¿Cómo disminuir el impacto ambiental que da como resultado el manejo incorrecto de los residuos demolidos en obra?

1.3.2.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento resiliente de residuos de construcción y demolición para bases y sub bases de pavimentos flexibles, aplicando la relación CBR - módulo resiliente para suelos granulares AASHTO -93.

1.3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el pavimento sus características y diferentes componentes en bases y sub bases.
- Analizar el comportamiento resiliente de los materiales de demolición.
- Ubicar el material fino con los que se conformara bases y sub bases.
- Acopiar el material residuo de demolición para el estudio será hormigón de loza.
- Caracterizar los materiales en ensayos de laboratorio.
- Hacer la dosificación de material reciclado más otro material natural para bases y sub bases.

1.3.3. HIPÓTESIS

Si yo utilizo hormigón demolido en la conformación de la capa base y sub base, entonces las propiedades de estas capas pueden cambiar, siendo importante

evaluar el comportamiento resiliente y verificar si cumplen o no las condiciones técnicas requeridas por la norma.

1.3.4. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTE

INDEPENDIENTE

X = Comportamiento resiliente de los residuos de demolición.

DEPENDIENTE

Y1 = Propiedades de capa base conformada con materiales de demolición.

Y2 = propiedades de capa sub base conformada con materiales de demolición.

Para ambas variables se evaluará: tamaño mínimo, cohesión, humedad óptima, densidad máxima y ensayos de capacidad portante CBR.

1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1. COMPONENTES

1.4.1.1. UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

1.4.1.1.1. UNIDAD DE ESTUDIO

Capas base y sub base de pavimentos.

1.4.1.1.2. POBLACIÓN

Material para conformar las capas base y sub base.

1.4.1.1.3. MUESTRA

Residuos de demolición loza de hormigón armado.

1.4.1.1.4. MUESTREO

Para el análisis del comportamiento resiliente de la capas base y sub base de pavimentos viales, se procederá a la toma de muestras de materiales de demolición de la zona La Pampa de la ciudad de Tarija, de donde se extraerá el material suficiente para su caracterización y elaboración de los ensayos especificados.

1.4.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS

1.4.2.1. DEFINICIÓN, SELECCIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS MÉTODOS Y TÉCNICAS EN FUNCIÓN DE OBJETIVO Y LOS OBJETIVOS

MÉTODO DESCRIPTIVO

Los **métodos descriptivos** pueden ser cualitativos o cuantitativos y estos los desarrollamos. Los **métodos** cualitativos se basan en la utilización del lenguaje verbal y no recurren a la cuantificación, para el presente trabajo se utilizara el método cuantitativo para tomar nota de todos los resultados que proporciones los ensayos de laboratorio.

TÉCNICAS EMPLEADAS

Realizar la extracción de materiales de demolición haciendo una excavación en el lugar para evitar materiales expuestos a las condiciones atmosféricas.

Traslado de los materiales al laboratorio para su procesado.

Para la caracterización se realizaran los siguientes ensayos:

- Granulometría.
- Compactación.
- CBR

Tener muestras para para diferentes dosificaciones haciendo variar la cantidad de residuos de construcción.

1.4.2.2.TECNICAS DE MUESTREO

NO PROBABILÍSTICO

En este tipo de muestreo, puede haber clara influencia del universitario que seleccionare la muestra o simplemente realizare atendiendo a razones de comodidad. Salvo en situaciones muy concretas en la que los errores cometidos no son grandes, debido a la homogeneidad de la población, en general no es un tipo de muestreo riguroso y científico, dado que no todos los elementos de la población pueden formar parte de la muestra.

1.4.2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

GRANULOMETRÍA:

- Juego de tamices
- Hidrómetro
- Brocha
- Bandeja

COMPACTACIÓN:

- Molde compactación
- Martillo para compactación
- Equipo cuarteador

CBR

- Molde para CBR
- Martillo para compactado
- Equipó cuarteador

1.4.2.4. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

ENSAYOS PARA GARANTIZAR UNA ADECUADA ESTRUCTURA DE AGREGADO

GRANULOMETRÍA

Gradación ideal

$$\% Pasa_i = \left(\frac{d}{D} \right)^n * 100\%$$

Dónde:

d = Tamaño del tamiz

D = Tamaño máximo

N = 0.4 – 0.5

Cumpliendo con la condición granulométrica, se garantiza resistencia, permeabilidad y trabajabilidad.

ENSAYOS PARA GARANTIZAR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS

Grado de trituración

Índice de aplanamiento

Índice de alargamiento



Partículas ideales → Cúbicas

Estos ensayos, contribuyen con la resistencia del material y/o de la capa. Generalmente se realizan cuando el material es de río.

ENSAYOS PARA GARANTIZAR POCA O NULA ACTIVIDAD DE LOS FINOS

- Equivalente de arena
- Materia orgánica
- Índice de plasticidad

Contribuyen con la resistencia y estabilidad; comúnmente se evalúan cuando se debe agregar fino a un material.

ENSAYOS PARA GARANTIZAR RESISTENCIA GLOBAL DE LA CAPA

- Grado de compactación
- Resistencia CBR
- Módulo resiliente
- Módulo de reacción

1.4.2.5. PREPARACIÓN PREVIA PARA LA APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS, REQUISITOS Y CONDICIONES DE APLICACIÓN

La preparación previa de las muestras obedecerá al tipo de ensayo a ser realizado.

Distintos tipos de ensayos correspondientes a la investigación requieren distintos tipos de preparación.

En cantidades designadas por el tipo de ensayo se realizara se separación adecuada para cumplir los requerimientos del ensayo a realizarse.

Para algunos se requiere un secado en horno como para otros se utiliza el material con la humedad natural.

Otros ensayos requieren selección de latería de una granulometría específica para esto se realizará la separación mediante mallas determinadas por la norma.

1.4.3. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

1.4.3.1. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

MEDIA

En matemáticas y estadística, la **media aritmética** de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte

del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La **desviación típica** o **desviación estándar** (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no solo basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

1.4.3.2. CUADRO DE TAMAÑOS

Tabla 1.1 Ensayos realizados

Ensayos	N° de ensayos	
	Capa sub base	Capa base
Compactación	4	4
CBR	4	4

Fuente: Elaboración propia.

1.4.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

En el CAPÍTULO I se describe todo el desarrollo necesario para describir la importancia de las capas base y sub base de pavimentos viales y la forma de determinar el comportamiento de resiliencia.

En el CAPÍTULO II se muestra la teoría que se engloba las capas base y sub base además de sus propiedades.

En el CAPÍTULO III se pretende conocer a fondo el material de demolición para conformar las capas base y sub base, en especial su comportamiento y resistencia.

En el CAPÍTULO IV se muestra un análisis completo de las variables, tanto dependientes como independientes, de tal manera que se puede dar un aporte académico.

En el CAPÍTULO V se expone las conclusiones y recomendaciones propuestas por el autor donde muestra claramente el cumplimiento de objetivo planteado.

CAPÍTULO II

RESIDUOS DE COSTRUCIÓN Y

DEMOLICIÓN PARA CAPAS BASE

Y SUB BASE DE PAVIMENTOS

FLEXIBLES

2.1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos tienen importancia destacada en el desarrollo de una ciudad y sus poblaciones cercanas, siendo la pista por la que se desarrolla el transporte con una demanda importante teniendo que trasladar productos y materiales para servicios.

El pavimento pocas veces es utilizado de manera adecuada por que las capas que lo conforman deben cumplir exigencias mínimas, de esta forma se puede aproximar el cumplimiento de la vida útil además de brindar la comodidad mínima.

Teniendo todo esto en cuenta se hace evidente la constante necesidad de materiales que conforman las distintas capas de un pavimento entre las que tenemos capa base, capa sub base, rasante mejorada y en la mayoría de los casos rasante natural.

Siendo Pavimento el conjunto de capas de materia seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodadura, la cual debe funcionar eficientemente.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: ancho de vía, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y agrietamientos, además una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas.

Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie, debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable tecnificado para evitar fatiga al momento de uso.

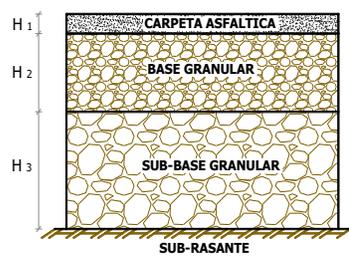
Los elementos a los que está expuesto el pavimento en su vida útil son diversos muchos contemplados y otros que son resultado de mal uso. Entre los aspectos de mal uso podemos mencionar la circulación de vehículos con exceso de carga, también el uso de ruedas con materiales no permitidos y el ataque de líquidos que son resultado de pérdida de combustible u otros de los vehículos en circulación.

Entonces los materiales cumplen un papel importante cuando se los selecciona para la conformación del paquete estructural exigiendo especial atención y cuidado.

PAVIMENTOS DEFINICIÓN

Un pavimento, se define como una estructura vial, formada por una o varias capas de materiales seleccionados, el cual se construye sobre la sub-rasante, y que se debe caracterizar por:

Figura 2.1 Capas del pavimento



Fuente: Ing. Carlos Benavides Bastidas

- Resistir las cargas impuestas por el Tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación, esfuerzos y deformaciones tolerables.
- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, economía y seguridad; lo cual conlleva a que sea una estructura durable y además, que presente una textura adecuada para el tráfico.

TIPOS DE PAVIMENTOS

PAVIMENTO FLEXIBLE

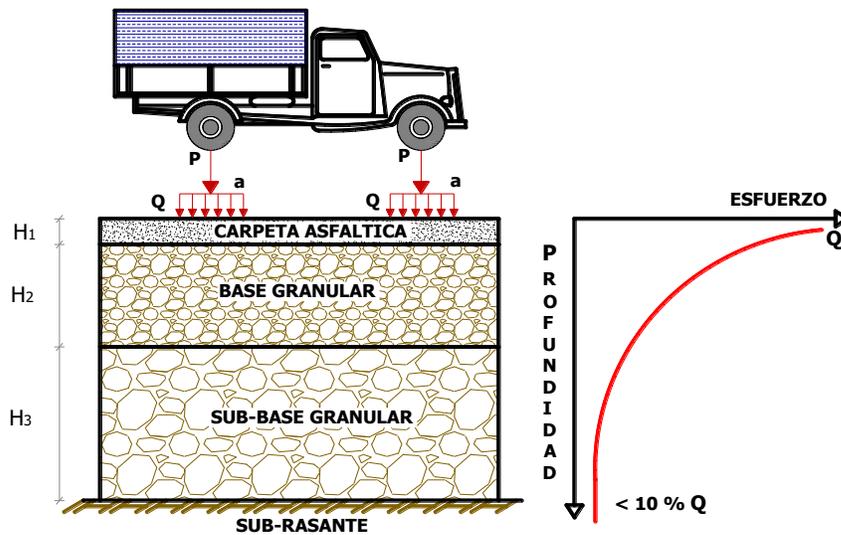
Caracterizado por tener en la parte superior, una capa bituminosa, apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (Base granular y Sub-base granular), las cuales transmiten los esfuerzos al terreno de soporte, mediante un mecanismo de disipación de tensiones, presiones que van disminuyendo en su magnitud, con la profundidad. Este tipo de pavimento, presenta las siguientes particularidades:

- Las capas granulares, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.
- Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera, es menor que el 10% de la presión de contacto.
- Las magnitudes normales de los Módulos de las capas de esta clase de estructuras, están alrededor de:

Carpeta Asfáltica	➡	25000 Kg/cm ²
Base Granular	➡	2000 Kg/cm ² a 5000 Kg/cm ²
Sub-base granular	➡	1000 Kg/cm ² a 3000 Kg/cm ²
- En pavimentos flexibles, apoyados sobre Sub-rasante fina, por ningún motivo, se debe omitir la Sub-base Granular.

Mecanismo de disipación de tensiones en pavimentos flexibles

Figura 2.2 Distribución del esfuerzo en las capas del pavimento flexible



Fuente: Ing. Carlos Benavides

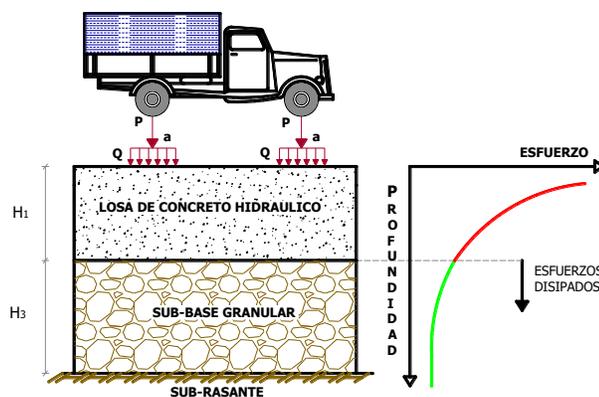
PAVIMENTO RÍGIDO

Constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la descompactación del apoyo y su erosión.
- Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.

Mecanismo de distribución de esfuerzos en pavimentos rígidos

Figura 2.3 Distribución del esfuerzo en las capas del pavimento rígido



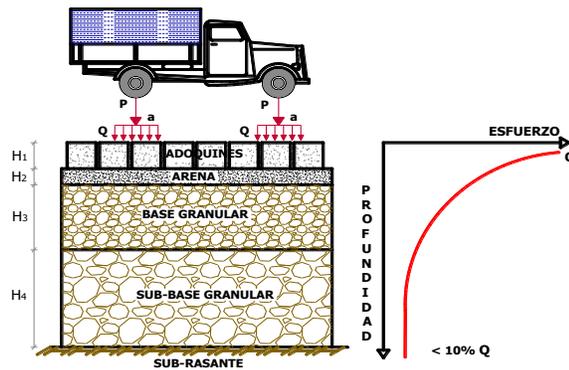
Fuente: Ing. Carlos Benavides Bastidas

PAVIMENTO ARTICULADO

Este tipo de pavimento, está constituido en la parte superior por un conjunto de elementos de gran rigidez individual (adoquines), apoyados sobre una capa de arena de 4.0 cm a 5.0 cm de espesor, y seguidamente, las capas inferiores son de las características de las capas inferiores de un pavimento flexible, donde el adoquín y la capa de arena, reemplazan la capa de concreto asfáltico.

Mecanismo de disipación de tensiones en pavimentos articulados

Figura 2.4 Distribución del esfuerzo en las capas del pavimento articulado

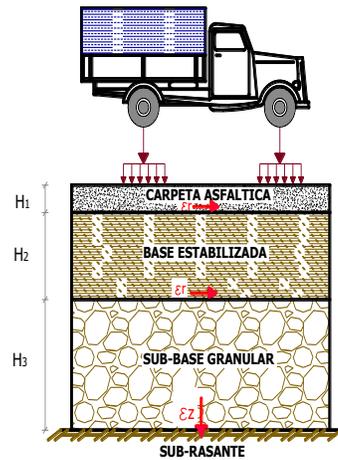


Fuente: Ing. Carlos Benavides

PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO

Son tipos de pavimento, que conservando la estructura esencial de un pavimento flexible, tienen una o más capas rigidizadas artificialmente con cal, cemento, asfalto, etc.; la transmisión de esfuerzos al suelo de soporte, se hace por disipación y distribución; por eso, se asume que este tipo de estructura de pavimento tiene un comportamiento mixto. En pavimentos semi-rígidos, la capa estabilizada tiene aporte estructural.

Figura 2.5 Distribución del esfuerzo en las capas del pavimento



Fuente: Ing. Carlos Benavides Bastidas

BASES Y SUB BASES

DEFINICIÓN

Son las capas intermedias de las estructuras de los pavimentos, las cuales se colocan entre la capa de rodadura y la sub-rasante, se construyen con agregados mezclados con finos, agregados mezclados con ligantes y/o estabilizados (Cemento, Asfalto, cal, etc.). El principal parámetro estructural de las capas de base y de sub-base, es el Módulo de Resiliencia.

TIPOS

- Granulares no triturados
- Granulares triturados
- Estabilizados con Cemento
- Estabilizados con Asfalto

FUNCIONES

- Aumentar la resistencia estructural, principalmente la base; la sub-base contribuye con el espesor, alejando la sub-rasante y disipando esfuerzos.
- Función drenante (Base tiene menor cantidad de finos).
- Evitar o disminuir el bombeo, función de la sub-base en los pavimentos rígidos.
- La sub-base absorbe los cambios volumétricos del material de sub-rasante. La sub-base al ser un material no triturado, contribuye en economía a la estructura.
- La base sirve como capa de rodadura provisional, mientras se construye la carpeta asfáltica.

PARAMEROS DE CONTROL PARA GARANTIZAR LA CALIDAD EN LOS MATERIALES DE BASE Y SUB- BASE GRANULAR

- Granulometría
- Plasticidad
- Desgaste
- Solidez
- Forma de la partícula
- Grado de trituración
- Equivalente de arena y materia orgánica
- Grado de compactación
- Resistencia

ENSAYOS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE LA PARTÍCULA MINERAL

- Desgaste
- Solidez

Contribuyen a una capa resistente y durable en el tiempo; estos ensayos, se realizan en la fuente del material.

LOS RESIDUOS DE DEMOLICIÓN

Existe un gran impacto ambiental de carácter negativo que se genera debido al despilfarro de ciertas materias primas las cuales mayoritariamente no son sometidas al reciclaje, estamos hablando de los residuos de demolición.

Los usualmente llamados y conocidos residuos de demolición inertes pueden llegar a tener distintos tipos de procedencia: aquellos generados en las demoliciones de edificios, los que surgen con las excavaciones de los suelos o la ejecución de ciertos tipos de reformas en las calles; también están los originados en carreteras y en infraestructuras; además existen los que proceden de las excavaciones que se realizan en obras de edificación; e incluso a partir de las mezclas de los escombros de construcción y los rechazos de la fabricación de piezas y elementos de usados en construcción.

La mayor parte de los residuos de demolición son normalmente reutilizables, dándoles un uso distinto en un sector distintos de la construcción mediante operaciones de limpieza y preparaciones previas que no son muy complicadas, pero lo que sucede en realidad es que la mayoría de los residuos de demolición son destinados a los vertederos (y parcialmente controlados.) lo que lleva a que los porcentajes de reciclaje o reutilización de residuos de demolición sean algunos de los más bajos del mundo.

En este caso se quiere remplazar los granulares que conforman las capas base y sub base por residuos de construcción y de esta forma hacer uso correcto de los residuos contribuyendo a protección del medio ambiente en dos frentes. El primero es

realizando un correcto manejo de los residuos y al mismo tiempo disminuir el uso de materiales áridos que son explotados de forma indiscriminada en los cauces cercanos a la ciudad.

Los residuos de construcción no tienen las mismas propiedades de resistencia que los materiales pétreos, pero si pueden llegar a remplazar en un paquete estructural que no sea muy exigido en su vida útil.

2.2. PAVIMENTOS

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

- Con seguridad.
- Con comodidad
- Con el costo óptimo de operación
- Superficie uniforme.
- Superficie impermeable.
- Color y textura adecuados.
- Resistencia a la repetición de cargas.
- Resistencia a la acción del medio ambiente.
- Que no transmita a las capas inferiores esfuerzos mayores a su resistencia.

Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación.

Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños.

En los últimos años se ha promovido el desarrollo de pavimento que sea sostenible y que respete el medio ambiente. En este sentido cabe mencionar la creación de pavimento que combina el asfalto con el polvo de caucho que se obtiene a partir de neumáticos reciclados y la utilización del producto conocido como noxer, que tiene la capacidad de absorber la contaminación que producen los escapes de los vehículos.

Tipos:

Pavimentos asfálticos o flexibles:

Son aquéllos contruidos con materiales asfálticos y materiales granulares.

Pavimentos de concreto o rígidos:

Pavimentos contruidos con hormigón de cemento portland y materiales granulares.

Otros:

Adoquines, empedrados, suelo cemento.

Pavimentos flexibles o asfálticos

Están contruidos por una capa delgada de mezcla asfáltica contruida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular.

Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada sub rasante.

Figura 2.6 Corte transversal de capas de un paquete estructural



Fuente: Ing. Carlos Benavides Bastidas

La capa de rodadura de un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos.

Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico.

La capa de base se compone generalmente de áridos, que han sido tratados o no con cemento portland, cal, asfalto u otros agentes estabilizantes.

Esta capa tiene como principal función, la de soportar las cargas aplicadas y distribuir estas cargas a la sub-base o al terreno.

La capa de sub-base se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base. Se componen de materiales estabilizados o no, o de terreno estabilizado.

Las sub-bases transmiten cargas al terreno y en algunos casos pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo y para prevenir la acción destructiva de las heladas.

La **construcción** de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un **suelo** se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

Las capas de un **pavimento** flexible suelen ser: capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base. En muchas ocasiones se prescinde de esa capa sub – base.

Cargas de tráfico

El objetivo final de los caminos es permitir el tráfico vehicular. El volumen y tipo de tráfico esperado en un camino determinan los requerimientos geométricos y estructurales de pavimentos. Los ingenieros de transporte trabajan con estadísticas de tráfico proyectados (en términos de: números de vehículos, composición vehicular, y tamaño de los mismos) con el fin de determinar los requerimientos geométricos (alineación, número de pistas, etc.). Los ingenieros de pavimentos necesitan las estadísticas de tráfico proyectado (en términos de: número de vehículos, composición vehicular, y cargas por eje) para determinar los requerimientos estructurales del camino. Por lo tanto, la estimación acertada del tráfico proyectado, tanto en volumen como en tipo de vehículos, es de gran importancia.

Desde el punto de vista del diseño de pavimentos, las características más importantes del tráfico son aquellas que permiten definir la magnitud y frecuencia de las cargas de superficie que el camino puede anticipar durante la vida estimada del pavimento. La carga que es aplicada sobre la superficie del pavimento por la rueda se define por 3 factores:

- La fuerza (en Kilo Newtons, KN) que realmente lleva la rueda. Esta fuerza actúa en conjunto con
- La presión de inflado (en Kilo Pascales, kPa) que determina la “impronta” de la rueda sobre la superficie. Esta impronta define el área de contacto entre el neumático y la superficie. Este es un factor que además depende de la carga, y
- La velocidad de viaje. Esta velocidad define el tiempo en que la superficie del pavimento es cargada y descargada.

Las presiones de inflado de los automóviles de pasajeros típicamente se encuentra en el rango de 180 a 250 kPa, y llevan una carga menor a 3,6 kN por neumático, o 7 kN en un eje. Esta carga es insignificante si se compara con un camión utilizado para el transporte de cargas pesadas, cuyo rango puede variar entre 80 a 130 kN por eje (dependiendo de los límites legales y control de pesos) con presiones de inflado entre 500 a 900 kPa. Claramente la carga de estos vehículos pesados tendrá un efecto mucho más grande en los requerimientos de resistencia de un pavimento.

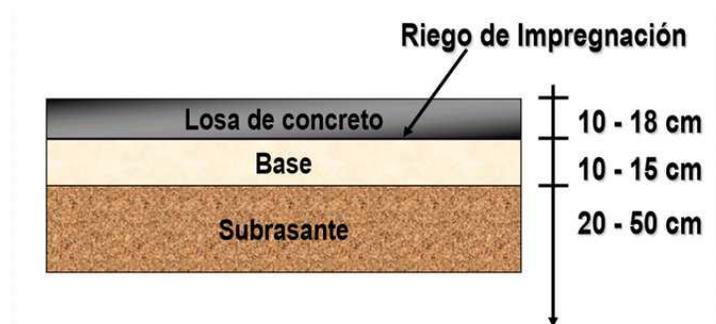
2.2.1. PAVIMENTO RÍGIDO

Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto.

Corte transversal.

Figura 2.7 Sección típica de un pavimento rígido



Fuente: Ing. Carlos Benavides Bastidas

Diferencias entre pavimentos de hormigón y de asfalto

Su principal diferencia es cómo cada uno de ellos transmite las cargas a la subrasante.

La alta rigidez de la losa de concreto le permite mantenerse como una placa y distribuir las cargas sobre un área mayor de la subrasante, transmitiendo presiones muy bajas a las capas inferiores. Por sí misma, la losa proporciona la mayor parte de la capacidad estructural del pavimento rígido.

Pavimento flexible, está construido con materiales débiles y menos rígidos (que el hormigón), más deformables, que transmiten a la subrasante las cargas de manera más concentrada, distribuyendo el total de la carga en menos área de apoyo. Por lo tanto, el pavimento flexible normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la subrasante.

2.2.2. PAVIMENTO FLEXIBLE

El pavimento flexible también conocido como pavimento de asfalto es una estructura formada por varias capas como lo son la sub-rasante, la sub base, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada, las cuales en conjunto tienen los siguientes propósitos:

- Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito. El pavimento flexible debe estar constituido de manera tal que las cargas, producidas por el tránsito, no provoquen deformaciones de ningún tipo en su estructura, siendo de mucha importancia el espesor que el mismo tenga.
- Tener la impermeabilidad necesaria. Este pavimento debe ser lo suficientemente impermeable para impedir la infiltración que puede darse por parte del agua, afectando la capacidad soporte del suelo. De esto se concluye que es de mucha importancia la existencia de un drenaje adecuado.
- Resistir la acción destructora de los vehículos. El pavimento debe ser resistente respecto al desgaste y desprendimiento de partículas que se obtiene como consecuencia del paso de los vehículos.
- Resistir los agentes atmosféricos. Como un efecto continuo de su presencia, los agentes atmosféricos provocan la meteorización y alteración de los materiales que componen el pavimento, reflejándose este problema, en la vida económica y útil del mismo. Por lo tanto deben procurarse materiales de mayor calidad y resistentes a los agentes físicos y químicos.
- Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos. La superficie del pavimento, debe proporcionar un aspecto agradable, seguro y confortable, de manera que el deslizamiento de los vehículos sea óptimo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante en caso de estar húmeda.
- Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub-base. La flexibilidad del pavimento es muy importante en caso de presentarse

asentamiento en alguna de sus capas; pudiendo así adaptarse a las pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

Estructura del pavimento flexible

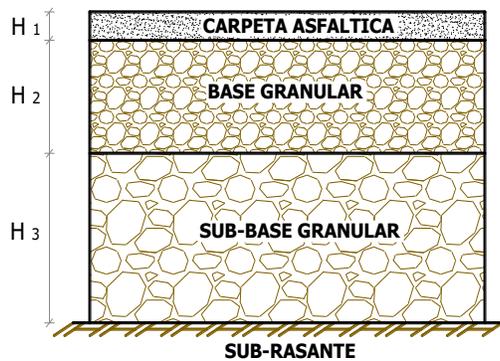
Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, las cuales se encuentran conformadas por materiales que deben llenar las especificaciones requeridas. La calidad de estas capas va disminuyendo con la profundidad.

La estructura de pavimento transfiere la carga de tránsito desde la superficie hasta la subrasante. La carga aplicada por una rueda se reduce dentro de la estructura a medida que ésta se reparte en una superficie mayor. El pavimento generalmente está compuesto por varias capas de material, con distintas propiedades de resistencia. Cada capa tiene el objetivo de distribuir la carga que recibe desde la parte superior, a un área mayor en la parte inferior. Las capas ubicadas en la parte superior de la estructura están sujetas a tensiones mayores que aquellas en la parte inferior, y por lo tanto requieren de un material más resistente.

2.3. COMPONENTES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

En la Figura 2.8 se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

Figura 2.8 Sección típica de un pavimento



Fuente: Ing. Carlos Benavides Bastidas

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base tiene las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa sub-base está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para poder reducir el espesor de la capa sub-base.

El suelo compactado, es el mismo suelo del terraplén, que esta escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.

2.3.1. CAPA BASE

Su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub base y sub rasante, en una intensidad adecuada. Esta también reduce el espesor de la carpeta más costosa. Muchas veces la base también debe trabajar como la sub base, respecto a la doble función de drenaje mencionada anteriormente.

Básicamente el material que constituye a la base, en el pavimento flexible, debe friccionar y provisto de vacíos.

La primera garantizará la resistencia adecuada y la permanencia de dicha resistencia con la variación de las condiciones que se puedan presentar, como podría ser el contenido de agua. Es lógico que no basta sólo con emplear material de fricción para garantizar la resistencia deseada, es necesaria también una compactación adecuada, necesaria para adquirir la compacidad y trabazón estructural requerida para una buena

base. Los materiales utilizados para la base suelen someterse a procesos exigentes para su aprobación como lo es la trituración, produciendo efectos favorables para la resistencia y deformabilidad de la estructura a construir, ya que se obtienen partículas con formas convenientes para un reacomodo adecuado; además de esto, se deben llenar otras especificaciones por lo que es necesario tamizar dicho material.

Los espesores de las bases son muy variables de acuerdo con el proyecto de que se trate, pero suele considerarse que 12 o 15 centímetros, es el espesor mínimo que conviene construir.

Los materiales de grava o piedra triturada, provienen de la explotación de minas, de roca o piedras naturales. Los materiales retenidos en el tamiz No. 4, son agregados gruesos; los que pasan el tamiz No. 4, agregados finos; y los que pasan el tamiz No. 200, forman el relleno mineral. El material de relleno deberá estar libre de sustancias deletéreas o talcosas, poseen propiedades ligantes, tales que permitan una buena compactación y contribuyan a formar una capa de base bien ligada y densa.

Los finos, juntamente con el agregado mineral, deberán tener un límite líquido menor de 25, un índice plástico menor de 9, y el porcentaje que pase el tamiz No. 200 deberá ser igual o menor al que pasa el tamiz No. 40. En el caso que sea necesario agregar material de relleno, para ajustarse a los requisitos de graduación o para obtener una cohesión satisfactoria del material, deberá mezclarse uniformemente todo el material de la base.

Materiales a base de arena - arcilla, son mezclas que, debidamente proporcionadas, tienen considerable resistencia a la desintegración, cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad. En estas condiciones llegan a tener alto valor soporte arriba del 80% de CBR. Para que mantengan estas características, es necesario imprimir las inmediatamente, después de construidas, aunque posteriormente se coloque la carpeta de rodadura. Son consideradas muy buenas bases mientras mantengan sus características de máxima densidad y humedad óptima, pero muy deficientes al perder humedad más allá de límites razonables, pues se desintegran rápidamente pierden de manera sensible su valor soporte. Sin son debidamente

protegidas, con buenos drenajes, sub drenajes y una carpeta de rodadura, dan resultados excelentes y su construcción es económica.

Lo óptimo a requerir de estos materiales es que si son arenas, sean duras, angulosas y preferiblemente silíceas; si son arcillas, deberán ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materias vegetales y sustancias dañinas.

La fracción que pasa por el tamiz No. 200, será menor del 50% de la fracción que pasa el tamiz No. 40. Además de los requisitos anteriores, la base terminada debe tener un valor soporte arriba del 80%, un límite líquido no mayor de 25 y un índice plástico igual o menor de 9.

En resumen, la base debe proporcionar una superficie de rodadura adecuada, con textura y color conveniente, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Es muy importante mencionar que esta capa debe impedir, hasta donde sea posible, la infiltración del agua al interior del pavimento.

2.3.1.1. PROPIEDADES DE LA CAPA BASE

Bases granulares no-tratadas

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (**ab**) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, macadam hidráulico, etc.), se determina, a partir del Módulo de Elasticidad (Módulo Resiliente) (**Eb**), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

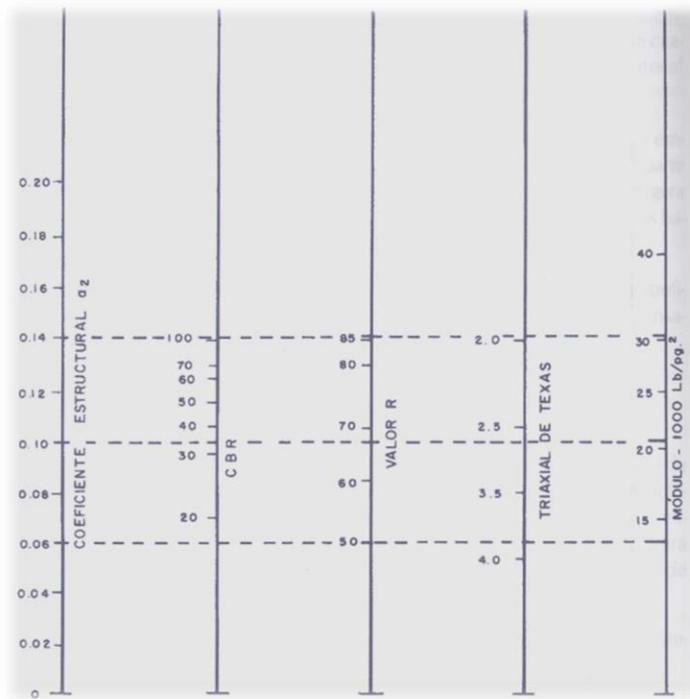
$$\mathbf{ab}_{\text{(base granular)}} = \mathbf{0,249 (\log Eb) - 0,977}$$

Para esta ecuación debe tomarse en cuenta que el valor se acota en un máximo de 0.14, excepto cuando se emplea agregado siderúrgico con CBR>110%, cuando se acepta un valor de 0.15.

Esta ecuación se aplica en el caso de que el módulo ha sido obtenido a través de la ejecución del Ensayo AASHTO T-274.

También puede emplearse el gráfico de la Figura, para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa base de material granular no-tratado, cuando se disponga del valor de CBR, Hveem o Triaxial de Texas.

Ábaco 2.1 Valores del coeficiente estructural (ab) para bases granulares no-tratadas



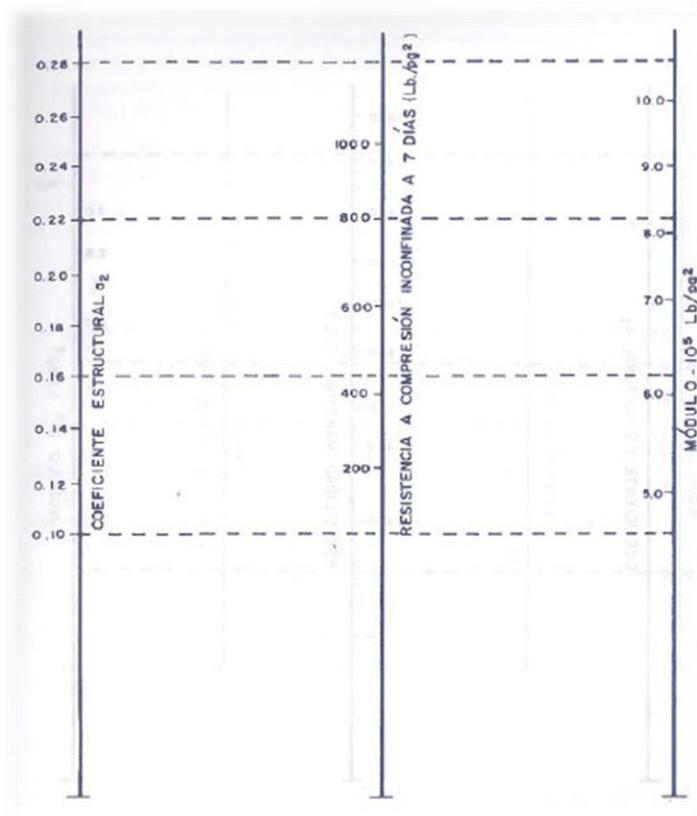
Fuente: Método AASHTO-93

Bases estabilizadas con cemento (suelo-cemento) y mezclas de REPACE

En el caso de que la capa base de la estructura del pavimento esté constituida por una mezcla de suelo-cemento, o por una mezcla asfáltica reciclada con cemento (REPACE), su coeficiente estructural (ab) debe ser determinado a partir de la Figura 10, lo cual puede ser logrado si se conoce el valor del Módulo de Elasticidad Dinámico

(Módulo Resiliente) de la mezcla, o su resistencia a la compresión no confinada, después de un proceso de 7 días de curado en cámara húmeda.

Ábaco 2.2 Valores del coeficiente estructural (ab) para bases de suelo-cemento



Fuente: Método AASHTO-93.

ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES DE CAPA BASE

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

Estabilización física

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

- Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Geotextiles.
- Vibroflotación (Mecánica de Suelos).
- Consolidación Previa.

Estabilización química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Productos Asfálticos: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Estabilización mecánica

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- Compactación: este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

Todo método práctico de estabilización de suelos, puede involucrar uno, dos o todos los principios expuestos.

En la terminología caminera, suelen utilizarse las siguientes denominaciones, entre otras, para designar distintos tipos de estabilizaciones.

- Estabilización granulométrica.

- Suelo-Cal.
- Suelo-Cemento.
- Suelo-Asfalto.
- Estabilización con agentes químicos.

Estabilización granulométrica

La estabilización granulométrica consiste en mezclar dos o más suelos para obtener un material de características admisibles para ser utilizado como material de base, sub base o para lo que se requiera. En general, se deben utilizar materiales locales a fin de optimizar los costos de preparación y de transporte.

Normalmente uno de los suelos es el natural de la subrasante y el otro es el de aporte para mejorar sus propiedades. Por ejemplo, se puede añadir a un suelo granular sin finos, otro de grano fino y cierta plasticidad, a fin de obtener una mezcla de mayor cohesión, más fácil de compactar, más impermeable y en suma más estable.

La estabilización mecánica depende de la cohesión y de la fricción interna que puedan desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelos. Sabemos que los suelos de grano grueso, como las gravas y las arenas, poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas como las arcillas, tienen escasa fricción interna.

Como la fricción interna sola no imparte toda la estabilidad que se necesita en un camino, ya que las partículas pueden moverse libremente, se separan de la mezcla y se reducirá la magnitud de la fricción interna que pudieran desarrollar, es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga firmemente unidas a las partículas gruesas.

Los suelos arcillosos poseen bastante cohesión cuando su contenido de humedad se encuentra dentro de ciertos límites, y por lo tanto pueden emplearse como aglutinantes para mantener unidas la grava y la arena.

Estabilización arena-arcilla

La mezcla de arena con arcilla es un material estabilizado en forma económica cuando el suelo natural es arena con muy poco aglutinante o cuando no lo tiene, y la arcilla se puede obtener mediante un acarreo razonable. En zonas cercanas a las playas el suelo de la subrasante generalmente es arena con buen drenaje que puede ser estabilizado fácilmente con arcilla. Como la arena ya se encuentra en el camino, debe determinarse con cuidado la cantidad de arcilla que se le va a agregar, y además, fijarse la manera de operar el equipo para que la mezcla no contenga demasiada arena. Deben ejecutarse varias mezclas de prueba para determinar en forma efectiva la cantidad de arcilla menores del 10% del volumen, con respecto a la arena, no son aconsejables por ser muy difícil su distribución uniforme en la masa de arena.

Estabilización grava-arena-arcilla

El ingeniero de caminos muy a menudo se encuentra con la necesidad de construir sub-bases y bases con materiales baratos producto de la extracción de los mismos de depósitos naturales existentes a lo largo de la ruta a construir.

Sin embargo, en muchas ocasiones, los materiales de dichos depósitos naturales, o son completamente arenosos con muy bajo valor cementante, o presentan características plásticas muy altas que lo hacen que queden fuera de las especificaciones que se exigen a los materiales de sub-base o base. En estos casos es cuando la mezcla de dos o más materiales de los depósitos mencionados pueden resolver el problema.

Un material francamente arenoso y carente de cementación, puede estabilizarse mezclándole un cierto porcentaje de un material arcilloso y viceversa. El problema estriba nada más en encontrar las cantidades a mezclar cada material. Al igual que en el caso de la mezcla arena-arcilla es necesario ejecutar varias veces mezclas para determinar la cantidad adecuada de cada material. La mezcla resultante debe ofrecer las especificaciones respectivas. Los problemas de construcción son similares a los de los otros de estabilización de suelos, teniéndose que disponer de algún medio para medir las cantidades del material que se va a colocar en los caminos para asegurar la uniformidad de la mezcla.

El aglutinante (material arcilloso) debe pulverizarse para poder distribuirlo convenientemente por todo el volumen de los agregados, y se recomienda una compactación efectiva y uniforme.

Estabilización suelo-cal

La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus magníficos resultados.

Cuando tenemos arcillas muy plásticas podemos disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la variación en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal.

Este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, CBR, compresión.

Se ha determinado que al mezclar la arcilla con cal apagada los iones de calcio sustituyen algunos iones metálicos presentes en la película de agua que rodea a la partícula de arcilla y que son responsables de los cambios volumétricos, además, si el suelo tratado contiene suficiente sílice y alúmina estos pueden reaccionar formando silicatos de calcio y alúmina. Estos silicatos tienen un gran poder cementante, lo que implica que al agregar cal también se logra aumentar la resistencia del suelo.

Como especificamos anteriormente, la dosificación dependerá del tipo de arcilla, se agregará de 1% al 6% de cal por peso seco. Este porcentaje debe determinarse en el laboratorio, pero lo más común en la mayoría de los casos se requiere de un porcentaje cerca del 3%.

Procedimiento constructivo

La capa inferior a la que se va a estabilizar, deberá estar totalmente terminada, el mezclado puede realizarse en una planta adecuada o en campo, obteniéndose mejores resultados en el primer caso, la cual puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacada. Si se agrega en forma de lechada, ésta se disuelve en el agua de compactación, la que se incrementa en un 5%.

Cuando se efectúa el mezclado en el campo, el material que se va a mejorar deberá estar disgregado y acamellonado, se abre una parte y se le agrega el estabilizador distribuyéndolo en el suelo para después hacer un mezclado en seco, se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar los polvos. Después de esto se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla debiendo darle un curado de hasta 48 horas de acuerdo con el tipo de arcilla de que se trate.

Se tiende la mezcla y se compacta a lo que marca el proyecto para después aplicarle un curado final, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío. Se recomienda no estabilizar cuando amenace con lluvia o cuando la temperatura ambiente sea menor a 5°C, además se recomienda que la superficie mejorada se abra al tránsito vehicular en un tiempo de 24 a 48 horas.

Estabilización suelo-cemento

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados.

De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí.

Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Tabla 2.1 Clasificación de suelos

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido
	Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5
A-1-b	5 – 8
A – 2	5 – 9
A – 3	7 – 11
A – 4	7 – 12
A – 5	8 – 13
A – 6	9 – 15
A – 7	10 - 16

Fuente: Método AASHTO-93.

Los suelos mejorados con cemento, constituyen un material semi-endurecido, pues la proporción de cemento no suele ser superior al 3% en peso de los suelos. En este caso, sólo se pretende mejorar las propiedades de un suelo para que sea adecuado como subrasante, base o sub-base de una capa de rodadura.

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

Estabilización suelo-productos asfálticos

El comportamiento de los materiales sometidos a la acción del tránsito, depende de dos propiedades básicas: cohesión y fricción interna. Por lo tanto, si se mezcla aun suelo un producto asfáltico que le proporcione la suficiente cohesión y fricción interna, o que contribuya a mantener dichas propiedades, entonces se habrá logrado un material estabilizado.

El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo. Para eliminarle los solventes volátiles y los aceites y para ser mezclado con material pétreo deberá calentarse a temperaturas que varían de 140 a 160° C, el más común que se emplea en la actualidad es el AC-20. Este tipo de producto tiene la desventaja de que resulta un poco más costoso y que no puede mezclarse con pétreos húmedos.

En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, en este tipo de productos se encuentra en suspensión con el agua, además se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro, para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como emulsión aniónica con carga negativa y las que tienen cloro son las emulsiones catiónicas que presentan una carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad que contienen los pétreos.

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio

para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática de 11.340 Kg. (140 Kg/cm²).

Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg., se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.

El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5° C o lluvia. También se puede estabilizar con ácido fosfórico y fosfatos; fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de bitumen, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de bitumen utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el bitumen no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

Estabilización con agentes químicos

Este tema no es fácil de definir ya que todo tipo de estabilización de suelos involucra algún tipo de acción química. Y así, una definición amplia de la estabilización química envolvería en ella a la estabilización con cemento, asfalto y cal ya que se han tratado independientemente y que presentan cierto aspecto químico. Sin embargo, en esta parte se tratara de ciertas sustancias químicas especiales para estabilizar suelos arcillosos en los cuales los otros sistemas de estabilización resultan menos eficaces. Pero es necesario reconocer que aunque las estabilizaciones químicas pueden ser eficientes

bajo una amplia variedad de condiciones, no existe ningún producto químico mágico que pueda estabilizar todos los tipos de suelos en todas las circunstancias.

Un estabilizador químico debe ser tal que pequeñas cantidades del mismo produzcan los efectos deseados, que actúe rápidamente y que su función sea muy poco afectada por la composición del suelo.

A continuación se indicara algunas de estos estabilizadores tales como la resina de anilina, cloruro de calcio y cloruro de sodio.

Estabilización con resina de anilina

La resina de anilina cuando se mezcla con un suelo en presencia de un catalizador ácido, origina una polimerización de condensación que produce una resina de gran poder de aglutinante e impermeabilizante, presentan buena resistencia al intemperismo y poseen alta durabilidad.

Estabilización con cloruro de sodio

El principal uso de la sal es como matapolvo en bases y superficies de rodamiento para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

La sal común es un producto higroscópico; es decir, es capaz de absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, de ahí que sea un efectivo matapolvo al mantener la capa con un alto contenido de humedad. Se puede utilizar en forma de salmuera o triturada. La dosificación es de 150grs/m² por cada centímetro de espesor de la capa estabilizada contando con un máximo de 8cms.

Para mezclar es más adecuado el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450grs de sal por cada metro cuadrado.

Estabilización con cloruro de calcio

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, su costo es mayor, pero se prefiere debido al efecto oxidante del cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y reduce el polvo.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

La dosificación es de 7 a 10 libras del tipo I o de 5.6 a 8 libras del Tipo II por tonelada de suelo. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio.

2.3.2. CAPA SUB BASE

La función de la sub base, en un pavimento flexible, es puramente económica, buscando así obtener un espesor utilizando el material más barato posible.

Podría construirse dicho espesor con materiales de alta calidad como en el caso de la base, pero usualmente se hace aquella más delgada y se sustituye en parte por la sub base que es de menor calidad, trayendo como resultado un aumento en el espesor total del pavimento, pues es un hecho que cuando menor es la calidad del material utilizado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Otra función de la sub base es la de servir de transición entre la base y la sub rasante; ya que el material de la base es granular más o menos grueso y el de la sub base es más fino que el anterior, de esta manera sirve como filtro para evitar que el material de la base se incruste en la sub rasante.

La sub-base sirve también para absorber las deformaciones que provienen de la sub rasante y que pueden ser perjudiciales para el pavimento en general.

Así también son los cambios volumétricos asociados a los cambios de humedad. La sub base sirve también como drenaje para desalojar el agua que se infiltre en el

pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

De las funciones mencionadas anteriormente, la estructural y la económica son las que más se proyectan en la construcción de pavimentos, el resto dependen de las circunstancias y de los materiales con los que se cuente para la sub-base.

Generalmente las dos cualidades que se buscan en el material de sub-base son: la resistencia friccionante y la capacidad de drenaje; teniendo cada una, en su razón de ser, la importancia de su preferencia.

La resistencia friccionante contribuirá a la resistencia en conjunto del pavimento, garantizando buen comportamiento en cuanto a deformabilidad se refiere, como resultado de una buena compactación.

La capacidad de drenaje, igualmente importante, es necesaria debido a la doble función que realiza tanto con el agua que se infiltra de la superficie, como la que asciende por capilaridad.

Los espesores de sub-base, son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 a 15 cm como la dimensión mínima constructiva. Los materiales consistirán en materiales de tipo granular con las siguientes propiedades mínimas: un valor soporte (CBR) del 30% sobre muestra saturada y compactada al 100% del Proctor Modificado u otra compactación que el diseñador especifique; un índice plástico (IP) no mayor de 9 y un límite líquido (LL) no mayor de 40.

Los materiales de sub-base deben ser de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. En el caso de que contengan gravas o rocas, éstas no deben ser mayores de los $\frac{2}{3}$ del espesor de la sub base.

Cuando la compactación de la sub-base resulte difícil por falta de finos, pueden seguirse dos alternativas: se le agregan los finos o, si ésta operación resulta cara en valor y/o trabajo, deben buscarse otros bancos de material que reúnan las especificaciones.

Cuando existan alternativas para el uso de varios bancos, dentro de los límites razonables de acarreo y/o calidad, se escogerá el que disponga de menor porcentaje de material que pase el tamiz 200, que tenga mayor CBR y menor índice plástico (IP).

Es muy importante que los bancos de materiales para sub-base, llenen las especificaciones requeridas y se encuentren libres de materia vegetal, basura o terrones de arcillas y otras materias perjudiciales.

Debe tenerse presente y tomar en cuenta que un gran número de fallas en los pavimentos se debe a sub-bases que no llenan las especificaciones requeridas, que han sido mal compactadas o que se han contaminado debido a la falta de un adecuado drenaje o por falta de control de la sub rasante.

2.3.2.1. PROPIEDADES DE LA CAPA SUB BASE

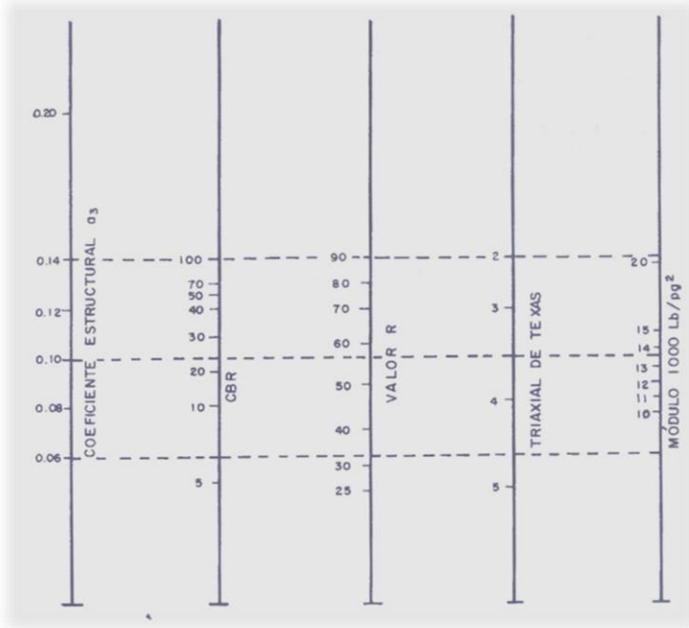
Sub-bases granulares no-tratadas

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (**asb**) (tal como es el caso de las sub-bases de grava cernida, granzón natural, granzón mezclado, etc.), se determina, a partir del Módulo de Elasticidad (Módulo Resiliente) (**Esb**), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{asb\text{-}base = 0,227 (\log Esb) \text{ — } 0.839}$$

Para esta ecuación debe tomarse en cuenta que el valor se acota en un máximo de 0.13.

Ábaco 2.3 Valores del coeficiente estructural (asb) para sub-bases granulares no-tratadas



Fuente: Método AASHTO-93

También puede emplearse el gráfico de la Figura 9, para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa sub-base de material granular no-tratado, cuando se disponga del valor de CBR, Hveem o Triaxial de Texas.

Método AASHTO-93

2.4. RESIDUOS DE CONTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Existe un gran impacto ambiental de carácter negativo que se genera debido al despilfarro de ciertas materias primas las cuales mayoritariamente no son sometidas al reciclaje, estamos hablando de los residuos de demolición.

Los usualmente llamados y conocidos residuos de demolición inertes pueden llegar a tener distintos tipos de procedencia: aquellos generados en las demoliciones de

edificios, los que surgen con las excavaciones de los suelos o la ejecución de ciertos tipos de reformas en las calles; también están los originados en carreteras y en infraestructuras; además existen los que proceden de las excavaciones que se realizan en obras de edificación; e incluso a partir de las mezclas de los escombros de construcción y los rechazos de la fabricación de piezas y elementos de usados en construcción.

La mayor parte de los residuos de demolición son normalmente reutilizables, dándoles un uso distinto en un sector distintos de la construcción mediante operaciones de limpieza y preparaciones previas que no son muy complicadas, pero lo que sucede en realidad es que la mayoría de los residuos de demolición son destinados a los vertederos (y parcialmente controlados.) lo que lleva a que los porcentajes de reciclaje o reutilización de residuos de demolición sean algunos de los más bajos del mundo.

En este caso se quiere remplazar los granulares que conforman las capas base y sub base por residuos de construcción y de esta forma hacer uso correcto de los residuos contribuyendo a protección del medio ambiente en dos frentes.

El primero es realizando un correcto manejo de los residuos y al mismo tiempo disminuir el uso de materiales áridos que son explotados de forma indiscriminada en los cauces cercanos a la ciudad.

Los residuos de construcción no tienen las mismas propiedades de resistencia que los materiales pétreos, pero si pueden llegar a remplazar en un paquete estructural que no sea muy exigido en su vida útil.

Los residuos de construcción y demolición, tal y como lo denota su nombre, son los residuos generados en el sector de la construcción y/o como consecuencia de la demolición de cualquier tipo de edificación e infraestructura que hayan quedado obsoletas, dando paso a la construcción de nuevas edificaciones. Descritos como residuos especiales porque, son residuos de características muy diversas que se generan en el medio urbano y cuyas formas de recolección y tratamiento varían

sustancialmente. (Estado Plurinacional de Bolivia, Reglamento de la Ley N° 1333, 1992).

De los diferentes destinos incorrectos de los residuos de construcción y demolición, dos son los que se pudieron evidenciar:

Descarga en pendientes u otros terrenos inseguros, donde se generan depósitos inestables, que pueden provocar deslizamientos.

Imagen 2.1 Residuos de construcción y demolición carretera a Santivañez.



Fuente: Residuos de construcción Rodrigo Vargas Meneses

Descarga en tierras bajas, junto a drenajes, o inclusive directamente en el lecho de ríos, donde se puede provocar obstrucción del cauce e inundaciones.

Imagen 2.2 Residuos de construcción en laderas del río Rocha camino a Sacaba



Fuente: Residuos de construcción Rodrigo Vargas Meneses

Es importante recalcar que en Bolivia aún no se cuenta con sistemas de gestión de residuos sólidos especiales salvo en el caso de residuos hospitalarios.

A la fecha no existen instrumentos normativos y de orientación, así como equipamiento y tecnología adecuada para su tratamiento y disposición final. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2011-2015).

2.4.1. TASA DE GENERACIÓN ESPECÍFICA

Se entiende por tasa de generación específica para cierto tipo de residuos a la relación que existe entre la cantidad generada de residuos y la unidad de generación específica.

Para la generación de los residuos de construcción y demolición, se ve por conveniente el siguiente indicador de tasa de generación específica:

$$\textit{Tasa de generación específica} = \frac{\textit{Toneladas ó m}^3}{\textit{superficie en m}^2}$$

Para la valoración de la cantidad de los residuos generados se utilizará tanto la masa, expresada en toneladas, como el volumen, expresado en m³. Estas dos unidades de medición de la cantidad generada se las puede relacionar a través del volumen específico aparente, expresado en m³/Mg (TCHOBANOGLIOUS, 1998). La unidad de generación específica será representada por los metros cuadrados [m²] de la obra que vaya a ser construida o demolida.

2.4.2. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

La caracterización de la generación de residuos de la construcción como tal consistió en la determinación de varios parámetros a partir de un modelo de cálculo.

Se consideraron tres escenarios posibles: la generación de residuos durante la construcción de una obra nueva; la generación de residuos debido a la demolición de una obra en base a ladrillo y hormigón y; la demolición de una obra, generalmente antigua, construida en base a adobe.

En el caso de la construcción de una obra nueva, se tomó como modelo de cálculo la construcción de una casa tipo de dos plantas con techo de teja. Este es el modelo más común de casa que se construye en la ciudad de Tarija.

A partir de este modelo, que tiene una superficie construida de 217 m², se cuantificó la cantidad de materiales que se utilizan en la construcción de la casa tipo y se estimaron los residuos que se generan a partir del análisis de excedentes que se calculan como pérdidas de materiales e insumos de la construcción.

Para realizar la cuantificación y posterior caracterización de la composición de los residuos de la construcción se utilizaron las hojas de rendimiento de la Cámara de Construcción de Tarija nominados "ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS" (CADECO TARIJA, 2015-2016), en los cuales se describen los materiales a ser utilizados para la construcción de diferentes estructuras y las pérdidas usuales por cada tipo de material.

Figura 2.8 Vivienda tipo de 217 m² utilizada para estimación de residuos generados en la construcción y demolición.



Fuente: Residuos de construcción Rodrigo Vargas Meneses

Una vez estimados los residuos de construcción y demolición a ser generados en la ciudad de Tarija, se procederá a determinar el volumen específico aparente, expresado en m^3/kg , de acuerdo al procedimiento de la Norma Boliviana 743 Residuos sólidos- Determinación de parámetros de diseño sobre residuos sólidos municipales (IBNORCA, 1996), que consiste en:

Verificación de las condiciones físicas del cilindro a ser utilizado para el experimento.

Imagen 2.3 Cilindro para determinación volumen específico norma NB 743.



Fuente: Residuos de construcción Rodrigo Vargas Meneses

Verificación del nivel de la balanza.

Imagen 2.4 Balanza capacidad mín. 20 kg. Precisión 100 gr. norma NB 743



Fuente: Residuos de construcción Rodrigo Vargas Meneses

Pesado del recipiente vacío, tomándolo como peso de la tara.

Llenado del recipiente con el material a ser analizado.

Dejar caer el recipiente tres veces de una altura de 10 cm.

Medir la altura final que han alcanzado los residuos en el recipiente.

Proceder al cálculo del Volumen Específico Aparente, que será la relación entre el volumen y el peso de los residuos.

Imagen 2.5 Materiales utilizados en el ensayo de acuerdo a la NB 743



Fuente: Residuos de construcción Rodrigo Vargas Meneses

Una vez realizadas las estimaciones y ensayos se procedió a la caracterización tanto de residuos de construcción como de demolición, de la siguiente manera.

Residuos generados en la actividad de la construcción, esta consistirá en el llenado de una tabla clasificando los materiales de la siguiente manera:

Tierra excavación, Arena, Grava, Ladrillos 6H, Cemento, Yeso, Teja Cerámica, Cerámica 32x32, Clavos, Alambre.

Una vez conocidas todas las materias primas utilizadas dentro de una construcción, se procederá a realizar la determinación de la cantidad porcentual de desechos que esta construcción generaría.

Normalmente la actividad constructora generará residuos debido a los errores ya sea en el transporte, imprevistos, etc.

De todas las materias primas que se utilizaron en el proceso, estos significarán una fracción del total de las materias primas que depende del tipo de material que se usa.

Residuos generados en la actividad de la demolición, esta caracterización se identificarán los siguientes tipos de materiales: Adobe, Arena, Teja Cerámica, Madera, Yeso y Otros.

Esta etapa consistirá en la identificación de todos los materiales que forman parte de los residuos que hayan sido generados en el proceso de la demolición de alguna estructura que se haya realizado efectivamente (“Residuos de construcción” Rodrigo Vargas Meneses)

2.5. MÓDULO RESILIENTE

Este parámetro depende de las tensiones aplicadas y responde a la siguiente expresión:

$$M_r = K_1(\theta_3)^{K_2}$$

Siendo:

θ_3 = presión de confinamiento= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$

K_1 , K_2 = coeficientes de regresión.

Los valores más comunes de K_1 y K_2 son 9600 y 0.55 respectivamente.

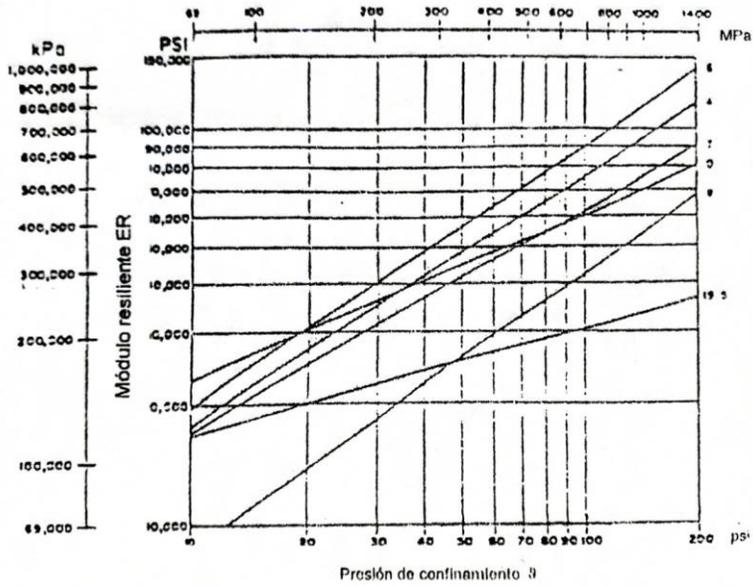
Los valores típicos de presión de confinamiento varían entre 34 KPa (5 psi) hasta elevadas presiones de 345 KPa (50 psi), dependiendo del espesor de la capa y de la carga. El valor del módulo resiliente para estas condiciones varía entre 23625 psi (163 MPa) a 82550 psi (580 MPa) para condiciones de baja o alta presión.

El módulo de la base depende el soporte brindado por la sub rasante. Con esta expresión se puede calcular un módulo medio:

$$E_{base} = K * E_{subrasante}$$

K es un coeficiente que es función de $E_{subrasante}$ indicado en la abaco 5.1

Ábaco 5.1 Modulo resiliente para bases granulares con más del 5% de finos



Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93

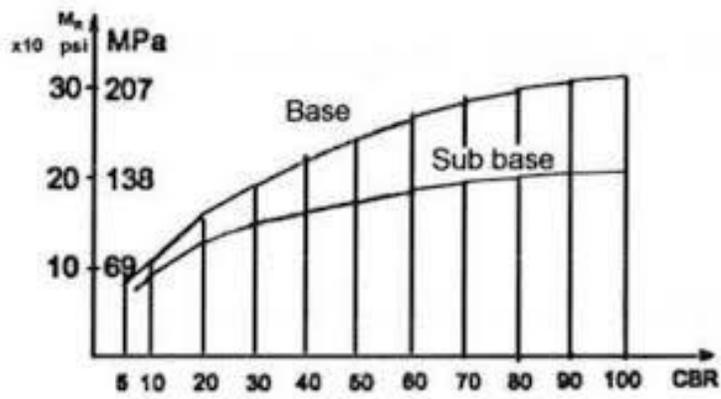
Tabla 2.2 Valores de K en función de $E_{\text{subrasante}}$

K	Esubrasante MPa (psi)
3.5 – 4.8	21 (3000)
2.4 – 2.7	41 (6000)
1.8 – 1.9	83 (12000)
1.6 – 1.8	138 (20000)
1.5 – 1.7	207 (30000)

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93

Además el modulo está relacionado con el CBR. En el abaco 5.2 indicada la relación entre MR y CBR.

Ábaco 5.2 relación entre Mr y CBR para base y sub base



Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93

CAPÍTULO III

**CARACTERIZACIÓN DE LOS
MATERIALES DE RESIDUOS
DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN PARA CAPAS
BASE Y SUB BASE**

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se expone el trabajo desarrollado, desde la selección del material a utilizar (residuo de demolición de hormigón), realización de ensayos en laboratorio, proceso de datos en gabinete para la posterior obtención de resultados.

En este capítulo se desarrolla, expone el trabajo desde la selección del material hasta el procesado de laboratorio pasando por trabajo de gabinete y la obtención de resultados.

Por ésta razón, el conocimiento de las propiedades constituyentes de los materiales utilizados representa la etapa experimental previa al estudio planteado, evaluando las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales y confrontarlas con las especificadas normativamente en cuanto al control de una capa sub base y base.

Se tomaron en cuenta las recomendaciones precedentes a este trabajo de investigación, para lograr buenos resultados ejecutándolos dentro de un cronograma de actividades, considerando materiales de abundante existencia y proximidad al lugar de trabajo.

Los ensayos fueron realizados en los laboratorios de la Universidad para obtener una mayor fiabilidad de resultados, siendo los equipos en existencia los adecuados y certificados además de ser usados de manera estandarizada. Los ensayos fueron realizados de acuerdo a lo que indica la Norma AASHTO la misma que es utilizada en nuestro medio para el diseño y construcción de carreteras, para tener una línea que delimite de manera clara los resultados.

3.2. UBICACIÓN

El lugar de obtención de la muestra es en la ciudad de Tarija - Bolivia provincia Cercado, a continuación se describen algunas características del lugar:

3.2.1. UBICACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE DEMOLICIÓN

El municipio de cercado forma parte de la provincia del mismo nombre, y está situada en coordenadas 21°32'11.91"S 64°43'13.63"O, a 1869 m sobre el nivel de mar, dentro

de la ciudad en la zona con nombre La Pampa sobre la calle Bolívar, entre las calles España y Federico Ávila.

Imagen 3.1 Lugar de extracción material de demolición



Fuente: Google earth imagen satelital.

El material fino se tomó de una excavación realizada en la zona del mercado campesino $21^{\circ}30'47.84''S$ $64^{\circ}44'49.68''O$ en la cual se iniciaba con las fundaciones de concreto armado teniendo en cuenta la abundancia de material se trabajó con este material fino.

3.3. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Se realizó el muestreo del material en el sitio de la demolición de hormigón, (señalar el lugar), las muestras fueron extraídas con palas y transportadas en bolsas plásticas, para evitar la absorción de humedad en la muestra.

Imagen 3.2 El momento de la extracción de muestra en bolsas plásticas.



Fuente: Elaboración propia

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

3.4.1. GRANULOMETRÍA AASHTO T-88

Esta granulometría se realizó como indica el método por tamizado y la guía del procedimiento se presenta en anexos, paso a paso con detalle el procedimiento.

3.4.1.1. GRANULOMETRÍA DE MATERIAL RECICLADO HORMIGÓN

Para la granulometría se procedió al cuarteo del material para luego pesar 5000 gramos y realizar el tamizado por el juego de tamices, para obtener datos de los materiales retenidos en las distintas mallas.

Imagen 3.3 Cuarteo de material



Imagen 3.4 Pesaje en balanza digital



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.5 Juego de tamices en agitadora



Imagen 3.6 Pesaje de material grueso



Fuente: Elaboración propia

La granulometría se muestra en el siguiente cuadro es del material sin alterar luego de la recolección y que conformara la parte gruesa tanto en las distintas capas.

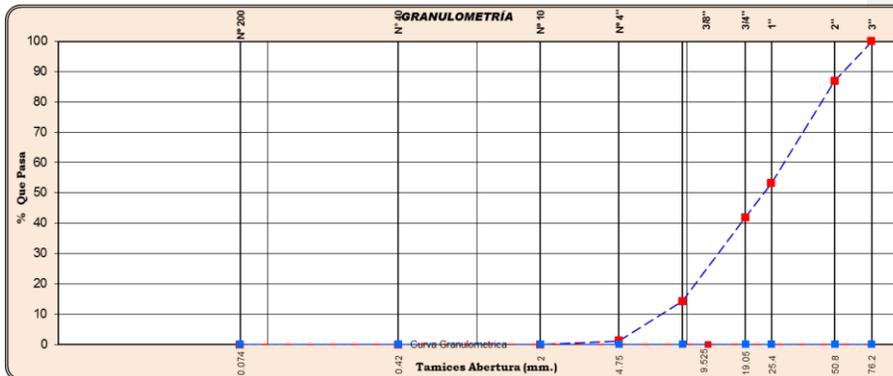
Tabla 3.1 Resultados de granulometría

HUMEDAD HIGROSCÓPICA	N° Tara	Psh + T	Pss + T	Pa	P T	Pss	% Hum.
					0		
MUESTRA TOTAL SECA	Peso H. total	Agr. Grueso Ret. N° 4	P. Suelo Hum. N° 4	P. Ss.< N° 4			Peso Total
	8456	0	8456	8456.0			8456.0

GRANULOMETRÍA AASHTO T 27							
Peso total seco (grs.)		8456.0		Muestra pasa tamiz N° 4			0.0
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que	Abertura	Especificaciones
N°	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado	Pasa	Mm.	
3"	0	0.0	0.0	0.0	100.0	76.20	
2"	1102.0	1102.0	13.0	13.0	87.0	50.80	
1"	2854.0	3956.0	33.8	46.8	53.2	25.40	
3/4"	955.0	4911.0	11.3	58.1	41.9	19.05	
3/8"	2345.0	7256.0	27.7	85.8	14.2	9.525	
4	1096.0	8352.0	13.0	98.8	1.2	4.800	

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

Gráfica 3.1 Muestra la curva granulométrica de material granular



Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

3.4.1.2. GRANULOMETRÍA DE MATERIAL FINO PARA MEZCLA

En este tipo de material se procedió con el método de lavado, para lo cual primero se procedió pesar la cantidad necesaria poniendo a remojar 24 horas para luego realizar el lavado en el tamiz numero 200 colocando al horno el material retenido. Una ves seco el materia se tamizo nuevamente.

Imagen: 3.7 Material fino remojado para lavar



Imagen: 3.8 Material seco y tamizado nuevamente



Fuente: Elaboración propia

En la tabla podemos observar la granulometría del material fino.

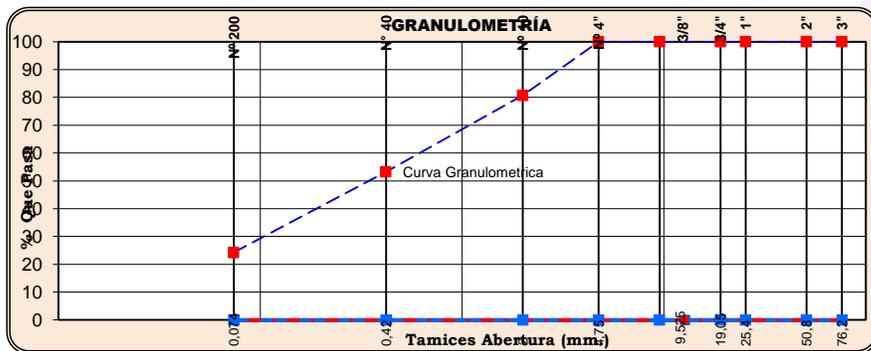
Tabla 3.2 Resultados de granulometría

HUMEDAD HIGROSCÓPICA	Nº Tara	Psh + T	Pss + T	Pa	P T	Pss	% Hum.
	5	256.5	253.2	3.3	65.2	188	1.76
MUESTRA TOTAL SECA	Peso H. total	Agr. Grueso Ret. Nº 4	P. Suelo Hum. Nº 4	P. Ss.< Nº 4	Peso Total		
	0	0	0	0.0	589.6		0.0

GRANULOMETRÍA AASHTO T 27							
Peso total seco (grs.)	0.0			Muestra pasa tamiz Nº 4			589.6
Tamiz Nº	Peso Retenido Tamiz (grs.)	Peso Retenido Acumulado (grs.)	% Retenido Tamiz	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Abertura Mn.	Especificaciones
3"	0	0.0	0.0	0.0	100.0	76.20	
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	50.80	
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	25.40	
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	19.05	
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	9.525	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	4.800	
10	113.4	113.4	19.2	19.2	80.8	2.000	
40	162.2	275.6	27.5	46.7	53.3	0.420	
200	171.1	446.7	29.0	75.8	24.2	0.074	

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

Gráfica 3.2 Muestra la curva granulométrica de material fino



Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

3.4.2. LÍMITES DE ATTERBERG DE MATERIAL FINO

Para la determinación de los Límites de Atterberg se realizó de acuerdo a lo que se indica en la Norma de la Administradora Boliviana de Carreteras.

- Límite Líquido de los Suelos AASHTO T-89
- Límite Plástico e Índice de Plasticidad AASHTO T-90

Imagen 3.9 Equipo de casa grande



Imagen 3.10 Muestra para secado horno



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.11 Material fino Límite plástico



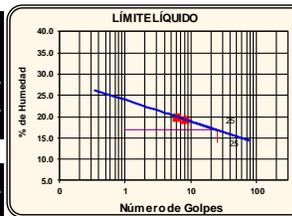
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Resultados de límites de Atterberg

Grafica 3.3 Limite liquido

LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T-89							
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
77	42.34	38.98	3.36	22.18	16.80	20.00	6
5	40.29	37.35	2.94	22.17	15.18	19.37	8
							N.P.

LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90							
							N.P.



Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

En esta grafica se puede observar que el límite líquido se encuentra a los 25 golpes en el equipo de casa grande.

3.4.3. DESGASTE DE LOS ÁNGELES AASHTO T-96

Se utilizó hormigón seleccionado en la demolición de una loza armada con antigüedad de 35 años, para este ensayo introduciéndolo en el equipo para el ensayo con las respectivas esferas de acero.

Imagen 3.12 Material listo para iniciar ensayo



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.13 Material al finalizar el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el ensayo por un tiempo asignado además de una velocidad controlada con detalle se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3.4 Resultados de laboratorio desgaste de los ángeles

ENSAYO DESGASTE LOS ANGELES AASHTO T - 96				
Proyecto :	Proyecto de Grado			
Referencia :	Escombro	Progresiva :	Banco	Nº Ensayo : 1
Descripción :	Material Para SUB BASE - CAPA BASE	Lado :	Acopio	Fecha : 29-jun-2017
Realizado :	VICTOR			
DESGASTE LOS ANGELES GRAVA				
GRADACION:	A	Esferas a 32,5 RPM		
CARGA ABRASIVA CON:	12	500 Revoluciones		
PORCIONES DE MUESTRA:				
PASADO		RETENIDO		CANTIDAD TOMADA
1 1/2		1		1250
1		3/4		1250
3/4		1/2		1250
1/2		3/8		1250
RETENIDO TAMIZ DE CORTE Nº 12 (1,7 mm)				3,300
DIFERENCIA				1,700
CALCULO:				
$Desgaste = \frac{Diferencia}{5000} * 100$		34 %		
Observaciones :	Material ESCOMBROS DE HORMIGON ESPECIFICACIONES < 40%			

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

3.4.4. EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D-2419

Para este ensayo se preparó el material fino de la mezcla preparada para las dos capas, siguiendo el procedimiento de acuerdo a norma.

Imagen: 3.14 Material separado para realizar en ensayo



Imagen: 3.15 Colocando material enrazado



Fuente: Elaboración propia

Imagen: 3.16 Vertido de material en probeta



Imagen 3.17 Sedimentando para obtener alturas de arena arcilla



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar los ensayos y obtenidos los datos se procedio a realizar el trabajo de gabinete teniendo los resultados que se presentan a continuacion:

Tabla 3.5 Resultados de laboratorio equivalente de arena

PROYECTO:	PROYECTO DE GRADO	REGISTRO:	1
REFERENCIA:	Estudio SUB BASE - CAPA BASE	FECHA :	07-nov-17
DESCRIPCION:	MEZCLA 50% MAT. CON LIGANTE Y 50% MAT. SIN LIGANTE	PROFUNDIDAD (M.):	Acopio
		REALIZADO:	VICTOR ESCOBAR
MATERIAL PASANTE TAMIZ Nº4			
DETERMINACIONES		MUESTRA Nº1	
Lectura Nivel Superior Suspensión		A =	162
Lectura Nivel Superior Sedimento		B =	37
EQUIVALENTE ARENA		B	
		----- X 100 =	22.8 %
		A	
DETERMINACIONES		MUESTRA Nº2	
Lectura Nivel Superior Suspensión		A =	155
Lectura Nivel Superior Sedimento		B =	38
EQUIVALENTE ARENA		B	
		----- X 100 =	24.5 %
		A	
DETERMINACIONES		MUESTRA Nº3	
Lectura Nivel Superior Suspensión		A =	157
Lectura Nivel Superior Sedimento		B =	36
EQUIVALENTE ARENA		B	
		----- X 100 =	22.9 %
		A	
RESUMEN			
Muestra Nº1 =		22.8 %	
Muestra Nº2 =		24.5 %	
Muestra Nº3 =		22.9 %	
EQUIVALENTE ARENA PROMEDIO =		23 %	
OBSERVACIONES:	Material Para CAPA BASE - SUBA BASE		
	ESPECIFICACIONES < 25 %		

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

3.5. DISEÑO DE CAPAS

Las capas se diseñaron según la norma AASHTO se realizó una dosificación entre material fino y grueso para lograr la granulometría adecuada para las dos capas requeridas.

Comentado [H1]: PONER NOMENCLATURA DE LA AASHTO

Imagen 3.18 Hormigón extraído de demolición material grueso para la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.19 Material coluvial natural existente en grandes cantidades.



Fuente: Elaboración propia

3.5.1. CAPA SUB BASE

De igual forma se para la capa sub base se combinó los materiales tanto grueso 68% como fino 32% con la granulometría de acuerdo a norma AASHTO.

Imagen 3.20 Material preparado para ensayo capa sub base.



Fuente: imágenes elaboración propia

3.5.2. CAPA BASE

Para la conformación de la capa base se procedió la mezcla de material fino 42% con desecho hormigón 58% siguiendo granulometría marcada por la norma AASHTO.

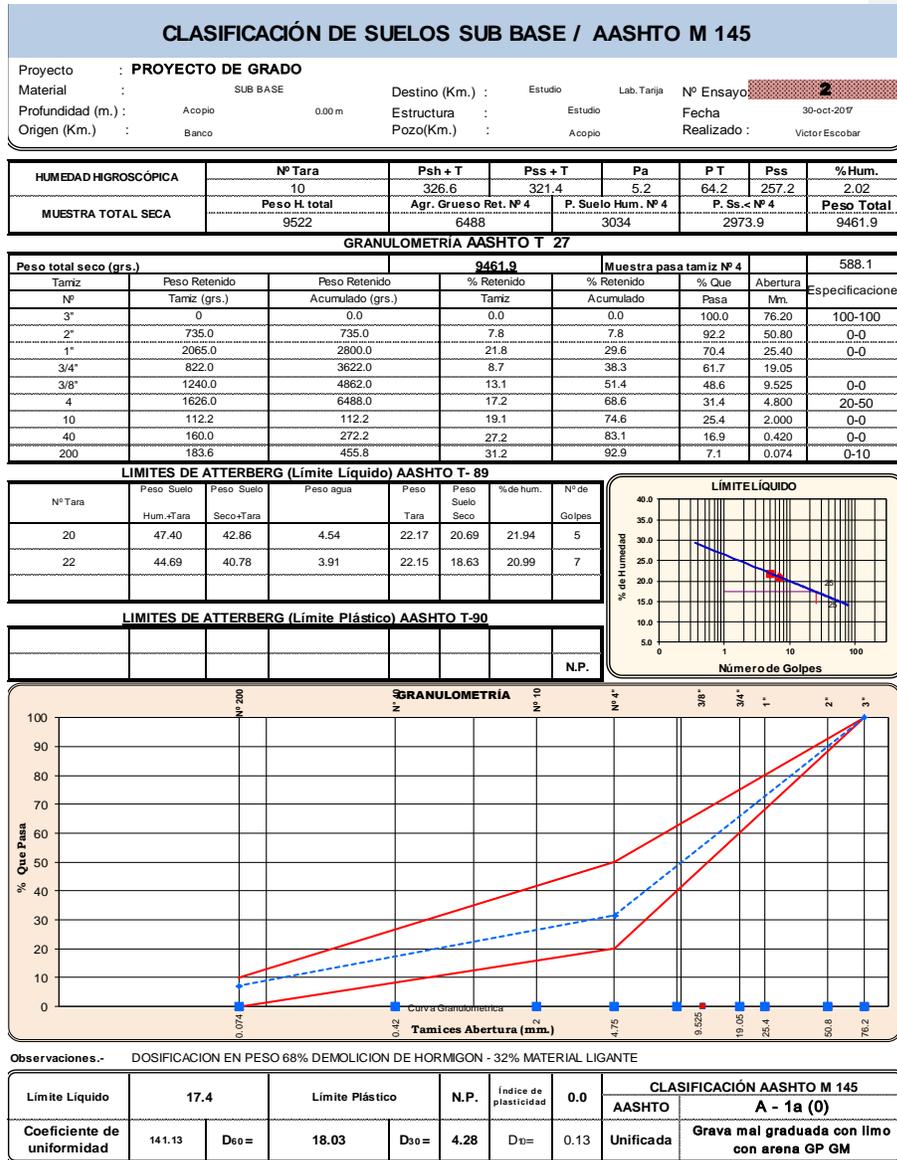
Imagen 3.21 Material preparado para ensayo capa base.



Fuente: imágenes elaboración propia

3.6. ENSAYO DE APLICACIÓN

3.6.1. CLASIFICACIÓN, COMPACTACIÓN Y CBR DE CAPA SUB BASE

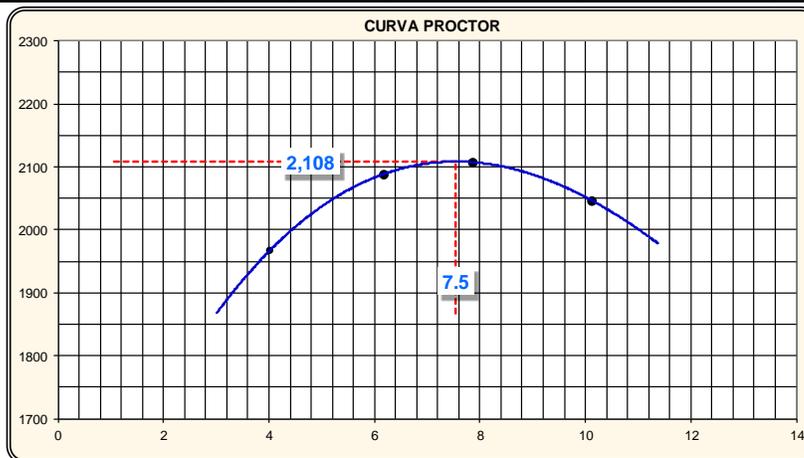


ENSAYO DE COMPACTACIÓN SUB BASE / AASHTO T - 180

Proyecto : PROYECTO DE GRADO
 Material : SUB BASE Destino (Km.) : Estudio Lab. Tarja N° Ensayo : **2**
 Profundidad (m.) : Acopio 0.00 m Estructura : Estudio Fecha : 30-oct-2017
 Origen (Km.) : Banco Pozo (Km.) : Acopio Realizado : VICTOR ESCOBAR

PROCTOR

Determinación N°	Unidad	1	2	3	4
N° Capas	Capas	5	5	5	5
N° Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56	56
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	7356.0	7722.0	7840.0	7800.0
Peso del Molde	gr.	2981.0	2981.0	2981.0	2981.0
Peso Suelo Húmedo	gr.	4375.0	4741.0	4859.0	4819.0
Volumen del Molde	cc	2138.0	2138.0	2138.0	2138.0
Peso Específico Húmedo	Kg./m ³	2046.3	2217.5	2272.7	2254.0
Cápsula No		22	16	4	20
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	401.00	420.50	434.00	414.00
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	388.10	400.00	407.20	378.00
Peso Agua	gr.	12.90	20.50	26.80	36.00
Peso Cápsula	gr.	67.00	68.00	65.50	22.00
Peso Suelo Seco	gr.	321.10	332.00	341.70	356.00
Contenido de Humedad	%	4.02	6.17	7.84	10.11
Peso Específico Seco	Kg./m ³	1967.3	2088.5	2107.4	2047.0



Densidad Máxima = 2108 Kg./m³
 Humedad Óptima = 7.5 %

Observaciones.- DOSIFICACION EN PESO 68% DEMOLICION DE HORMIGON - 32% MATERIAL LIGANTE

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

ENSAYO VALOR SOPORTE CALIFORNIA C.B.R. SUB BASE / AASHTO T- 193

Proyecto : PROYECTO DE GRADO

Material : SUB BASE Destino (Km) : Estudio Lab. Tarja Nº Ensayo: **2**
 Profundidad (m) : Acopio 0.00m Estructura : Estudio Fecha : 30-oct-2017
 Origen (Km) : Banco Pozo (Km) : Acopio Realizado : VICTOR ESCOBAR

TAMIZ	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	IP	CLASIF.
%PASA	31.4	25.4	16.9	7.1	17.4	0.0	A - 1a (0)

CALCULADO:

Molde Nº	13	13	14	14	15	15
Nº de Capas	5	5	5	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	13002	13054	11589	11632	11865	11982
Peso Molde (grs.)	8321	8321	7121	7121	7526	7526
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4681	4733	4468	4511	4339	4456
Volumen de la muestra (cm3)	2061	2061	2068	2068	2110	2110
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2.271	2.296	2.161	2.181	2.056	2.112

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara Nº	2	0	8	0	10	0
Peso Suelo Húmedo+Tara	536.00	0.00	550.00	0.00	326.20	0.00
Peso Suelo Seco + Tara	504.00	0.00	513.60	0.00	306.70	0.00
Peso Agua	32.00	0.00	36.40	0.00	19.50	0.00
Peso Tara	67.00	0.00	70.00	0.00	63.40	0.00
Peso Suelo Seco	437.00	0.00	443.60	0.00	243.30	0.00
% de Humedad	7.32	8.51	8.21	9.25	8.01	10.93
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2.116	2.116	1.997	1.997	1.904	1.904
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	2.108	2.108	2.108	2.108	2.108	2.108
% De Compactación	100.4	100.4	94.7	94.7	90.3	90.3

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

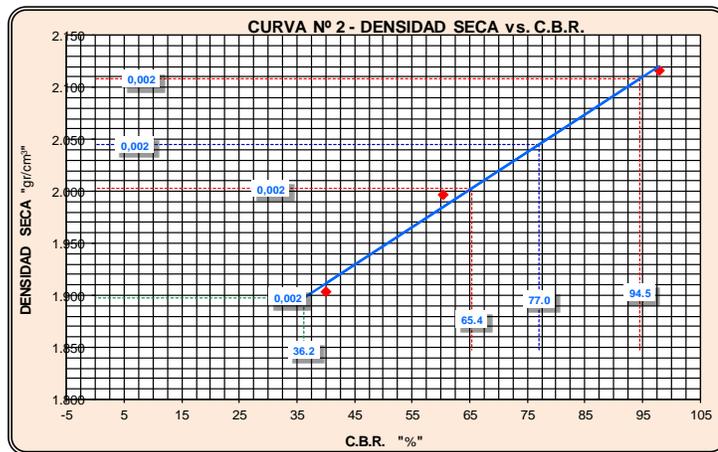
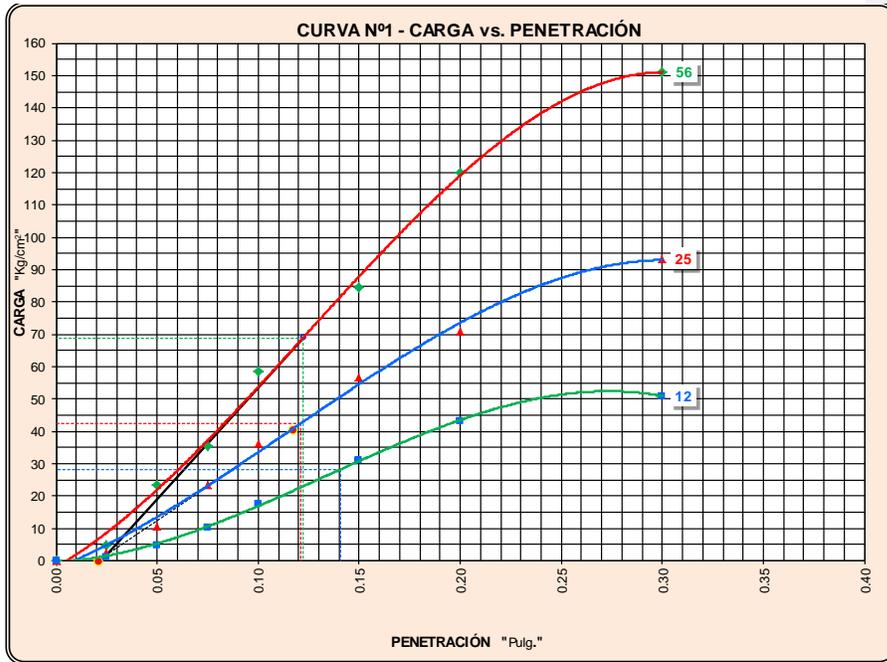
Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión
30-oct-17			0		0		0	
31-oct-17								
01-nov-17								
02-nov-17								
03-nov-17			0	0.0	0	0	0	0.00 %

Factor Aro **6000**

% Exp. Total **0.00**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	Dial	Calc.	Correg.	Dial	Calc.	Correg.
0.5	0.025	0.64		31.0	5		20.0	3		12.0	1	
1.0	0.050	1.27		132.0	23		63.0	11		32.0	5	
1.5	0.075	1.91		200.0	36		133.0	24		61.0	10	
2.0	0.100	2.54	70.3	332.0	59	68.8	97.9	203.0	36	42.4	60.3	101.0
3.0	0.150	3.81		488.0	85		322.0	57		175.0	31	
4.0	0.200	5.08	105.5	712.0	120		405.0	71		243.0	43	
6.0	0.300	7.62		923.0	151		542.0	93		288.0	51	
8.0	0.400	10.16		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
10.0	0.500	12.70		0	0.0		0	0.0		0	0.0	

Observaciones.- DOSIFICACION EN PESO 68% DEMOLICION DE HORMIGON - 32% MATERIAL LIGANTE



DENS. AL 90% : 1.897 gr/cm3	C.B.R. AL 90% : 36.2	N° 2
DENS. AL 95% : 2.003 gr/cm3	C.B.R. AL 95% : 65.4	
DENS. AL 97% : 2.045 gr/cm3	C.B.R. AL 97% : 77.0	
DENS. AL 100% : 2.108 gr/cm3	C.B.R. AL 100% : 94.5	
EXP. AL 95% : 0.00	EXP. AL 100% : 0.00	

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

3.6.2. CLASIFICACIÓN, COMPACTACIÓN Y CBR DE CAPA BASE

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CAPA BASE / AASHTO M 145

Proyecto :	PROYECTO DE GRADO					
Material :	CAPA BASE	Destino (Km.) :	Estudio	Lab. Tanja	Nº Ensayo:	2
Profundidad (m.) :	Acopio	0.00 m	Estructura :	Estudio	Fecha	30-oct-2019
Origen (Km.) :	Banco		Pozo(Km.) :	Acopio	Realizado :	Victor Escobar

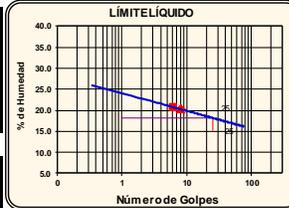
HUMEDAD HIGROSCÓPICA	Nº Tara	Psh + T	Pss + T	Pa	P T	Pss	% Hum.
	12	286.4	282.6	3.8	63.4	219.2	1.73
MUESTRA TOTAL SECA	Peso H. total	Agr. Grueso Ret. Nº 4	P. Suelo Hum. Nº 4	P. Ss.< Nº 4	Peso Total		
	10422	6188	4234	4161.9	10349.9		

GRANULOMETRÍA AASHTO T 27

Peso total seco (grs.)		10349.9				Muestra pasa tamiz Nº 4	589.8
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Abertura	Especificaciones
Nº	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado	Pasa	Mm.	
3"	0	0.0	0.0	0.0	100.0	76.20	100-100
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	50.80	100-100
1"	1702.0	1702.0	16.4	16.4	83.6	25.40	75-95
3/4"	1520.0	3222.0	14.7	31.1	68.9	19.05	
3/8"	1800.0	5022.0	17.4	48.5	51.5	9.525	40-75
4	1166.0	6188.0	11.3	59.8	40.2	4.800	30-60
10	107.5	107.5	18.2	67.1	32.9	2.000	20-45
40	154.7	262.2	26.2	77.7	22.3	0.420	15-30
200	177.8	440.0	30.1	89.8	10.2	0.074	5-15

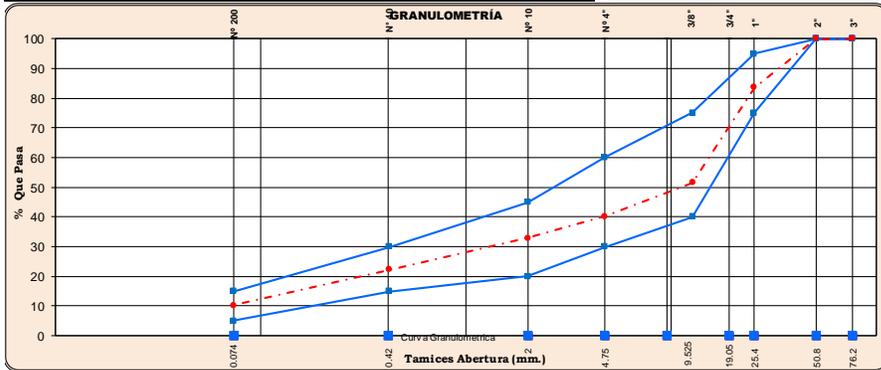
LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89

Nº Tara	Peso Suelo	Peso Suelo	Peso agua	Peso	Peso	% de hum.	Nº de
	Hum.+Tara	Seco+Tara		Tara	Suelo		Golpes
33	46.88	42.63	4.25	22.19	20.44	20.79	6
19	47.52	43.25	4.27	22.18	21.07	20.27	8



LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

	N.P.
--	------



Observaciones.- DOSIFICACION EN PESO 58% DEMOLICION DE HORMIGON - 42% MATERIAL LIGANTE

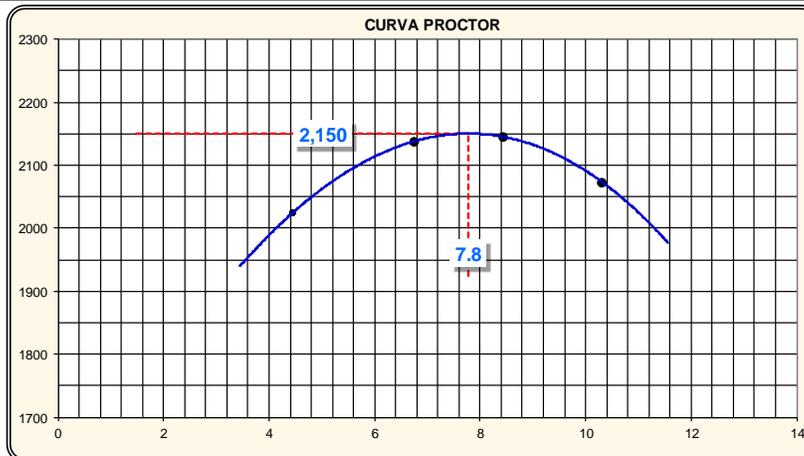
Límite Líquido	18.2	Límite Plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.0	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	
						AASHTO	A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	Deo =	12.45	Dso =	1.59	D10 =	Unificada	Grava mal graduada con limo con arena GP GM

ENSAYO DE COMPACTACIÓN CAPA BASE / AASHTO T - 180

Proyecto : PROYECTO DE GRADO
 Material : CAPA BASE Destino (Km.) : Estudio Lab. Tarja N° Ensayo : **2**
 Profundidad (m.) : Acopio 0.00 m Estructura : Estudio Fecha : 30-oct-2017
 Origen (Km.) : Banco Pozo (Km.) : Acopio Realizado : Victor Escobar

PROCTOR

Determinación N°	Unidad	1	2	3	4
N° Capas	Capas	5	5	5	5
N° Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56	56
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	7502.0	7860.0	7954.0	7872.0
Peso del Molde	gr.	2981.0	2981.0	2981.0	2981.0
Peso Suelo Húmedo	gr.	4521.0	4879.0	4973.0	4891.0
Volumen del Molde	cc	2138.0	2138.0	2138.0	2138.0
Peso Especifico Húmedo	Kg./m ³	2114.6	2282.0	2326.0	2287.7
Cápsula No		11	7	13	12
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	455.10	472.50	418.00	430.10
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	438.40	447.00	390.50	396.00
Peso Agua	gr.	16.70	25.50	27.50	34.10
Peso Cápsula	gr.	63.00	69.00	64.00	65.00
Peso Suelo Seco	gr.	375.40	378.00	326.50	331.00
Contenido de Humedad	%	4.45	6.75	8.42	10.30
Peso Especifico Seco	Kg./m ³	2024.5	2137.8	2145.3	2074.0



Densidad Máxima = 2150 Kg./m³
 Humedad Óptima = 7.8 %

Observaciones.- DOSIFICACION EN PESO 58% DEMOLICION DE HORMIGON - 42% MATERIAL LIGANTE

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S

ENSAYO VALOR SOPORTE CALIFORNIA C.B.R. CAPA BASE / AASHTO T- 193

Proyecto : PROYECTO DE GRADO

Material : CAPA BASE Destino (Km) : Estudio Lab. Tarja Nº Ensayo: **2**
 Profundidad (m) : Acopio 0.00m Estructura : Estudio Fecha : 10-nov-2017
 Origen (Km) : Banco Pozo (Km) : Acopio Realizado : Victor Escobar

TAMIZ	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	IP	CLASIF.
%PASA	40.2	32.9	22.3	10.2	18.2	0.0	A - 1a (0)

CALCULADO:

Molde Nº	1	1	2	2	3	3
Nº de Capas	5	5	5	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12232	12305	12608	12712	12288	12433
Peso Molde (grs.)	7377	7377	8002	8002	7906	7906
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4855	4928	4606	4710	4382	4527
Volumen de la muestra (cm3)	2093	2093	2085	2085	2080	2080
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2.320	2.355	2.209	2.259	2.107	2.176

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara Nº	5	0	11	0	9	0
Peso Suelo Húmedo+Tara	404.20	0.00	494.70	0.00	513.20	0.00
Peso Suelo Seco + Tara	379.60	0.00	464.00	0.00	481.50	0.00
Peso Agua	24.60	0.00	30.70	0.00	31.70	0.00
Peso Tara	65.00	0.00	65.20	0.00	66.00	0.00
Peso Suelo Seco	314.60	0.00	398.80	0.00	415.50	0.00
% de Humedad	7.82	9.44	7.70	10.13	7.63	11.19
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2.151	2.151	2.051	2.051	1.957	1.957
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	2.150	2.150	2.150	2.150	2.150	2.150
% De Compactación	100.1	100.1	95.4	95.4	91.0	91.0

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión
10-nov-17			0		0		0	
11-nov-17								
12-nov-17								
13-nov-17								
14-nov-17			14	0.1	8	0.08	5	0.05

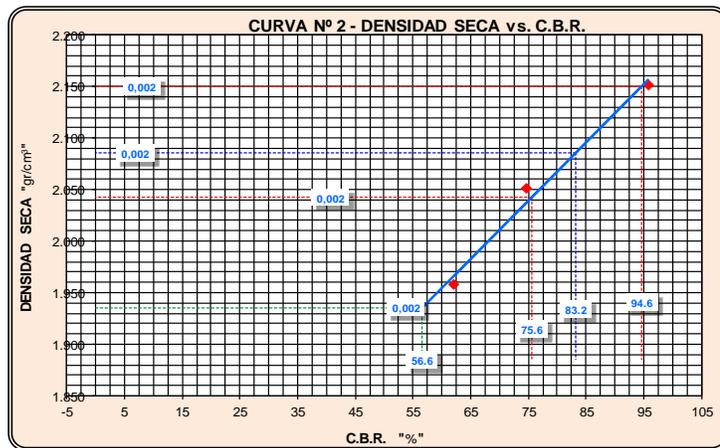
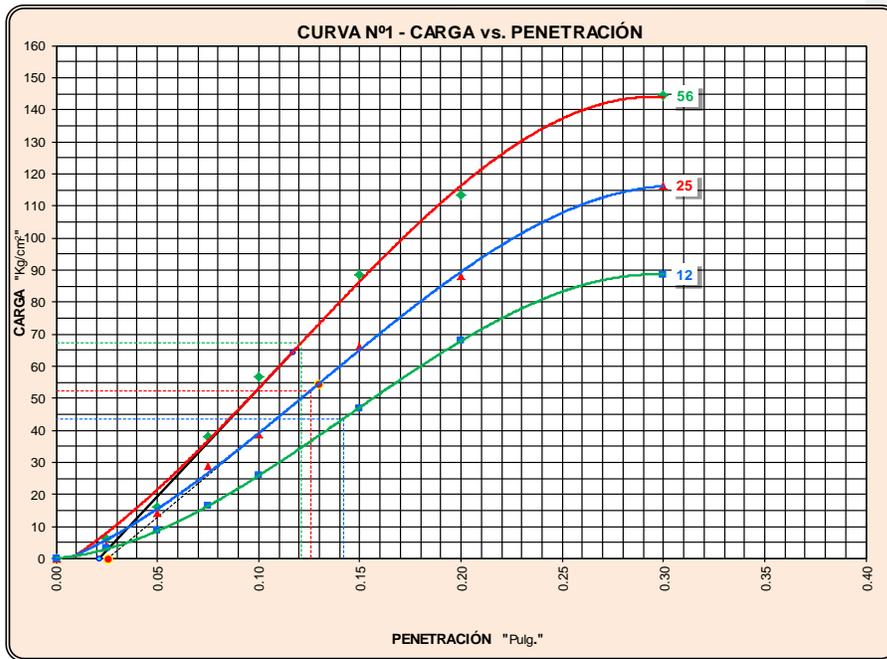
Factor Aro **6000**

% Exp. Total **0.08**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	Dial	Calc.	Correg.	Dial	Calc.	Correg.
0.5	0.025	0.64		38.0	6		27.0	4		23.0	3	
1.0	0.050	1.27		93.0	16		82.0	14		52.0	9	
1.5	0.075	1.91		215.0	38		162.0	29		94.0	16	
2.0	0.100	2.54	70.3	322.0	57	67.3	218.0	39	52.4	74.6	146.0	26
3.0	0.150	3.81		512.0	89		378.0	66		265.0	47	
4.0	0.200	5.08	105.5	668.0	113		510.0	88		388.0	68	
6.0	0.300	7.62		876.0	144		688.0	116		512.0	89	
8.0	0.400	10.16		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
10.0	0.500	12.70		0	0.0		0	0.0		0	0.0	

Observaciones.-

DOSIFICACION EN PESO 58% DEMOLICION DE HORMIGON - 42% MATERIAL LIGANTE



DENS. AL 90% : 1.935 gr/cm3	C.B.R. AL 90% : 56.6	N° 2
DENS. AL 95% : 2.043 gr/cm3	C.B.R. AL 95% : 75.6	
DENS. AL 97% : 2.086 gr/cm3	C.B.R. AL 97% : 83.2	
DENS. AL 100% : 2.150 gr/cm3	C.B.R. AL 100% : 94.6	
EXP. AL 95% : 0.07	EXP. AL 100% : 0.12	

Fuente: Formato guía de laboratorio de suelos U.A.J.M.S.

3.7. MÓDULO RESILIENTE

Módulos resilientes, partiendo de la propiedad conocida de CBR y aplicando de relación empírica según AASHTO-93.

$$Mr_1 = 1500 * CBR$$

$$Mr_2 = 2555 * (CBR)^{0.64}$$

Mr_2 es la fórmula más adecuada su especificación dice, aplicable a todo tipo de suelo.

MÓDULO RESILIENTE PARA CAPA SUB BASE

$$Mr_2 = 2555 * (CBR)^{0.64}$$

$$Mr_2 = 2555 * (65.4)^{0.64} = 37098.87$$

Tabla 3.6 Determinación de módulo resiliente capa sub base

MODULO RESILIENTE SUB BASE				
NUMERO DE ENSAYOS	CBR		Mr	
	AL 90%	AL 95%	AL 90%	AL 95%
2	36.20	65.37	25408.18	37086.85
5	35.26	63.68	24982.04	36471.27
6	37.66	63.65	26058.86	36460.00
7	37.78	67.22	26112.01	37755.78
N° Datos	4	4	4	4
Media	36.72	64.98	25640.27	36943.47

Fuente: Elaboración propia

MÓDULO RESILIENTE PARA CAPA BASE

$$Mr_2 = 2555 * (CBR)^{0.64}$$

$$Mr_2 = 2555 * (75.6)^{0.64} = 40705.42$$

Tabla 3.7 Determinación de módulo resiliente capa base

MODULO RESILIENTE CAPA BASE				
NUMERO DE ENSAYOS	CBR		Mr	
	AL 90%	AL 95%	AL 90%	AL 95%
2	56.58	75.60	33814.57	40705.42
3	52.19	71.55	32109.86	39294.04
4	50.82	72.89	31569.89	39765.63
5	52.96	74.60	32414.29	40360.12
N° Datos	4	4	4	4
Media	53.14	73.66	32477.15	40031.30

Fuente: Elaboración propia

3.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

3.8.1. MEDIA

Tabla 3.8 Determinación de media para compactación y CBR capa sub base

MEDIA DE PROCTOR Y CBR SUB BASE				
NUMERO DE ENSAYOS	PROCTOR		CBR	
	DENSIDAD MAXIMA Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %	AL 90%	AL 95%
2	2108.33	7.54	36.20	65.37
5	2112.01	7.32	35.26	63.68
6	2112.68	7.08	37.66	63.65
7	2114.44	7.43	37.78	67.22
N° Datos	4	4	4	4
Media	2111.86	7.34	36.72	64.98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9 Determinación de media para compactación y CBR capa base

MEDIA DE PROCTOR Y CBR CAPA BASE				
NUMERO DE ENSAYOS	PROCTOR		CBR	
	DENSIDAD MAXIMA Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %	AL 90%	AL 95%
2	2150.18	7.78	56.58	75.60
3	2157.02	7.55	52.19	71.55
4	2159.79	7.48	50.82	72.89
5	2153.98	7.73	52.96	74.60
N° Datos	4	4	4	4
Media	2155.24	7.63	53.14	73.66

Fuente: Elaboración propia

3.8.2. DESVIACIÓN ESTANDAR

Tabla 3.10 Determinación de desviación para compactación y CBR capa base

DESVIACION DE PROCTOR Y CBR SUB BASE				
NUMERO DE ENSAYOS	PROCTOR		CBR	
	DENSIDAD MAXIMA Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %	AL 90%	AL 95%
2	2108.33	7.54	36.20	65.37
5	2112.01	7.32	35.26	63.68
6	2112.68	7.08	37.66	63.65
7	2114.44	7.43	37.78	67.22
N° Datos	4	4	4	4
Media	2111.86	7.34	36.72	64.98
Desviacion	2.57	0.19	1.21	1.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11 Determinación de desviación para compactación y CBR capa base

DESVIACION DE PROCTOR Y CBR CAPA BASE				
NUMERO DE ENSAYOS	PROCTOR		CBR	
	DENSIDAD MAXIMA Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %	AL 90%	AL 95%
2	2150.18	7.78	56.58	75.60
3	2157.02	7.55	52.19	71.55
4	2159.79	7.48	50.82	72.89
5	2153.98	7.73	52.96	74.60
N° Datos	4	4	4	4
Media	2155.24	7.63	53.14	73.66
Desviacion	4.12	0.14	2.46	1.80

Fuente: Elaboración propia

3.9. CUADRO DE RESULTADOS

El siguiente cuadro de resultados muestra los valores representativos de los laboratorios y el cálculo del módulo resiliente para las capas base y sub base.

Tabla 3.13 Resultados promediados finales para capa sub base

CUADRO DE RESULTADOS PARA CAPA SUB BASE								
PROCTOR		DESGASTE DE LOS ANGELES %	EQUIVALENTE DE ARENA %	CARAS FRACTURADAS	CBR		Mr	
DENSIDAD MAXIMA Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %				AL 90%	AL 95%	AL 90%	AL 95%
2111.86	7.34	34	23	37756	36.72	64.98	25640.27	36943.47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Resultados promediados finales para capa base

CUADRO DE RESULTADOS PARA CAPA BASE								
PROCTOR		DESGASTE DE LOS ANGELES %	EQUIVALENTE DE ARENA %	CARAS FRACTURADAS	CBR		Mr	
DENSIDAD MAXIMA Kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %				AL 90%	AL 95%	AL 90%	AL 95%
2155.24	7.63	34	23	40360	53.14	73.66	32477.15	40031.30

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

**ANÁLISIS DEL
COMPORTAMIENTO
RESILIENTE DE RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN EN CAPAS
BASE Y SUB BASE**

4.1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento resiliente es un parámetro que nos analiza la dureza del agregado al momento al momento de conformar alguna capa de una capa estructural.

En este entendido para nuestro estudio conformara la parte granular tanto en la capa base como en la capa sub base.

Analizar la dureza que presenta el agregado es importante ya que la dureza entre los factores principales nos designara la integridad del paquete estructural.

En este caso es más importante, ya que analizamos un material residual que debe cumplir con parámetros de la norma con una holgura importante ya que la dureza entre otros varia de un material de demolición a otra porque las construcciones demolidas de donde se obtendré los residuos de construcción se realizan con hormigones de distinta dureza que para nuestro caso es el hormigón de la demolición de loza y columna que se encontraban en resiente demolición.

Entonces en este capítulo analizaremos los resultados obtenidos en el punto anterior de esta forma tener los resultados que respaldaran la utilización confiable de los residuos de construcción entre estos hormigón demolido.

Este trabajo es exclusivamente de gabinete que apoyado en bibliografía y los resultados obtenidos en los ensayos se puede disgregar respaldar la propiedades del residuo de demolición teniendo en cuenta que se trata de un material conformado por distintos otros materiales.

Al ser un agregado artificial se hacen necesarios las pruebas realizadas en laboratorio anteriores de esta forma confirmar la dureza necesaria del agregado y de esta forma poder ser utilizado en la capa base y sub base.

Una vez realizado el análisis de resultados se podrá afirmar que el hormigón de demolición es apto para formar parte del paquete estructural en las capas base y sub base. De esta forma darle el manejo adecuado a este desecho que en nuestro medio solo lo utilizan para relleno en recuperación de terrenos.

4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO VALORES NORMA Y RESULTADOS

4.2.1. CAPA SUB BASE

Tabla 4.1 Resumen de capa sub base muestra número 2

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA SUB BASE										ENSAYO	N°	2			
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27										DOCIFICACION %	68 ESCOMB.	32 FINO	CLASIFICACION	A - 1a(0)	
Peso total seco (grs.)		9461.88		Muestra pasa tamiz N° 4		588.11									
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Especific.									
N°	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz	% Pasa										
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100									
2"	50.80	735.00	735.00	7.77	92.23	0-0									
1"	25.40	2065.00	2800.00	21.82	70.41	0-0									
3/4"	19.05	822.00	3622.00	8.69	61.72										
3/8"	9.53	1240.00	4862.00	13.11	48.61	0-0									
4	4.80	1626.00	6488.00	17.18	31.43	20-50									
10	2.00	112.20	112.20	19.08	25.43	0-0									
40	0.42	160.00	272.20	27.21	16.88	0-0									
200	0.07	183.60	455.80	31.22	7.07	0-10									
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite líquido) AASHTO T-89															
N° Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes								
20	47.40	42.86	4.54	22.17	20.69	21.94	5								
22	44.69	40.78	3.91	22.15	18.63	20.99	7								
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite Plástico) AASHTO T-90															
													N.P.		
										Mr psi 37087					
										DESGASTE LOS ANGELES Desgaste % 34					
										EQUIVALENTE DE ARENA Equivalente de arena % 23					
										SOPORTE CALIFORNIA C.B.R. DENSIDAD AL 95% gr/m3 2.003 CBR AL 95% % 65.37					
										PROCTOR Densidad Maxima Kg/m3 2108 Humedad Optima % 7.54					
										CARACTERÍSTICAS					

NORMA	CODIGO	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.003	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 60%	64.37	✓
AASHTO	T - 96	DESGASTE LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	37087	✓

Fuente: Elaboración propia

En la capa sub base la densidad con un valor 2.003 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 65.37 % cumpliendo la especificación que indica 60% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación, teniendo buen acomodo de partículas.

El resultado del ensayo desgaste de los ángeles nos entrega por valor 34% siendo de igual forma aceptable para un agregado ya que el máximo es de 40% siendo el valor

obtenido denotando la dureza del material ensayado, este valor es constante para las 4 muestras.

De igual forma el 23% que resulto del ensayo de equivalente de arena se encuentra por debajo de 25% que indica la norma, indicando que la cantidad de finos en la muestra ensayada es baja y adecuada para la capa a conformar, valor constante en las 4 muestras.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 2 con valor de módulo resiliente igual 37087psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material granular procedente de una demolición para ser reutilizado en la conformación de capa sub base.

Tabla 4.2 Resumen de capa sub base muestra número 5

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA SUB BASE										ENSAYO	N°	5		
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27										DOCIFICACION %	88 ESCOMB.	32 FINO	CLASIFICACION	A-1a (0)
Peso total seco (grs.)		7494.88		Muestra pasa tamiz N° 4		590.27								
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Especific.								
N°	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz	Tamiz									
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100								
2"	50.80	655.00	655.00	8.74	91.26	0-0								
1"	25.40	1281.00	1936.00	17.09	74.17	0-0								
3/4"	19.05	600.00	2536.00	8.01	66.16									
3/8"	9.53	1086.00	3622.00	14.49	51.67	0-0								
4	4.80	1379.00	5001.00	18.40	33.27	20-50								
10	2.00	115.00	115.00	19.48	26.79	0-0								
40	0.42	187.20	302.20	31.71	16.24	0-0								
200	0.07	163.80	466.00	27.75	7.01	0-10								
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite líquido) AASHTO T-89														
N° Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes							
56	45.86	41.55	4.31	22.12	19.43	22.18	5							
12	42.33	38.80	3.53	22.10	16.70	21.14	7							
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite Plastico) AASHTO T-90														
N.P.														
										CARACTERÍSTICAS PROCTOR Densidad Maxima Kg/m ³ 2112 Humedad Optima % 7.32 SOPORTE CALIFORNIA C.B.R. DENSIDAD AL 95% gr/m ³ 2.006 CBR AL 95% % 63.68 DESGASTE LOS ANGELES Desgaste % 34 EQUIVALENTE DE ARENA Equivalente de arena % 23 MODULO RESILIENTE Mr psi 36471				

NORMA	CODIGO	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.006	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 60%	63.68	✓
AASHTO	T - 96	DESGASTE LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	36471	✓

Fuente: Elaboración propia

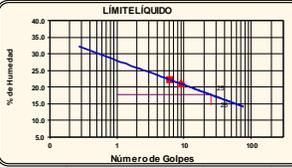
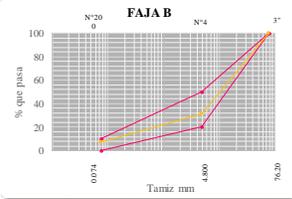
En la capa sub base la densidad con un valor 2.006 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 63.68 % cumpliendo la especificación que indica 60% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación, teniendo buen acomodo de partículas.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 5 con valor de módulo resiliente igual 36471psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material granular procedente de una demolición para ser reutilizado en la conformación de capa sub base.

Tabla 4.3 Resumen de capa sub base muestra número 6

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA SUB BASE										ENSAYO	Nº	6		
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27										DOCIFICACION %	68 ESCOMB.	32 FINO	CLASIFICACION	A-1a(0)
Peso total seco (grs.)		7953.85			Muestra pasa tamiz Nº 4			587.75			CARACTERISTICAS			
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Especific.			PROCTOR					
Nº	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz	Tamiz				Densidad Maxima Kg/m3 2113					
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00				Humedad Optima % 7.08					
2"	50.80	756.00	756.00	9.50	90.50				SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.					
1"	25.40	1699.00	2455.00	21.36	69.13				DENSIDAD AL95% gr/m3 2.007					
3/4"	19.05	411.00	2866.00	5.17	63.97				CBR AL 95% % 63.65					
3/8"	9.53	1340.00	4206.00	16.85	47.12				DESgaste LOS ANGELES					
4	4.80	1294.00	5500.00	16.27	30.85				Desgaste % 34					
10	2.00	116.50	116.50	19.82	24.74				EQUIVALENTE DE ARENA					
40	0.42	189.00	305.50	32.16	14.82				Equivalente de arena % 23					
200	0.07	136.70	442.20	23.26	7.64				MODULO RESILIENTE					
LIMITES DE ATTERBERG (Limite liquido)AASHTO T-89										Mr			psi	36460
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes							
20	46.36	41.95	4.41	22.17	19.78	22.30	6							
77	43.56	39.85	3.71	22.18	17.67	21.00	9							
LIMITES DE ATTERBERG (Limite Plastico)AASHTO T-90														
										N.P.				



NORMA	CODIGO	CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.007	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 60%	63.65	✓
AASHTO	T - 96	DESgaste LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	36460	✓

Fuente: Elaboración propia

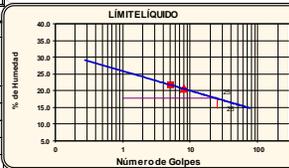
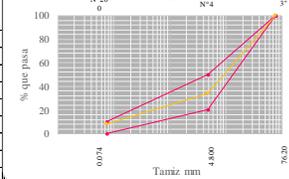
En la capa sub base la densidad con un valor 2.007 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 63.65 % cumpliendo la especificación que indica 60% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación, teniendo buen acomodo de partículas.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 6 con valor de módulo resiliente igual 36460psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material granular procedente de una demolición para ser reutilizado en la conformación de capa sub base.

Tabla 4.4 Resumen de capa sub base muestra número 7

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA SUB BASE										ENSAYO	N°	7		
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27										DOCIFICACION %	68 ESCOMB	32 FINO	CLASIFICACION	A - 1a (0)
Peso total seco (grs.)		7786.62		Muestra pasa tamiz N° 4		588.95				CARACTERISTICAS				
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Especific.		PROCTOR						
N°	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz	Pasa			Densidad Maxima						
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100		Kg/m3						
2"	50.80	526.00	526.00	6.76	93.24	0-0		Humedad Optima						
1"	25.40	2006.00	2532.00	25.76	67.48	0-0		%						
3/4"	19.05	223.00	2755.00	2.86	64.62			SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.						
3/8"	9.53	1167.00	3922.00	14.99	49.63	0-0		DENSIDAD AL 95%						
4	4.80	1234.00	5156.00	15.85	33.78	20-50		gr/m3						
10	2.00	120.30	120.30	20.43	26.88	0-0		CBR AL 95%						
40	0.42	186.20	306.50	31.62	16.20	0-0		%						
200	0.07	140.20	446.70	23.81	8.16	0-10		DESgaste LOS ANGELES						
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite liquido) AASHTO T-89										Desgaste			%	34
N° Tara	Peso Suelto Hum.+Tara	Peso Suelto Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelto Seco	% de hum.	N° de Golpes	EQUIVALENTE DE ARENA						
5	49.00	44.20	4.80	22.17	22.03	21.79	5	Equivalentes de arena						
77	46.20	42.10	4.10	22.18	19.92	20.58	8	%						
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite Plastico) AASHTO T-90										MODULO RESILIENTE				
										Mr			psi	37756



NORMA	CODIGO	CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.009	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 60%	67.22	✓
AASHTO	T - 96	DESgaste LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	37756	✓

Fuente: Elaboración propia

En la capa sub base la densidad con un valor 2.009 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 67.22 % cumpliendo la especificación que indica 60% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación, teniendo buen acomodo de partículas.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 7 con valor de módulo resiliente igual 37756psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material granular procedente de una demolición para ser reutilizado en la conformación de capa sub base.

4.2.1.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS CAPA SUB BASE CONTRASTANDO MUESTRAS

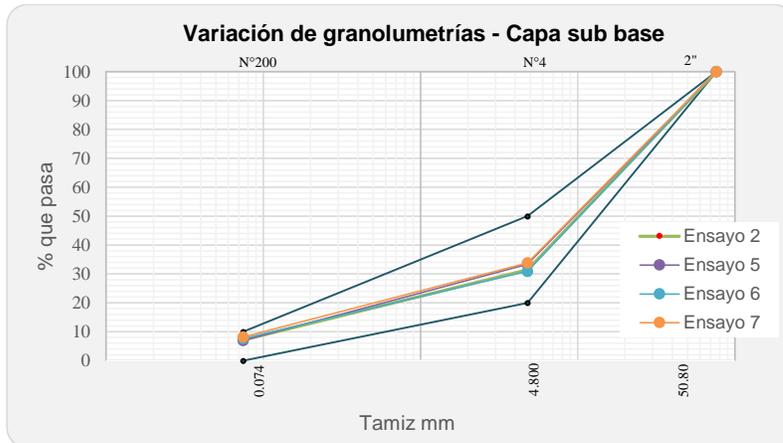
En la capa sub base se puede notar que la densidad con un valor igual a 2.009 para los 4 ensayos supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³.

Tabla 4.5 Características capa sub base contrastando muestras capa sub base

Variación de Características de acuerdo a Dosificación – Capa sub base					
Número de Ensayo		2	5	6	7
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	% Que pasa			
3"	76.20	100	100	100	100
2"	50.80	92.2	91.3	90.5	93.2
1"	25.40	70.4	74.2	69.1	67.5
3/4"	19.05	61.7	66.2	64	64.6
3/8"	9.53	48.6	51.7	47.1	49.6
4	4.80	31.4	33.3	30.9	33.8
10	2.00	25.4	26.8	24.7	26.9
40	0.42	16.9	16.2	14.8	16.2
200	0.07	7.1	7	7.6	8.2
PROCTOR	Densidad (Kg/m ³)	2108	2112	2113	2114
	Humedad (%)	7.5	7.3	7.1	7.4
CBR	90%	36.2	35.3	37.7	37.8
	95%	65.4	63.7	63.6	67.2
	100%	94.5	92.1	89.6	96.7
	EXP 100%	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

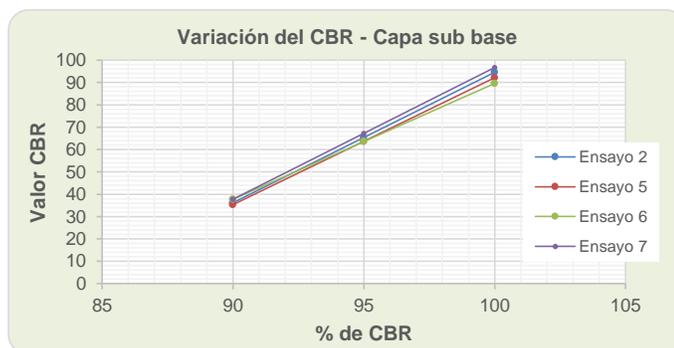
Gráfica 4.1 Variación granulometría para las cuatro muestras capa sub base



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado cuatro veces nos dio el siguiente resultado que cumple 64.98 % cumpliendo la especificación que indica 60% como mínimo.

Gráfica 4.2 Variación CBR para las cuatro muestras capa sub base



Fuente: Elaboración propia

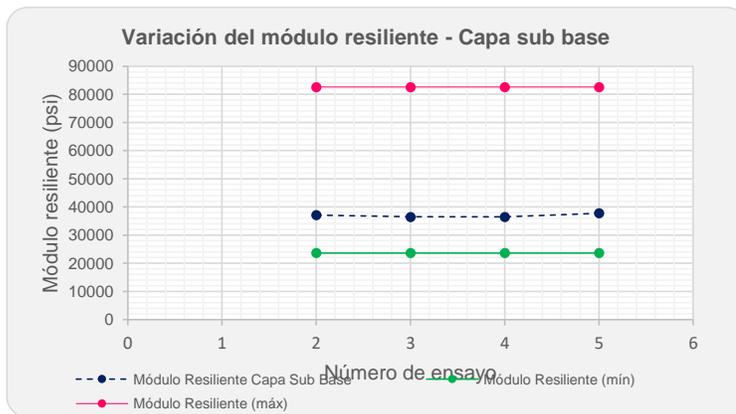
Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango:

Tabla 4.6 Verificación de resultados módulo resiliente capa sub base

N° Ensayo	Módulo resiliente (psi) – Capa sub base		
	Ensayo	Mín	Máx
2	37087	23625	82550
3	36471	23625	82550
4	36460	23625	82550
5	37756	23625	82550
* Valor mínimo y máximo de acuerdo a Norma AASHTO T-93			

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.3 Variación módulo resiliente para las cuatro muestras capa sub base



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. CAPA BASE

Tabla 4.7 Resumen de capa sub base muestra número 2

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA BASE							ENSAYO	N°	2		
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27							DOCIFICACION %	58 ESCOMB.	42 FINO	CLASIFICACION	A-1a(0)
Peso total seco (grs.) 10349.9							Muestra pasa tamiz Nº 4 589.78				
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Que	Especific.					
Nº	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz	Pasa						
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100					
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100					
1"	25.40	1702.00	1702.00	16.44	83.56	75-95					
3/4"	19.05	1520.00	3222.00	14.69	68.87						
3/8"	9.53	1800.00	5022.00	17.39	51.48	40-75					
4	4.80	1166.00	6188.00	11.27	40.21	30-60					
10	2.00	107.50	107.50	18.23	32.88	20-45					
40	0.42	154.70	262.20	26.23	22.33	15-30					
200	0.07	177.80	440.00	30.15	10.21	5-15					
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite liquido)AASHTO T-89											
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	%de hum.					Nº de Golpes
33	46.88	42.63	4.25	22.19	20.44	20.79					6
19	47.52	43.25	4.27	22.18	21.07	20.27	8				
LÍMITES DE ATTERBERG (Limite Plastico)AASHTO T-90											
											N.P.
CARACTERÍSTICAS							PROCTOR				
Densidad Maxima							Kg/m3	2150			
Humedad Optima							%	7.78			
SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.							DENSIDAD AL95%				
DENSIDAD AL95%							gr/m3	2.043			
CBR AL 95%							%	75.60			
DESGASTE LOS ANGELES							Desgaste				
Desgaste							%	34			
EQUIVALENTE DE ARENA							Equivalente de arena				
Equivalente de arena							%	23			
MODULO RESILIENTE							Mr				
Mr							psi	40705			

NORMA	CODIGO	CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.043	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 72.9%	75.6	✓
AASHTO	T - 96	DESGASTE LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	40705	✓

Fuente: Elaboración propia

En la capa base se tiene densidad con un valor 2.043 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 75.60 % cumpliendo la especificación que indica 72.9% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación.

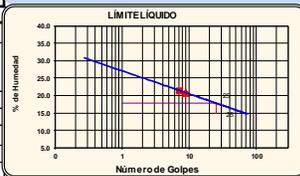
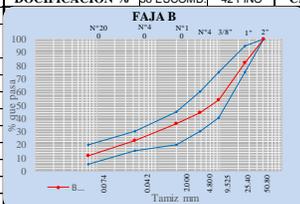
El resultado del ensayo desgaste de los ángeles nos entrega por valor 34% siendo de igual forma aceptable para un agregado ya que el máximo es de 40% siendo el valor obtenido denotando la dureza del material ensayado, valor constante para las 4 muestras.

De igual forma el 23% que resultado del ensayo de equivalente de arena se encuentra por debajo de 25% que indica la norma, indicando que la cantidad de finos en la muestra ensayada es baja y adecuada para la capa a conformar, valor constante para las 4 muestras.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 2 con valor de módulo resiliente igual 40705psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material de demolición para ser reutilizado en la conformación de capa base.

Tabla 4.8 Resumen de capa sub base muestra número 3

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA BASE										ENSAYO N°	3
GRANULOMETRÍA AASHTO T-27					DOCIFICACION %	58 ESCOMB.	42 FINO	CLASIFICACION	A-1a(0)		
Peso total seco (grs.)		8921.76		Muestra pasa tamiz N°4		588.24					
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Especif.		CARACTERISTICAS			
N°	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz				PROCTOR			
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100		Densidad Maxima Kg/m ³ 2157			
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100		Humedad Optima % 7.55			
1"	25.40	1620.00	1620.00	18.16	81.84	75-95		SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.			
3/4"	19.05	1300.00	2920.00	14.57	67.27			DENSIDAD AL95% gr/m ³ 2.049			
3/8"	9.53	1202.00	4122.00	13.47	53.80	40-75		CBR AL 95% % 71.55			
4	4.80	888.00	5010.00	9.95	43.85	30-60		DESGASTE LOS ANGELES			
10	2.00	110.20	110.20	18.73	35.63	20-45		Desgaste % 34			
40	0.42	167.80	278.00	28.53	23.12	15-30		EQUIVALENTE DE ARENA			
200	0.07	160.00	438.00	27.20	11.20	5-15		Equivalente de arena % 23			
LIMITE DE ATTERBERG (Limite liquido)AASHTO T-89										MODULO RESILIENTE	
N° Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes	Mr		psi 39294	
45	48.70	44.00	4.70	22.16	21.84	21.52	7				
15	42.50	39.00	3.50	22.17	16.83	20.80	9				
LIMITE DE ATTERBERG (Limite Plastico)AASHTO T-90										N.P.	



NORMA	CODIGO	CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T-180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.049	✓
AASHTO	T-193	CBR	AL 95% > 72.9%	71.55	✓
AASHTO	T-96	DESGASTE LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T-176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T-93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	39294	✓

Fuente: Elaboración propia

En la capa base se tiene densidad con un valor 2.049 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 71.55 % que no cumple la especificación que indica 72.9% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene mala respuesta a la compactación por mal acomodo de partículas y posible mala distribución granulométrica, siendo el resultado próximo al permitido por la norma este valor forma parte de las muestras.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 3 con valor de módulo resiliente igual 39294psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material de demolición para ser reutilizado en la conformación de capa base.

Tabla 4.9 Resumen de capa sub base muestra número 4

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA BASE										ENSAYO N°	4																																
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27					DOCIFICACION %		58 ESCOMB.	42 FINO		CLASIFICACION	A-1a (0)																																
Peso total seco (grs.)		8732.49			Muestra pasa tamiz N° 4		589.00																																				
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Pasa	Especific.																																					
N°	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz																																							
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100																																					
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100																																					
1"	25.40	1580.00	1580.00	18.09	81.91	75-95																																					
3/4"	19.05	1430.00	3010.00	16.38	65.53																																						
3/8"	9.53	1011.00	4021.00	11.58	53.95	40-75																																					
4	4.80	829.00	4850.00	9.49	44.46	30-60																																					
10	2.00	125.00	125.00	21.22	35.02	20-45																																					
40	0.42	125.50	250.50	21.31	25.55	15-30																																					
200	0.07	206.50	457.00	35.06	9.96	5-15																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido) AASHTO T-89</th> </tr> <tr> <th>N° Tara</th> <th>Peso Suelo Hum+Tara</th> <th>Peso Suelo Seco+Tara</th> <th>Peso agua</th> <th>Peso Tara</th> <th>Peso Suelo Seco</th> <th>% de hum.</th> <th>N° de Golpes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40</td> <td>44.80</td> <td>41.00</td> <td>3.80</td> <td>22.17</td> <td>18.83</td> <td>20.18</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>43.50</td> <td>40.00</td> <td>3.50</td> <td>22.19</td> <td>17.81</td> <td>19.65</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>												LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido) AASHTO T-89								N° Tara	Peso Suelo Hum+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes	40	44.80	41.00	3.80	22.17	18.83	20.18	6	18	43.50	40.00	3.50	22.19	17.81	19.65	9
LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido) AASHTO T-89																																											
N° Tara	Peso Suelo Hum+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes																																				
40	44.80	41.00	3.80	22.17	18.83	20.18	6																																				
18	43.50	40.00	3.50	22.19	17.81	19.65	9																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90</th> </tr> <tr> <th>N° Tara</th> <th>Peso Suelo Hum+Tara</th> <th>Peso Suelo Seco+Tara</th> <th>Peso agua</th> <th>Peso Tara</th> <th>Peso Suelo Seco</th> <th>% de hum.</th> <th>N° de Golpes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>N.P.</td> </tr> </tbody> </table>												LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90								N° Tara	Peso Suelo Hum+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes								N.P.								
LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90																																											
N° Tara	Peso Suelo Hum+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	N° de Golpes																																				
							N.P.																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CARACTERÍSTICAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">PROCTOR</td> </tr> <tr> <td>Densidad Maxima</td> <td>Kg/m³ 2160</td> </tr> <tr> <td>Humedad Optima</td> <td>% 7.48</td> </tr> <tr> <td colspan="2">SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD AL 95%</td> <td>gr/m³ 2.052</td> </tr> <tr> <td>CBR AL 95%</td> <td>% 72.89</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DESGASTE LOS ANGELES</td> </tr> <tr> <td>Desgaste</td> <td>% 34</td> </tr> <tr> <td colspan="2">EQUIVALENTE DE ARENA</td> </tr> <tr> <td>Equivalente de arena</td> <td>% 23</td> </tr> <tr> <td colspan="2">MODULO RESILIENTE</td> </tr> <tr> <td>Mr</td> <td>psi 39766</td> </tr> </tbody> </table>												CARACTERÍSTICAS		PROCTOR		Densidad Maxima	Kg/m ³ 2160	Humedad Optima	% 7.48	SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.		DENSIDAD AL 95%	gr/m ³ 2.052	CBR AL 95%	% 72.89	DESGASTE LOS ANGELES		Desgaste	% 34	EQUIVALENTE DE ARENA		Equivalente de arena	% 23	MODULO RESILIENTE		Mr	psi 39766						
CARACTERÍSTICAS																																											
PROCTOR																																											
Densidad Maxima	Kg/m ³ 2160																																										
Humedad Optima	% 7.48																																										
SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.																																											
DENSIDAD AL 95%	gr/m ³ 2.052																																										
CBR AL 95%	% 72.89																																										
DESGASTE LOS ANGELES																																											
Desgaste	% 34																																										
EQUIVALENTE DE ARENA																																											
Equivalente de arena	% 23																																										
MODULO RESILIENTE																																											
Mr	psi 39766																																										

NORMA	CODIGO	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.052	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 72.9%	72.89	✓
AASHTO	T - 96	DESGASTE LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	39766	✓

Fuente: Elaboración propia

En la capa base se tiene densidad con un valor 2.052 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 72.89 % cumpliendo la especificación que indica 72.9% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación, logrando buen acomodo de partículas.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 4 con valor de módulo resiliente igual 39766psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material granular procedente de una demolición para ser reutilizado en la conformación de capa base.

Tabla 4.10 Resumen de capa sub base muestra número 5

TABLA RESUMEN MATERIAL CAPA BASE										ENSAYO N°	5			
GRANULOMETRÍA AASHTO T 27										DOCIFICACION %	58 ESCOMB.	42 FINO	CLASIFICACION	A-1a(0)
Peso total seco (grs.)		9009.23		Muestra pasa tamiz Nº 4		587.05				CARACTERISTICAS				
Tamiz	Tamaño	Retenido	Retenido	% Retenido	% Queda	Especific.								
Nº	Mm.	Tamiz (grs.)	Acum. (grs.)	Tamiz	Pasa									
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100		PROCTOR Densidad Maxima Kg/m ³ 2154 Humedad Optima % 7.73						
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100-100		SOPORTE CALIFORNIA C.B.R. DENSIDAD AL95% gr/m ³ 2.046 CBR AL 95% % 74.60						
1"	25.40	1585.00	1585.00	17.59	82.41	75-95		DESGASTE LOS ANGELES Desgaste % 34						
3/4"	19.05	1304.00	2889.00	14.47	67.93			EQUIVALENTE DE ARENA Equivalente de arena % 23						
3/8"	9.53	1431.00	4320.00	15.88	52.05	40-75		MODULO RESILIENTE Mr psi 40360						
4	4.80	1480.00	5800.00	16.43	35.62	30-60								
10	2.00	92.00	92.00	15.67	30.04	20-45								
40	0.42	128.80	220.80	21.94	22.22	15-30								
200	0.07	199.20	420.00	33.93	10.14	5-15								
LIMITES DE ATTERBERG (Limite liquido)AASHTO T-89														
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	%de hum.	Nº de Golpes							
42	43.80	40.15	3.65	22.18	17.97	20.31	6							
5	42.50	39.15	3.35	22.18	16.97	19.74	8							
LIMITES DE ATTERBERG (Limite Plastico)AASHTO T-90														
										N.P.				

NORMA	CODIGO	CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	VALOR	CUMPLE
AASHTO	T -180	DENSIDAD	AL 95% > 1,994gr/cm ³	2.046	✓
AASHTO	T -193	CBR	AL 95% > 72.9%	74.6	✓
AASHTO	T - 96	DESGASTE LOS AN.	< 40%	34	✓
AASHTO	T - 176	EQUIVALENTE ARE.	< 25%	23	✓
AASHTO	T - 93	MODU. RESILIENTE	23625-82550 psi	40360	✓

Fuente: Elaboración propia

En la capa base se tiene densidad con un valor 2.046 mayor a 2 supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³ que se da por una buena distribución de partículas en diferentes medidas.

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado nos dio el siguiente resultado 74.60 % cumpliendo la especificación que indica 72.9% como mínimo, siendo el parámetro que nos indica que nuestro material tiene buena respuesta a la compactación, logrando buen acomodo de partículas.

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango: Muestra 5 con valor de módulo resiliente igual 40360psi. dentro el rango 23625-82550psi. Norma AASHTO T – 93, resultado que nos muestra la aptitud del material granular procedente de una demolición para ser reutilizado en la conformación de capa base.

4.2.2.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS CAPA BASE CONTRASTANDO MUESTRAS

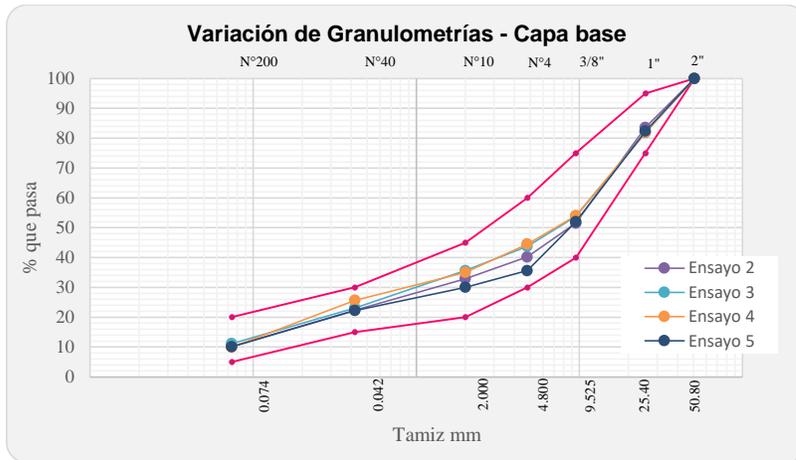
En la capa base se puede notar que la densidad con un valor mayor a 2 para los 4 ensayos supera a la especificación que es 1.994 gr/cm³.

Tabla 4.11 Características capa sub base contrastando muestras capa base

Variación de Características de acuerdo a Dosificación – Capa base					
Número de Ensayo		2	3	4	5
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	% Que pasa			
3"	76.20	100	100	100	100
2"	50.80	100	100	100	100
1"	25.40	83.6	81.8	81.9	82.4
3/4"	19.05	68.9	67.3	65.5	67.9
3/8"	9.53	51.5	53.8	54	52
4	4.80	40.2	43.8	44.5	35.6
10	2.00	32.9	35.6	35	30
40	0.42	22.3	23.1	25.6	22.2
200	0.07	10.2	11.2	10	10.1
PROCTOR T-180	Densidad (Kg/m ³)	2150	2157	2160	2154
	Humedad (%)	7.8	7.6	7.5	7.7
CBR	90	56.6	52.2	50.8	53
	95	75.6	71.5	72.9	74.6
	100	94.6	90.9	95	96.2
	EXP 100%	0.12	0.1	0.12	0.13

Fuente: Elaboración propia

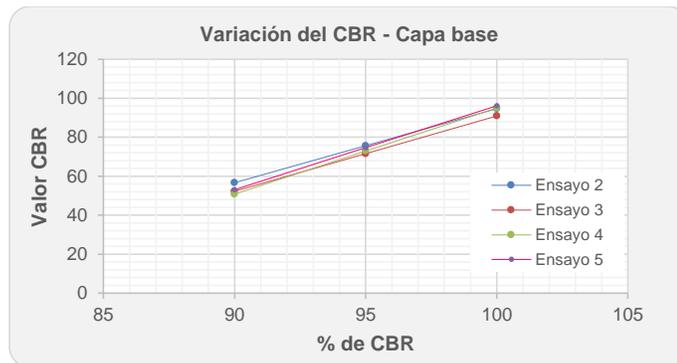
Gráfica 4.4 Variación granulometría para las cuatro muestras capa base



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al valor del CBR tenemos que el material ensayado cuatro veces nos dio el siguiente resultado que cumple 73.66 % cumpliendo la especificación que indica 72.9% como mínimo.

Gráfica 4.5 Variación CBR para las cuatro muestras capa base



Fuente: Elaboración propia

Al final podemos notar que el módulo resiliente obtenido a partir del CBR y con ayuda de formula nos da valores dentro del rango:

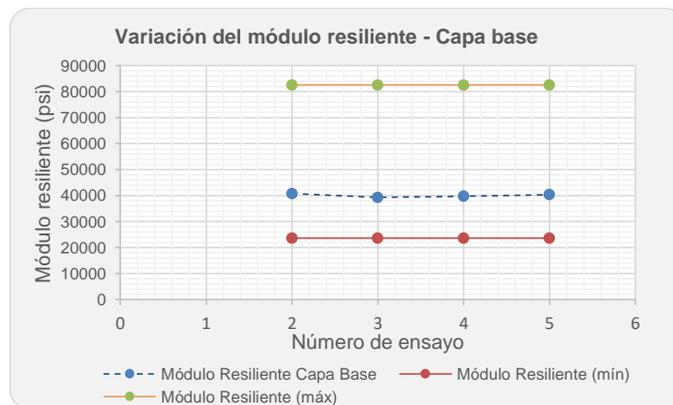
Tabla 4.12 Verificación de resultados módulo resiliente capa sub base

N° ENSAYO	MÓDULO RESILIENTE (psi) - CAPA BASE		
	Ensayo	Mín	Máx
2	40705	23625	82550
3	39294	23625	82550
4	39766	23625	82550
5	40360	23625	82550

* Valor mínimo y máximo de acuerdo a Norma AASHTO T-93

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.6 Variación módulo resiliente para las cuatro muestras capa sub base



Fuente: Elaboración propia

4.3. APORTE ACADÉMICO

Este trabajo se elabora como modalidad de egreso a nivel licenciatura en ingeniería civil pero principalmente se busca aportar al conocimiento de forma académica.

De igual forma se toma en cuenta el efecto que puede tener en el futuro ya que en nuestro medio todo material que es demolido es desechado haciendo de lado el potencial que tiene como agregado al estar conformado por el mismo.

Luego que los ensayos el aporte académico que centrado en la aprobación de los desechos de hormigón producto de demoliciones para la conformación de capas.

Capa base si se puede usar previos ensayo en laboratorio ya que los resultados obtenidos indican inmediata proximidad a los valores mínimos indicados por la norma, por lo que el material debería ser ensayado previamente.

Capa sub base para la conformación de esta capa se los valores obtenidos de los ensayos superan con mayor comodidad los valores mínimos lo que nos da como certeza que se puede usar para conformar esta capa incluso sin previo ensayo.

Al momento de considerar el desecho de hormigón para la conformación de las capas base y sub base en ambos casos cumple con el módulo resiliente tendiendo un valor de 40031psi para capa base y 36943 psi para capa sub base, estando dentro de la especificación.

Siendo este el parámetro principal de estudio se sostiene que el comportamiento de los residuos de construcción y demolición, representados para este estudio por hormigón demolido tiene un valor módulo resiliente aceptable conformando la capa base y sub base en un pavimento vial.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se cumplió con los objetivos planteados y se consiguió los resultados esperados que era de analizar el comportamiento resiliente para capa base y sub base mediante esta técnica de estabilización con material reciclado, Haciendo un análisis del Reciclado en su dureza y viabilidad como material granular.

A continuación se describe las conclusiones obtenidas.

- Se cumplió con el objetivo principal que era el de analizar el comportamiento resiliente del material para capa base, teniendo un valor promedio de 40031psi. y sub base, con valor promedio de 36944psi. formando las capas estabilizadas, conseguimos la estabilización del material de acopio mejorando ciertas características como el CBR y el aumento de material granular de la mezcla.
- En cuanto a la viabilidad este proceso puede ser aplicable en nuestro medio siempre y cuando los materiales de demolición que forman parte de una construcción sean acopiados en grandes cantidades para ser usados en lugares próximos a la obra vial, se puede indicar que este método puede llegar a ser aplicado en nuestro país para la conformación de las capas base en proporción de 58% escombros 42% fino y sub base con 68% escombros 32% fino, teniendo presente que el suelo fino utilizado en esta mezcla tiene una clasificación A-2-4(0) arena limosa.
- Se obtuvo mayor conocimiento sobre esta técnica de estabilización y mejoramiento de capas base con CBR 73.66% y sub base 64.98% para carreteras, se pudo demostrar que esta técnica puede ser viable en nuestro medio.
- En cuanto a la parte teórica se realizó una recopilación sobre el reciclado en obra de material demolido, donde vimos las formas de posible aplicación de estos desechos en el proceso de ejecución, corroborada con ensayo de equivalente arena igual a 23% para capa base y sub base.

- La maquinaria apta para el reciclado no son especializadas ya que para ajustar la granulometría de ser necesario se usara una chancadora, corroborando con ensayo desgaste de los ángeles con un valor igual a 34% para capa base y sub base.
- Se cumplió con el objetivo de describir las ventajas del reciclado de los desechos de construcción en la conformación de una capa base y sub base estabilizada, una las ventajas principales es el aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra, ya que los materiales envejecidos pueden ser reutilizados utilizando una técnica adecuada para la conformación de capas del firme, otra ventaja es en la parte económica porque los materiales en desecho son de costo bajo, sienten los únicos posibles el transporte, mezclado y en algunos casos el chancado.
- Otro de los objetivos era de realizar los ensayos de laboratorio tanto del material de acopio para capa base y sub base, los ensayos de laboratorios correspondientes al material estabilizado se lo realizo en el laboratorio de la Universidad Juan Misael Saracho así como también el laboratorio del material de fino. Se comparó los resultados obtenidos de ambos laboratorios donde observamos el aumento del porcentaje de agregado grueso en el material estabilizado en comparación con el material fino natural que no permitía su utilización en las capas, además que con esta técnica de estabilización se logró mejorar el porcentaje de CBR y la densidad de compactación del material para la conformación de capa base y sub base.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar la caracterización del suelo fino y el material demolido para realizar una dosificación adecuada teniendo en cuenta que la dosificación estará en función a la clasificación de suelo fino.
- La separación de los materiales demolidos es muy importante ya que en una demolición hay muchos y distintos tipos de materiales, de los cuales debemos trabajar solo con los más duros y granulares.
- Se recomienda que los ensayos de laboratorio destinados a la caracterización del material demolido para capa base y sub base se realice en el mismo laboratorio y con los mismos laboratoristas para evitar variaciones en el rendimiento y en la calidad de los ensayos correspondientes.
- Otra recomendación importante es la realización de la evaluación de los desechos ya que en la obra puede existir distintos tipos de materiales mezclados.
- Mediante este proyecto se pudo ver la mejora en las características del material y que esta técnica puede llegar a ser más económica y de más rápida ejecución lo que se recomienda es ponerla en práctica en la construcción de nuestras carreteras que son requeridas en gran medida en nuestro país.