

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL

"DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO CON REFORZAMIENTO DE GEOSINTETICOS APLICADO A UN TRAMO DE LA CARRETERA ZUMBAHUA- LA MANÁ"

GAVILANES DAVILA NYDIA ESTEFANIA

QUITO, 2012

Agradecimiento

Ha llegado a su fin una etapa importante en mi vida, la culminación de mi carrera universitaria, por eso quiero agradecer a todas las personas que han compartido y han apoyado junto a mí para conseguir este gran logro.

A Dios, Señor te agradezco me hayas dado salud, vida, inteligencia, la oportunidad de poder estudiar, de compartir y conocer muchas personas a lo largo de mi carrera, me diste nuevas experiencias y fuerzas para superar todas las adversidades que se cruzaron en mi camino para así poder cumplir una más de mis metas.

A mis padres, a mi hermana, a mi nana Rosy, les agradezco por todo el amor, la confianza, la paciencia, la comprensión, los sabios consejos que día a día me brindan, por su esfuerzo y apoyo incondicional en buenos y malos momentos, por sus palabras de ayuda para salir de los problemas y volver a la lucha, gracias por ser mi ejemplo, mi estimulo de estudio y mi guía, por inculcarme valores y darme responsabilidades, gracias por hacer de mi lo que soy.

A la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

A los ingenieros Juan Carlos Montero, Gustavo Yánez y Ricardo Salvador, por su trabajo como director y correctores respectivamente, por sus

enseñanzas, motivación y generosa ayuda para la culminación de esta disertación.

A mis profesores que me han guiado a lo largo de este camino.

A mi familia y amigos quienes estuvieron siempre bridándome su apoyo incondicional.

Dedicatoria

A Dios por ser mi guía, mi aliento, el ser que siempre estuvo ahí confiando en mí, para que siga adelante y cumpla con mis metas, gracias a la fortaleza y sabiduría que me transmitió para superar todos los obstáculos y así llegar triunfante al fin.

A mis padres, y hermana, por ser las personas que compartieron junto a mí momentos de felicidad, de angustia y tristeza, quienes me impulsaron a seguir adelante, e inculcaron en mi los valores y virtudes que hoy hacen de mi la persona que soy, por su apoyo y comprensión incondicional.

A Rosy, porque sé que desde el cielo seguirás a mi lado guiándome y cuidándome como siempre, porque eres mi segunda madre y fuiste un gran apoyo, ejemplo y sobretodo mi aliento para seguir adelante por la confianza y fe que tuviste en mí para que pueda culminar exitosamente mi carrera.

A mis familiares, amigos y a todas aquellas personas que siempre estuvieron aportando en el transcurso de mi vida.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN xi
CAPITULO I 1
1.1. ANTECEDENTES 1
1.2. CAMINOS DEL ECUADOR 3
1.2.1. Red Vial Estatal del Ecuador 3
1.2.1.1. Vías Primarias 4
1.2.1.2. Vías Secundarias 4
1.2.2. Red Vial Provincial 5
1.2.3. Red Vial Cantonal 5
1.3. PAVIMENTOS 5
1.3.1. HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS 6
1.3.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES, RIGIDOS, Y REFORZADOS CON GEOMALLA 9
1.3.2.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES 9
1.3.2.2. PAVIMENTOS RIGIDOS 10
1.3.2.3. PAVIMENTOS REFORZADOS CON GEOMALLA 11
1.3.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO 12
1.3.3.1. SUB- RASANTE 13
1.3.3.2. SUB-BASE 14
1.3.3.3. BASE 16
1.3.3.4. CAPA DE RODADURA 19
Carpeta Asfáltica 19
1.3.4. APLICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS 23

1.3.4.1. Pavimento Flexible 23

1.3.4.2. Pavimento Rígido 24

1.3.4.3. Pavimento Reforzado con Geomalla 24

1.4. GEOSINTETICOS 25

1.4.1. DEFINICION DE GEOSINTETICOS 25

1.4.2. HISTORIA DE LOS GEOSINTETICOS 26

1.4.3. TIPOLOGIA, CLASIFICACION Y APLICACIONES 27

1.4.3.1. GEOTEXTILES (GT) 27

1.4.3.2. GEOMALLAS O GEOREDES (GN) 31

1.4.3.3. GEOMEMBRANA (GM) 31

1.4.3.4. GEOGRILLAS (GG) 33

1.4.3.5. GEOMANTAS (GA) 34

1.4.3.6. GEOCELDAS (GL) 35

1.4.3.7. GEOCOMPUESTOS (GC) 35

1.4.3.8. BIOTEJIDOS (BT) 36

1.4.3.9. BIOMANTAS (BA) 36

1.5. FUENTES DE MATERIALES 39

1.5.1 ANALISIS DE MINAS 39

1.5.2. LOCALIZACION Y POTENCIACION 42

CAPITULO II 45

TRAFICO 45

2.1. CONCEPTO 45

2.2. TIPOS DE VEHICULOS 46

2.3. CONTEO VEHICULAR Y TPDA 46
2.3.1. TRAFICO VEHICULAR EXISTENTE 47
2.3.1.1. TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL EXISTENTE (TPDA) 47
2.3.1.2. TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL GENERADO 48
El TPDA generado determinado por la Empresa se presenta a continuación: 48
2.3.1.3. ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO 49
2.3.2. PROYECCION DEL TPDA ASIGNADO AL ROYECTO 51
2.4. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES (ESAL’s)..... 52
2.4.1. CONFIGURACIÓN DE EJES..... 52
2.4.2. CLASIFICACION DE LOS VEHICULOS 53
2.4.3. FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE 54
2.4.4. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES (ESAL´S)56
CAPITULO III 57
ENSAYOS 57
3.1. DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS BAJO NORMAS 57
3.1.1. ENSAYOS DE CAMPO..... 57
3.1.1.1. ENSAYO D.C.P (ASTM 6951-03) 57
3.1.1.2. PRUEBA DE PLACA (ASTM D1194) 59
3.1.2. ENSAYOS DE LABORATORIO 61
3.1.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216, AASHTO 265) 61

3.1.2.2. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO(AASHTO T-88, ASTM D-422) 63

3.1.2.3. LIMITE LÍQUIDO (LL) (AASHTO T -89, ASTM D 4318)..... 65

3.1.2.4. LIMITE PLÁSTICO (AASHTO T-90, ASTM D 4318) 67

3.1.2.5. INDICE DE PLASTICIDAD..... 69

3.1.2.6. CLASIFICACION DE SUELOS (AASHTO M-145) 69

3.1.2.7. ABRASION (AASHTO T 96-60; ASTM C131)..... 73

3.1.2.8. PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T180-01, ASTM D1557-70)..... 75

3.1.2.9. C.B.R (ASTM D 1883-73)..... 77

3.1.2.10. MODULO DE RESILIENCIA (Mr)..... 81

3.1.2.11. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ASTM C 128; AASHTO T 84) 82

3.1.2.12. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C 127; AASHTO T 85) 84

3.1.2.13. RESISTENCIA A LOS SULFATOS NORMAS (ASTM C 88, AASHTO T 104)..... 87

3.1.2.14. CARAS FRACTURADAS (ASTM D 5821) 91

3.1.2.15. MEZCLA EN CALIENTE 92

3.1.2.16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LAS BRIQUETAS Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS NO ABSORVENTES (ASTM D 2726) 94

3.1.2.17. ENSAYO RICE (ASTM D 2041, AASHTO T 209) 95

3.1.2.18. DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO MARSHALL (ASTM D 1559, AASHTO T 225) 97

3.2.1. ENSAYOS DE CAMPO 102

3.2.1.1. D.C.P 102

3.2.1.2. PRUEBA DE PLACA 106

3.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO 108

3.2.2.1. ENSAYOS DE LA SUB-RASANTE 108

3.2.2.2. ENSAYOS PARA SUB-BASE CLASE 3 124

3.2.2.3. ENSAYOS DE LA BASE CLASE 2 132

3.2.2.4. ENSAYOS DE LA CARPETA ASFALTICA 140

3.2.3.5. ESPECIFICACIONES DEL GEOTEXTIL Y LA GEOMALLA GEOTEXTIL MACTEX N 40.1 155

CAPITULO IV 163

DEFORMACIONES DINAMICAS 163

4.1. VIGA BENKELMAN 163

CAPITULO V 170

DISEÑO DE PAVIMENTOS 170

5.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR LA AASHTO 93 170

5.1.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO POR LA AASHTO 93 (En función del Número Estructural de la Sub-rasante) 186
5.1.2 DISEÑO DE LA ESTRUTURA DEL PAVIMENTO POR ANALISIS DEL DISEÑO POR CAPAS 191
5.2 METODO SHELL PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 196
5.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO CON GEOMALLA..... 205
5.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO METODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) 211
CAPITULO VI..... 217
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS 217
6.1. COSTO DEL DISEÑO TRADICIONAL Y DEL DISEÑO REFORZADO 20 AÑOS 217
6.2. COSTO DEL DISEÑO TRADICIONAL Y DEL DISEÑO REFORZADO 10 AÑOS 218
CAPITULO VII..... 220
7.1. CONCLUSIONES 220
7.2. RECOMENDACIONES..... 226
ANEXO A (METODO SHELL)..... 227
ANEXO B (METODO P.C.A)..... 228

RESUMEN

El presente estudio es un análisis sobre el diseño de la estructura del pavimento tradicional y la estructura del pavimento reforzada con geomalla biaxial aplicada a un tramo de la carretera Latacunga – Zumbahua – La Mana.

Para realizar el diseño de la estructura del pavimento no reforzada y reforzada se requiere del estudio, análisis y recopilación de una serie de parámetros para poder calcular los espesores de las capas que van a conformar estas estructuras, dichos parámetros son el análisis del clima de la zona, el análisis del tráfico vehicular que existió antes de la ampliación de la carretera, el trafico que se va a generar con la ampliación de la misma y el trafico que se va asignar a esta para determinar el diseño más adecuado, se realizo varios ensayos en campo y en laboratorio para determinar el tipo de suelo predominante en el tramo experimental, se determino la densidad máxima y humedad optima del tramo para calcular la capacidad portante que tiene el suelo y obtener el valor del CBR de diseño, se realizo ensayos para clasificar al material granular que se utilizo en las capas granulares mediante las especificaciones del Ministerio de Transportes y Obras Publicas, se realizo el ensayo de Estabilidad Marshall entre otros para obtener las características de la mezcla asfáltica que va a conformar la estructura.

Como ensayo comprobatorio se realizo la prueba de la Viga Benkelman en campo a nivel de base granular para determinar las deflexiones que sufre el pavimento y estas se encuentren dentro de los límites establecidos.

Se realizo el diseño de pavimentos tradicional en base a varios Métodos como la AASHTO 93 en base al número estructural de la sub rasante y Análisis por Capas, Método Shell, y el diseño reforzado mediante el Método de la Tensar en base al diseño tradicional por la AASHTO 93.

Se realizo como alternativa de diseño pavimento rígido con el Método de la Portland Cement Association, parámetros que fueron determinados con ensayos en campo mediante la Prueba de la Placa de Carga para determinar el coeficiente de balasto y mediante tablas donde establecen correlaciones con el CBR.

Cada método de diseño contiene los anexos y fórmulas para el cálculo de los espesores respectivos, junto con gráficas agregadas que indican la estructura de cada uno.

CAPITULO I

1.1. ANTECEDENTES

Una carretera es una vía de comunicación de uso público, construida especialmente para la circulación de vehículos.

En la presente tesis se va a realizar el estudio en un tramo experimental de 100 metros de la carretera Latacunga - Zumbahua - La Maná, aplicada al tramo Latacunga - Pujili, que forma parte de la Red Vial Estatal del país, conformando el corredor vial Latacunga, ubicada en la Provincia de Cotopaxi, integrando la vía transversal central E30 que une las Regiones de la Sierra Central con la Región Costa.

Se realiza el estudio para este tramo de carretera, ya que en este sector se encontraron suelos blandos y con presencia de nivel freático elevado, los más representativos para la comparación entre la estructura de pavimento flexible tradicional y la reforzada con geomalla a nivel de sub-rasante.



Imagen N°1. Tramo Latacunga- Pujilí

UBICACIÓN DE LA CARRETERA

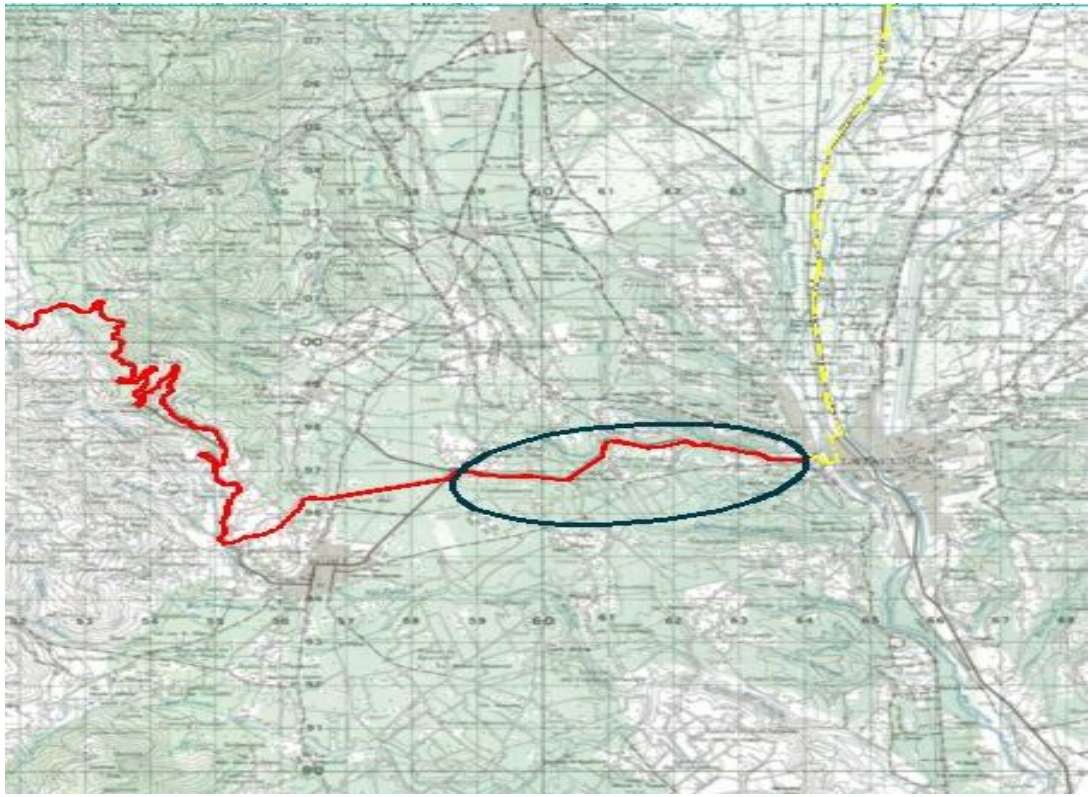


Imagen N° 2. Instituto Geográfico Militar

Tramo Latacunga- Pujilí (6Km.)

1.2. CAMINOS DEL ECUADOR

La Red Vial Nacional del Ecuador está formada por el conjunto de carreteras y caminos de uso público, los cuales deben estar sujetos a normas establecidas por el MTOP. Esta red está formada por la Red Vial Estatal, la Red Vial Provincial, y la Red Vial Cantonal, y tiene aproximadamente una longitud de 43.197,37 Km.

1.2.1. Red Vial Estatal del Ecuador

Esta red vial está formada por las vías primarias y secundarias, que son las que tienen mayor tráfico vehicular y las encargadas de comunicar a las capitales de provincia, a las cabeceras de cantón, los puertos de frontera internacional con o sin aduana.

La longitud total de la Red Vial Estatal es de aproximadamente 8.672,10 km.

La Red Vial Estatal está constituida por todas las vías administradas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas como única entidad responsable del manejo y control de las mismas. [1]

[1] Fuente: www.mtop.gov.ec
Sitio web del Ministerio de Transporte y Obras Publicas

1.2.1.1. Vías Primarias

Las vías primarias o Arteriales, son aquellas que están integradas por las rutas que comunican las capitales de provincia, los cruces de frontera, y puertos, por lo cual tienen un gran movimiento vehicular, y accesibilidad controlada. Constan de 12 vías primarias con aproximadamente un 66% de la longitud total de la Red Vial Estatal.

Se las denomina con un nombre propio, un código conformado por la letra E, un numeral de uno a tres dígitos.

Se conoce como troncal cuando una vía primaria tiene dirección Norte-Sur, cuyo numeral está conformado por dos dígitos impares, excepto la Troncal Insular y son enumeradas de manera creciente desde el Oeste hacia el Este. Por el contrario se conoce como vía Transversal si tiene dirección Este-Oeste, cuyo numeral tiene dos dígitos pares, y se enumeran incrementalmente desde el Norte hacia el Sur.

1.2.1.2. Vías Secundarias

Las vías secundarias o colectoras, están conformadas por las rutas que transportan el tráfico vehicular ya sea de una zona urbana o rural a las vías primarias. Conformada por 42 vías secundarias con aproximadamente un 33% de la longitud total de la Red Vial Estatal.

Están denominadas con un nombre propio dado por las ciudades que comunican, tienen un código compuesto por la letra E, un numeral de dos o tres dígitos el cual es impar cuando se tiene sentido Norte - Sur y par cuando se tiene una dirección Este - Oeste, y son enumeradas de manera creciente de Este a Oeste y de Norte a Sur respectivamente.

1.2.2. Red Vial Provincial

La Red Vial Provincial está conformada por las vías terciarias, y por caminos vecinales, las cuales conectan cabeceras de provincia y zonas de producción con los caminos de la Red Vial Nacional, están regidas por cada Consejo Provincial.

1.2.3. Red Vial Cantonal

La Red Vial Cantonal es el conjunto integrado por las vías urbanas e interparroquiales, estas vías comunican cabeceras de parroquias y zonas de producción con los caminos de la Red Vial Nacional, de reducido tráfico, controladas por cada Consejo Municipal.

1.3. PAVIMENTOS

El pavimento es un conjunto de capas de material clasificado que son colocadas una sobre otra en el terreno natural, con el objeto de aumentar la

resistencia del suelo, debido a que este está sometido a cargas de tráfico, las cuales son transmitidas a los diferentes estratos, por lo cual se debe proporcionar una superficie de rodamiento buena para así evitar las posibles fallas y agrietamientos.

En la estructura del pavimento se colocan los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, y los de menor calidad en las capas inferiores. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la conforma, sino también del procedimiento constructivo, siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, se producen deformaciones permanentes.

1.3.1. HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS

El hombre para la construcción de los primeros caminos y para la fabricación de otros materiales para la construcción utilizó la piedra debido a sus características, tales como la resistencia y la decoración.

Los griegos fueron los primeros en utilizar la cal para el revestimiento de muros.

A mediados del siglo XVIII se produce un gran avance con el estudio de las cales, donde se apreció que el uso de las cales fabricadas de las calizas que contenían una determinada proporción de arcilla en su composición, producían morteros de mayor resistencia, los cuales podían fraguar bajo el agua.

Al final del siglo XIX, en Estados Unidos se realizaron trabajos sistemáticos y científicos sobre la composición del cemento Pórtland.

Los romanos estudiaron los beneficios que ofrecía el hormigón, fabricado de morrillo mezclado con cemento de arena volcánica (puzolana) y arcilla, permitiendo realizar estructuras complejas.

Posteriormente se introduce el acero al hormigón para mejorar sus propiedades, dando lugar al hormigón armado.

En la Edad Media se pavimentaba con losas de piedra aunque no de manera tan frecuente. A finales del siglo XVIII se desarrolla la tecnología de los pavimentos urbanos por razones de higiene, mejora del transporte, utilizando el pavimento de adoquín.

En el año 3.800 A.C. mediante excavaciones arqueológicas, se determinó que en Mesopotámia, se utilizaba asfalto natural, el cual se encuentra en la naturaleza en forma de yacimientos, siendo utilizado para impermeabilizar estanques y depósitos de agua o como mortero para unir ladrillos o piedras.

Las rocas asfálticas son rocas porosas saturadas de asfalto natural, utilizadas en Francia, Inglaterra y en Filadelfia para pavimentar suelos, puentes y aceras.

A principios del siglo XIX se utiliza el alquitrán en riegos para pavimentar calles.

Posteriormente, en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales.

El pavimento asfaltico tuvo su auge y desarrollo tecnológico durante la II Guerra Mundial debido a las necesidades de construcción de pistas de aeropuertos militares.

A mediados del siglo XX, se comienza a utilizar en las vías urbanas las mezclas de asfalto en varias capas para cubrir los antiguos pavimentos de piedra.

A finales del último tercio del siglo XX, se emplean innovaciones, como son el micro aglomerado, pavimentos drenantes, entre otros adaptados a las diferentes necesidades.

1.3.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES, RIGIDOS, Y REFORZADOS CON GEOMALLA

1.3.2.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Pavimento conformado por una o varias capas, la de rodadura compuesta por agregados mezclados con concreto asfáltico, de espesor mínimo 25 mm, colocada sobre capas de sustentación como base y sub-base granular, tiene un periodo de vida útil entre 10 y 20 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.

Este pavimento es más económico en su construcción inicial, y está compuesto principalmente de la carpeta asfáltica, de la base, de la sub-base y de la sub-rasante.

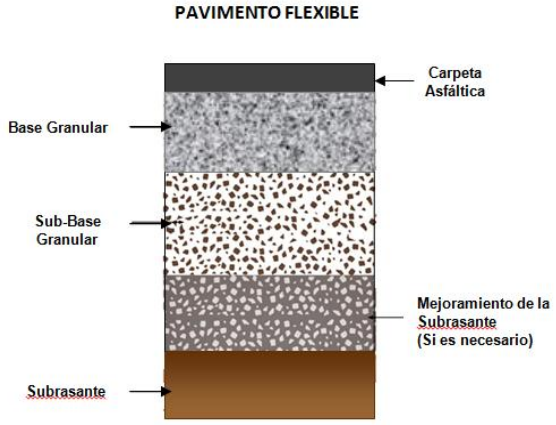


Imagen N° 3.

En pavimentos donde existe poco a regular tránsito, se coloca una capa de un solo espesor y en pavimentos donde existe transito intenso y pesado, el espesor de la carpeta asfáltica está dividida en: Carpeta de desgaste y Capa de Liga.

1.3.2.2. PAVIMENTOS RIGIDOS

Los pavimentos rígidos, son aquellos formados por concreto, los cuales reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área de la sub-rasante. Están conformados por una losa de hormigón, que tiene un comportamiento estructural de viga, la cual absorbe toda la carga, debido a la rigidez y al módulo elástico elevado que posee, y por sub-base granular, son aptos para las calles de ciudades o en plantas industriales.

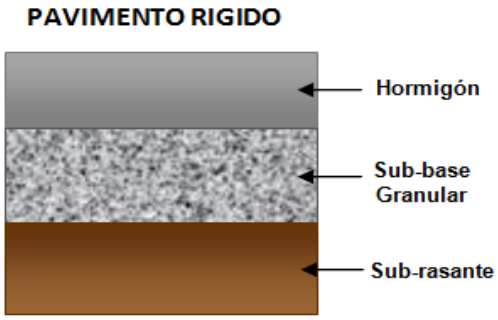


Imagen N° 4.

Clases de Pavimento Rígido

- Pavimentos de concreto simple
- Pavimentos de concreto reforzado (refuerzo continuo)
- Pavimentos de concreto preesforzado.

- Pavimentos de concreto reforzado con fibras cortas de acero.

La mayor dificultad es el diseño y construcción de las juntas, las cuales sirven para conocer los cambios de volumen, que se producen por las variaciones bruscas temperatura.

1.3.2.3. PAVIMENTOS REFORZADOS CON GEOMALLA

En nuestro medio existen gran variedad de suelos, clasificados en función de sus propiedades mecánicas, químicas, físicas e incluso de conformación.

Un tipo de suelo que hay en nuestro medio, son los blandos, pantanosos o con baja capacidad de carga, por lo cual tienden a deformarse, siendo de peligro para las estructuras que van a ser construidas sobre este.

Existen mecanismos de falla que provocan las deformaciones, agrietamientos o hundimientos del terreno, como cuando un suelo soporta un esfuerzo de compresión vertical, generando en él una deformación.

Por lo tanto podemos decir que el suelo está expuesto a varias fallas, para lo cual se procede a reforzarlo, con geotextil y geomalla biaxial, elementos que permiten estabilizar a los suelos, incrementar la capacidad de carga, resolver situaciones de nivel freático superficial, entre otros; permitiendo disminuir el tiempo de ejecución, mano de obra, costos, las deformaciones causadas

para lo cual se absorben los esfuerzos generados, ya que el uso del geotextil actúa como un filtro y evita la contaminación de los materiales entre sí, y la presencia de la geomalla provee un confinamiento lateral en las partículas del suelo aumentando su resistencia a la tensión, por lo cual se vuelve un suelo más estable, por lo tanto más resistente y apto para realizar la construcción de alguna estructura sobre el mismo.

PAVIMENTO REFORZADO CON GEOSINTETICOS



Imagen N° 5. Maqueta del pavimento reforzado

1.3.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Los pavimentos son superficies de rodamiento, con bases granulares y en algunos casos sub-bases granulares. Las capas que constituyen la estructura del pavimento se detallan a continuación:

1.3.3.1. SUB- RASANTE

Sub-rasante se denomina al suelo que sirve como cimiento para toda la estructura de un pavimento.

Para realizar el diseño de pavimentos debemos estudiar las propiedades físicas - mecánicas de la subrasante mediante ensayos realizados en laboratorio como lo son el contenido de humedad, granulometría, limite liquido, limite plástico, para poder clasificar al material, Ensayo de Compactación (Proctor Modificado), CBR para determinar la capacidad portante que tiene el material, y ensayos de campo como el D.C.P y la Prueba de Placa de Carga, los cuales nos ayudaran a identificar si el suelo es apto para realizar la construcción en el o si necesita algún tipo de mejoramiento.

Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías:

1.-Propiedades físicas: son usadas para la selección de materiales, especificaciones constructivas y control de calidad.

2.- Propiedades mecánicas: dan una estimación de la calidad de los materiales para caminos.

1.3.3.2. SUB-BASE

Pavimento Flexible

La capa de Sub-base para pavimento flexible tiene la función primordial de soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas vehiculares a través de las capas superiores y transferirlos adecuadamente a las capas inferiores. Esta capa tiene la ventaja de ahorrar dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base, lo que impide que el agua de las terracerías ascienda y evita que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante, evitando en lo posible las deformaciones.

Existen tres tipos de Sub-base:

- Clase 1: Son construidas con agregados obtenidos por trituración de rocas o gravas, y son graduados uniformemente dentro de los límites establecidos en la Tabla N°1 anexada a continuación. Por lo menos el 30% del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración. [2]
- Clase 2: Son construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas

[2] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 403, Sub-bases, Pág. IV 315.

naturalmente o de gravas, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados en la Tabla N°1 anexada a continuación. [3]

- **Clase 3:** Son construidas con agregados naturales procesados y que se hallen graduados dentro de los límites indicados en la Tabla N°1 anexada a continuación. [4]

TABLA N° 1. ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS[5]

TAMIZ	% en peso que pasan los tamices		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3"			100
2"		100	
1 1/2"	100	70 a 100	
N°4	30 a 70	30 a 70	30 a 70
N°40	10 a 35	15 a 40	
N°200	0 a 15	0 a 20	0 a 20

Especificaciones MTOP

Pavimento de Concreto

La capa de Sub-base para pavimento rígido sirve como capa de transición para generar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento, cuya función primordial es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y bordes del pavimento, además de tener una función complementaria de una mala sub-rasante, usada en los siguientes casos:

[3] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 403, Sub-bases, Pág. IV 315.
[4] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 403, Sub-bases, Pág. IV 316.
[5] Especificaciones MTOP-001-F-2002, TOMO I, Pág. IV -316

- Cuando hay transito intenso.
- Si el suelo de la sub-rasante es fino y plástico y tiene categoría regular o pobre, es decir aumenta la capacidad de soporte de la sub-rasante.
- Para contrarrestar los cambios volumétricos, como la expansión y contracción excesivas del suelo de la sub-rasante.
- Proteger de las heladas.
- Para mejorar el drenaje y reducir al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.

Por lo tanto, si el suelo de la sub-rasante es bueno o si el pavimento no soportará tránsito intenso, no se usa la capa de sub-base. En todo caso, una sub-base de 10 a 12 cm de espesor, es suficiente para corregir una mala sub-rasante en condiciones normales de tránsito.

1.3.3.3. BASE

Pavimento Flexible

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento, la estabilización para poder resistir las cargas del

tránsito sin deformarse, además de transmitirlas con la intensidad apropiada a las capas inferiores.

Existen cuatro clases de bases:

- Clase 1: Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% y graduados uniformemente dentro de los limites granulométricos anexados en la Tabla N°2 para los tipos A y B.[6]

- **Clase 2:** Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos 50% en peso. Estas bases deberán hallarse graduadas dentro de los parámetros granulométricos indicados en la Tabla N°2.

  El proceso de trituración que emplee el Contratista será tal que se obtengan los tamaños especificados directamente de la planta de trituración. Sin embargo, si hace falta relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación podrá complementarse con material procedente de una trituración adicional, o con arena fina, que serán mezclados preferentemente en planta.[7]

[6] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 404, Bases, Pág. IV 328.
[7] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 404, Bases, Pág. IV 328.

- Clase 3: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos 25% en peso, y deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los limites granulométricos indicados en la Tabla N°2.[8]

- Clase 4: Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, y graduadas uniformemente dentro de los limites granulométricos indicados en la Tabla N°2.[9]

TABLA N° 2. ESPECIFICACIONES GRANULOMETRCIAS[10]

TAMIZ	% En Peso que Pasa a través de los tamices				
	BASE CLASE 1		BASE CLASE 2	BASE CLASE 3	BASE CLASE 4
	TIPO A	TIPO B			
2”	100				100
1 ½”	70 a 100	100			
1”	55 a 85	70 a 100	100		60 a 90
¾”	50 a 80	60 a 90	70 a 100	100	
3/8”	35 a 60	45 a 75	50 a 80		
N°4	25 a 50	30 a 60	35 a 65	45 a 80	20 a 50
N°10	20 a 40	20 a 50	25 a 50	30 a 60	
N°40	10 a 25	10 a 25	15 a 30	20 a 35	
N°200	2 a 12	2 a 12	3 a 15	3 a 15	0 a 15

Especificaciones MTOP

[8] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 404, Bases, Pág. IV 328 - 331
[9] Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP-001-F-2002, TOMO I, Estructura del Pavimento, Sección 404, Bases, Pág. IV 329.
[10] Especificaciones MTOP-001-F-2002, TOMO I, Pág. IV-331

1.3.3.4. CAPA DE RODADURA

Es la capa superior del pavimento, debe resistir las presiones verticales de contacto aplicadas por los neumáticos, las tensiones tangenciales de frenado, etc.

La calidad de los materiales que constituyen la capa de rodadura, está relacionada con la gran importancia de las solicitaciones a la que se ve sometida.

Carpeta Asfáltica

Capa o capas conformadas por agregados granulares y asfalto, colocados sobre la capa de base, la cual debe proporcionar una superficie con un tipo de textura definido, que asegure una buena resistencia al deslizamiento de los neumáticos, que sea uniforme, segura y estable para el usuario.

Debe ser resistente al desgate como a la fractura para soportar las distintas cargas, debe ser antiderrapante y no deformarse.

En pavimentos de poco a regular transito se coloca una carpeta de un solo espesor y en casos de tráfico intenso y pesado el espesor de la carpeta asfáltica se divide en: Carpeta de desgaste y Capa de Liga.[11]

[11] Fuente: Jesús Moncayo, Manual de Pavimentos, Primera Edición 1980, Universidad de Guadalajara, Compañía Editorial Continental S.A. México, Impreso en México, Pavimentos de Asfalto, Pág. 43

La selección de la capa de rodadura más adecuada es uno de los aspectos más importantes en el diseño ya sea de nueva construcción o de ampliación.

Tipos de Carpetas Asfálticas:

- Carpetas de tratamientos o riegos superficiales: Consiste en dar riego de asfalto o alguna emulsión sobre la base impregnada y cubrirle con un material pétreo.[12]
- Carpeta de Mezcla en el lugar o camino: Se construyen colocando el agregado sobre el lugar, aplicándole la cantidad adecuada de asfalto.
- Carpeta de Concreto Asfaltico**:** Creada con materiales de tamaño nominal de ¾ a 3/8 de pulgada, llenante mineral, y asfalto, que puede ser preparado en planta y caliente.

La carpeta asfáltica puede ser elaborada como se indica a continuación:

- *Según la temperatura de la mezcla*:

- Mezcla en Caliente- Mezcla en Planta
- Mezcla en Frío - Mezcla en Planta
- Mezcla en Sitio

[12] Fuente: Jesús Moncayo, Manual de Pavimentos, Primera Edición 1980, Universidad de Guadalajara, Compañía Editorial Continental S.A. México, Impreso en México, Pavimentos de Asfalto, Tipos de Carpetas Asfálticas, Pág. 44

- *Según los vacíos presentes en la mezcla se la pueden considerar como:*

- Mezcla Abierta: Porcentaje de huecos en la mezcla compacta mayor a 5%.
- Mezcla Cerrada: Porcentaje de hueco en la mezcla compacta menor al 5%.

Los tratamientos asfálticos superficiales son aplicaciones a cualquier superficie, con o sin recubrimiento de áridos, que producen un incremento en el espesor inferior de 25mm, sirven para impermeabilizar a la superficie.

Entre los tratamientos asfálticos se pueden nombrar:

- Riego en negro es el tratamiento asfáltico superficial ligero que no cubre mucho de áridos.
- Imprimación asfáltica es la aplicación a una superficie absorbente de un material asfáltico líquido de baja viscosidad como preparación para cualquier tratamiento.
- Sellado asfáltico es el tratamiento de pequeño espesor aplicado a un pavimento existente.
- Lechada asfáltica es la mezcla de emulsión asfáltica de áridos finos y filler mineral, con el agua necesaria para obtener una consistente lechada.

- Capa de adherencia asfáltica es la aplicación de material asfáltico a una superficie existente para asegurar una unión entre la antigua superficie y las nuevas capas.

Objetivos

- Soportar las cargas producidas por el tráfico, las cuales ocasionan desplazamientos en la superficie, base o sub-base.
- Protección contra el agua, ya que un exceso de la misma ocasiona la pérdida de capacidad de soporte de la estructura del pavimento, pero el asfalto puede sellar la superficie del camino contra el exceso de agua existente, siempre y cuando el material granular este correctamente graduado.
- El sol, el viento y los cambios bruscos de temperatura afectan a los materiales bituminosos, por lo tanto una buena elección de materiales y un buen mantenimiento ayudaran a que se tenga una estructura de pavimento adecuada.

Carpeta de Concreto

El factor más importante en este tipo de pavimento es la resistencia del concreto, el cual deberá tener una resistencia a la compresión de 300Kg/cm^2 mínima a los 28 días, y cuando tenga resistencia menor a (250Kg/cm^2), se deberá aumentar el espesor de la losa, mediante un nuevo cálculo para el espesor de la misma.

Los pavimentos de concreto deben diseñarse y controlarse para una resistencia a la flexión del concreto usado.

Resistencia a la flexión = Modulo de Ruptura MR

Estos pavimentos están formados por una losa de concreto, la cual puede colocarse sobre la sub-rasante siempre y cuando exista transito bajo o cuando la sub-rasante este conformada con un suelo apto para la construcción de la carretera o sobre la sub-base, la cual ayuda a corregir defectos del suelo de la sub-rasante, teniendo un mejoramiento de esa capa.

Juntas

Además de los esfuerzos generados por el tráfico, el pavimento debe controlar esfuerzos causados por los cambios volumétricos del concreto, la temperatura y la humedad, que se generan entre la superficie, el apoyo y bordes de la losa.

Dichos esfuerzos se controlan con un dimensionamiento correcto de las losas, y las juntas del pavimento.

1.3.4. APLICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

1.3.4.1. Pavimento Flexible

- Carreteras y vías en general
- Impermeabilizaciones de taludes, viviendas, canales

1.3.4.2. Pavimento Rígido

- Carreteras
- Pisos Industriales
- Plataformas de carga y descarga

1.3.4.3. Pavimento Reforzado con Geomalla

- Caminos pavimentados o terracerías
- Vías férreas o pistas de aeropuertos
- Cimentaciones
- Plataformas de usos múltiples (vivienda, naves industriales, estacionamiento, tiendas departamentales, almacenes, etc.
- Drenaje para agua
- Muros de contención
- Muros de Sótano
- Niveles subterráneos
- Pisos
- Sub-drenajes en vías
- Rellenos Sanitarios
- Diques

1.4. GEOSINTETICOS

1.4.1. DEFINICION DE GEOSINTETICOS

- GEO: Prefijo griego que significa tierra, suelo.
- SINTETICO: Productos obtenidos por procesos industriales o síntesis química.

Son productos fabricados a partir de fibras industriales tales como los textiles, caucho, materiales plásticos, membranas bituminosas, polímeros, entre otros, transformadas en polímeros básicos (polietileno, polipropileno, nylon, otros) que a su vez son procesados para poder ser utilizados en el mejoramiento del comportamiento de los diferentes suelos.[13]

Los geosintéticos son productos de última tecnología, que ayudan en el mejoramiento de la capacidad portante de las capas de la estructura del pavimento, control de la erosión, tratamiento de aluviales, drenaje y filtración, relleno sanitario, entre otros.

IGS (Sociedad Internacional de los Geosintéticos), entidad responsable de impulsar el desarrollo científico y técnico de los geosintéticos para aplicaciones en el campo de la ingeniería y la geotecnia.

---

[13] Fuente: Robert Koerner, Design with Geosynthetics, Cuarta Edición, 1998 by Prentice –Hall, Inc, Impreso en Estados Unidos, Overview of Geosynthetics, Pág. 2.

Ventajas

- Aumenta la vida útil del pavimento.
- Fácil y rápido de instalar.
- Disminuye los costos de mantenimiento.
- Incrementa el tiempo con condiciones satisfactorias de servicio del pavimento.
- Reduce la sustitución de suelos blandos que se consideran inadecuados para la construcción tradicional de un camino.
- Sus costos son muy competitivos en comparación con los costos cuando se reemplaza el suelo natural.
- Reduce el espesor y mantiene la integridad de la base necesaria para el camino.
- Reduce el asentamiento diferencial del camino, lo cual permite mantener la integridad, uniformidad y servicio adecuado del pavimento.
- Con el uso de los geosintéticos, diseños que eran casi imposibles de realizar se pueden convertir en aplicaciones posibles.

1.4.2. HISTORIA DE LOS GEOSINTETICOS

La idea de agregar a los suelos materiales obtenidos de la naturaleza como bambú, raíces, maderas, ramas, pieles, etc, es la de mejorar las propiedades de estos, hacer que estos sean resistentes, estabilizados, reforzados para poder ser empleados en cualquier estructura a construir.

- Murallas de Zigurrat de Agar Quf (Mesopotamia 1400 A.C.)
- Muralla de China (200 A.C.), donde fueron empleadas mezclas de suelos reforzados con raíces.
- Calles de los Incas en el Templo de la Luna en Perú, donde se aplicó lana de llamas mezcladas con el suelo en las construcciones de las calles.
- En el interior de Brasil, así como en otros países, podemos encontrar aplicaciones de hojas y ramos sobre suelos blandos para reforzar un terraplén.
- Década de los 40: Inicio de la fabricación de polímeros sintéticos.
- Década de los 50: Aparición del geotextil tejido.
- Década de los 60: Surgimiento del geotextil no tejido.
- Mantas de algodón utilizadas por el Departamento de Carreteras de California-EUA, 1926.
- El caucho sintético fue utilizado en 1940 antes de que se desarrolle el polímero.

1.4.3. TIPOLOGIA, CLASIFICACION Y APLICACIONES

1.4.3.1. GEOTEXTILES (GT)

Los geotextiles son los más usados tradicionalmente, están compuestos por fibras sintéticas naturales, la gran mayoría de estos se fabrican con poliéster o con polipropileno.

El polipropileno es más ligero que el agua, resistente y durable, sus filamentos y fibras se usan en la elaboración de geotextiles tejidos y no tejidos. El poliéster es más pesado que el agua, tiene buena resistencia, propiedades de deslizamiento, es compatible con los materiales naturales más comunes.

El geotextil es un material textil permeable de estructura plana usado como parte integral de los suelos y cimentaciones, los cuales se han convertido en las capas filtrantes más adecuadas porque superan las desventajas de los filtros de arena y los de agregados pétreos, ya que están fabricados con propiedades hidráulicas específicas y de retención de tierra, las cuales pueden seleccionarse fácilmente para complementar al suelo que necesita protección, pueden instalarse con facilidad.[14]

- **Geotextil Tejido (GTW)** - Laminas de polipropileno

Los geotextiles tejidos poseen un tejido que consiste en un proceso de entrelazado de hilos para fabricar una tela.

Aplicación

- Ejercer funciones de separación: Este concepto puede ser definido como la colocación del geotextil poroso entre materiales distintos, con

[14] Fuente: Robert Koerner, Design with Geosynthetics, Cuarta Edición, 1998 by Prentice–Hall, Inc, Impreso en Estados Unidos, Overview of Geosynthetics, Families of Geosynthetics, Pág. 3.

el objeto que el funcionamiento de cada material pueda permanecer sin alterarse o pueda ser mejorado.

- Refuerzo: Para mejorar la capacidad que tiene el conjunto cuando es introducido el geotextil en un suelo (que está bien en compresión, pero pobre en tensión).
- Filtración: Consiste en el equilibrio del sistema, para que el suelo filtre a través del geotextil.
- Drenaje

- **Geotextil no Tejido (GTN).** Fabricado a partir de fibras cortas 100% polipropileno, por agujado.

Los geotextiles no tejidos se fabrican ya sea con fibras cortas (generalmente de 1 a 4 pulgadas de longitud) o con filamentos continuos distribuidos al azar en capas sobre una banda en movimiento para formar una especie de “panal”, el cual se pasa a través de un telar de agujas y por otro tipo de máquina para entrelazar las fibras.

Los geotextiles no tejidos son altamente recomendables para el drenaje del subsuelo y para el control de la erosión, así como para la estabilización de caminos sobre suelos húmedos o saturados.

Aplicación

- Ejerce funciones de filtración, drenaje, separación, protección, refuerzo y además como inhibidor de la propagación de fisuras en pavimentos flexibles*.*
- Entre el subsuelo y capas de la estructura del pavimento de carreteras, estacionamientos y aeropuertos.
- Sobre superficies deterioradas de concreto hidráulico o carpetas asfálticas en colocación de sobre carpetas de asfalto.
- Entre el subsuelo y base de caminos no pavimentados.

Ventajas de los Geotextiles

- Presentan una alternativa más económica comparada con los métodos constructivos tradicionales.
- Son versátiles, flexibles, resistentes y se adaptan a las irregularidades de las superficies y condiciones donde se colocan.
- Tienen una amplia variedad de aplicaciones en la construcción y aumentan la vida útil de las instalaciones.
- Son de fácil y rápido manejo, fácil aplicación y no requieren equipo especializado.

1.4.3.2. GEOMALLAS O GEOREDES (GN)

Las geomallas son geotextiles formados con aberturas grandes, regulares y constantes entre 10 y 60mm, parecida a una rejilla; sus fibras son colocadas en ambas direcciones con el propósito de mejorar las propiedades de la geomalla, la soldadura de las dos series de hilos es obtenida por la penetración parcial en los puntos de contacto, con el polímero en estado semifluido. Fabricadas en polipropileno y se utilizan solamente para refuerzo.[15]

Aplicación

- Unidos a los geotextiles cumple una función de filtro.
- Unidos a las geomembranas como elemento de retención, dren, transporta el líquido a lo largo de su propia estructura.
- Función protectora en obras de contención, edificaciones, rellenos sanitarios, etc.

1.4.3.3. GEOMEMBRANA (GM)

Son membranas muy delgadas de polímero, son impermeables, y pueden ser de plastómeros y elastómeros sintéticos o bituminosos.

---

[15] Fuente: Robert Koerner, Design with Geosynthetics, Cuarta Edición, 1998 by Prentice –Hall, Inc, Impreso en Estados Unidos, Overview of Geosynthetics, Pág. 3.

- **Geomembrana Plastomerica (GMP)**

Son láminas producidas por la industria plástica con espesor entre 0,5 y 2,5mm, caracterizadas por un coeficiente de permeabilidad muy reducido.

- **Geomembrana de Elastomeros (GME)**

Son láminas con espesor entre 0,5 y 2 mm caracterizados por coeficientes de permeabilidad bastante reducidos y fabricados por la industria de la goma.

- **Geomembrana Bituminosa (GMB)**

Son laminas con espesor de 3 y 6mm, fabricadas a partir de una mezcla fundida, constituida por asfaltos, polímeros, plastoméricos y elastoméricos y cargas minerales, son también caracterizados por coeficientes de permeabilidad muy reducidos.

Aplicación

Las geomembranas son usadas para las cubiertas de instalaciones de almacenaje liquidas o sólidas, cuya función es hacer de barrera de vapor o líquido.

1.4.3.4. GEOGRILLAS (GG)

Son estructuras planas formadas por una red rectangular de elementos conectados integralmente, que pueden ser fijados por extrusión, adhesión, o entrelazarse, cuyas aberturas son mayores que sus componentes, y su mecanismo de funcionamiento es la fricción, pudiendo contar para algunos tipos de geo grillas con el confinamiento de las partículas del suelo.

- **Geogrillas extruidas (GGE).**

Estructuras planas fabricadas con polímeros, fabricadas por extrusión y caracterizadas por una resistencia a la tracción en el sentido longitudinal mayor que en las dos direcciones, dado por una resistencia menor.

Aplicación

En estructuras de suelo reforzado y terraplenes sobre suelos blandos.

- **Geogrillas Tejidas(GGW)**

Son estructuras planas en forma de red, fabricadas a través del entrelazamiento en ángulos rectos de las fibras sintéticas con un elevado módulo de resistencia.

Aplicación

Estructuras en suelo reforzado y terraplenes sobre suelos blandos de grandes alturas.

- **Geogrilla Soldada (GGB).**

Son estructuras planas producidas por la sobre posición y la sucesiva soldadura, generalmente en ángulos rectos, resistente a la tracción longitudinal.

Aplicación

Estructuras en suelo reforzado y terraplenes sobre suelos blandos de grandes alturas.

1.4.3.5. GEOMANTAS (GA)

Estructuras constituidas por fibras de materiales sintéticos formando una malla no regular deformable con un espesor de 10 a 20mm, caracterizadas también por un alto número de vacíos.

Aplicación

Sobre pendientes suaves y pronunciadas, mejorando así la resistencia a la erosión provocada por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo del agua superficial del suelo durante el crecimiento de la vegetación.

1.4.3.6. GEOCELDAS (GL)

Constituidas por células yuxtapuestas, producidas por costuras o soldadura a partir de tiras extruidas de polipropileno, con una altura de 100mm, formando una estructura en forma de colmena.

Aplicación

Utilizadas para confinar y estabilizar suelos de cobertura.

1.4.3.7. GEOCOMPUESTOS (GC)

- **Geo compuestos para Drenaje (GCD)**

Formados por la unión de dos o más geosintéticos, de espesor entre 5 y 30mm.

Aplicación

Desempeñan funciones de drenaje, filtración y protección en obras de contención, edificaciones, rellenos sanitarios, etc.

- **Geo compuestos con Geo membrana (GMC)**

Estructuras formadas por geo sintéticos y geo membranas.

1.4.3.8. BIOTEJIDOS (BT)

Estructuras tejidas constituidas por fibras naturales.

Aplicación

Controlar y evitar la erosión superficial durante el crecimiento de la vegetación local.

1.4.3.9. BIOMANTAS (BA)

Constituidas por fibras naturales generalmente contenidas por redes de materiales sintéticos.

Aplicación

Controlar y evitar la erosión superficial durante el crecimiento de la vegetación local.

FOTOS DE GEOSINTETICOS[16]

FOTO Nº6. GEOTEXTIL TEJIDO (GTW)

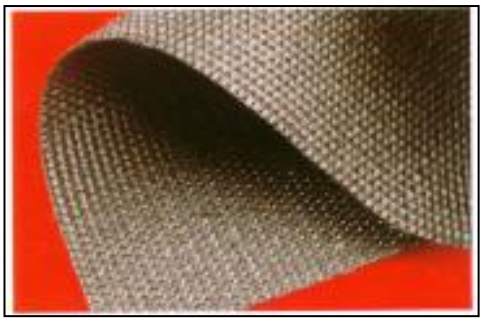


FOTO Nº7.GEOTEXTIL NO TEJIDO (GTN)



[16] Fuente: Empresa Maccaferri del Ecuador, América Latina, Imágenes de Geosintéticos.

IMAGEN Nº8. GEOMALLAS O GEOREDES (GN)

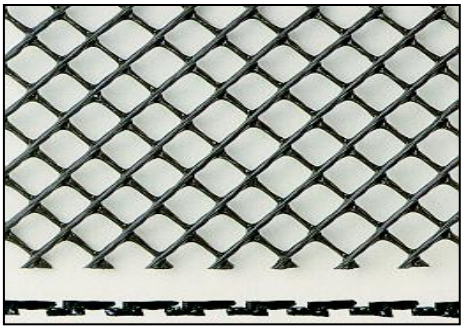
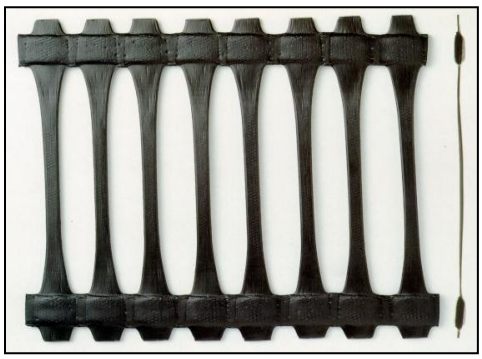




IMAGEN Nº9. GEOMEMBRANA



IMAGEN Nº10. GEOGRILLAS EXTRUIDAS (GGE)



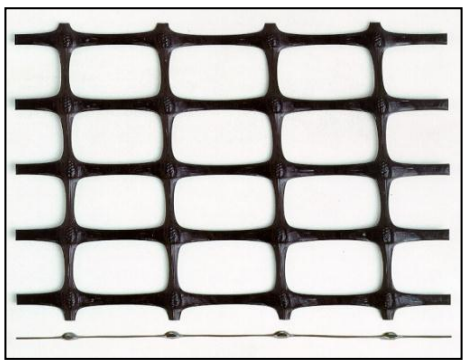


IMAGEN Nº11. GEOGRILLAS TEJIDAS (GGW)

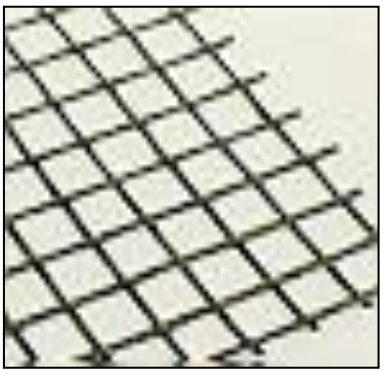


IMAGEN Nº12. GEOGRILLA SOLDADA (GGB)



IMAGEN Nº13. GEOMANTAS (GA)



IMAGEN Nº14. GEOCELDAS (GL)

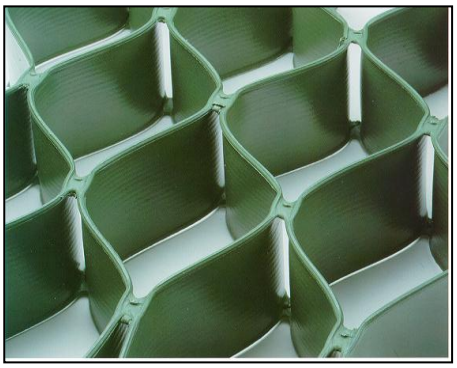


IMAGEN Nº15. GEOCOMPUESTOS PARA DRENAJE (GCD)



IMAGEN Nº16. BIOTEJIDOS (BT)

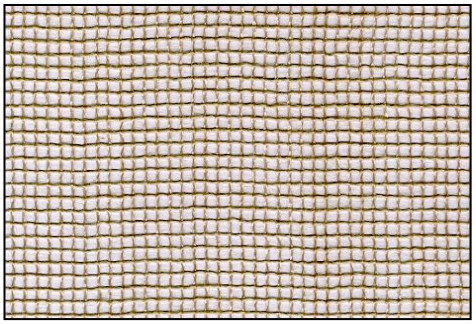


IMAGEN Nº17. BIOMANTAS (BA)



1.5. FUENTES DE MATERIALES

1.5.1 ANALISIS DE MINAS

Del estudio geológico realizado por la empresa Irigoyen & Asociados, y con la información obtenida de la Dirección zonal, del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, se determinó que la provisión de materiales para la construcción de la estructura del pavimento puede obtenerse de las minas detalladas a continuación, cuyos materiales han sido evaluados como se demuestra en los cuadros adjuntos.

CUADRO N°1. UTILIZACION DE LAS MINAS[17]

RUBRO	MINA EL CHASQUI	MINA ALPAMALAR	Km. 28	Km. 43	Km. 57	MINA EL PROGESO
UBICACIÓN	**A 28,5 Km. De Latacunga (San Felipe 0+000)**	A 11,5 Km. Del Acceso a Pujilí (8 + 700)	Km. 28 del Proyecto	Km. 43 del Proyecto	Km. 57 del Proyecto	Km. 138,26 Carretera Latacunga - La Maná
MEJORAMIENTO	**X**	X	X	X	X	X
SUB-BASE CLASE 3	**X**	X	X	X	X	X
BASE CLASE 2	**X**			X	X	X
CAPA DE RODADURA DE DE HORMIGON ASFALTICO	**X**			X	X	X
GAVIONES	**X**	X				X
HORMIGON ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND	**X**			X	X	X
MATERIAL FILTRANTE	**X**	X		X	X	X

Empresa Irigoyen & Asociados, Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

[17] Fuente: Empresa Irigoyen & Asociados, Ministerio de Transporte y Obras Publicas MTOP, Utilización de las Minas.

CUADRO N° 2. CALIFICACIÓN DE MINAS

Con la finalidad de determinar las minas más recomendables se considera una calificación para el aprovechamiento de minas y canteras según su aplicación, siendo apto un valor de 3, regular 2 y no apto 1. [18]

DESCRIPCION	MINA EL CHASQUI	MINA ALPAMALAG	Km. 28	Km. 43	Km. 57	MINA EL PROGRESO
POTENCIA	**1**	3	2	2	3	3
CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y MECANICAS	**3**	3	1	3	2	3
DISTANCIA DE TRANSPORTE	**1**	2	3	3	3	1
METODOS Y FACILIDADES DE EXPLOTACION	**3**	3	2	2	1	3
FACTORES AMBIENTALES	**3**	3	2	1	1	3
CALIFICACION	**11**	**14**	**10**	**11**	**10**	**13**
USOS PREVISTOS						
MEJORAMIENTO	**X**	X	X	X	X	X
SUB-BASE CLASE 3	**X**	X	X	X	X	X
BASE	**X**			X	X	X
HORMIGON ASFALTICO, HORMIGON CEMENTO PORTLAND	**X**			X	X	X

Empresa Irigoyen & Asociados, Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP)

[18] Fuente: Empresa Irigoyen & Asociados ,Ministerio de Transporte y Obras Publicas MTOP, Calificación de Minas

1.5.2. LOCALIZACION Y POTENCIACION

A través de los análisis realizados por la Empresa Irigoyen & Asociados y por la cercanía a la zona del tramo de prueba se escoge para provisión de materiales de la mina El Chasqui.

Ubicación

El Chasqui, ubicada aproximadamente a 28,5km de la población de Latacunga en la dirección a Quito, cuyas coordenadas son: Latitud 9´922.026, y Longitud 769.404.

Tipo de Material

El material es un depósito que contiene flujos de barro o escombros debido a la actividad volcánica.

El sitio de la Mina se caracteriza por haber sido modelada por varios episodios volcánicos, formando planicies de relleno del valle y obligando a cambiar de rumbo el cauce activo del río Cuctuchi. Por lo tanto, se pueden encontrar entrelazamiento de muchos flujos de escombros y de barro, se distinguen también lahares granulares y cohesivos. En pocos metros hacia el sur del sitio estudiado se puede ver ese cambio de granular grueso a granular fino.[19]

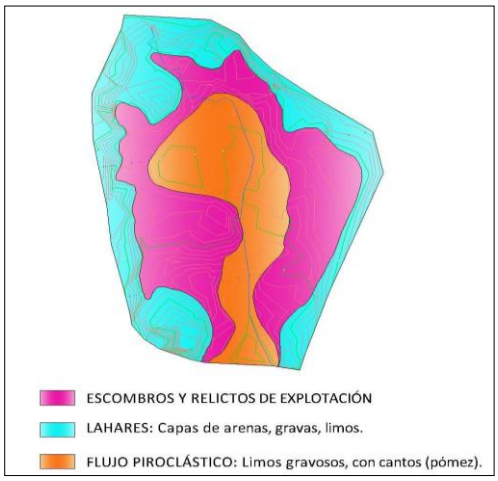
[19] Fuente: Empresa Irigoyen & Asociados, Ministerio de Transporte y Obras Publicas MTOP, Tipo de Material Mina El Chasqui.

Descripción

Estratigrafía:

- 1,2-5m ARENA gravosa con cantos en un 15% y bloques 10%.
- 0,8-1,2m GRAVA con arena y cantos en 50% y bloques en 5%.
- 0,4-0,7 ARENAS con limo.
- 0,5-0,7 GRAVA arenosa con trazas de limo.
- 0,15-0,25 ARENA lítica, de color gris.
- 0,4-0,6 ARENAS de pómez.
- 1-1,5 GRAVA arenosa con canto a la base, y grano selección positiva.
- 1,5-1,7 ARENA gravosa con trazas de limo.
- 0,8-1,2 GRAVA arenosa con limo.
- 1-1,2 ARENAS negras con intercalación de capillas de limos amarillos.
- 0,4-0,6 ARENA gruesa con grava fina de pómez.

FIGURA N°18. MAPA GEOLOGICO DE LA MINA EL CHASQUI[20]



[20] Fuente: Empresa Irigoyen & Asociados, Ministerio de Transporte y Obras Publicas MTOP, Unidades Geológicas a lo largo del eje de la vía del Proyecto.

Usos Previstos

El material puede ser utilizado para rellenos, mejoramiento, sub-base, base granular (agregados finos y gruesos), bajo las especificaciones generales para la construcción de caminos (MTOP-001-F-2002).

Sobrecarga y volumen aprovechable

La sobrecarga se compone de Ceniza Volcánica de textura limo arenoso, con espesor menor de 1m. El volumen aprovechable, es del orden de 75.000 m^3.

Métodos de Procesamiento

En la bodega se encuentra almacenado material granular fino en unos 12.000 m^3, sin embargo se aprecia que tiene granos blancos y porcentaje alto de limo.

Periodo de Explotación

No tiene límite para ser trabajada todo el año, y también para mantener gran cantidad de material almacenado, puede ser explotada con seguridad y así conseguir el material de buena calidad utilizando el criterio estratigráfico.

Propietario: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).

CAPITULO II

TRAFICO

En la presente tesis se va a comparar las diferentes estructuras de pavimentos y las deformaciones que sufren las mismas, diseñadas con métodos tradicionales y las reforzadas con geosintéticos, experimentado en un tramo de 100 metros del tramo Latacunga- Pujilí.

Siendo el tráfico vehicular un elemento primordial en los Estudios de Factibilidad, lo cual permite determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en el corredor vial indicado.

2.1. CONCEPTO

El tráfico representa un factor importante, el cual es determinado mediante conteos y proyecciones estadísticas basadas en datos y tasas de crecimiento vehicular a fin de disponer de una información técnica y segura de cómo será el comportamiento del mismo en el camino ya rehabilitado, valor que incide en el resultado final del costo de la estructura del pavimento.

Por lo tanto la carga y el volumen de tráfico juegan un rol importante en el diseño estructural del pavimento; analizándolos cuidadosamente.

2.2. TIPOS DE VEHICULOS

Un vehículo es un medio de transporte que permite el traslado de un lugar a otro, como el tren, el automóvil, el camión, el carro, el barco, el avión, la bicicleta y la motocicleta, entre otros.

Los vehículos de transporte terrestre son clasificados a continuación:

- Tipo A: Automóvil y Camioneta “Pick Up”.
- Tipo B: Autobuses
- Tipo C: Camiones
- Tipo TS: Tractocamión con Semirremolque.
- Tipo TSR: Tractocamión con Semirremolque y Remolque.

Los principales tipos de vehículos utilizados son las camionetas y jeep entre los vehículos livianos, buses para transporte de pasajeros, camiones medianos y pesados vinculados con el transporte de materiales.

2.3. CONTEO VEHICULAR Y TPDA

Los datos del TPDA para el tramo Latacunga - Pujilí, se obtuvieron de los estudios realizados por la Empresa Irigoyen & Asociados, aprobados por el MTOP.

El conteo vehicular nos permite determinar el tráfico vehicular existente y el tráfico vehicular proyectado para diseñar la estructura del pavimento de las vías.

2.3.1. TRAFICO VEHICULAR EXISTENTE

La Empresa Irigoyen & Asociados indica que para realizar el estudio del tráfico vehicular existente, la determinación del Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) y sus características, realizaron contajes volumétricos, automáticos y manuales de clasificación vehicular.

Para los conteos volumétricos automaticos del tráfico vehicular en el campo, se seleccionó una semana representativa entre el 20 al 26 de Junio del 2010.

2.3.1.1. TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL EXISTENTE (TPDA)

El Trafico Promedio Diario Anual Existente, es aquel que actualmente está circulando por los tramos viales del proyecto, el mismo que será parte importante en la asignación del TPDA del proyecto, los resultados obtenidos por la Empresa están anexados a continuación:

CUADRO N°3. TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL EXISTENTE (TPDA)

TRAMO: LATACUNGA – PUJILI [21]

DIRECCION: 2 DIRECCIONES

VEHICULO	LIVIANO	BUS		CAMION DE 2 EJES		CAMION PESADO			TPDA
		2 EJES	3 EJES	LIVIANO	MEDIO	3 EJES	5 EJES	6 EJES	
# VEHICULOS	3924	314	0	207	266	44	0	41	4796
%	81,82	6,54	0	4,32	5,55	0,92	0	0,86	100

2.3.1.2. TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL GENERADO

Es aquel que aparecerá en este corredor vial con el mejoramiento de la carretera.

El TPDA generado determinado por la Empresa se presenta a continuación:

CUADRO N°4. TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL GENERADO – TPDA

TRAMO: LATACUNGA – PUJILI[22]

DIRECCION: 2 DIRECCIONES

VEHICULO	LIVIANO	BUS		CAMION DE 2 EJES		CAMION PESADO			TPDA
		2 EJES	3 EJES	LIVIANO	MEDIO	3 EJES	5 EJES	6 EJES	
# VEHICULOS	784	63	0	41	53	9	0	8	958
%	81,84	6,58	0	4,28	5,53	0,94	0	0,84	100

[21] Fuente: Estudios Realizados por la Empresa Irigoyen &Asociados
[22] Fuente: Estudios Realizados por la Empresa Irigoyen &Asociados

2.3.1.3. ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO

El tráfico asignado al proyecto será de utilidad para determinar el diseño de la estructura del pavimento. Este resulta de la suma del tráfico existente más el generado.

El tráfico vehicular (TPDA) asignado al proyecto determinado por la Empresa se indica en el siguiente cuadro:

CUADRO N°5. TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL ASIGNADO AL PROYECTO (TPDA)

TRAMO: LATACUNGA – PUJILI

DIRECCION: 2 DIRECCIONES

TRAFICO	LIVIANO	BUS		CAMION DE 2 EJES		CAMION PESADO			TPDA
		2 EJES	3 EJES	LIVIANO	MEDIO	3 EJES	5 EJES	6 EJES	
EXISTENTE	**3924**	**314**	**0**	**207**	**266**	**44**	**0**	**41**	**4796**
GENERADO	784	63	0	41	53	9	0	8	958
ASIGNADO	**4708**	**377**	**0**	**248**	**319**	**53**	**0**	**49**	**5754**

Estudios Realizados por la Empresa Irigoyen &Asociados[23]

[23] Fuente: Estudios Realizados por la Empresa Irigoyen &Asociados

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se proyecta a futuro, a un período que se denomina “vida útil” del proyecto a 20 años mínimo.

La expresión matemática que se utilizó para las proyecciones del tráfico promedio diario anual, es la siguiente:

$$TPDA_t = TPDA_0 \, x(1+\alpha)^t$$

Dónde:

$TPDA_f$ = tráfico promedio diario anual futuro

$TPDA_o$ = tráfico promedio diario anual actual

α = tasa de crecimiento del parque automotor

t = año de la proyección respecto al año base

CUADRO N°6. TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO (%)
PROVINCIA DE COTOPAXI [24]

PERIODO	LIVIANOS	BUS	CAMIONES
2005 - 2010	2,98	2,24	2,45
2011- 2015	2,65	1,99	2,18
2016- 2020	2,39	1,79	1,96
2021 - 2030	2,17	1,63	1,78

Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Utilizando las tasas de crecimiento indicadas y aplicando la expresión matemática, se proyecta el tráfico presente, obteniendo los resultados indicados a continuación:

[24] Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Departamento de Factibilidad

2.3.2. PROYECCION DEL TPDA ASIGNADO AL ROYECTO

CUADRO N°7. PROYECCIÓN DEL TPDA ASIGNADO AL PROYECTO

TRAMO: LATACUNGA –PUJILI [25]

AÑO	LIVIANO	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES	CAMION 5 JES	CAMION 6 EJES	TOTAL
2010	4708	377	567	53	0	49	5754
2011	4833	385	579	54	0	50	5901
2012	4961	392	592	55	0	51	6051
2013	5092	400	605	57	0	52	6206
2014	5227	408	618	58	0	53	6364
2015	5366	416	632	59	0	55	6527
2016	5494	423	644	60	0	56	6677
2017	5625	431	657	61	0	57	6831
2018	5760	439	669	63	0	58	6988
2019	5897	447	683	64	0	59	7149
2020	6038	455	696	65	0	60	7314
2021	6169	462	708	66	0	61	7467
2022	6303	470	721	67	0	62	7623
2023	6440	477	734	69	0	63	7783
2024	6580	485	747	70	0	65	7946
2025	6723	493	760	71	0	66	8112
2026	6868	501	774	72	0	67	8282
2027	7018	509	787	74	0	68	8456
2028	7170	517	801	75	0	69	8633
2029	7325	526	816	76	0	70	8814
2030	7484	534	830	78	0	72	8998
2031	7647	543	845	79	0	73	9187

Estudios Realizados por la Empresa Irigoyen &Asociados

[25] Fuente: Estudios Realizados por la Empresa Irigoyen &Asociados

2.4. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES (ESAL's)

La carga y el volumen de tráfico son importantes en el diseño estructural del pavimento. El tráfico mixto de un camino debe ser convertido en repeticiones de un eje equivalente simple de 18.180 libras.

Para realizar esta conversión se han usado los factores equivalentes desarrollados por la AASTHO.

2.4.1. CONFIGURACIÓN DE EJES

Las cargas de los vehículos se transmiten al pavimento a través de las llantas, dispuestas en ejes, estos se clasifican de la siguiente manera:

- Simple: Tiene una sola línea de rotación, son de llanta sencilla cuando únicamente tiene dos llantas y de llanta doble cuando tiene cuatro llantas.
- Tándem: Está conformado por dos líneas de rotación, separadas entre 1 y 1,60 metros, es de llanta sencilla cuando está conformado solo por cuatro llantas, dos por cada línea de rotación.
- Tridém: Es conformado por tres líneas de rotación, están separadas por una distancia entre 2 y 3.20 metros, son de llanta sencilla cuando el conjunto es de 6 llantas, 2 por cada eje, de llanta doble, cuando el conjunto está compuesto por doce llantas y mixto, cuando el conjunto tiene una combinación con llanta simple y llanta doble.

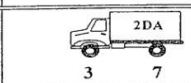
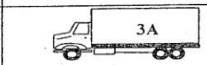
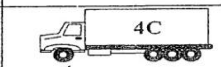
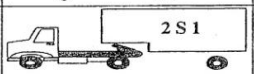
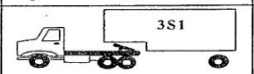
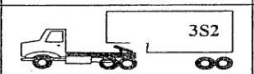
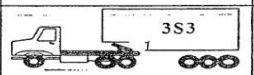
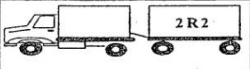
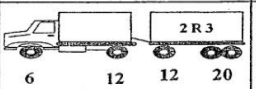
2.4.2. CLASIFICACION DE LOS VEHICULOS

La clasificación de vehículos se la realiza mediante los valores indicados en el siguiente gráfico:

TABLA N°3. CLASIFICACION Y PESOS DE LOS VEHICULOS [26]

DIRECCION DE MANTENIMIENTO VIAL
Departamento de Pesos, Medidas y Peaje

CUADRO DEMOSTRATIVO DE PESO BRUTO VEHICULAR Y LONGITUDES MAXIMAS PERMISIBLES

TIPO	GRAFICO Y CAPACIDADES DE CARGA POR EJE (Ton.)	DESCRIPCION	PESOS MAXIMOS PERMITIDOS (Toneladas)		LONGITUDES MAXIMAS PERMITIDAS (METROS)		
			Pesos Ecuador	Pesos Pacto Andino	Largo	Ancho	Alto
2DA		CAMION DE 2 EJES MEDIANOS	10.0	-	7.5	2.6	3.5
2DB		CAMION DE 2 EJES GRANDES	18.0	17.0	12.0	2.6	4.1
3-A		CAMION DE 3 EJES (TANDEM POSTERIOR)	26.0	26.0	12.2	2.6	4.1
4-C		CAMION DE 4 EJES (TRIDEM POSTERIOR)	30.0	30.0	12.2	2.6	4.1
2S1		TRACTO CAMION DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	30.0	28.0	18.5	2.6	4.1
2S2		TRACTO CAMION DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	38.0	37.0	18.5	2.6	4.1
3S1		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	38.0	37.0	18.5	2.6	4.1
3S2		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	46.0	46.0	18.5	2.6	4.1
3S3		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	48.0	✓ 48.0	18.5	2.6	4.1
2R2		CAMION REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES	38.0	39.0	18.5	2.6	4.1
2R3		CAMION REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES	48.0	48.0	18.5	2.6	4.1

[26] Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOP)

TABLA N°4. PROYECCION DEL TRÁFICO

TIPO DE VEHICULO	TPDAo	%	TPDA f (10 AÑOS)	TPDA f (20 AÑOS)
LIVIANO	4708	82	6038	7484
BUSES MEDIANOS	377	7	455	534
CAMION 2DB	567	10	696	830
CAMION 3A	53	1	65	78
CAMION 2S2	0	0	0	0
CAMION 3S2	0	0	0	0
CAMION 3S3	49	1	60	72
SUMA	**5754**	**100**	**7314**	**8998**

2.4.3. FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE

Los factores de carga equivalente son calculados mediante el uso de las siguientes formulas, aplicadas a cada caso respectivamente. [27]

- $\mathbf{FQEss} = \left(\frac{\mathbf{L_{SS}}}{\mathbf{6{,}6}}\right)^{\mathbf{4}}$ *** % (EJE SIMPLE)**
- $\mathbf{FQE_{SD}} = \left(\frac{\mathbf{L_{SD}}}{\mathbf{8{,}2}}\right)^{\mathbf{4}}$ *** % (EJE SIMPLE CON LLANTA DOBLE)**
- $\mathbf{FQE_{TD}} = \left(\frac{\mathbf{L_{TD}}}{\mathbf{15}}\right)^{\mathbf{4}}$ *** % (EJE TANDEM)**
- $\mathbf{FQE_{TR}} = \left(\frac{\mathbf{L_{TR}}}{\mathbf{23}}\right)^{\mathbf{4}}$ *** % (EJE TRIDEM)**

[27] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Estudio del tránsito para Diseño de Pavimentos, Cargas Equivalentes para el Diseño de Pavimentos, Pág. 31.

TABLA N°5. FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE

TIPO DE VEHICULO	CARGA TOTAL (Ton)	CARGA POR EJE (Ton)		TPDAo	%	TPDA f (10 AÑOS)	TPDA f (20 AÑOS)	FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE (FCE)
LIVIANO	2,4	0,7	SS	4708	82	6038	7484	0,0001035
		1,7	SS					0,0036015
BUS MEDIANOS	13,1	3,9	SS	377	7	455	534	0,0079883
		9,2	SD					0,1038167
CAMION 2DB	18	6	SS	567	10	696	830	0,0673042
		12	SD					0,4519421
CAMION 3A	26	6	SS	53	1	65	78	0,0062912
		20	TD					0,0291113
CAMION 2S2	38	6	SS	0	0	0	0	0,0000000
		12	SD					0,0000000
		20	TD					0,0000000
CAMION 3S2	46	6	SS	0	0	0	0	0,0000000
		20	TD					0,0000000
		20	TD					0,0000000
CAMION 3S3	50 (48)	6	SS	49	1	60	72	0,0058164
		20	TD					0,0269142
		24	TR					0,0100962
				5754	**100**	**7314**	**8998**	**0,7129857**

Autor: Estefanía Gavilanes D.

2.4.4. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES (ESAL´S) [28]

Formula:

$$\mathbf{N}_{(8.2\ T)}=\frac{(\mathbf{TPDA_0}+\mathbf{TPDA_f})}{2}*\mathbf{365}*\mathbf{Dt}*\mathbf{n}*\mathbf{F.C.E}$$

- **PARA 10 AÑOS**:

Dt= 0.50

n= 10 años

F.C.E = 0.7129857

N (8.2T) = 8502034,145

N (8.2T) =	**8,5020 *10^6**

- **PARA 20 AÑOS:**

Dt= 0.50

n= 20 años

F.C.E = 0.7129857

N (8.2T) = 19195287,38

N (8.2T) =	**19,1953 *10^6**

[28] Fuente: Ingeniero Gustavo Yánez, Diapositivas “Diseño Flexible”, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil, 2010.

CAPITULO III

ENSAYOS

3.1. DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS BAJO NORMAS

3.1.1. ENSAYOS DE CAMPO

3.1.1.1. ENSAYO D.C.P (ASTM 6951-03)

Este ensayo nos permite medir la penetración que llega a tener el Penetrómetro Dinámico de Cono (D.C.P), mediante el empleo de un mazo de 8Kg, el cual se deja caer libremente desde una altura de 575mm, lo que permite determinar in situ las propiedades de las capas del suelo que constituyen la estructura de un pavimento. De esta forma se puede conocer la resistencia y capacidad de soporte de un pavimento, ya que permite determinar el valor del C.B.R in situ.

Equipo:



Figura Nº 19. Equipo D.C.P

Procedimiento:

- Verificar que el equipo D.C.P. este limpio, seco, en buenas condiciones de trabajo y bien armado.
- Se procede a sostener el equipo en posición vertical, con la ayuda de otro operador se levanta el mazo de 8 Kg. y se lo deja caer desde la altura indicada (575mm) en caída libre, para así poder colocar la parte más ancha de la punta – cono a nivel de la superficie de la capa que va a ser ensayada, de esta manera el equipo queda nivelado, por lo tanto se puede obtener la lectura inicial a partir de la cual se podrán realizar las siguientes lecturas de penetración.
- Una vez nivelado el D.C.P, se puede ejecutar ya el ensayo, para lo cual se levanta el mazo para dejarlo caer libremente, haciendo que este se impacte sobre el ensamble de yunque, lo que nos permite registrar la penetración total para el número ejecutado de golpes, el número de golpes dependerá de las características que vaya presentando el suelo a medida que penetre el D.C.P en el mismo, por lo tanto la profundidad de penetración variara según la aplicabilidad del suelo, que en este caso serán 900mm de penetración.
- Finalizado el ensayo se debe extraer el D.C.P, golpeando el mazo hacia arriba contra la empuñadura.
- Los resultados son anexados en el numeral 3.2.1.1 del presente capitulo.

3.1.1.2. PRUEBA DE PLACA (ASTM D1194)

Este ensayo permite determinar la relación que existe entre la resistencia y la deformación que tiene el suelo ya sea en estado natural o compactado, mediante el cual se puede obtener la capacidad de carga del suelo para un asentamiento determinado.

Equipo:



Figura Nº20. Equipo de la Prueba de Placa

Procedimiento:

- Preparar la superficie del terreno a ensayarse, para lo cual se coloca arena sobre la superficie de la capa que va a ser ensayada, de esta manera se nivela a la misma para que no existan irregularidades.
- Se procede a ubicar la placa sobre la superficie ya nivelada, luego se presiona de manera que no quede partes de la superficie del terreno donde se realiza el ensayo sin contacto con la placa.

- A continuación se coloca el gato hidráulico sobre la placa de carga perpendicular a la misma, ajustándole de manera adecuada.
- Sobre el gato hidráulico se instala una columna metálica si es necesario para transmitir la carga al gato hidráulico, la cual se coloca en la parte posterior e inferior del camión.
- Se colocan los diales sobre la placa ajustándolos a la viga porta diales, para poder medir las deformaciones que sufre el suelo, cuando se incrementa la carga aplicada, cada incremento de la misma debe ser constante.
- Una vez finalizado el ensayo se procede a descargar al suelo.
- Los resultados y las gráficas (esfuerzo versus deformación), obtenidas para cada caso son anexados en el numeral 3.2.1.2 del presente capitulo.

COEFICIENTE DE BALASTO (K)

Es un valor numérico que nos indica la resistencia que tiene el suelo, el cual depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan a la misma, el cual es determinado a partir de la prueba de placa.

Este valor numérico se determina a partir de la relación entre la tensión capaz de generar una penetración de la placa de carga en el terreno de 0.05" (1.27mm).

$$Ks = \frac{q}{d} \ (Kg/cm^2/cm)$$

3.1.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216, AASHTO 265)

Este ensayo nos permite determinar la cantidad de agua que tiene un suelo, se lo expresa como el porcentaje que resulta de la relación entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno.

Equipo:

- Balanza, espátula
- Horno: Este puede ser eléctrico, a gas o de microonda siempre y cuando la temperatura sea de 110 ± 5°.
- Recipientes: Deben ser de un tamaño y material adecuado para la ejecución de este ensayo, para así evitar que alteren a la muestra. Estos recipientes deben ser numerados.

Procedimiento:

- Obtener una cantidad representativa del suelo a ensayar, la cual dependerá del tamaño máximo de partículas que contenga el suelo, por lo cual nos basamos en los valores que se encuentran anexados en la siguiente tabla:

TABLA N°6. CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA[29]

TAMAÑO MAXIMO DE LAS PARTICULAS		MASA MINIMA DE LA MUESTRA (gr)
INEN (mm)	(ASTM)	
50	2”	1000
25	1”	500
12,5	1/2"	300
4,75	N°4	100
0,425	N°40	10

Norma ASTM D 2216

- Se pesa y registra la masa y el número del recipiente vacío (m_1), el cual debe estar limpio y seco.
- Se procede a colocar con cuidado la muestra del suelo en condiciones naturales en el recipiente, para pesar el conjunto (recipiente + muestra húmeda) y se registra su masa (m_2).
- Posteriormente se coloca el recipiente con la muestra húmeda en el horno hasta que se obtenga masa constante, por lo general se estima un periodo entre 15 y 16 horas.
- Se saca la muestra del horno, se la deja enfriar, se la pesa inmediatamente, y se registra su masa (m_3).
- Los pasos anteriores se realizan con todas las muestras obtenidas para la presente tesis.
- Los resultados obtenidos de este ensayo son anexados en el numeral 3.2.2 del presente capitulo, realizado para cada capa que conforma la estructura del pavimento.

[29] Fuente: www.slideshare.net/contenido-de-humedad - Estados Unidos.
Diapositivas de la Universidad Técnica Particular de Loja, Norma ASTM D 2216.

3.1.2.2. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO(AASHTO T-88, ASTM D-422)

Este ensayo nos ayuda a determinar la proporción en masa de los áridos finos y gruesos que constituyen el suelo, clasificándolos de acuerdo a su tamaño, a través del uso de los diferentes tamices.

Equipo:

- Balanza
- Horno: Temperatura constante de 110 ± 5°C.
- Tamices: Para este ensayo se utilizan los tamices, cuyas aberturas están indicadas en la Tabla N°7, según sean requeridos.

TABLA N° 7. ABERTURAS DE TAMICES

DESIGNACION ESTANDAR EN (mm)		PULGADAS
75	mm	3"
50	mm	2"
37,5	mm	1 ½
25	mm	1"
19	mm	¾ "
13,2	mm	½ "
9,25	mm	3 /8 "
4,75	mm	N°4
2,36	mm	N°8
2	mm	N°10
0,425	mm	N°40
0,075	mm	N°200

Autor: Estefanía Gavilanes D.

Procedimiento:

- Obtener una cantidad representativa del suelo a ensayar, se coloca la muestra en el horno durante 24 horas o hasta que se obtenga masa constante.

- Después de ser secada la muestra, se la retira del horno, se la deja enfriar a temperatura ambiente durante un momento y se registra su peso.
- Para determinar la masa mínima que se debe tomar para realizar el ensayo, nos basamos en las siguientes tablas:

TABLA N°8: Masa mínima para el agregado fino[30]

%	MASA MINIMA DE LA MUESTRA
Por lo menos el 95% pasa por el tamiz N°8	100 gramos
Por lo menos el 85% pasa por el tamiz N°4 y más del 5% es retenido en el tamiz N° 8	500 gramos

MTOP

TABLA N° 9. Masa mínima para el agregado grueso[31]

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE LAS PARTICULAS	MASA MINIMA DE LA MUESTRA (Kg)
3"	5
2"	4
1"	2
3 /8 "	0,5

NORMA ASTM D 422

- Armar los tamices en forma creciente, es decir el tamiz de menor abertura en la parte inferior y el de mayor abertura se coloca en la parte superior, este conjunto debe tener una tapa y una fuente de base.

[30] Departamento de Capacitación y Entrenamiento MTOP, Determinación de la Granulometría, Pág. 89.
[31] Fuente: www.slideshare.net/ Granulometría por tamizado, Estados Unidos.
Diapositivas de La Universidad Técnica Particular de Loja, NORMA ASTM D422.

- Posteriormente se coloca la muestra en el tamiz de mayor abertura, se cubre con la tapa y procedemos a agitar todos los tamices de forma manual.
- Se toma individualmente cada tamiz con la tapa y su base y lo inclinamos 1/6 con la una mano y con la otra le golpeamos, girando el tamiz, la cantidad de masa que quede en la fuente receptora se la coloca en el siguiente tamiz, repitiendo el proceso hasta llegar al tamiz de menor abertura.
- Se pesa y registra la masa de agregado que contiene cada tamiz y la base receptora.
- Para el agregado fino se repiten los pasos anteriormente mencionados, una vez que la muestra haya sido lavada a través del tamiz N°200.
- Los resultados obtenidos en este ensayo y la curvas granulométricas son anexados en el numeral 3.2.2 del presente capitulo, ensayo realizado para cada capa que conforma el pavimento.

3.1.2.3. LIMITE LÍQUIDO (LL) (AASHTO T -89, ASTM D 4318)

El límite líquido consiste en determinar el contenido de agua de un suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico, utilizando el dispositivo, Copa de Casagrande, el cual funciona mediante golpes.

Equipo:

- Copa de Casagrande

- Instrumento para acanalar: Debe ser de bronce, resistente a la corrosión, su punta debe tener un ancho menor a 2.5mm.
- Recipiente para mezclar la muestra.
- Tamiz N°40
- Espátula
- Equipo para determinar el contenido de agua
- Frasco que contenga agua destilada

Procedimiento:

- Tamizar una cantidad representativa del suelo a ensayar, a través del tamiz N°40, del material que pasa se toma aproximadamente 100 gramos, luego se procede a colocar de 15 a 20ml de agua en la muestra, mezclamos bien la masa con el agua, para así formar una pasta de suelo homogénea y que sea fácil de moldear.
- Colocar de manera cuidadosa una porción de la mezcla en la Copa de Casagrande, extendiéndola rápidamente con la espátula y se la nivela paralelamente al nivel de la base, de tal forma que tenga una profundidad de 10 mm en su altura máxima.
- Con el acanalador realizar un canal en la mitad de la mezcla colocada en la copa de Casagrande.
- Se procede a insertar la copa en el dispositivo, verificando que la superficie inferior de la copa y la superficie de la base se encuentren limpios, posteriormente se gira la manivela hasta que se unan las dos mitades en el fondo de la copa aproximadamente (13mm) y se determina el número de golpes.

- Con la espátula se toma una porción de suelo del lugar donde se juntan los dos bordes en el canal y se procede a determinar el contenido de humedad, regresamos lo que quedo de muestra al recipiente para mezclar, y añadimos agua a la muestra, es decir variando el contenido de humedad, de tal forma que el numero de golpes estén comprendidos entre 0-10, 10-20, 20-30, y de 30-40.
- Se debe realizar por lo menos cuatro veces este ensayo, utilizando la misma muestra solo que con diferentes incrementos de agua, para que así se obtenga dos ensayos que estén bajo los 25 golpes y los otros dos superen los 25 golpes.
- Los resultados y graficas obtenidas para cada capa del pavimento son anexadas en el numeral 3.2.2.

3.1.2.4. LIMITE PLÁSTICO (AASHTO T-90, ASTM D 4318)

Este ensayo determina el contenido de agua de un suelo, en el límite entre su comportamiento plástico y semisólido.

Equipo:

- Recipiente para mezclar la muestra
- Tamiz N°40
- Espátula
- Superficie plana no absorbente
- Equipo para determinar el contenido de humedad
- Recipiente con agua destilada

Procedimiento:

- Verificar que todo el equipo a utilizarse en este ensayo este limpio y seco.
- Obtener una cantidad representativa del suelo de 20 gramos de muestra seca, una vez tamizado a través del tamiz N°40, luego se le agrega agua destilada si fuese el caso, para mezclar la muestra hasta que se tenga una pasta de suelo plástico y homogéneo para proceder a moldearla con los dedos formando una bola, luego la amasamos y hacemos rodar la bola por las manos, con el objetivo de asegurar el secado suficiente de la muestra.
- Se procede a rolar la bola entre las yemas de los dedos y la superficie plana, hasta formar un rollo de suelo de 3mm de diámetro.
- Si el rollo de suelo se disgrega antes que alcance los 3mm de diámetro, se aumenta agua a la muestra, se mezcla otra vez y se repiten los pasos anteriores, caso contrario si el rollo llega a los 3mm de diámetro sin agrietarse, se recoge el rollo para amasarlo nuevamente, se forma una bola y se amasa hasta que se obtenga un diámetro de 3mm que presente agrietamiento.
- Cuando la muestra ya se fisura, y se forman varios rollos, se los recoge y se los coloca en un recipiente para determinar el contenido de humedad de la muestra.
- Se deben analizar como mínimo dos muestras para realizar este ensayo.

- Los resultados son anexados en el numeral 3.2.2 del presente capitulo, realizado para cada capa del pavimento.

3.1.2.5. INDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$I_p = L_L - L_P$$

Por lo tanto si un suelo tiene un índice de plasticidad de 2, su plasticidad es muy baja y si este suelo posee un índice de plasticidad de 30, este tiene características plásticas muy altas.

3.1.2.6. CLASIFICACION DE SUELOS (AASHTO M-145)

La clasificación de suelos nos permite identificar las características físicas, mecánicas, que tiene el suelo ensayado, como lo son su color, el tamaño de las partículas, nos permite conocer si son suelos firmes o blandos, si son húmedos o secos, si tienen raíces o materias orgánicas, o si están conformados por algún otro químico.

La clasificación de suelos lo hacemos por medio de la clasificación S.U.C.S y por la AASHTO.

Para clasificar por el Sistema Unificado de Suelos utilizamos la tabla del Sistema Unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S), y La carta de plasticidad de Casagrande para lo cual nos basamos en él % del límite líquido y el índice de plasticidad, tablas que son anexadas a continuación: Tabla N° 10 y Tabla N°11.

Para la clasificación de suelos por medio de la AASHTO, se saca primero el índice de grupo, con los valores obtenidos de los ensayos de: límite líquido, granulometría, e índice de plasticidad, se utiliza la Tabla N°12, anexada a continuación.

$$\text{Indice de Grupo} = (\text{F} - 35) * [0{,}2 + \ 0{,}005(\ \text{LL} - 40)] + 0{,}01\ (\text{F} - 15)(\text{IP} - 10)$$

Dónde:

F= % del suelo que pasa el tamiz N°200

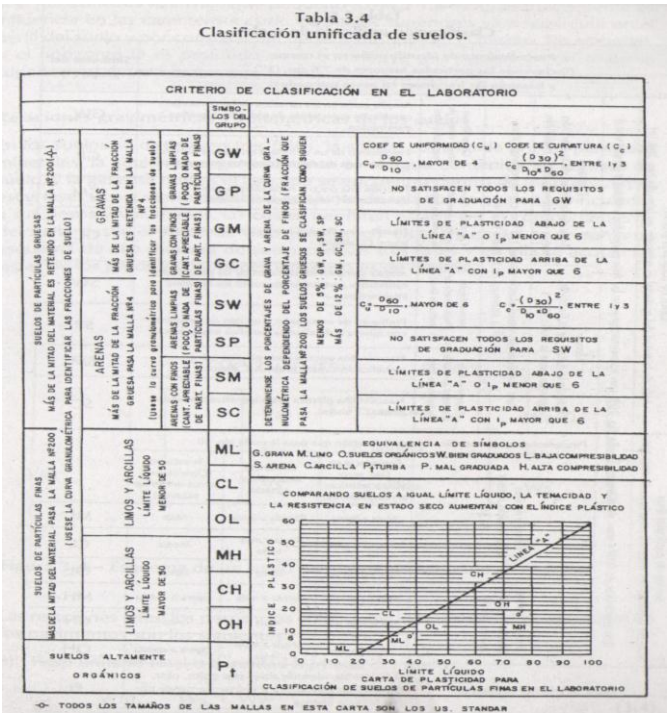
IG = Índice de Grupo

$$\%\ Grava = 100\% - \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°4$$

$$\%\ Arena = 100\% - \%\ Grava - \%\ Finos$$

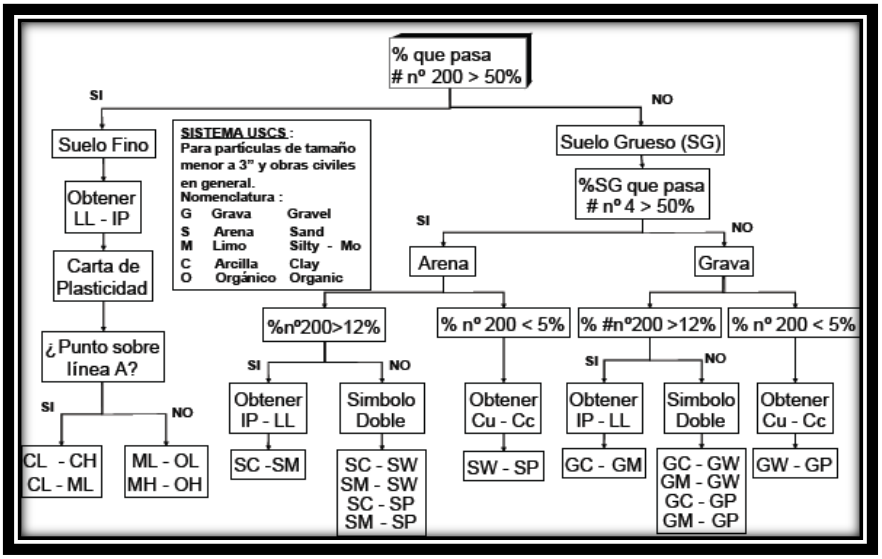
$$\%\ Finos = \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°200$$

TABLA N°10. CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS) [32]



Ingeniería de Pavimentos para Carreteras

TABLA N°11. CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS) [33]



[32] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Universidad Católica de Colombia, Impreso en Colombia, Segunda Edición 2002, Capitulo 3, Estudio de suelos para diseño de Pavimentos, Pág. 53
[33] Fuente: www.icc.ucv.cl/geotecnia/03docencia/03clasesterzaghi/3
Sistemas de Clasificación de Suelos, Tabla para la clasificación unificada de suelos (SUCS)

TABLA N° 12. CLASIFICACION AASHTO[34]



CLASIFICACION DE SUELOS
Sistema AASHTO

Clasif. General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla nº 200)							Limos y Arcillas (35% pasa malla nº 200)			
Grupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Subgrupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A-7-5/A-7-6
% que pasa tamiz :											
Nº 10	50 máx										
Nº 40	30 máx	50 máx	51 mín								
Nº 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	
Caract. Bajo Nº 40											
LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
IP	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
IG	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos	
Terreno fundación	Excelente		Excelente	Excelente a bueno				Regular a malo			

El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 5 es menor o igual a (LL - 30)
El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 6 es mayor a (LL - 30)

SISTEMAS DE CLASIFICACION DE SUELOS

[34] Fuente: www.icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases
Sistemas de Clasificación de Suelos, Sistema AASHTO

3.1.2.7. ABRASION (AASHTO T 96-60; ASTM C131)

Este ensayo nos permite determinar la resistencia al desgaste que poseen las rocas trituradas, gravas trituradas y no trituradas, ensayándolas en la máquina de los ángeles, sometidas a una carga abrasiva.

Equipo:

- Máquina de los Ángeles
- Tamices
- La carga abrasiva dependerá de la granulometría de la muestra, la cual debe estar conformada por agregado limpio, y seco. Esta carga estará formada por esferas de acero de 46.38 a 47.63mm de diámetro, con peso equivalente entre 390 a 445 gramos.

El número de esferas se tiene de las tablas:

TABLA N°13. GRADUACION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO PARA AGREGADO HASTA 1 ½" [35]

TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO Y GRADUACION DE LA MUESTRA (gr)			
PASA	**RETENIDO EN**	**A**	**B**	**C**	**D**
1 1/2 "	1"	1250			
1"	3 /4"	1250			
3 /4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	N°3			2500	
N°3	N°4			2500	
N°4	N°8				5000
PESO TOTAL		5000	5000	5000	5000
Numero de esferas		12	11	8	6
Numero de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo (minutos)		15	15	15	15

[35] Fuente: www. es.scribd.com/doc/.../Manual de Ensayos para pavimentos.
M.I Abel Ordoñez, Manual de Ensayo para pavimentos, Volumen I, Ensayo de Abrasión ASTM C131 o AASHTO T96.

TABLA N°14. GRADUACION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO PARA AGREGADO MAYOR A 3/4" [36]

TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO Y GRADUACION DE LA MUESTRA (gr)		
PASA	**RETENIDO EN**	**1**	**2**	**3**
3"	2 1/2"	2500		
2 1/2"	2"	2500		
2"	1 1/2"	5000	5000	
1 1/2"	1"		5000	5000
1"	¾"			5000
PESO TOTAL		10000	10000	10000
Numero de esferas		12	12	12
Numero de revoluciones		1000	1000	1000
Tiempo (minutos)		30	30	30

Manual de Ensayos para Pavimentos

Procedimiento:

- Se cuartea el material del suelo a ensayarse hasta obtener la cantidad determinada del mismo.
- Se pesa y registra la masa de la muestra.
- Se coloca la muestra a ser ensayada junto con la respectiva carga abrasiva en el interior de la máquina de los Ángeles.
- Se pone a rotar la maquina a una velocidad entre 30 a 33 r.p.m, durante el tiempo indicado en las tablas anexadas anteriormente.
- Una vez finalizado el tiempo requerido para el ensayo, se retira la muestra de la máquina para proceder a tamizarla a través del tamiz N°12, la cantidad retenida en ese tamiz se la lava, se la seca en el

[36] Fuente: www. es.scribd.com/doc/.../Manual de Ensayos para pavimentos.
M.I Abel Ordoñez, Manual de Ensayo para pavimentos, Volumen I, Ensayo de Abrasión ASTM C131 o AASHTO T96.

horno de 110 ± 5°C hasta obtener masa constante y luego se registra el valor del peso de la muestra.

- Los resultados son anexados en el numeral 3.2.2 del presente capitulo, en los ensayos de sub-base y base.

3.1.2.8. PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T180-01, ASTM D1557-70)

Este ensayo permite determinar la relación que existe entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos cuando estos son compactados en moldes cilíndricos de metal mediante un pisón de 4.54 Kg., cayendo desde una altura de 18" (45,7cm).

Existen cuatro métodos para realizar este ensayo los cuales están detallados en la siguiente tabla:

TABLA N° 15. PROCTOR MODIFICADO[37]

METODO	DIAMETRO DEL MOLDE	#TAMIZ QUE PASA	CANTIDAD DE MUESTRA REPRESENTATIVA (Kg)	# DE CAPAS	# DE GOLPES	CANTIDAD DE MUESTRA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD (gr)
A	4" (10,2cm)	N°4	3 Kg.	5	25	100gr.
B	6" (15,2cm)	N°4	7Kg.	5	56	100gr.
C	**4" (10,2cm)**	**3/4"**	**5 Kg.**	**5**	**25**	**100gr.**
D	6" (15,2cm)	3/4"	11 Kg.	5	56	100gr.

MTOP

Equipo:

- Pisón: Metálico

[37] Fuente: Datos obtenidos del libro Departamento de Capacitación y Entrenamiento, MTOP, Ensayo de Proctor Modificado, Pág. 151, 152, 153, 154, 155,156, 157, Cuadro realizado por Estefanía Gavilanes.

- Moldes cilíndricos de metal de diámetro como se detalló en la tabla según el método que se utilice, cuentan con un collar de 2” de altura y una placa de base desmontable.
- Extractor de muestras: Que nos permita retirar el suelo compactado dentro del cilindro.
- Balanza
- Horno
- Enrasador o regla metálica
- Tamices de 3/4" y N°4

Procedimiento:

- Se trae la muestra del campo, se la deja secar a temperatura ambiente, luego se cuartea el material hasta obtener una cantidad representativa del mismo, cantidad tomada de acuerdo al método seleccionado para el ensayo, se tamiza la muestra a través del tamiz correspondiente, y se procede a trabajar con el material que paso dicho tamiz.
- Pesar el molde correspondiente al método empleado en el ensayo, con su placa de base.
- Colocar el material que pasó el tamiz utilizado en una bandeja y se mezcla al material con agua hasta 4% menos del contenido de humedad óptimo.

- Adosar el collar al molde, para poder colocar la muestra en el interior del mismo, compactándola en cinco capas de aproximadamente igual espesor, mediante el número de golpes por capa correspondientes al método empleado como se anexo en la tabla, con un pisón de 4,54Kg dejándolo caer desde una altura de 18” (45,7cm), hasta alcanzar que la muestra compactada salga 6mm aproximadamente sobre el collar.
- Se retira el collar adosado al molde, se enrasa el suelo con una regla metálica al nivel del borde superior del cilindro y procedemos a pesar el molde con el suelo compactado y la placa de base.
- Se saca la muestra de suelo del molde y se la corta en el centro para así tomar una cantidad de suelo de las dos caras cortadas aproximadamente 100 gr. para el contenido de humedad.
- Posteriormente se disgrega lo que queda de la muestra y se aumenta de un 2% a 5% de agua aproximadamente y se vuelve a mezclar al material, por lo tanto se deben repetir los pasos anteriores, así sucesivamente hasta que haya una disminución o no se produzca cambios en la masa del suelo compactado.
- Estos resultados están anexados en las tablas en el numeral 3.2.2 del presente capitulo, realizado para las distintas capas que conforman el pavimento.

3.1.2.9. C.B.R (ASTM D 1883-73)

El CBR (Californian Bearing Ratio), es un ensayo que nos permite determinar el valor de la resistencia al esfuerzo normal de un suelo ya sea

como elemento estructural de base, sub-base y sub-rasante bajo condiciones favorables de compactación y de humedad, es decir que el valor que obtenemos en el C.B.R es un parámetro que nos indica la calidad del suelo y nos ayuda a determinar si este puede ser utilizado o no, en las distintas capas que conforman el pavimento.

Equipo:

- Prensa de Carga: De capacidad 4.54Kg. (10 libras), con una base móvil que se desplace a una velocidad uniforme de 1.27mm/min para empujar al pistón de penetración dentro de la muestra compactada.
- Moldes: Los moldes deben ser metálicos de forma cilíndrica, con diámetro interior de 6" (152.4mm) y con una altura de 7" (177.8mm), este cilindro debe tener un collar metálico de altura 2" (50.8mm) y una placa metálica de base de 3/8" (9.53mm) de altura.[38]
- Disco Espaciador: Disco metálico de forma circular de 15" (381mm) de diámetro y de 2,42"(61.47mm) altura.
- Martillo: Martillo metálico con las especificaciones mencionadas anteriormente en la norma ASTM 1557-70 (Próctor Modificado).
- Dispositivo para medir la expansión
- Pesas: Una anular con un agujero en el centro y una pesa ranurada.
- Pistón de Penetración: Pistón metálico de penetración de 1.954" (49,5mm) de diámetro y una longitud no inferior a 101,6mm.

[38] Fuente: Departamento de Capacitación y Entrenamiento, Valor de Soporte Relativo de Suelos Compactados en el Laboratorio, Equipo, Pág. 161

- Diales: Que permitan una lectura de hasta 0,025mm (0.001”).
- Recipientes para preparar la muestra, espátulas, enras
- ador, balanza, horno, piscina para sumergir los moldes, filtros de papel.

Procedimiento:

- Del ensayo de Proctor modificado ya realizado se obtiene el porcentaje del contenido de humedad óptimo y la densidad máxima, el cual nos va ayudar para preparar la muestra a ensayarse.
- Se pesa el molde sin la placa de base, luego se ajusta el cilindro a la placa de base y se adosa el collar al mismo, se inserta el disco espaciador sobre la placa de base y se coloca un filtro de papel sobre este para poder colocar la mezcla ya preparada.
- Para realizar la mezcla de la muestra se debe tomar una muestra representativa de aproximadamente 4,54 Kg para suelos finos y 5,44 Kg para suelos granulares, con el porcentaje de agua obtenido del Proctor.
- Se coloca la mezcla en el interior del molde compactándola en cinco capas de espesores aproximadamente iguales, pero se va a realizar tres moldes diferentes los cuales van a ser compactados con 56 golpes, 25 golpes y 10 golpes respectivamente.
- Se retira el collar y se enrasa el suelo a nivel del borde superior del cilindro, luego se quita la placa de base, el disco espaciador y se procede a pesar el molde con el suelo compactado.

- Colocar un filtro de papel sobre la placa de base y se invierte el molde con el suelo compactado, sujetamos el molde a la placa, quedando así el suelo compactado encima del papel filtro, luego se coloca el plato perforado y el vástago sobre la muestra compactada en el molde y se inserta las pesas para simular la sobrecarga de la base y el pavimento.
- Se sumergen los moldes con las pesas en la piscina, y se realiza la medición de la expansión inicial y se deja los moldes sumergidos por 96 horas.
- Al cabo de 96 horas se realiza la lectura de la expansión final y calculamos como un porcentaje de la altura inicial del suelo compactado.
- Retirar el molde de la piscina de agua, se lo deja escurrir durante 15 minutos, se retiran las pesas, el plato de base y pesamos el molde.
- Nuevamente se insertan las pesas en el interior del molde para colocarlo en la prensa de carga para ensayar la muestra.
- Se asienta el pistón de penetración con la carga mínima posible y que no sea superior de 4,54 Kg, luego enceramos los diales de esfuerzos y deformaciones, para lo cual necesitamos la carga inicial para así asegurar un adecuado asentamiento del pistón y se la considerara como carga cero cuando se determine la relación de penetración-carga.
- Aplicar la carga al pistón de penetración en forma tal que la velocidad de penetración sea de 1,27mm (0,05”) por minuto. Anotamos las

lecturas de las cargas correspondientes a las penetraciones indicadas en los resultados anexos.

- Se retira el suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la muestra para lo cual se toma una muestra de 100 gramos para suelos finos.
- El mismo procedimiento ya descrito realizamos con los otros dos moldes los cuales compactan la mezcla con 25 y 10 golpes, en cada capa respectivamente.
- Ya obtenidos los datos necesarios procedemos a realizar la curva esfuerzo versus deformación para 56 golpes, 25 golpes, y 10 golpes, y la curva %C.B.R versus Densidad para una penetración de 0,1" y 0,2", de esta curva se obtiene el valor de C.B.R al 95% para una penetración de 0,1", que es el valor con el cual vamos a trabajar.
- En el numeral 3.2.2 están anexados los resultados y las gráficas respectivas de este ensayo para cada capa de la estructura del pavimento.

3.1.2.10. MODULO DE RESILIENCIA (Mr)

El módulo resiliente es un valor numérico obtenido a partir del ensayo de C.B.R, el cual nos indica la calidad de las capas que conforman la estructura del pavimento, de su durabilidad, de la intensidad de la deflexión que sufre

cada capa cuando son aplicadas cargas dinámicas de ruedas de distinta magnitud y duración.

La ecuación que se va a utilizar para determinar el módulo de resilencia es:

Mr= 1500 * C.B.R. < 7.2 % [39] (Psi)

3.1.2.11. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ASTM C 128; AASHTO T 84)

Este ensayo nos ayuda a determinar la gravedad específica bulk, la gravedad específica aparente y la absorción del agregado a 23°C, después de 24 horas de estar sumergido en el agua.

Equipo:

- Balanza
- Frasco: En el cual se pueda colocar toda la muestra, capaz de apreciar volúmenes de ± 0.1cm.
- Molde: Molde metálico con forma de cono de 0.8mm de espesor como mínimo y de 40 mm de diámetro inferior en su base menor, 90 mm de diámetro en base mayor y 75 mm de altura.
- Varilla Metálica.

[39] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Método ASSHTO Para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Modulo Resiliente de la Sub rasante, Pág. 266.

Procedimiento:

- Obtener aproximadamente 1000 gramos de agregado fino, y se seca la muestra hasta obtener masa constante.
- Se retira la muestra del horno, se la deja enfriar a temperatura ambiente y se la sumerge en agua durante 24 horas.
- Se procede a eliminar el exceso de agua con mucho cuidado, luego extendemos la muestra sobre una superficie plana para secarla mediante una corriente moderada de aire caliente, moviendo la muestra para garantizar el secado uniforme.
- Se toma una cantidad adecuada de la muestra ya preparada y se la coloca en el interior del molde en forma de cono con el diámetro mayor en contacto con la superficie plana.
- Se lo llena con material hasta que este se desborde, luego apisonamos suavemente la superficie con la varilla dando 25 golpes.
- Se retira el cono y si el material conserva la forma original de este, quiere decir que la muestra todavía esta húmeda y hay que secarla más, por lo tanto se debe realizar nuevamente el ensayo hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, por medio de lo cual se sabrá que se ha alcanzado la condición de superficie seca del agregado.
- Una vez obtenida la condición de que la muestra está saturada con superficie seca, se procede a realizar el ensayo.

- Se pesa y registra el valor de la masa del frasco donde se va a introducir 500 gramos de la muestra ya preparada.
- Luego se añade agua a temperatura de 23°C. hasta el 90% de su capacidad, se cierra el frasco con la tapa, se rueda el mismo sobre una superficie plana, se lo agita e invierte para eliminar todas las burbujas de aire durante un periodo de 15 a 20 minutos, y se lo coloca en el interior de un baño de agua a la misma temperatura durante una hora.
- Finalmente se enrasa con agua a la misma temperatura, se saca el frasco, se lo seca y se determina el peso del conjunto matraz + agua+ muestra.
- Obtenidos ya estos datos podemos determinar las diferentes gravedades que tiene el agregado, resultados que son anexados en el numeral 3.2.2 en ensayos de la Carpeta Asfáltica.

3.1.2.12. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C 127; AASHTO T 85)

Este ensayo nos ayuda a determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso.

Equipo:

- Balanza con una capacidad de 5Kg. y horno a temperatura de 110 ± 5°C.

- Recipientes para las muestras.
- Canasta de alambre: De alambre cuyas aberturas tendrán un diámetro de 3.35mm (Nº6), y el diámetro de la canasta debe ser igual a su altura.
- Tarro con agua: En el cual se suspende la muestra en la canasta, y puede ser colocado debajo de la balanza.
- Tamices: De 4.75mm (Nº4) o de otros tamaños, según sea necesario.

Procedimiento:

- Mezclar bien la muestra de agregado grueso, retirar las basuras que estén presentes en esta, tamizamos la muestra por el tamiz N°4 y eliminamos el material que pasa este tamiz.
- Se cuartea la muestra para obtener una cantidad representativa del agregado, cuyo peso mínimo para el ensayo está indicado en la Tabla N° 16.

TABLA N° 16. CANTIDAD DE MUESTRA PARA EL ENSAYO [40]

Tamaño máximo nominal de la muestra mm (")	Peso mínimo de la muestra de ensayo Kg (lb)
12.5 (½) o menos	2 (4.4)
19.0 (¾)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

[40] Fuente: www.slideshare.net/ Gravedad Especifica y Absorción del Agregado grueso, Estados Unidos. Diapositivas de La Universidad Técnica Particular de Loja, NORMA ASTM C-127, Competencias Técnicas de Laboratoristas en mezclas Asfálticas (MTOP).

- Una vez determinado el peso que se debe tomar de agregado grueso para ensayar, se procede a lavar la muestra para eliminar todas las impurezas, se la seca en el horno hasta obtener masa constante, se la retira del mismo y se la deja enfriar a temperatura ambiente de una a tres horas, y se determina la masa de la muestra.
- Se proceder a sumergir el material en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas.
- Se retira la muestra del agua y se la coloca sobre una tela para absorber el agua del material hasta que esta se elimine visiblemente.
- Se pesa la muestra en condición saturada con superficie seca.
- Inmediatamente el agregado en estado saturado superficialmente seco se coloca en la canasta, la cual cuelga de un hilo fino y está sujeta de manera vertical a la balanza, para determinar el peso sumergido del agregado en el agua.
- Se saca la muestra del agua y se la pone a secar en el horno hasta obtener peso constante, luego la dejamos enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y pesamos la muestra seca.
- Obtenidos los datos podemos determinar la gravedad específica y el porcentaje de absorción del agregado grueso, cuyos resultados son anexados en el numeral 3.2.2 en ensayos de la Carpeta Asfáltica.

3.1.2.13. RESISTENCIA A LOS SULFATOS NORMAS (ASTM C 88, AASHTO T 104)

Este ensayo nos permite determinar la resistencia que tienen los agregados tanto finos como gruesos a la desintegración, usando soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio.

Equipo:

- Horno: Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Recipientes
- Balanza
- Soluciones requeridas
- Tamices:

TABLA N°17. TAMICES A EMPLEARSE

SERIE FINA	SERIE GRUESA
N°4	1 ½"
N°8	1 ¼"
N°16	¾"
N°30	5/8"
N°50	3/8"
N°100	5/16"

La cantidad exacta que se debe tomar para el agregado grueso y fino, se la detalla en las tablas indicadas a continuación:

- Para el agregado fino se deberá trabajar con el material que pase por el tamiz 3/8”, se toma una cantidad adecuada del mismo, y se

procede a tamizar a través de los tamices requeridos para este agregado indicados en la Tabla N°18, la cual nos debe dar aproximadamente 100 gramos de muestra en cada tamiz.

TABLA N°18. ABERTURA DE TAMICES [41]

AGREGADO FINO	
Retenido en el tamiz	**Pasa el tamiz**
N° 4	3/8"
N°8	N°4
N°16	N°8
N°30	N°16
N°50	N°30
N°100	N°50

ASTM C-88

- Para el agregado grueso se utiliza material que es retenido en el tamiz Nº4 (4.75mm), cuya masa se indica en la tabla N°19 anexada a continuación.

TABLA N°19. CANTIDAD DE MUESTRA PARA AGREGADO GRUESO [42]

AGREGADO GRUESO	
Tamices	**Cantidad de muestra (gr)**
3/8" a N°4	300
¾" a 3/8"	1000
1 ½" a ¾"	1500
2 ½" a 1 ½"	5000
Mayor a 2 ½"	7000

ASTM C-88

[41] Fuente: www.slideshare.net/resistenciaalossulfatos - Estados Unidos
Diapositivas de La Universidad Técnica Particular de Loja, Resistencia a los Sulfatos, Competencias Técnicas de Laboratoristas en mezclas Asfálticas (MTOP).

[42] Fuente: www.slideshare.net/resistenciaalossulfatos - Estados Unidos
Diapositivas de La Universidad Técnica Particular de Loja, Resistencia a los Sulfatos, Competencias Técnicas de Laboratoristas en mezclas Asfálticas (MTOP).

Procedimiento:

- Lavar el agregado fino, luego se lo seca en el horno hasta tener peso constante, se procede a tamizar la muestra a través de los tamices ya indicados y se coloca por separado el material que es retenido en cada uno de los tamiz en los recipientes.
- Lavar el agregado grueso, secar en el horno hasta obtener masa constante, tamizar la muestra por las fracciones indicadas, y se coloca por separado el material que es retenido en cada uno de los tamiz en los recipientes.
- Sumergir cada muestra en la solución de sulfato de sodio o de magnesio, en un intervalo de 16 a 18 horas, de manera que el material quede cubierto por la solución con una capa de por lo menos 1.3 cm de espesor a temperatura de 21 °C.
- Cubrir cada recipiente con el propósito de evitar la evaporación y la contaminación.
- Posteriormente se sacan las muestras de la solución, eliminándola con cuidado durante 15 minutos aproximadamente, se colocan las muestras en el horno a temperatura de 110 ± 5°C hasta tener masa constante, después de un periodo mínimo de ocho horas de secado.
- Se retiran las muestras del horno, se las deja enfriar a temperatura ambiente y se las vuelve a sumergir en el sulfato, este proceso se repite hasta tener el número de ciclos requeridos.

- Una vez obtenido el ciclo final se lavan las muestras con mucho cuidado para dejarlas libre de sulfato, se las seca nuevamente hasta obtener masa constante en cada muestra, se las deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa cada muestra.
- Los resultados son anexados en el numeral 3.2.2 en la sección correspondiente a ensayos de la Carpeta Asfáltica.

EXAMEN CUANTITATIVO

Este examen consiste en determinar la cantidad de material existente luego de la inmersión de las muestras en la solución, para lo cual se elimina el sulfato de las muestras, luego se las deja secar en el horno a una temperatura, se pesa cada fracción y finalmente se tamiza el agregado tanto fino como grueso a través del mismo tamiz en el cuál fue retenido antes de la inmersión.

EXAMEN CUALITATIVO

Este examen consiste en realizar un chequeo visual del material, el cual nos indicara en qué estado se encuentran las partículas. Para lo cual las fracciones de la muestra con tamaño mayor de ¾”, se examinan cualitativamente después de cada inmersión, a fin de determinar algún tipo de acción presente en las partículas y se registra el número de las mismas.

3.1.2.14. CARAS FRACTURADAS (ASTM D 5821)

Este ensayo nos permite determinar la cantidad de agregado que presenta una o más caras fracturadas luego de ser ensayadas.

Equipo:

- Tamices de 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8".
- Balanza con sensibilidad de 1 gr.
- Espátula

Procedimiento:

- La muestra para el ensayo debe ser representativa del promedio del agregado, la cual se obtiene mediante cuarteo.
- Se debe tamizar la muestra por los tamices comprendidos entre los tamaños 1 ½" y 3/8", y eliminamos lo demás.
- El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado:

TABLA N°20. CANTIDAD DE MUESTRA A ENSAYAR [43]

TAMIZ	CANTIDAD (gr)
1 ½ a 1"	2000
1" a ¾ "	1500
¾ " a ½"	1200
½" a 3/8"	300

NORMA ASTM D-5821

[43] Fuente: www.slideshare.net/ carasfracturadas- Estados Unidos
Diapositivas de La Universidad Técnica Particular de Loja, Caras Fracturadas, Competencias Técnicas de Laboratoristas en mezclas Asfálticas (MTOP).

- Colocar la muestra sobre una superficie limpia para observar a cada partícula del agregado, si es necesario lavar el agregado para facilitar la inspección de estas, luego se debe separar las partículas que tengan caras fracturadas del agregado mediante el uso de la espátula.
- Se pesa y registra los valores de partículas con caras fracturadas para cada tamaño de tamiz. Una partícula se considera como fracturada cuando el 25% o más del área de su superficie aparece fracturada.
- Finalmente calcular el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño, los cálculos son detallados y anexados en el numeral 3.2.2.3, en los ensayos de carpeta asfáltica.

3.1.2.15. MEZCLA EN CALIENTE

Para poder determinar el porcentaje de asfalto y la cantidad de agregado que se debe utilizar para la elaboración de las briquetas debemos realizar los siguientes pasos.

Procedimiento:

- Se tamiza el agregado de ¾" (Material A), de 3/8" (Material B) y el agregado fino (Material C), a través de los tamices indicados en los resultados anexados posteriormente, para determinar la curva granulométrica.

- Obtenidos ya los porcentajes de cada tamaño de agregado en cada tamiz procedemos a calcular el porcentaje de cada tamaño de agregado que se va a emplear para realizar la mezcla para la elaboración de la briqueta, esto lo hacemos mediante el empleo de la formula maestra:

$$\text{Cantidad de agregado} = (\%\ \text{de Mezcla A} * \text{Cantidad de agregado en cada tamiz de A}) + (\%\ \text{de Mezcla B} * \text{Cantidad de agregado en cada tamiz de B}) + (\%\ \text{de Mezcla C} * \text{Cantidad de agregado en cada tamiz de C})$$

- Se calcula el porcentaje retenido acumulado, porcentaje retenido parcial, peso, y el peso acumulado, mediante las fórmulas que están indicadas en la tabla anexada en el numeral 3.2.2 correspondiente a ensayos de la Carpeta Asfáltica.
- Ya determinados estos valores podemos graficar la curva granulométrica, la misma que va a ser calificada mediante las especificaciones establecidas por MTOP, como se indica en la tabla anexada para este ensayo, por lo que podemos apreciar que el material si cumple con las especificaciones establecidas.
- Procedemos a determinar el porcentaje de asfalto que va a ser utilizado en esta elaboración de briquetas para lo cual usamos la formula $P = M * \sqrt[5]{S}$, donde M es el coeficiente de tráfico 4,25 y S se lo obtiene mediante la fórmula:

S=	0,17*G + 0,33*g + 2,3*A + 12*a+135*f

Valores que son indicados en nuestra tabla anexada en el numeral 3.2.2.3 correspondiente a ensayos de la Carpeta Asfáltica, de lo cual se obtuvo un porcentaje de AP3 de 6,24% para esta mezcla.

3.1.2.16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LAS BRIQUETAS Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS NO ABSORVENTES (ASTM D 2726)

A través de esta norma obtenemos el procedimiento para determinar la Gravedad Específica Bulk de las briquetas compactadas de mezclas bituminosas.

Equipo:

- Balanza: Con una aproximación de 0.01 gr.
- Baño de agua para la inmersión de la muestra.
- Hilo
- Tarro lleno con agua colocado sobre una superficie plana
- Briquetas: se recomienda que el espesor de los especímenes sea al menos una vez y media el tamaño máximo del agregado.

Procedimiento:

- Obtener el peso de las briquetas en seco.
- Se sumergen las briquetas una por una en el baño maría a una temperatura de 23°C durante dos minutos cada briqueta, sacamos los

especímenes, se los deja enfriar y se determina el peso de las briquetas saturadas con superficie seca.

- Sumergimos cada briqueta en el interior de un tarro lleno de agua, sujetada con un hilo cuyo extremo restante está amarrado a la balanza para poder determinar el peso de la briqueta sumergida en agua.
- Una vez obtenidos los datos necesarios procedemos a calcular la Gravedad Especifica Bulk para cada briqueta mediante la expresión indicada en los resultados anexados en el numeral 3.2.2.3 del presente capitulo, en ensayos de la Carpeta Asfáltica.

3.1.2.17. ENSAYO RICE (ASTM D 2041, AASHTO T 209)

Mediante este ensayo podemos determinar la Gravedad y Densidad teórica máxima de las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 23°C.

Equipo:

- Recipiente: Un frasco volumétrico con una capacidad de por lo menos 2000 ml.
- Balanza
- Bomba de vacío o aspirador de agua
- Termómetro.
- Baño con agua: A temperatura constante de 23 °C.
- Válvulas de vacío.

Procedimiento:

- Tener las briquetas listas para ser ensayadas.
- Determinar y registrar el peso del frasco.
- Calentar agua en baño maría a temperatura de 23 °C.
- Pesar el recipiente donde se va a colocar la briqueta.
- Poner en el recipiente la briqueta y meterla al horno por un tiempo adecuado, con el objeto de poder desmenuzarla sin alterar a las partículas del agregado que conforman la briqueta.
- Sacar la muestra del horno, se la deja enfriar a temperatura ambiente, para desmenuzarla.
- Se procede a colocar la muestra en un recipiente, y se determina el peso de la muestra seca (A).
- En el frasco volumétrico se coloca el agua a 23°C, se pesa y registra la masa del conjunto (C) (Recipiente + Agua).
- Con cuidado se inserta la muestra en el interior del frasco, se pesa y registra ese valor.
- A continuación se debe eliminar el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un período de 5 a 15 minutos.
- Después del proceso previamente mencionado se debe mover el conjunto recipiente + muestra + agua, a intervalos de alrededor de 2 minutos. Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado se procede a determinar el peso y registrar el valor.

- Llenar el frasco con agua a la misma temperatura, hasta la inicial donde fue llenado inicialmente y se determina el peso del conjunto (B) (recipiente + muestra + agua).
- Una vez finalizado el ensayo y obtenidos los datos requeridos para obtener esta gravedad utilizamos la formula indicada en los resultados referente a este ensayo, anexados en el numeral 3.2.2.3, en los ensayos de carpeta asfáltica.

3.1.2.18. DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO MARSHALL (ASTM D 1559, AASHTO T 225)

Este ensayo nos permite determinar la densidad Bulk y el porcentaje de vacíos para cada grupo de muestras asfálticas, mediante el cálculo y análisis de los diferentes pesos y volúmenes.

Equipo:

- EQUIPO MARSHALL

Procedimiento:

- Calculamos el volumen para cada briqueta:

Volumen = Peso S.S.S (Peso Saturado con Superficie Seca) – Peso Sumergido (P. Sm)

- Calculamos la Gravedad Especifica Bulk para cada briqueta con la ecuación:

$$G.Bulk = \frac{Peso\ Seco}{Peso\ saturado\ con\ superficie\ seca\ (P.SSS) -\ Peso\ sumergido}$$

Se promedian los pesos específicos “bulk” de las tres briquetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, descartando las que se alejen demasiado del promedio.

- Determinamos la gravedad del agregado para cada porcentaje de asfalto analizado, mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$G.Agregado = \frac{100}{\left[\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3}\right]}$$

Dónde:

P1, P2, P3: % en peso de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado.

G1, G2, G3: Pesos específicos de los materiales a los que corresponden las fracciones anteriormente mencionadas.

- Se calcula el peso específico de la mezcla asfáltica suelta RICE, mediante la expresión:

$$Gmm = \frac{A}{A - (B - C)}$$

Dónde:

A= Peso de la Mezcla

B= Peso del frasco + muestra + agua

C= Peso del frasco + agua

- Se calcula el porcentaje en volumen de los agregados, para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado, mediante la fórmula:

$$\%Vol.Agregados = \frac{(100 - \%\ asfalto) * G.Bulk\ promedio}{Gravedad\ especifica\ bulk\ del\ agregado\ para\ cada\ \%}$$

- Se determina el porcentaje total de vacíos con respecto al volumen total de la probeta mediante la expresión:

$$\%\ V_{V=}\left(1-\frac{Gravedad\ Bulk\ promedio\ (G.Bulk\ promedio)}{Rice\ (G_{mm})}\right)*100$$

- Se calcula el volumen de asfalto como porcentaje del volumen total de la probeta, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\%\ V_{ae} = 100 - \%\ volumen\ de\ agregados\ (V.agre) - \%\ volumen\ de\ vacios(Vv)$$

- Se obtiene el porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la mezcla compactada, utilizando la siguiente expresión:

$$\%V_{am} = 100 - \%\ volumen\ de\ agregados\ (Vagre.)$$

- Se determina el volumen efectivo de asfalto con respecto al peso de la mezcla con la siguiente expresión:

$$\%V_{FM} = \frac{\%\ volumen\ de\ agregado\ mineral\ (Vam) - \%volumen\ de\ vacios\ (Vv)}{\%Vam} * 1{,}011 * 100$$

CORRECCION DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD

Mediante la siguiente tabla podemos obtener los valores para corregir la estabilidad de las briquetas.

TABLA N°21. CORRECION DE LOS VALORES DE LA ESTABILIDAD [44]

Volumen de la briqueta cm³	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
200-213	2.54	5.56
214-225	2.70	5.00
226-237	2.86	4.55
238-250	3.02	4.17
251-264	3.17	3.85
2.65-276	3.33	3.57
277-289	3.49	3.33
290-301	3.65	3.03
302-316	3.81	2.78
317-328	3.97	2.50
329-340	4.13	2.27
341-353	4.29	2.08
354-367	4.44	1.92
368-379	4.60	1.79
390-392	4.76	1.67
393-405	4.92	1.56

Volumen de la briqueta cm³	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
406-420	5.08	1.47
421-431	5.24	1.39
432-443	5.40	1.32
444-456	5.56	1.25
457-470	5.71	1.19
471-482	5.87	1.14
483-495	6.03	1.09
496-508	6.19	1.04
509-522	6.35	1.00
523-535	6.51	0.96
536-546	6.67	0.93
547-559	6.82	0.89
560-573	6.98	0.86
574-585	7.14	0.83
586-598	7.30	0.81
599-610	7.46	0.78
611-625	7.62	0.76

Norma ASTM D 1559

[44] Fuente: Fuente: www.slideshare.net/ diseñomarshall- Estados Unidos, Norma ASTM D 1559.
Diapositivas de La Universidad Técnica Particular de Loja, Diseño Marshall, Competencias Técnicas de Laboratoristas en mezclas Asfálticas (MTOP).

- En base al volumen de la briqueta se calcula la estabilidad corregida de acuerdo a la tabla dada escogemos el factor de corrección que será aplicado a cada briqueta en función de su volumen y procedemos a calcular la estabilidad corregida con la fórmula:

$$\boldsymbol{Estabilidad\ Corregida = Estabilidad * factor\ de\ correcion}$$

- Los valores de flujo obtenidos para todas las muestras elaboradas con determinado contenido de cemento asfáltico, se promedian, y se deberá eliminar el valor que difiera notablemente del promedio si lo hay.
- Procedemos a graficar la curva de densidad versus % de asfalto, estabilidad versus % de asfalto, flujo versus asfalto, % de vacíos con aire en la mezcla total versus % de asfalto y % de vacíos en los agregados minerales versus % de asfalto.

- Los resultados y las gráficas son anexados en el en el numeral 3.2.2.3 del presente capitulo en la parte referente a los ensayos de Carpeta Asfáltica.
  - La densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual comienza a decrecer.
  - La curva de Estabilidad es similar a la de la densidad, salvo que la máxima estabilidad ocurre normalmente a un contenido de asfalto ligeramente inferior al de la máxima densidad.
  - Los valores de flujo aumentan con los incrementos en el contenido de asfalto.

3.2. **RESULTADOS Y ESPECIFICACIONES**

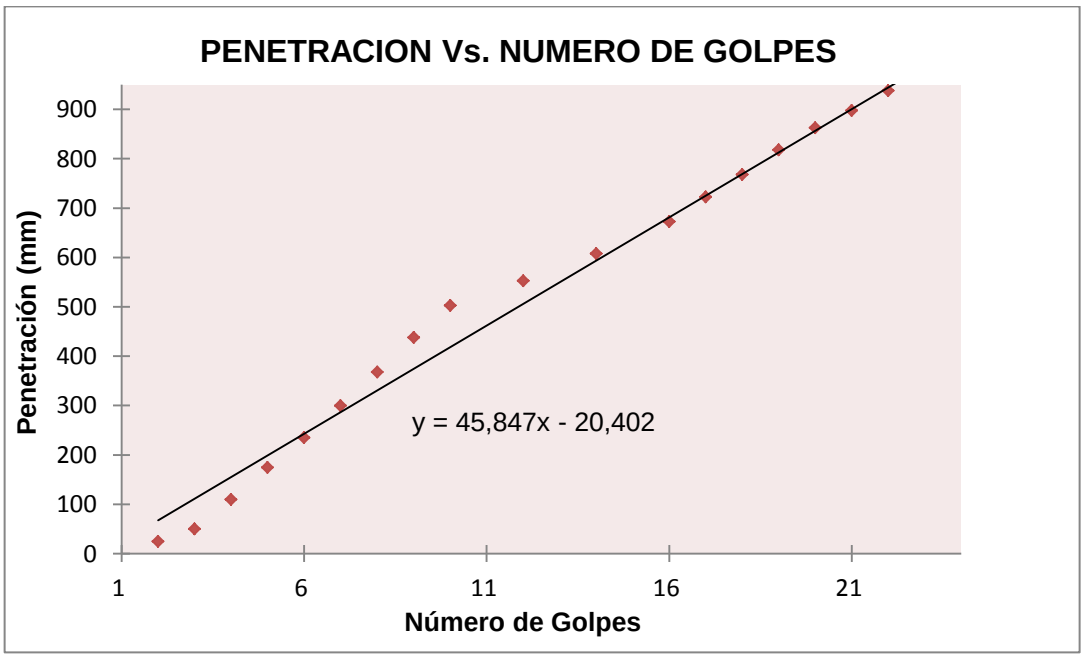
3.2.1. ENSAYOS DE CAMPO

3.2.1.1. D.C.P

PROYECTO: VIA LATACUNGA - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 03 / 12/ 2011
DESCRIPCION: SUB-RASANTE NORMA: ASTM D 6951-03

ABSCISA: Km 0 +150

Profundidad:	114,8	m
Valor mm/golpe :	46	
CBR (Kleyn 1975) :	3,9	3,9
CBR (Kleyn & Heerden 1983) :	3,01	3,01
CBR (Harrison 1987) :	4,12	4,12
Valor CBR Promedio:	3,68	3,68

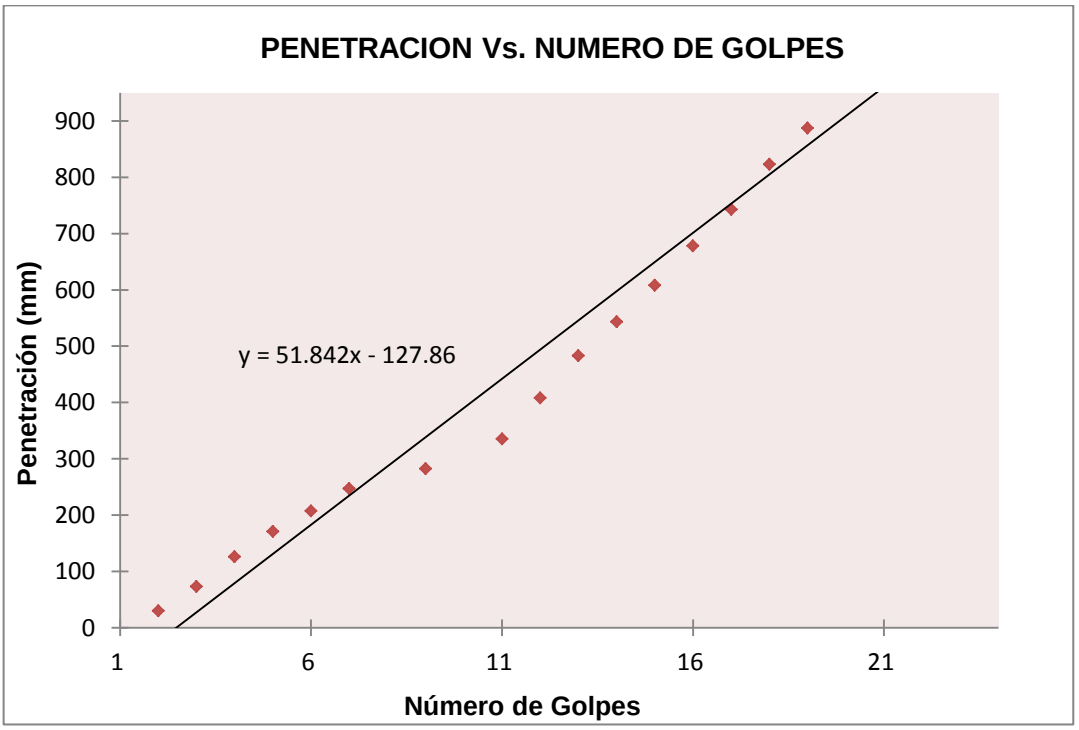


Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 03 / 12/ 2011
DESCRIPCION: SUB-RASANTE NORMA: ASTM D 6951-03

ABSCISA: Km 0 +185

Profundidad:	110,30	m
Valor mm/golpe :	52	
CBR (Kleyn 1975) :	3,33	3,33
CBR (Kleyn & Heerden 1983) :	2,56	2,56
CBR (Harrison 1987) :	3,51	3,51
Valor CBR Promedio:	3,13	3,13

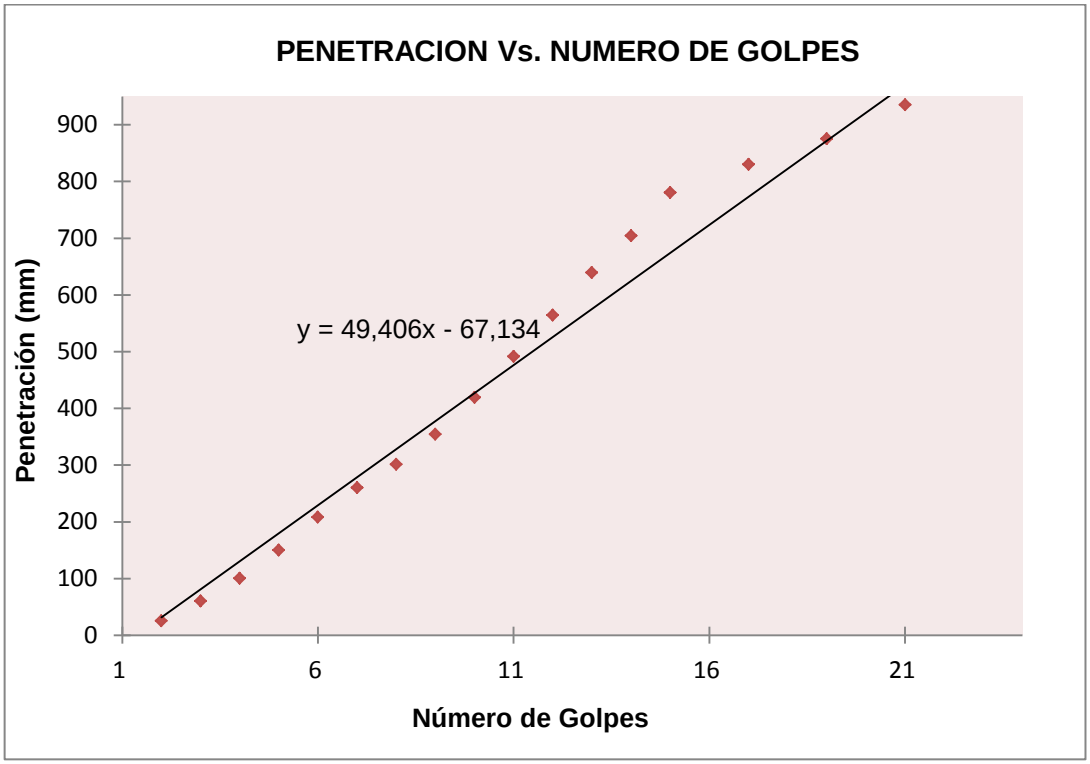


Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 03 / 12/ 2011
DESCRIPCION: SUB-RASANTE NORMA: ASTM D 6951-03

ABSCISA: Km 0 +215

Profundidad:	114,50	m
Valor mm/golpe :	49,41	
CBR (Kleyn 1975) :	3,56	3,56
CBR (Kleyn & Heerden 1983) :	2,74	2,74
CBR (Harrison 1987) :	3,75	3,75
Valor CBR Promedio:	3,35	3,35

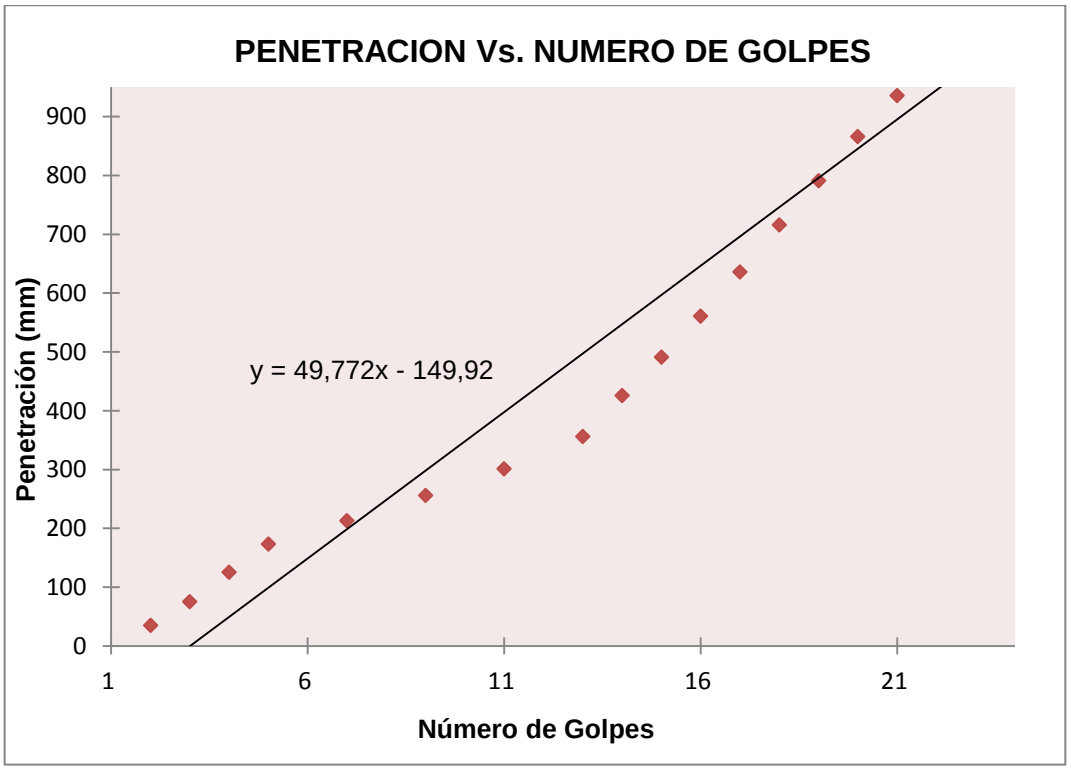


Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 03 / 12/ 2011
DESCRIPCION: SUB-RASANTE NORMA: ASTM D 6951-03

ABSCISA: Km 0 +250

Profundidad:	119,60	**m**
Valor mm/golpe :	50	
CBR (Kleyn 1975) :	3,51	3,51
CBR (Kleyn & Heerden 1983) :	2,70	2,70
CBR (Harrison 1987) :	3,69	3,69
Valor CBR Promedio:	3,30	3,30



Autor: Estefanía Gavilanes D.

3.2.1.2. PRUEBA DE PLACA

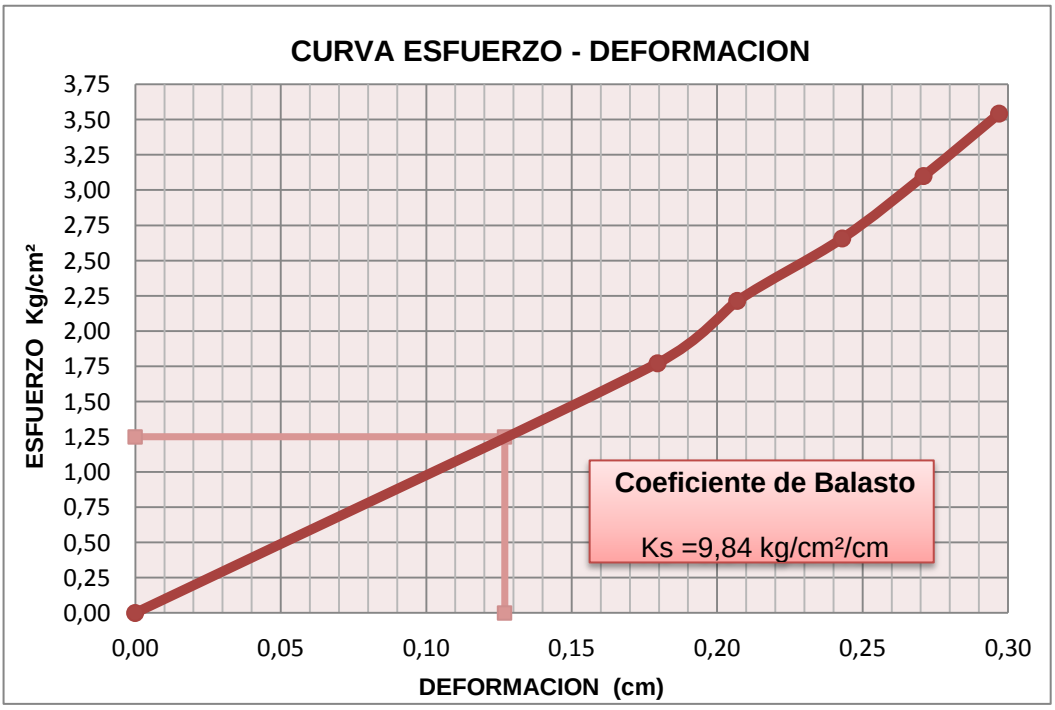
PROYECTO: VIA LATACUNGA - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 24/06/2012
DESCRIPCION: BASE SIN GEOMALLA NORMA: ASTM D 1194-94
ESPESOR: 20 cm

DIAMETRO DE LA PLACA: 45 cm
AREA DE LA PLACA: 1590.45 cm^2

ABSCISA: Km 0 +520

GRÁFICA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN

CARGA Kg	DEFORMACIÓN PROMEDIO mm	ESFUERZO Kg/cm²	DEFORMACION cm
0	0.0	0.00	0.000
2817.28	1.80	1.77	0.180
3521.60	2.07	2.21	0.207
4225.92	2.43	2.66	0.243
4930.24	2.71	3.10	0.271
5634.56	2.97	3.54	0.297



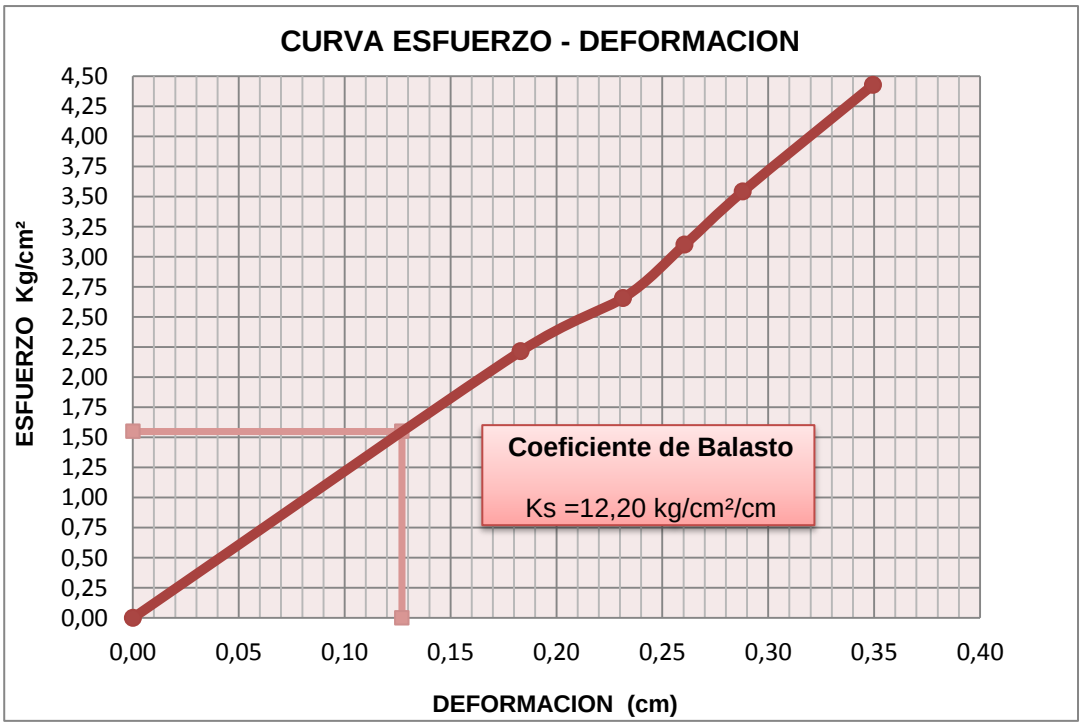
PROYECTO: VIA LATACUNGA - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 24/06/2012
DESCRIPCION: BASE CON GEOMALLA NORMA: ASTM D 1194-94
ESPESOR: 20 cm

DIAMETRO DE LA PLACA: 45 cm
AREA DE LA PLACA: 1590.45 cm^2

ABSCISA: Km 0 +205

GRÁFICA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN NETA

CARGA Kg	DEFORMACIÓN PROMEDIO mm	ESFUERZO Kg/cm²	DEFORMACION cm
0	0.0	0.00	0.000
3521.60	1.83	2.21	0.183
4225.92	2.32	2.66	0.232
4930.24	2.61	3.10	0.261
5634.56	2.88	3.54	0.288
7043.20	3.50	4.43	0.350



3.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.2.2.1. ENSAYOS DE LA SUB-RASANTE

RESUMEN DE RESUTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN LA SUB-RASANTE

DATOS			LIMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACION			PROCTOR MODIFICADO		C.B.R	
ABSCISA	PROFUNDIDAD		% CONTENIDO DE HUMEDAD	LIMITE LIQUIDO LL	LIMITE PLASTICO LP	INDICE DE PLASTICIDAD IP	INDICE DE GRUPO IG	SUCS	AASHTO	DENSIDAD MAXIMA Ɣ Máx. (gr/cm³)	% HUMEDAD OPTIMA	0,1'	0,2'
0+190	Subrasante	m	28.08	N.P	N.P	N.P	0	ML	A-4				
0+190	-0.50	m	25.62	35.37	31.24	4.14	1	ML	A-4	1.630	18.60	6.25	6.50
0+190	-1.00	m	31.01	36.40	31.56	4.84	2	ML	A-4				
0+190	-1.50	m	30.99	N.P	N.P	N.P	0	SM-SC	A-4				
0+220	Subrasante	m	30.73	N.P	N.P	N.P	0	ML	A-4				
0+220	-0.50	m	28.91	37.66	33.64	4.02	2	ML	A-4	1.650	17.80	5.20	5.45
0+220	-1.00	m	32.03	36.16	31.91	4.25	2	ML	A-4				
0+220	-1.50	m	33.53	35.11	31.22	3.89	1	ML	A-4				
0+250	Subrasante	m	25.93	N.P	N.P	N.P	0	ML	A-4				
0+250	-0.50	m	30.56	36.15	32.15	4.00	1	ML	A-4	1.670	18.00	5.38	5.55
0+250	-1.00	m	30.49	35.29	30.85	4.44	2	ML	A-4				
0+250	-1.50	m	29.76	36.69	32.77	3.92	0	SM-SC	A-4				

Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA- PUJILI -ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
MUESTRA: 2 NORMAS: ASTM D 2216
ABSCISA: Km 0 +190 ASTM D 422
PROFUNDIDAD: 0.50 m ASTM D 4318

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Peso del recipiente m1 (gr)	Peso del recipiente + Suelo Humedo m2 (gr)	Peso del recipiente + Suelo Seco m3 (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	% Contenido de Agua promedio
17,55	87,56	72,83	14,73	55,28	26,65	
17,60	98,65	82,37	16,28	64,77	25,14	25,62
17,63	85,63	71,99	13,64	54,36	25,09	

$$CONTENIDO\ DE\ HUMEDAD\ (w\%) = \frac{Masa\ del\ Agua}{Masa\ del\ suelo\ seco} * 100$$

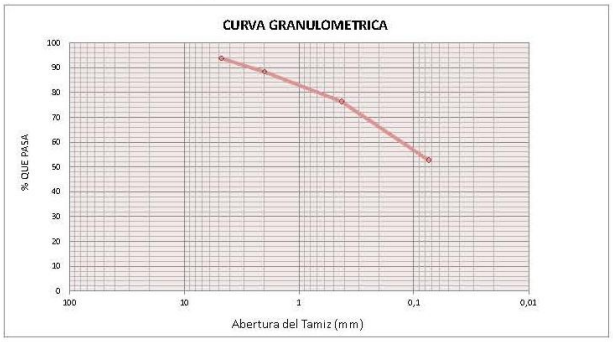
GRANULOMETRIA

MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (gr)= 99,17
MASA DE LA MUESTRA SECA (gr)= 78,94

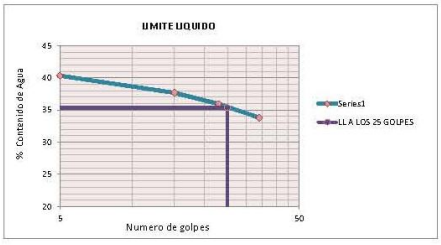
TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA
N°4	4,750	5,01	5,01	6,35	93,65
N°10	2,000	4,21	9,22	11,68	88,32
N°40	0,425	9,50	18,72	23,71	76,29
N°200	0,074	18,66	37,38	47,35	52,65
BANDEJA	0,000	41,56	78,94	100,00	0,000

$$\%\ Retenido = \frac{Masa\ retenida\ acumulada}{Masa\ seca\ de\ la\ muesta} * 100$$

$$\%\ que\ pasa = 100 - \%Retenido$$



LIMITE LIQUIDO						
Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Humedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco(gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	# DE GOLPES	% Contenido de Agua
9,34	26,54	21,60	4,94	12,26	5	40,29
9,24	25,32	20,92	4,40	11,68	15	37,67
9,97	28,82	23,84	4,98	13,87	23	35,90
9,60	27,77	23,18	4,59	13,58	34	33,80



LIMITE LIQUIDO =	35,37

LIMITE PLASTICO						
Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Humedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco(gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	LIMITE PLASTICO
9,44	26,85	22,65	4,20	13,21	31,79	31,24
10,13	24,57	21,18	3,39	11,05	30,68	

RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACION DEL SUELO					
GRANULOMETRIA		PLASTICIDAD		CLASIFICACION	DESCRIPCION
% GRAVA	**6,35**	% LIMITE LIQUIDO	**35,37**	SUCS:	**ML**	**LIMO ARENOSO**
% ARENA	**41,00**	%LIMITE PLASTICO	**31,24**	ASSHTO:	**A-4**	CON MAYOR CANTIDAD DE GRANO FINO
% FINOS	**52,65**	% INDICE DE PLASTICIDAD	**4,14**	IG=	**1**	

$$\%\ Grava = 100\% - \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°4$$

$$\%\ Arena = 100\% - \%\ Grava - \%\ Finos$$

$$\%\ Finos = \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°200$$

$$Indice\ de\ Grupo = (F - 35) * [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01\ (F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

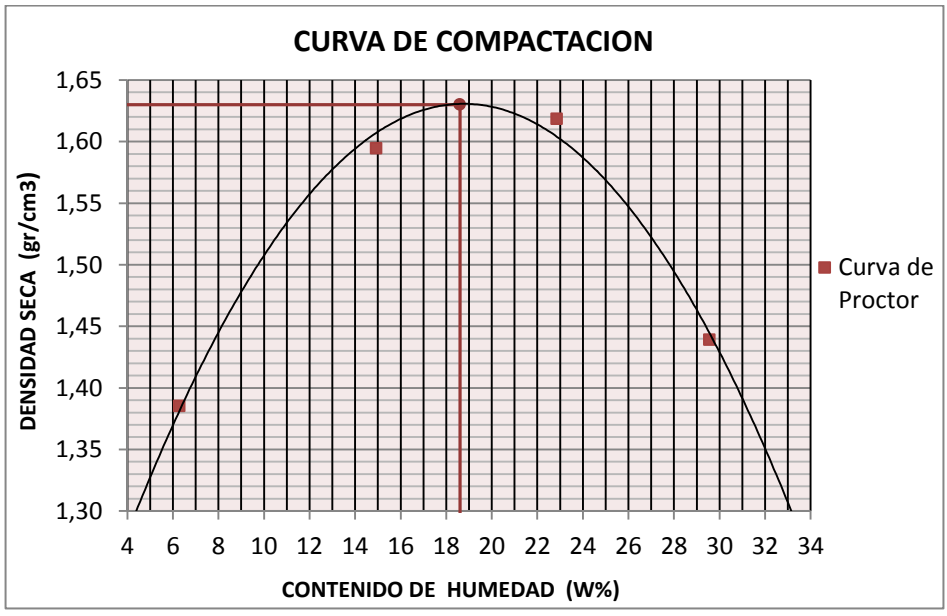
F= % del suelo que pasa el tamiz N°200
IG = Indice de Grupo

PROCTOR (ABSCISA 0+190)

OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
ABSCISA: Km 0 + 190
PROFUNDIDAD: -0.50 m NORMA: ASTM D 1557

Método: C
De Capas: 5
De Golpes por Capa: 25

MOLDE N°	1		2		3		4	
PMH + Molde (gr)	5640		5980		6127		6010	
Peso del Molde (gr)	4250		4250		4250		4250	
PMH (gr)	1390		1730		1877		1760	
Volumen del Molde (cm3)	944		944		944		944	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	**1.472**		**1.833**		**1.988**		**1.864**	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
TARRO N°	**80**	**82**	**87**	**85**	**32**	**30**	**11**	**40**
PMH + T (gr)	130.20	129.32	132.95	130.23	133.03	135.46	142.45	146.00
PMS + T (gr)	123.32	122.94	117.96	115.63	111.99	113.13	114.07	117.63
Peso H2O (gr)	6.88	6.38	14.99	14.60	21.04	22.33	28.38	28.37
Peso del Tarro (gr)	17.40	18.19	17.31	18.14	18.19	17.20	20.27	19.32
PMS (gr)	105.92	104.75	100.65	97.49	93.80	95.93	93.80	98.31
Contenido de Humedad (%)	6.49	6.09	14.89	14.98	22.43	23.28	30.26	28.86
Humedad Promedio (%)	**6.29**		**14.93**		**22.85**		**29.56**	
Densidad Seca (gr/cm3)	**1.385**		**1.594**		**1.618**		**1.439**	



DENSIDAD MAXIMA(gr/cm3)	**1.630**
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	**18.60**

FORMULAS

$$Peso\ del\ Agua = (PMH + Peso\ del\ tarro) - (PMS + Peso\ del\ tarro)$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ (PMS) = (PMS + tarro) - Peso\ del\ tarro$$

$$Contenido\ de\ Humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{PMS} * 100$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ Humeda\ (PMH) = (PMH + molde) - Peso\ del\ Molde$$

$$Densidad\ Humeda = \frac{PMH}{Volumen\ del\ molde}$$

$$Densidad\ Seca = \frac{Densidad\ Humeda}{1 + \frac{Humedad\ Promedio}{100}}$$

C.B.R (ABSCISA 0+190)

OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
ABSCISA: Km 0 + 190
PROFUNDIDAD: -0.50 m

NORMA: ASTM D 1883

De Capas: 5
Peso del Martillo: 4.54 Kg.

DENSIDAD MAXIMA	**1.63**	**gr/cm3**
HUMEDAD OPTIMA	**18.50**	**%**

NUMERO DE MOLDE	**1**		**2**		**3**	
Numero de golpes por capa	**56**		**25**		**10**	
Peso del molde + Suelo Húmedo: (gr.)	12021		11995		11756	
Peso del molde: (gr.)	7274		7370		7270	
Peso del Suelo húmedo : (gr.)	4747		4625		4486	
Volumen del molde: (cm3)	2477		2477		2477	
Densidad Húmeda: (gr/cm3)	1.916		1.867		1.811	
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO						
Peso del tarro + Suelo húmedo:(gr.)	36.85	36.37	30.89	27.97	35.92	34.68
Peso del tarro + Suelo seco: (gr)	34.00	33.75	29.08	26.22	33.40	32.36
Peso del tarro: (gr.)	18.89	19.66	19.39	16.83	19.85	19.86
W % :	18.86	18.59	18.68	18.64	18.60	18.56
W (%) promedio :	**18.73**		**18.66**		**18.58**	
Densidad Seca:	**1.614**		**1.574**		**1.527**	
CONTENIDO DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION						
Peso del tarro + Suelo húmedo: (gr.)	61.75	63.05	61.40	65.23	62.18	62.30
Peso del tarro + Suelo seco: (gr.)	53.48	54.63	51.82	54.48	50.68	50.99
Peso del tarro: (gr.)	18.64	19.12	19.84	18.45	19.84	19.86
W (%):	23.74	23.71	29.96	29.84	37.29	36.33
W (%) promedio:	**23.72**		**29.90**		**36.81**	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA DESPUES DE LA SATURACION			
Peso saturado:	12180	12320	12335
Agua absorvida :	159	325	579
% agua absorvida:	3.35	7.03	12.91
% Compactación:	99.03	96.54	93.70
Variación w%:	0.23	0.16	0.08

ESPONJAMIENTO:

NUMERO DEL MOLDE	1		2		3	
Tiempo (Días)	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	10	0.21	13	0.28	16	0.34
2	14	0.30	16	0.34	20	0.43
3	15	0.32	19	0.41	22	0.47
4	22	0.47	24	0.51	27	0.58

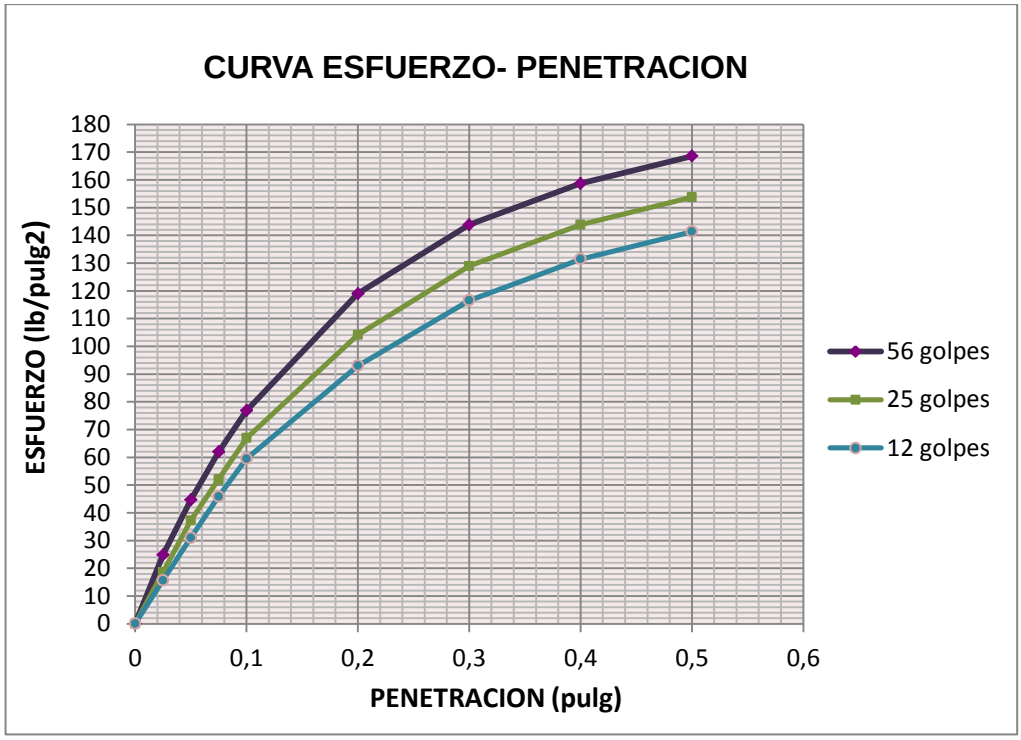
PENETRACION: Constante del anillo = 7,438 * lectura /3

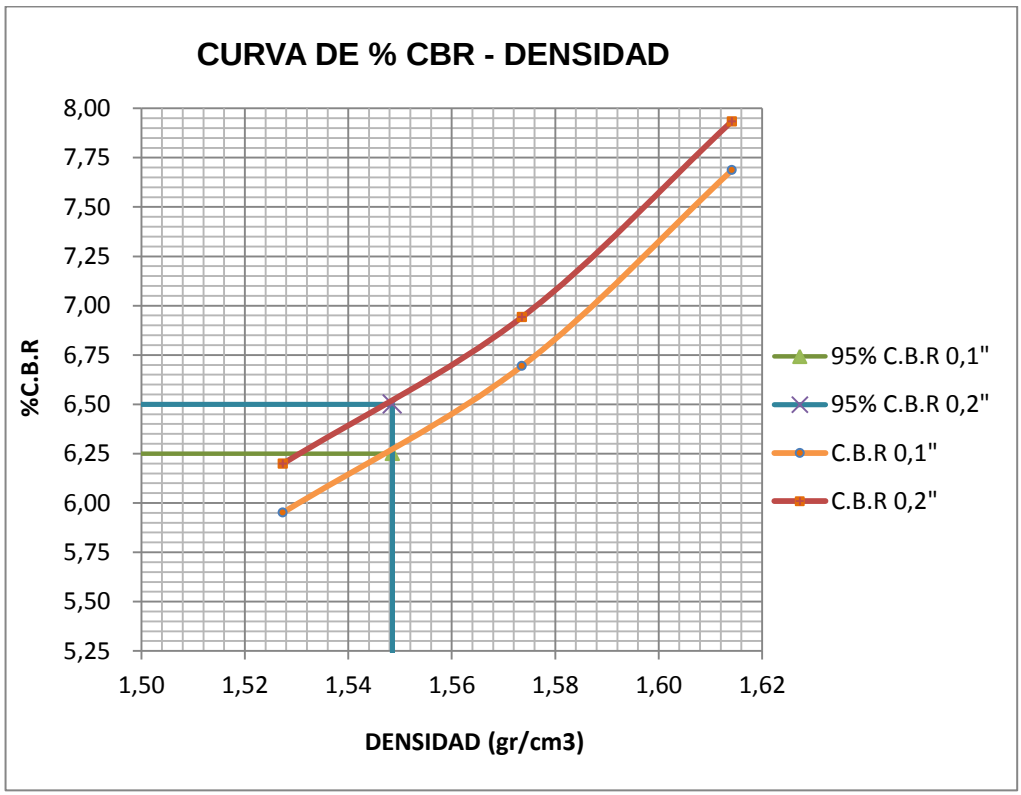
NUMERO DEL MOLDE	1		2		3	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	**56**		**25**		**10**	
Penetración (pulgadas)	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	10	24.79	8	18.60	6	15.62
0.050	18	44.63	15	37.19	13	30.99
0.075	25	61.98	21	52.07	19	45.87
0.100	31	76.86	27	66.94	24	59.50
0.200	48	119.01	42	104.13	38	92.98
0.300	58	143.80	52	128.93	47	116.53
0.400	64	158.68	58	143.80	53	131.40
0.500	68	168.59	62	153.72	57	141.32

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,1"
76.859	7.69
66.942	6.69
59.504	5.95
C.B.R (95%)	6.25

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,2"
119.01	7.93
104.13	6.94
92.98	6.20
C.B.R (95%)	6.50

GRAFICAS C.B.R





Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA- PUJILI -ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
MUESTRA: 2 NORMAS: ASTM D 2216
ABSCISA: Km 0 +220 ASTM D 422
PROFUNDIDAD: 0.50 m ASTM D 4318

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Peso del recipiente m1 (gr)	Peso del recipiente + Suelo Humedo m2 (gr)	Peso del recipiente + Suelo Seco m3 (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	% Contenido de Agua promedio
18,10	93,48	76,56	16,92	58,46	28,94	
17,95	90,13	74,27	15,86	56,32	28,16	28,91
18,19	94,97	77,42	17,55	59,23	29,63	

$$CONTENIDO\ DE\ HUMEDAD\ (w\%) = \frac{Masa\ del\ Agua}{Masa\ del\ suelo\ seco} * 100$$

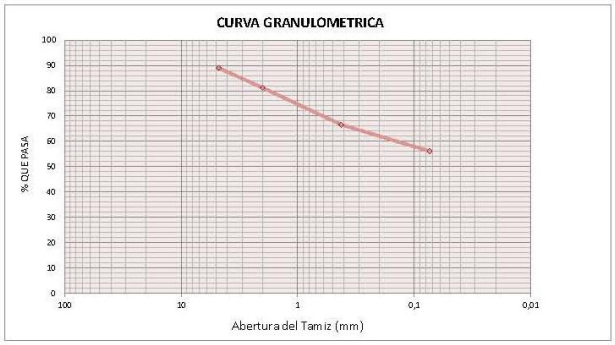
GRANULOMETRIA

MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (gr)= 98,65
MASA DE LA MUESTRA SECA (gr)= 76,53

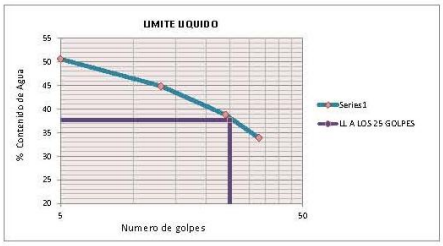
TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA
N°4	4,750	8,46	8,46	11,06	88,94
N°10	2,000	5,98	14,44	18,87	81,130
N°40	0,425	11,21	25,65	33,52	66,48
N°200	0,074	7,95	33,60	43,91	56,09
BANDEJA	0,000	42,93	76,53	100,00	0,000

$$\%\ Retenido = \frac{Masa\ retenida\ acumulada}{Masa\ seca\ de\ la\ muesta} * 100$$

$$\%\ que\ pasa = 100 - \%Retenido$$



LIMITE LIQUIDO						
Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Humedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco(gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	# DE GOLPES	% Contenido de Agua
10,10	27,42	21,60	5,82	11,50	5	50,61
9,85	28,78	22,92	5,86	13,07	13	44,84
9,95	29,10	23,75	5,35	13,80	24	38,77
10,12	28,94	24,18	4,76	14,06	33	33,85



LIMITE LIQUIDO =	37,66

LIMITE PLASTICO						
Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Humedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco(gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	LIMITE PLASTICO
10,12	30,48	25,38	5,10	15,26	33,42	33,64
9,87	29,48	24,52	4,96	14,65	33,86	

RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACION DEL SUELO						
GRANULOMETRIA		PLASTICIDAD		CLASIFICACION		DESCRIPCION
% GRAVA	11,06	% LIMITE LIQUIDO	37,66	SUCS:	ML	LIMO ARENOSO
% ARENA	32,85	%LIMITE PLASTICO	33,64	ASSHTO:	A-4	CON MAYOR CANTIDAD DE GRANO FINO
% FINOS	56,09	% INDICE DE PLASTICIDAD	4,02	IG=	2	

$$\%\ Grava = 100\% - \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°4$$

$$\%\ Arena = 100\% - \%\ Grava - \%\ Finos$$

$$\%\ Finos = \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°200$$

$$Indice\ de\ Grupo = (F - 35) * [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01\,(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F= % del suelo que pasa el tamiz N°200
IG = Índice de Grupo

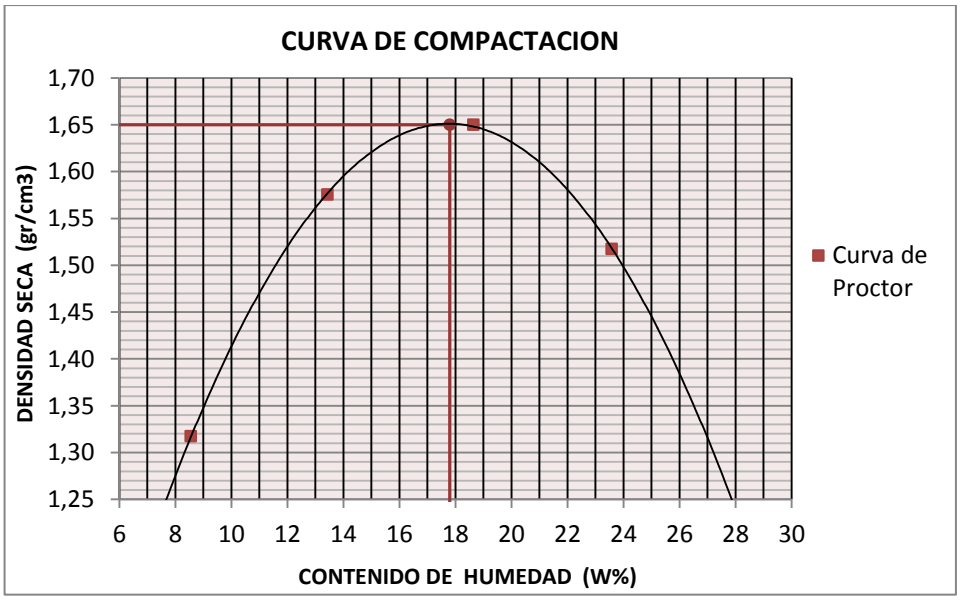
PROCTOR (ABSCISA 0+220)

OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
ABSCISA: Km 0 + 220
PROFUNDIDAD: -0.50 m NORMA: ASTM D 1557

Método: C
De Capas: 5
De Golpes por Capa: 25

MOLDE N°	1	2	3	4
PMH + Molde (gr)	5600	5937	6098	6020
Peso del Molde (gr)	4250	4250	4250	4250
PMH (gr)	1350	1687	1848	1770
Volumen del Molde (cm3)	944	944	944	944
Densidad Húmeda (gr/cm3)	**1.430**	**1.787**	**1.958**	**1.875**

CONTENIDO DE HUMEDAD								
TARRO N°	17	20	22	15	18	5	24	27
PMH + T (gr)	94.94	94.71	96.94	98.30	96.98	99.90	84.44	88.91
PMS + T (gr)	89.01	88.73	87.43	89.19	84.85	87.38	71.92	75.46
Peso H2O (gr)	5.93	5.98	9.51	9.11	12.13	12.52	12.52	13.45
Peso del Tarro (gr)	19.23	19.34	18.72	19.32	20.73	19.29	18.59	18.71
PMS (gr)	69.78	69.39	68.71	69.87	64.12	68.09	53.33	56.75
Contenido de Humedad (%)	8.50	8.62	13.84	13.04	18.92	18.39	23.48	23.70
Humedad Promedio (%)	**8.56**		**13.44**		**18.65**		**23.59**	
Densidad Seca (gr/cm3)	**1.317**		**1.575**		**1.650**		**1.517**	



DENSIDAD MAXIMA(gr/cm3)	**1.650**
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	**17.80**

FORMULAS

$$Peso\ del\ Agua = (PMH + Peso\ del\ tarro) - (PMS + Peso\ del\ tarro)$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ Humeda\ (PMH) = (PMH + molde) - Peso\ del\ Molde$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ (PMS) = (PMS + tarro) - Peso\ del\ tarro$$

$$Densidad\ Humeda = \frac{PMH}{Volumen\ del\ molde}$$

$$Contenido\ de\ Humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{PMS} * 100$$

$$Densidad\ Seca = \frac{Densidad\ Humeda}{1 + \frac{Humedad\ Promedio}{100}}$$

C.B.R (ABSCISA 0+220)

OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
ABSCISA: Km 0 + 220
PROFUNDIDAD: -0.50 m

NORMA: ASTM D 1883

De Capas: 5
Peso del Martillo: 4.54 Kg.

DENSIDAD MAXIMA	**1.65**	**gr/cm3**
HUMEDAD OPTIMA	**17.80**	**%**

NUMERO DE MOLDE	**4**		**5**		**6**	
Numero de golpes por capa	**56**		**25**		**10**	
Peso del molde + Suelo húmedo: (gr.)	12150		11965		11800	
Peso del molde: (gr.)	7335		7323		7301	
Peso del Suelo húmedo : (gr.)	4815		4642		4499	
Volumen del molde: (cm3)	2477		2477		2477	
Densidad Húmeda: (gr/cm3)	1.944		1.874		1.816	
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO						
Peso del tarro + suelo húmedo:(gr.)	38.50	38.00	37.38	37.68	38.72	38.30
Peso del tarro + suelo seco: (gr)	35.55	35.04	34.52	34.91	35.79	35.30
Peso del tarro: (gr.)	19.32	18.62	18.61	19.51	19.39	18.44
W % :	18.18	18.03	17.98	17.99	17.87	17.79
W (%) promedio :	**18.10**		**17.98**		**17.83**	
Densidad Seca:	**1.646**		**1.588**		**1.541**	
CONTENIDO DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION						
Peso del tarro + Suelo húmedo: (gr.)	60.36	61.85	61.11	60.82	61.55	62.97
Peso del tarro + Suelo seco: (gr.)	52.35	53.73	51.60	50.99	49.84	50.65
Peso del tarro: (gr.)	18.65	19.23	19.28	18.60	18.40	18.41
W (%):	23.77	23.54	29.42	30.35	37.25	38.21
W (%) promedio:	**23.65**		**29.89**		**37.73**	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA DESPUES DE LA SATURACION			
Peso saturado:	12294	12245	12240
Agua absorvida :	144	280	440
% agua absorvida:	2.99	6.03	9.78
% Compactación:	99.75	96.27	93.42
Variación w%:	0.30	0.18	0.03

ESPONJAMIENTO:

NUMERO DEL MOLDE	4		5		6	
Tiempo (Días)	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	8	0.17	12	0.26	14	0.30
2	16	0.34	18	0.38	20	0.43
3	17	0.36	21	0.45	23	0.49
4	23	0.49	25	0.53	26	0.56

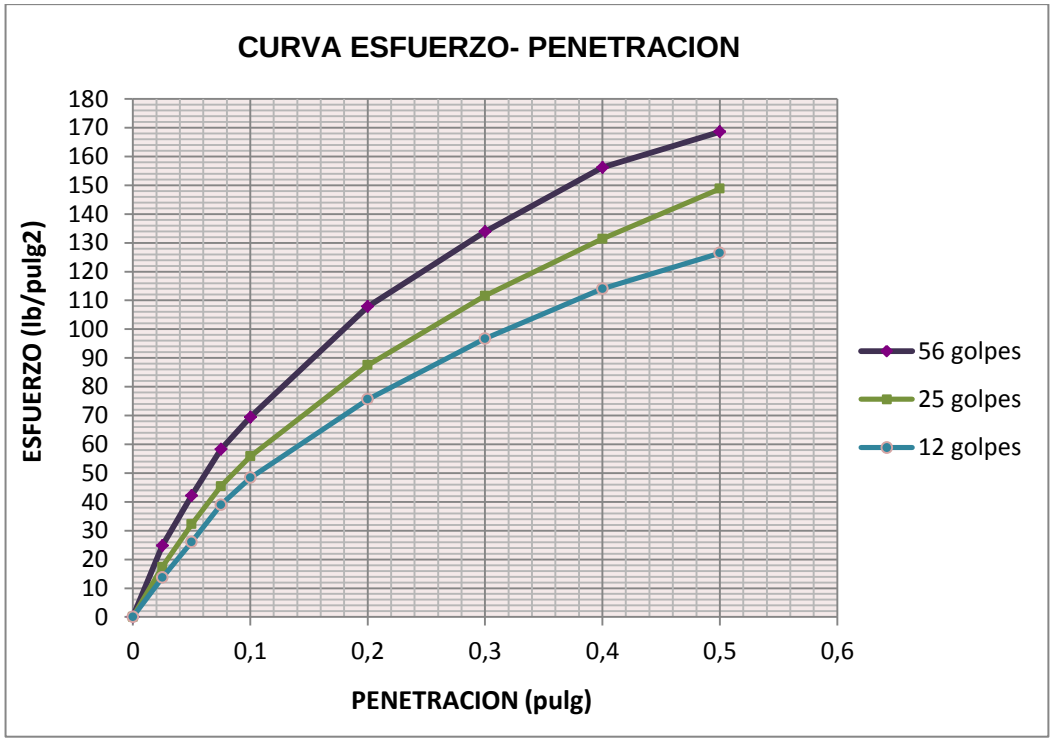
PENETRACION: Constante del anillo = 7,438 * lectura /3

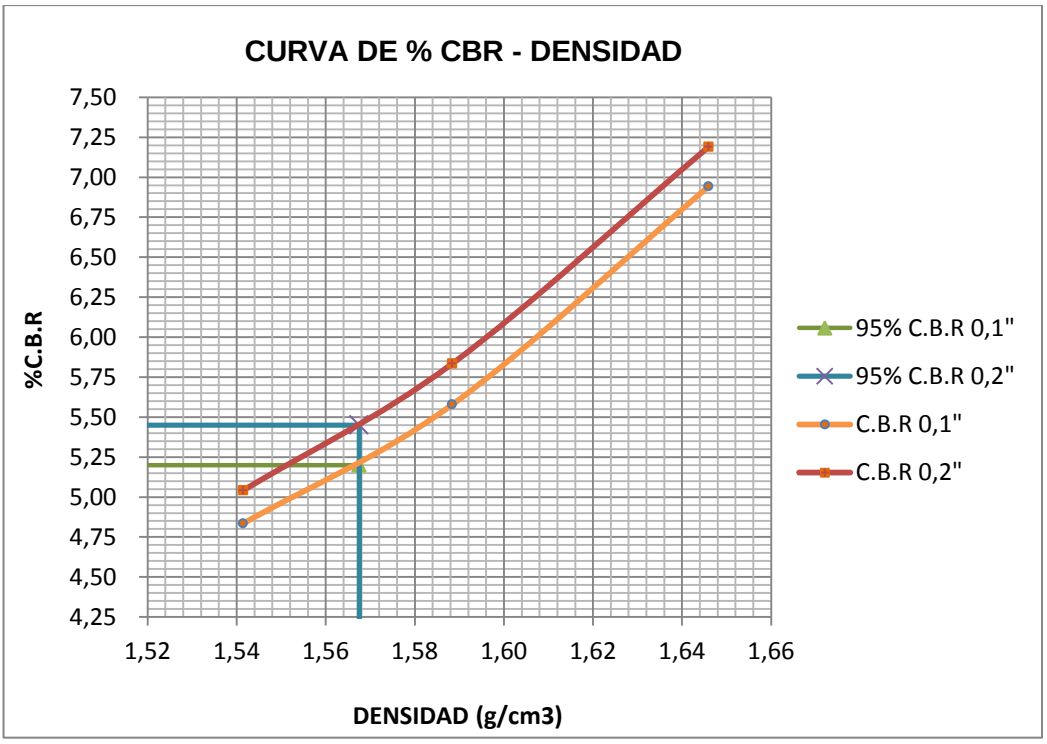
NUMERO DEL MOLDE	4		5		6	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	**56**		**25**		**10**	
Penetración (pulgadas)	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	10	24.79	7	17.36	6	13.64
0.050	17	42.15	13	32.23	11	26.03
0.075	24	58.26	18	45.37	16	38.93
0.100	28	69.42	23	55.79	20	48.35
0.200	44	107.85	35	87.52	31	75.62
0.300	54	133.88	45	111.57	39	96.69
0.400	63	156.20	53	131.40	46	114.05
0.500	68	168.59	60	148.76	51	126.45

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,1"
69.421	6.94
55.785	5.58
48.347	4.83
C.B.R (95%)	5.20

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,2"
107.85	7.19
87.52	5.83
75.62	5.04
C.B.R (95%)	5.45

GRAFICAS C.B.R





Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO:	VIA LATACUNGA- PUJILI -ZUMBAHUA- LA MANA		
OBRA:	TRAMO LATACUNGA- PUJILI		
DESCRIPCION:	SUB-RASANTE		
MUESTRA:	2	NORMAS:	ASTM D 2216
ABSCISA:	Km 0 +250		ASTM D 422
PROFUNDIDAD:	0.50 m		ASTM D 4318

CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso del recipiente m1 (gr)	Peso del recipiente + Suelo Humedo m2 (gr)	Peso del recipiente + Suelo Seco m3 (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	% Contenido de Agua promedio
18,40	85,25	69,69	15,56	51,29	30,34	
17,94	84,18	68,51	15,67	50,57	30,99	30,56
17,68	86,25	70,28	15,97	52,60	30,36	

$$CONTENIDO\ DE\ HUMEDAD\ (w\%) = \frac{Masa\ del\ Agua}{Masa\ del\ suelo\ seco} * 100$$

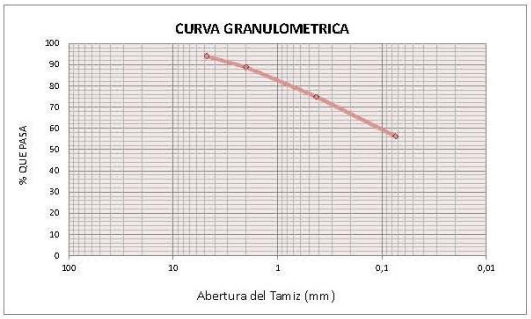
GRANULOMETRIA

MASA DE LA MUESTRA HUMEDA (gr)=	110,07
MASA DE LA MUESTRA SECA (gr)=	84,30

TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA
N°4	4,750	5,11	5,11	6,06	93,94
N°10	2,000	4,41	9,52	11,29	88,71
N°40	0,425	11,71	21,23	25,18	74,82
N°200	0,074	15,66	36,89	43,76	56,24
BANDEJA	0,000	47,41	84,30	100,00	0,000

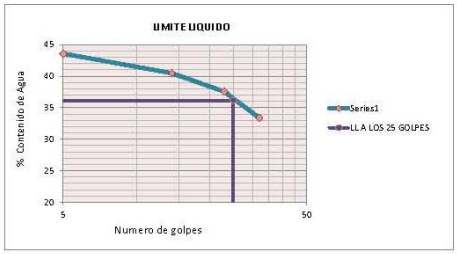
$$\%\ Retenido = \frac{Masa\ retenida\ acumulada}{Masa\ seca\ de\ la\ muesta} * 100$$

$$\%\ que\ pasa = 100 - \%Retenido$$



LIMITE LIQUIDO

Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Humedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco(gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	# DE GOLPES	% Contenido de Agua
9,95	30,19	24,05	6,14	14,10	5	43,55
10,12	29,87	24,18	5,69	14,06	14	40,47
9,85	31,150	25,34	5,81	15,49	23	37,51
9,65	30,64	25,39	5,25	15,74	32	33,35



LIMITE LIQUIDO =	36,15

LIMITE PLASTICO

Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Humedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco(gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	LIMITE PLASTICO
10,12	31,22	26,16	5,06	16,04	31,55	32,15
10,05	29,87	24,98	4,89	14,93	32,75	

RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACION DEL SUELO

GRANULOMETRIA		PLASTICIDAD		CLASIFICACION		DESCRIPCION
% GRAVA	**6,06**	% LIMITE LIQUIDO	**36,15**	SUCS:	**ML**	**LIMO ARENOSO**
% ARENA	**37,70**	%LIMITE PLASTICO	**32,15**	ASSHTO:	**A-4**	CON MAYOR CANTIDAD DE GRANO FINO
% FINOS	**56,24**	% INDICE DE PLASTICIDAD	**4,00**	IG=	**1**	

$\%\ Grava = 100\% - \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°4$

$\%\ Arena = 100\% - \%\ Grava - \%\ Finos$

$\%\ Finos = \%\ Pasa\ el\ tamiz\ N°200$

$$Indice\ de\ Grupo = (F - 35) * [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01\ (F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F= % del suelo que pasa el tamiz N°200
IG = Índice de Grupo

PROCTOR (ABSCISA 0+250)

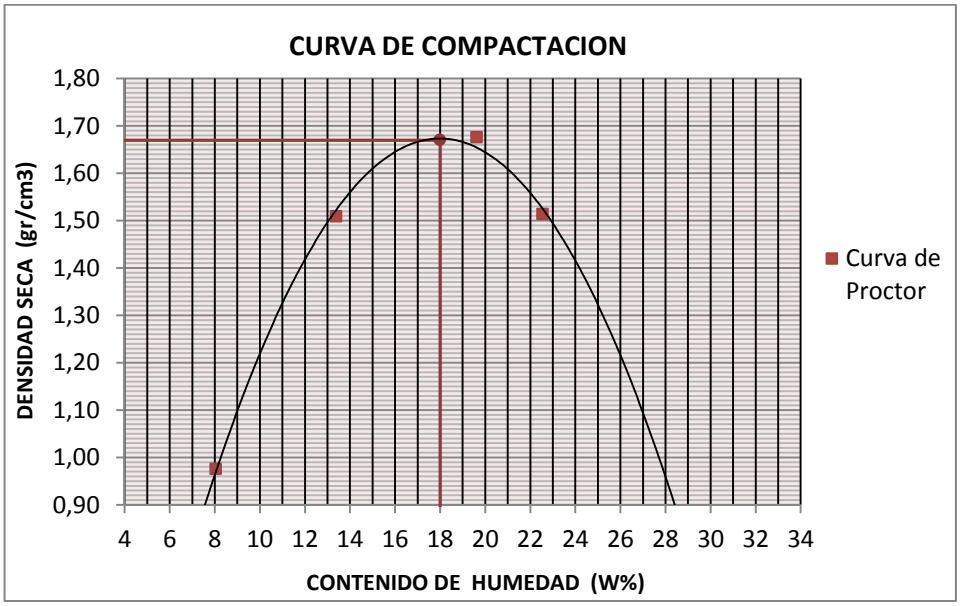
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
ABSCISA: Km 0 + 250
PROFUNDIDAD: -0.50 m NORMA: ASTM D 1557

Método: C
De Capas: 5
De Golpes por Capa: 25

MOLDE N°	1	2	3	4
PMH + Molde (gr)	5245	5865	6142	6001
Peso del Molde (gr)	4250	4250	4250	4250
PMH (gr)	995	1615	1892	1751
Volumen del Molde (cm3)	944	944	944	944
Densidad Húmeda (gr/cm3)	**1.054**	**1.711**	**2.004**	**1.855**

CONTENIDO DE HUMEDAD

TARRO N°	44	28	25	34	31	26	2	7
PMH + T (gr)	131.85	132.10	132.98	132.62	135.95	133.60	134.64	134.70
PMS + T (gr)	123.15	123.78	119.67	119.11	116.82	114.74	113.52	113.61
Peso H2O (gr)	8.70	8.32	13.31	13.51	19.13	18.86	21.12	21.09
Peso del Tarro (gr)	17.40	18.19	18.69	19.87	18.97	19.06	19.75	20.18
PMS (gr)	105.75	105.59	100.98	99.24	97.85	95.68	93.77	93.43
Contenido de Humedad (%)	8.23	7.88	13.18	13.61	19.55	19.71	22.52	22.57
Humedad Promedio (%)	**8.05**		**13.40**		**19.63**		**22.55**	
Densidad Seca (gr/cm3)	**0.975**		**1.509**		**1.675**		**1.514**	



DENSIDAD MAXIMA(gr/cm3)	**1.670**
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	**18.00**

FORMULAS

$$Peso\ del\ Agua = (PMH + Peso\ del\ tarro) - (PMS + Peso\ del\ tarro)$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ Humeda\ (PMH) = (PMH + molde) - Peso\ del\ Molde$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ (PMS) = (PMS + tarro) - Peso\ del\ tarro$$

$$Densidad\ Humeda = \frac{PMH}{Volumen\ del\ molde}$$

$$Contenido\ de\ Humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{PMS} * 100$$

$$Densidad\ Seca = \frac{Densidad\ Humeda}{1 + \frac{Humedad\ Promedio}{100}}$$

C.B.R (ABSCISA 0+250)

OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
DESCRIPCION: SUB-RASANTE
ABSCISA: Km 0 + 250
PROFUNDIDAD: -0.50 m

NORMA: ASTM D 1883

De Capas: 5
Peso del Martillo: 4.54 Kg.

DENSIDAD MAXIMA	**1.67**	**gr/cm3**
HUMEDAD OPTIMA	**18.00**	**%**

NUMERO DE MOLDE	**7**		**8**		**9**	
Numero de golpes por capa	**56**		**25**		**10**	
Peso del molde + Suelo húmedo: (gr.)	12285		12118		11996	
Peso del molde: (gr.)	7396		7450		7459	
Peso del Suelo húmedo : (gr.)	4889		4668		4537	
Volumen del molde: (cm3)	2477		2477		2477	
Densidad Húmeda: (gr/cm3)	1.974		1.885		1.832	
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO						
Peso del tarro + Suelo húmedo:(gr.)	38.45	37.84	40.10	38.65	37.72	39.51
Peso del tarro + Suelo seco: (gr)	35.23	34.75	36.71	35.46	34.92	36.45
Peso del tarro: (gr.)	17.95	18.10	18.37	18.15	19.60	19.65
W % :	18.63	18.56	18.48	18.43	18.28	18.21
W (%) promedio :	**18.60**		**18.46**		**18.25**	
Densidad Seca:	**1.664**		**1.591**		**1.549**	
CONTENIDO DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION						
Peso del tarro + Suelo húmedo: (gr.)	63.77	64.24	63.19	64.78	63.68	64.84
Peso del tarro + Suelo seco: (gr.)	55.16	55.88	53.17	54.45	51.42	52.53
Peso del tarro: (gr.)	19.86	19.84	20.36	20.10	18.56	18.54
W (%):	24.39	23.20	30.54	30.07	37.31	36.22
w(%) promedio:	**23.79**		**30.31**		**36.76**	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA DESPUES DE LA SATURACION			
Peso saturado:	12467	12446	12442
Agua absorvida :	182	328	446
% agua absorvida:	3.72	7.03	9.83
% Compactación:	99.66	95.26	92.76
Variación w%:	0.60	0.46	0.25

ESPONJAMIENTO:

NUMERO DEL MOLDE	7		8		9	
Tiempo (Días)	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	9	0.19	12	0.26	16	0.34
2	16	0.34	19	0.41	22	0.47
3	18	0.38	21	0.45	24	0.51
4	21	0.45	25	0.53	28	0.60

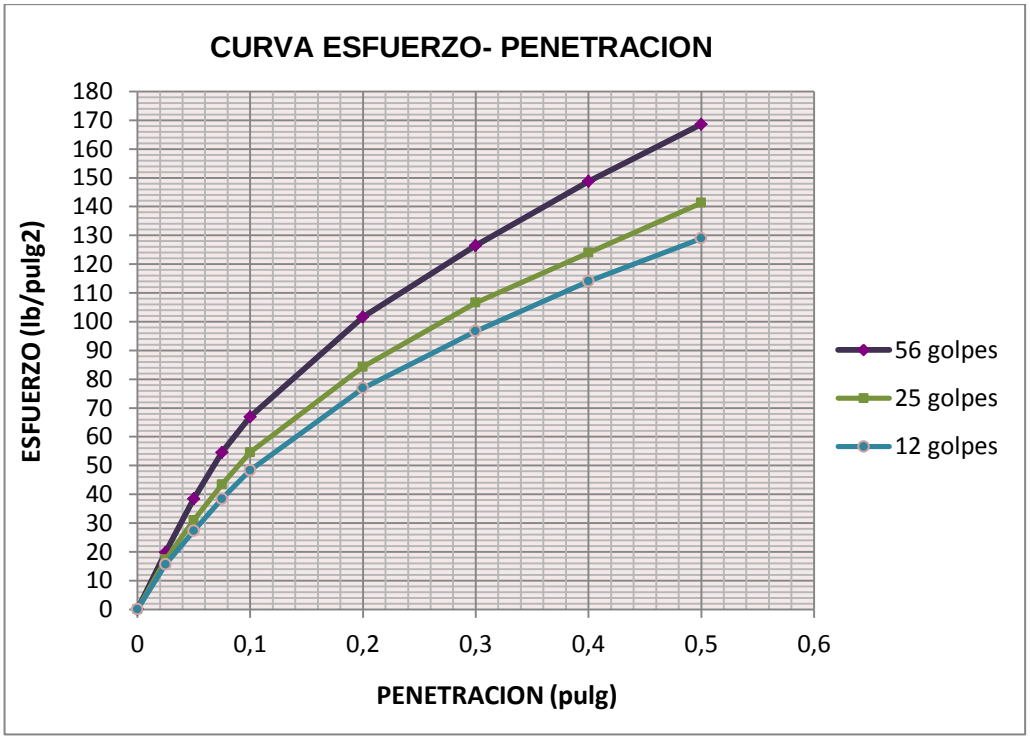
PENETRACION: Constante del anillo = 7,438 * lectura /3

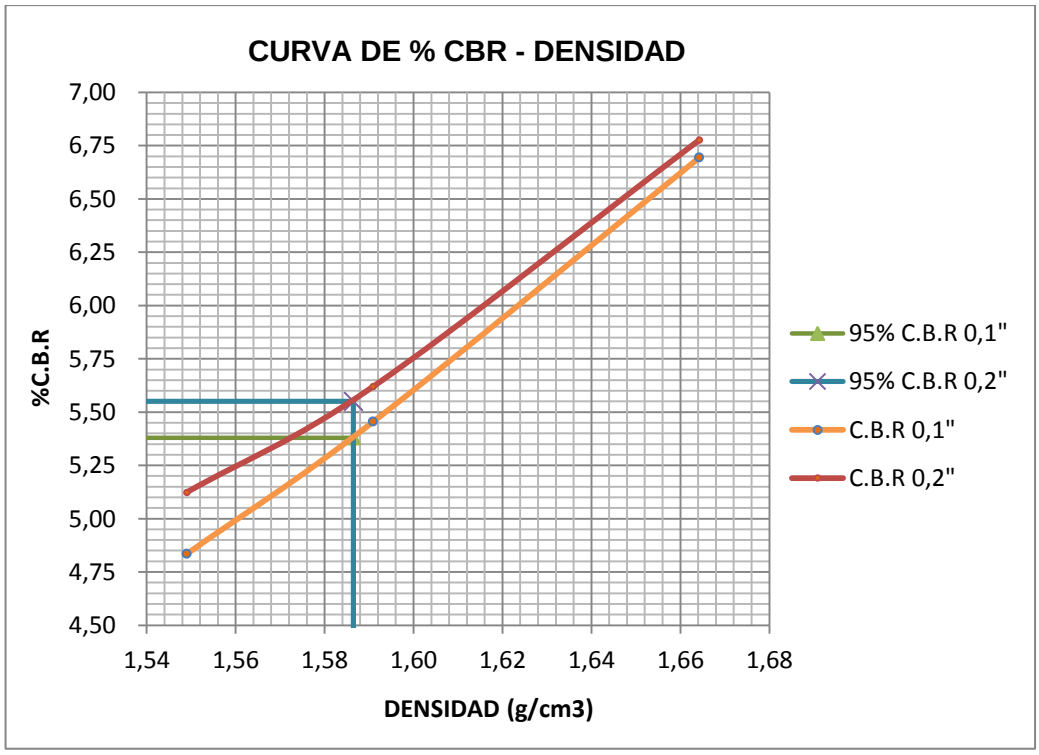
NUMERO DEL MOLDE	7		8		9	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	**56**		**25**		**10**	
Penetración (pulgadas)	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	8	19.83	7	17.36	6	15.62
0.050	16	38.43	13	30.99	11	27.27
0.075	22	54.55	18	43.39	16	38.43
0.100	27	66.94	22	54.55	20	48.35
0.200	41	101.65	34	84.30	31	76.86
0.300	51	126.45	43	106.61	39	96.69
0.400	60	148.76	50	123.97	46	114.05
0.500	68	168.59	57	141.32	52	128.93

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,1"
66.942	6.69
54.545	5.45
48.347	4.83
C.B.R (95%)	5.38

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,2"
101.65	6.78
84.30	5.62
76.86	5.12
C.B.R (95%)	5.55

GRAFICAS C.B.R





Autor: Estefanía Gavilanes D.

3.2.2.2. ENSAYOS PARA SUB-BASE CLASE 3

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI - ZUMBAHUA - LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: SUB- BASE CLASE 3
MINA: EL CHASQUI

FECHA: 26 /10/ 2011
NORMAS: ASTM D 422
ASTM D 4318
AASHTO T 96-60

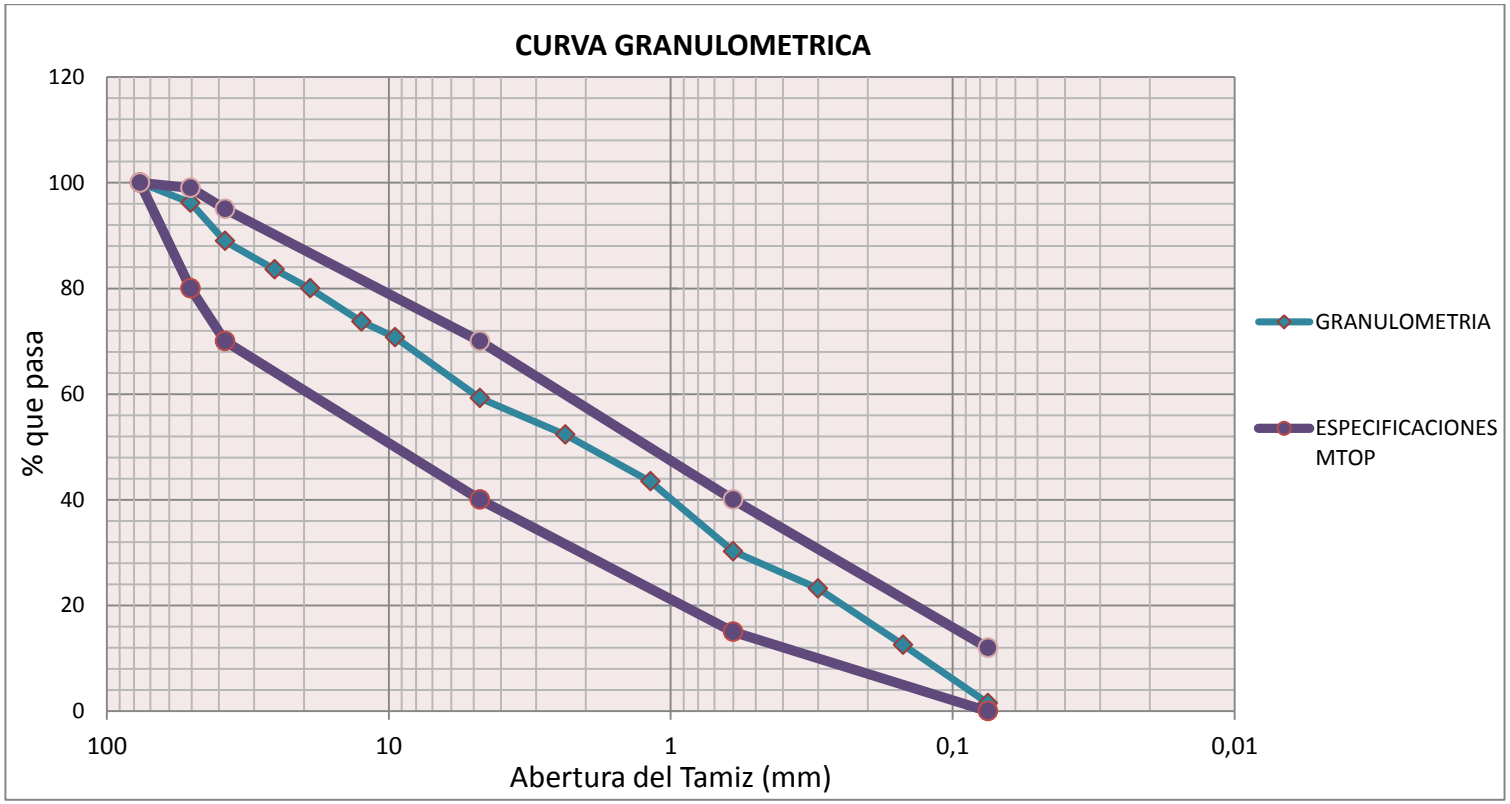
GRANULOMETRIA SUB –BASE CLASE 3

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr): 13.599

TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	% QUE PASA CORREGIDO
3"	76,2	0	0	0	100	100
2"	50,4	520	520	3,82	96,18	96
1 1/2"	38,1	983	1503	11,05	88,95	89
1"	25,4	730	2233	16,42	83,58	84
3/4"	19	490	2723	20,02	79,98	80
1/2"	12,5	854	3576	26,30	73,70	74
3/8"	9,5	400	3976	29,24	70,76	71
N°4	4,75	1569	5545	40,78	59,22	59
N°10	2,36	943	6488	47,71	52,29	52
N°16	1,18	1200	7688	56,53	43,47	43
N°40	0,6	1800	9488	69,77	30,23	30
N°50	0,3	960	10445	76,81	23,19	23
N°100	0,15	1450	11895	87,47	12,53	13
N°200	0,075	1500	13395	98,50	1,50	2
BANDEJA	0,00	200,00	13595	99,97	0,03	0,03

$$\% \, Retenido = \frac{Masa \, retenida \, acumulada}{Masa \, seca \, de \, la \, muesta} * 100$$

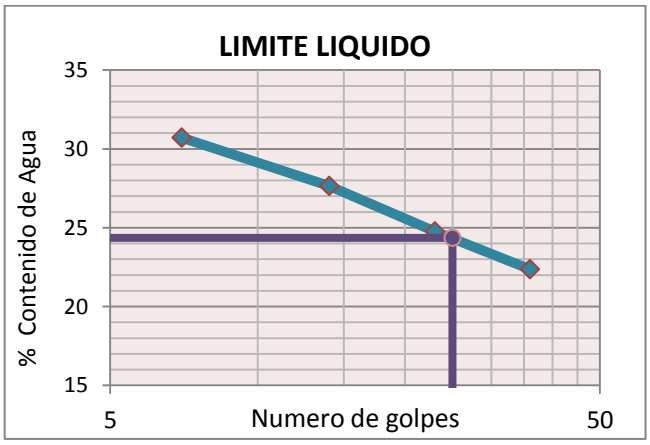
$$\% \, que \, pasa = 100 - \%Retenido$$



Autor: Estefanía Gavilanes D.

LIMITE LÍQUIDO

Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Húmedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	# DE GOLPES	% Contenido de Agua
19,86	35,86	32,10	3,76	12,24	7	30,719
19,60	35,16	31,79	3,37	12,19	14	27,646
19,64	34,96	31,92	3,04	12,28	23	24,756
19,84	36,80	33,70	3,10	13,86	36	22,367



LIMITE LIQUIDO =	24.35

LIMITE PLASTICO

Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Húmedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	% Cont. de Agua promedio
19,86	27,24	25,99	1,25	6,13	20,392	20,69
19,66	25,25	24,28	0,97	4,62	20,996	

INDICE DE PLASTICIDAD: 3,66

ABRASION (AGREGADO GRUESO)

DATOS		ESPECIFICACIONES MTOP
GRADUACION: NUMERO DE ESFERAS: PESO ORIGINAL (gr.): PESO RETENIDO EN EL TAMIZ N° 12 (gr.): PESO QUE PASA EL TAMIZ N°12 (gr.):	A 12 5000 3150 1850	
DESGASTE %:	37	< 50%

$$\%\ \text{DE DESGASTE} = \frac{\text{Peso que pasa el tamiz N°12}}{\text{Peso original}} * 100$$

PROCTOR SUB-BASE CLASE 3

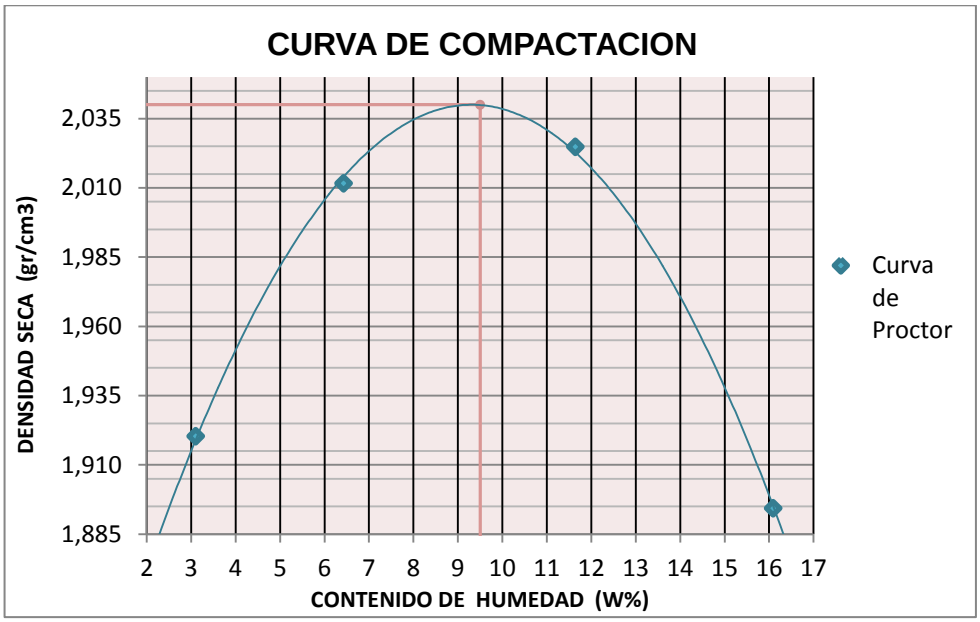
PROYECTO: LATACUNGA- PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 27/10/2011
DESCRIPCION: SUB – BASE CLASE 3 NORMA: ASTM D 1557

Método: C
De Capas: 5 Peso del martillo (Kg): 4,54
De Golpes por Capa: 25

MINA: EL CHASQUI

MOLDE N°	1	2	3	4
PMH + Molde (gr)	6127	6270	6371	6310
Peso del Molde (gr)	4244	4244	4244	4244
PMH (gr)	1883	2026	2127	2066
Volumen del Molde (cm3)	944	944	944	944
Densidad Húmeda (gr/cm3)	**1,995**	**2,146**	**2,253**	**2,189**

CONTENIDO DE HUMEDAD								
TARRO N°	39	38	41	14	3	4	45	46
PMH + T (gr)	35,45	33,95	35,58	34,74	34,88	33,75	35,67	35,01
PMS + T (gr)	35,00	33,45	34,60	33,80	33,29	32,28	33,46	32,87
Peso H2O (gr)	0,45	0,50	0,98	0,94	1,59	1,47	2,21	2,14
Peso del Tarro (gr)	18,84	18,86	18,84	19,64	19,66	19,64	19,66	19,64
PMS (gr)	16,16	14,59	15,76	14,16	13,63	12,64	13,80	13,23
Contenido de Humedad (%)	2,78	3,43	6,22	6,64	11,67	11,63	16,01	16,18
Humedad Promedio (%)	**3,11**		**6,43**		**11,65**		**16,09**	
Densidad Seca (gr/cm3)	**1,935**		**2,017**		**2,018**		**1,885**	



DENSIDAD MAXIMA(gr/cm3)	**2.04**
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	**9.50**

FORMULAS

$$Peso\ del\ Agua = (PMH + Peso\ del\ tarro) - (PMS + Peso\ del\ tarro)$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ Humeda\ (PMH) = (PMH + molde) - Peso\ del\ Molde$$

$$Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ (PMS) = (PMS + tarro) - Peso\ del\ tarro$$

$$Densidad\ Humeda = \frac{PMH}{Volumen\ del\ molde}$$

$$Contenido\ de\ Humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{PMS} * 100$$

$$Densidad\ Seca = \frac{Densidad\ Humeda}{1 + \frac{Humedad\ Promedio}{100}}$$

C.B.R SUB-BASE CLASE 3

PROYECTO: LATACUNGA - PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: SUB – BASE CLASE 3 NORMA: ASTM D 1883

De Capas: 5
Peso del Martillo: 4.54 Kg.

MINA: EL CHASQUI

DENSIDAD MAXIMA	**2.04**	**gr/cm3**
HUMEDAD OPTIMA	**9.50**	**%**

NUMERO DEL MOLDE	**10**		**11**		**12**	
Numero de golpes por capa	**56**		**25**		**10**	
Peso del molde + Suelo Húmedo: (gr.)	12245		12080		11500	
Peso del molde: (gr.)	7235		7305		7120	
Peso del Suelo Húmedo : (gr.)	5010		4775		4380	
Volumen del molde: (cm3)	2246		2235		2192	
Densidad Húmeda: (gr/cm3)	2,231		2,136		1,998	
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MOLDEO						
Peso del tarro + Suelo Húmedo:(gr.)	36,60	35,56	37,26	38,03	34,54	36,40
Peso del tarro + Suelo Seco: (gr)	35,10	34,21	35,74	36,48	33,28	34,89
Peso del tarro: (gr.)	19,86	19,64	19,66	19,86	19,84	18,66
W % :	9,84	9,27	9,45	9,33	9,37	9,30
W (%) promedio :	**9,55**		**9,39**		**9,34**	
Densidad Seca:	**2,036**		**1,953**		**1,827**	
CONTENIDO DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION						
Peso del tarro + Suelo Húmedo: (gr.)	40,24	43,56	52,38	52,60	45,34	46,89
Peso del tarro + Suelo Seco: (gr.)	37,96	40,94	47,45	47,87	40,64	41,84
Peso del tarro: (gr.)	19,86	19,84	19,63	20,16	18,56	18,54
W (%):	12,60	12,42	17,72	17,07	21,29	21,67
W (%) promedio:	**12,51**		**17,40**		**21,48**	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA DESPUES DE LA SATURACION			
Peso saturado:	12450	12435	12050
Agua absorvida :	185	325	510
% agua absorvida:	3.68	6.76	11.54
% Compactación:	100.21	96.34	90.40
Variación w%:	0.05	-0.11	-0.16

ESPONJAMIENTO:

NUMERO DEL MOLDE	**10**		**11**		**12**	
Tiempo (Días)	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	1	0.02	2	0.04	4	0.09
2	2	0.04	3	0.06	5	0.11
3	2	0.04	3	0.06	6	0.13
4	3	0.06	4	0.09	8	0.17

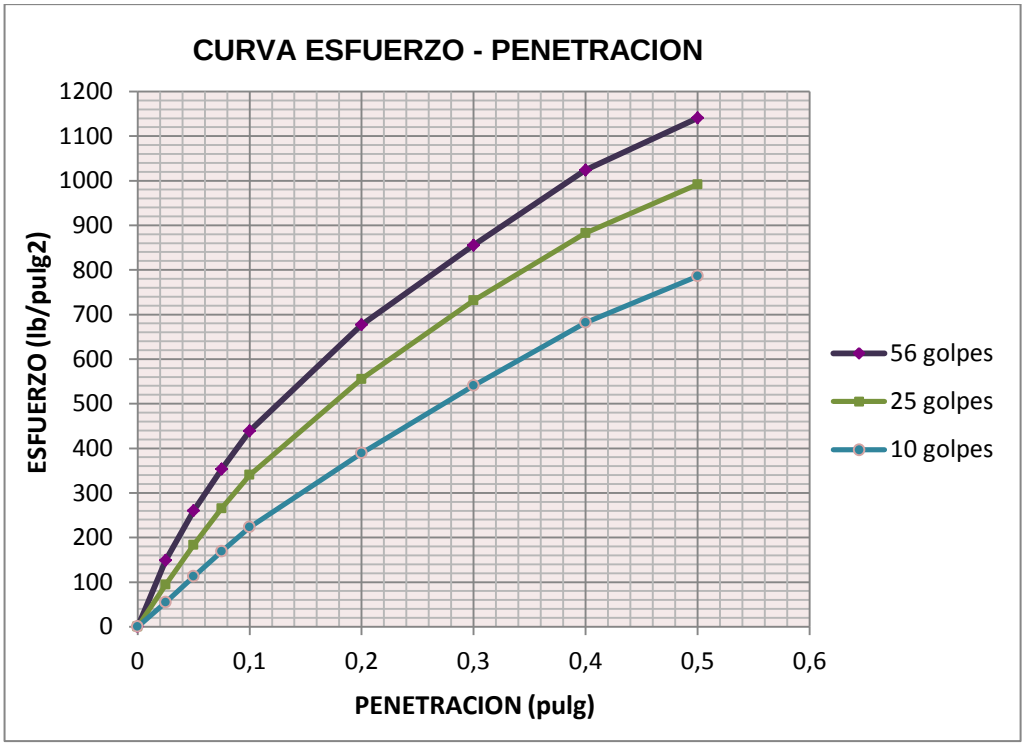
PENETRACION: Constante del anillo = 7,438 * lectura /3

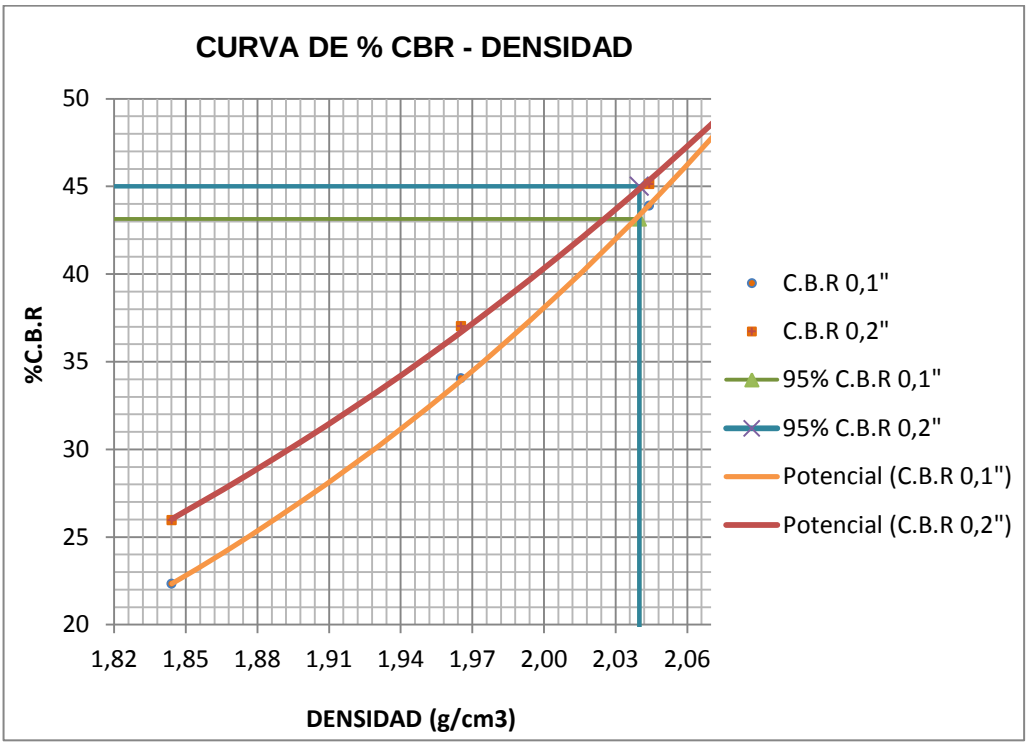
NUMERO DEL MOLDE	**10**		**11**		**12**	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	**56**		**25**		**10**	
Penetración (pulgadas)	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	60	148.76	38	94.21	22	54.55
0.050	105	260.33	74	183.47	46	112.81
0.075	143	353.31	107	265.29	68	168.59
0.100	177	438.84	137	340.41	90	223.14
0.200	273	676.86	224	555.37	157	389.26
0.300	345	855.37	295	731.40	218	540.49
0.400	413	1023.96	356	882.64	275	681.82
0.500	460	1140.49	400	991.73	317	785.95

PRESION (lb/pulg2)	**VALOR C.B.R. 0,1"**
438.842	43.88
340.412	34.04
223.140	22.31
C.B.R. (100%)	43.14

PRESION (lb/pulg2)	**VALOR C.B.R. 0,2"**
676.86	45.12
555.37	37.02
389.26	25.95
C.B.R. (100%)	45.00

GRAFICAS C.B.R





Autor: Estefanía Gavilanes D.

RESUMEN DE RESULTADOS (ESPECIFICACIONES MTOP-001-F2002)								
GRANULOMETRIA			LIMITES					
TAMIZ	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES MTOP	LIMITES	VALORES DEL ENSAYO	ESPECIFICACIONES MTOP	ENSAYOS REALIZADOS	VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES MTOP
3"	100	**100**	LIMITE LIQUIDO	24,35	**≤ 25**	ABRASION	37	**< 50%**
2"	96							
1 1/2"	89		LIMITE PLASTICO	20,69		C.B.R (0,1”)	43,14	**≥ 30%**
N°4	59	**30-70**						
N°40	30		INDICE DE PLASTICIDAD	3,66	**< 6**	C.B.R (0,2”)	45,00	**≥ 30%**
N°200	2	**0-20**						

NOTA: LAS ESPECIFICACIONES PARA CLASIFICAR AL AGREGADO COMO SUBBASE CLASE 3 FUERON TOMADAS DEL LIBRO ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES, MOP -001-F-2002 TOMO I , SECCION 403, SUBBASES, PAG 400.

3.2.2.3. ENSAYOS DE LA BASE CLASE 2

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: BASE CLASE 2
MINA: EL CHASQUI

FECHA: 07 / 11/ 2011
NORMAS: ASTM D 422
ASTM D 4318
AASHTO T 96-60

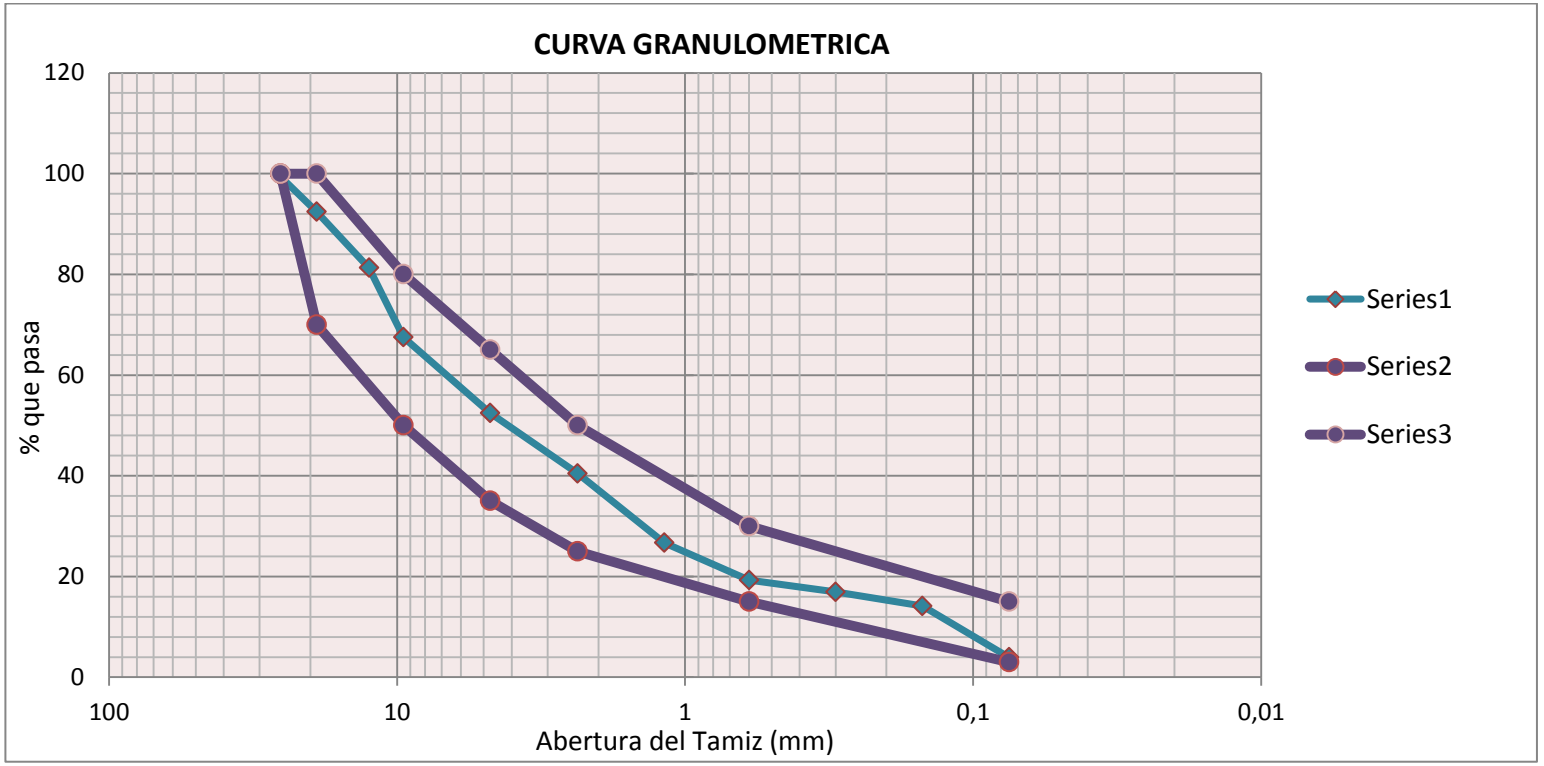
GRANULOMETRIA BASE CLASE 2

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr): 1.079,08

TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA	% QUE PASA CORREGIDO
3"	76,2	0	0	0	100	100
2"	50,4	0	0	0,00	100,00	100
1 1/2"	38,1	0	0	0,00	100,00	100
1"	25,4	5,99	5,99	0,56	99,44	99
3/4"	19	76,04	82,03	7,60	92,40	92
1/2"	12,5	120,16	202,12	18,73	81,27	81
3/8"	9,5	148,82	350,94	32,52	67,48	67
N°4	4,75	162,03	512,97	47,54	52,46	52
N°10	2,36	129,57	642,54	59,55	40,45	40
N°16	1,18	148,5	791,04	73,31	26,69	27
N°40	0,6	80,21	871,19	80,73	19,27	19
N°50	0,3	25,45	896,64	83,09	16,91	17
N°100	0,15	30,16	926,65	85,87	14,13	14
N°200	0,075	110,14	1036,79	96,08	3,92	4
BANDEJA	0,00	42,01	1078,8	99,97	0,03	0

$$\% \, Retenido = \frac{Masa \, retenida \, acumulada}{Masa \, seca \, de \, la \, muesta} * 100$$

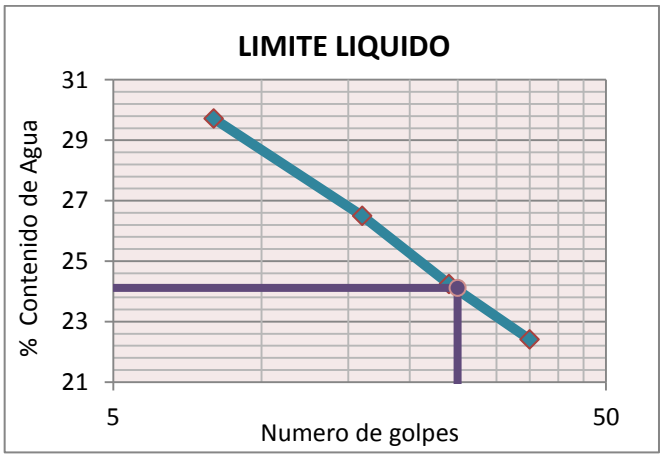
$$\% \, que \, pasa = 100 - \%Retenido$$



Autor: Estefanía Gavilanes D.

LIMITE LÍQUIDO

Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Húmedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	# DE GOLPES	% Contenido de Agua
18,84	39,18	34,52	4,66	15,68	8	29,719
19,12	40,22	35,80	4,42	16,68	16	26,499
18,64	41,45	37,00	4,45	18,36	24	24,237
19,86	39,85	36,19	3,66	16,33	35	22,413



LIMITE LIQUIDO =	**24.11**

LIMITE PLASTICO

Masa del recipiente (gr)	Masa del recipiente + Suelo Húmedo (gr)	Masa del recipiente + Suelo Seco (gr)	Masa del Agua (gr)	Masa del suelo Seco (gr)	% Contenido de Agua	% Cont. de Agua promedio
20,16	30,46	28,64	1,82	8,48	21,462	**21,53**
18,54	31,88	29,51	2,37	10,97	21,604	

INDICE DE PLASTICIDAD: 2,58

ABRASION (AGREGADO GRUESO)

DATOS		ESPECIFICACIONES MTOP
GRADUACION: NUMERO DE ESFERAS: PESO ORIGINAL (gr.): PESO RETENIDO EN EL TAMIZ N° 12 (gr.): PESO QUE PASA EL TAMIZ N°12 (gr.):	A 12 5000 3150 1850	
DESGASTE %:	37	< 40%

$$\%\ \text{DE DESGASTE} = \frac{\text{Peso que pasa el tamiz N°12}}{\text{Peso original}} * 100$$

PROCTOR BASE CLASE 2

PROYECTO: LATACUNGA- PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI FECHA: 09/11/2011
DESCRIPCION: BASE CLASE 2 NORMA: ASTM D 1557

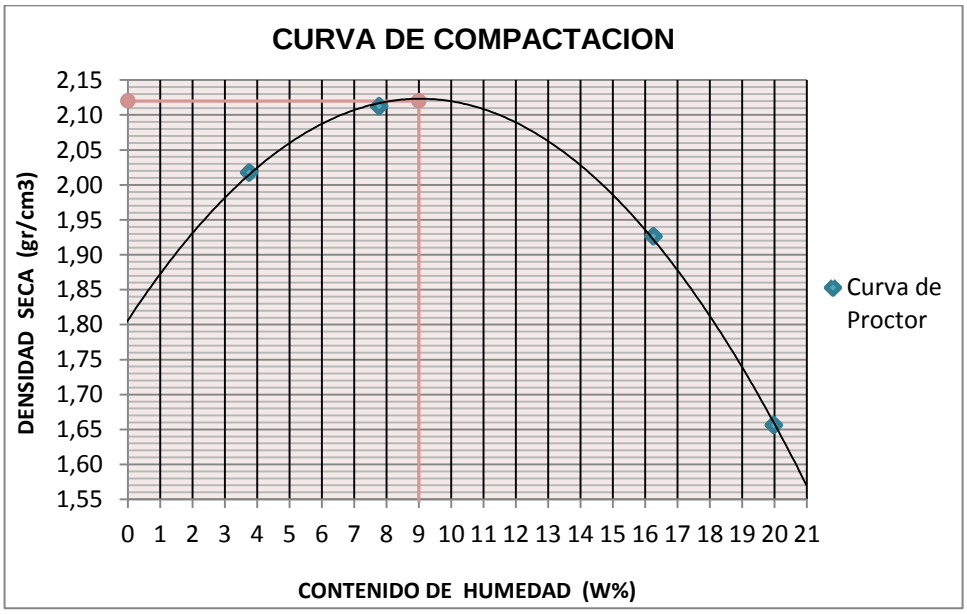
Método: C
De Capas: 5 Peso del martillo (Kg): 4,54
De Golpes por Capa: 25

MINA: EL CHASQUI

ENSAYO N°	1	2	3	4
PMH + Molde (gr)	6220	6393	6358	6120
Peso del Molde (gr)	4244	4244	4244	4244
PMH (gr)	1976	2149	2114	1876
Volumen del Molde (cm3)	944	944	944	944
Densidad Húmeda (gr/cm3)	**2.093**	**2.276**	**2.239**	**1.987**

CONTENIDO DE HUMEDAD

TARRO N°	6	1	35	57	49	52	51	16
PMH + T (gr)	36.45	35.89	36.24	36.78	35.81	36.21	35.72	36.48
PMS + T (gr)	35.83	35.28	34.87	35.61	33.33	33.87	32.92	33.55
Peso H2O (gr)	0.62	0.61	1.37	1.17	2.48	2.34	2.80	2.93
Peso del Tarro (gr)	19.20	19.15	18.85	18.88	18.65	18.89	19.12	18.66
PMS (gr)	16.63	16.13	16.02	16.73	14.68	14.98	13.80	14.89
Contenido de Humedad (%)	3.73	3.78	8.55	6.99	16.89	15.62	20.29	19.68
Humedad Promedio (%)	**3.75**		**7.77**		**16.26**		**19.98**	
Densidad Seca (gr/cm3)	**2.017**		**2.112**		**1.926**		**1.656**	



DENSIDAD MAXIMA(gr/cm3)	**2.12**
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	**9.00**

C.B.R BASE CLASE 2

PROYECTO: LATACUNGA - PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: BASE CLASE 2 NORMA: ASTM D 1883

De Capas: 5
Peso del Martillo: 4.54 Kg.

MINA: EL CHASQUI

DENSIDAD MAXIMA	**2.12**	**gr/cm3**
HUMEDAD OPTIMA	**9.00**	**%**

NUMERO DE MOLDE	**1**		**2**		**3**	
Numero de golpes por capa	**56**		**25**		**10**	
Peso del molde + Suelo Húmedo: (gr.)	12782		12488		12250	
Peso del molde: (gr.)	7455		7450		7425	
Peso del suelo Húmedo : (gr.)	5327		5038		4825	
Volumen del molde: (cm3)	2195		2185		2151	
Densidad húmeda: (gr/cm3)	2.427		2.306		2.243	
CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO						
Peso del tarro + Suelo Húmedo:(gr.)	27.84	28.45	29.41	28.39	28.77	28.68
Peso del tarro + Suelo Seco: (gr)	27.07	27.55	28.57	27.56	27.97	27.82
Peso del tarro: (gr.)	19.15	18.12	19.66	18.66	19.25	18.65
W % :	9.72	9.54	9.43	9.33	9.24	9.38
W (%) promedio :	**9.63**		**9.38**		**9.31**	
Densidad Seca:	**2.214**		**2.108**		**2.052**	
CONTENIDO DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION						
Peso del tarro + Suelo Húmedo: (gr.)	35.29	34.74	35.82	35.46	34.43	35.28
Peso del tarro + Suelo Seco: (gr.)	31.26	30.82	31.15	30.94	29.86	30.52
Peso del tarro: (gr.)	17.66	17.85	18.15	18.66	19.15	19.12
W (%) :	29.63	30.22	35.92	36.81	42.67	41.75
W (%) promedio:	**29.93**		**36.37**		**42.21**	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA DESPUES DE LA SATURACION						
Peso saturado:	12927		12863		12790	
Agua absorvida :	145		375		540	
% agua absorvida:	2.72		7.44		11.19	

% Compactación:	104.42	99.44	96.80
Variación w%:	0.63	0.38	0.31

ESPONJAMIENTO:

NUMERO DEL MOLDE	1		2		3	
Tiempo (Días)	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**	**Dial**	**%**
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	2	0.04	4	0.09	6	0.13
2	3	0.06	6	0.13	6	0.13
3	4	0.09	7	0.15	8	0.17
4	6	0.13	9	0.19	9	0.19

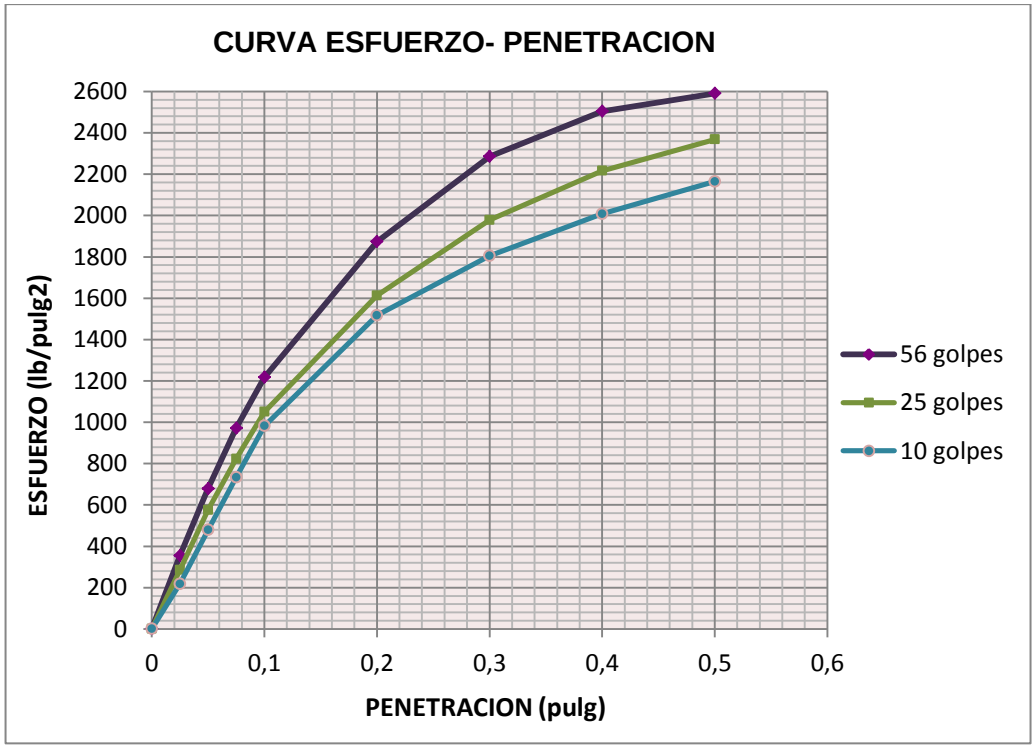
PENETRACION: Constante del anillo = 7,438 * lectura /3

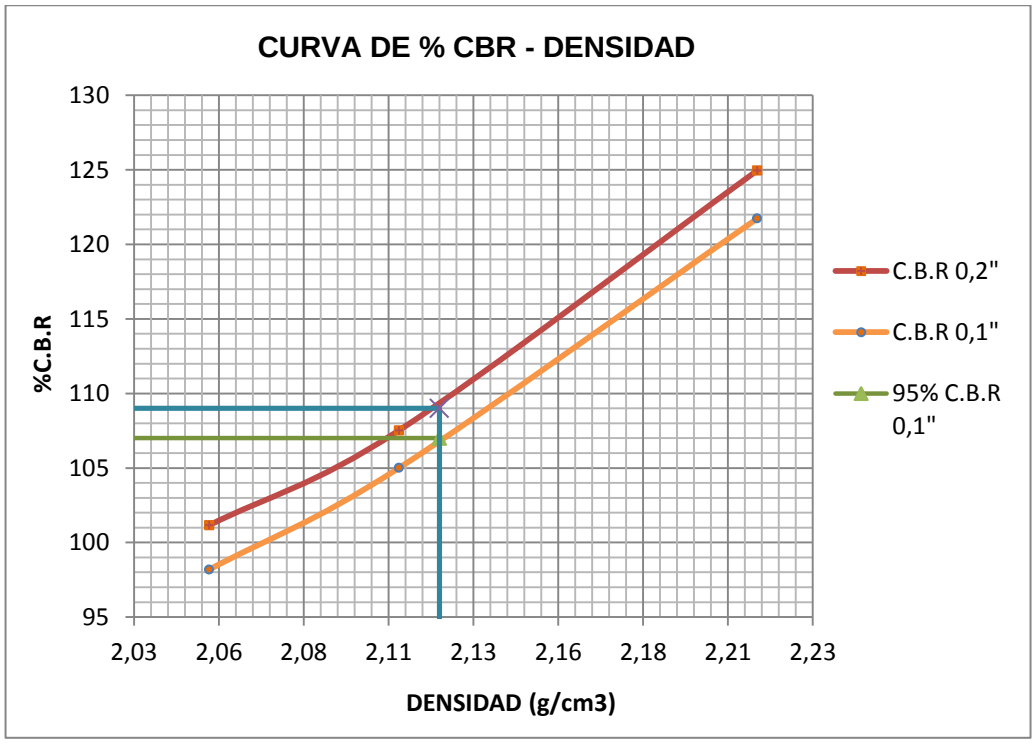
NUMERO DEL MOLDE	1		2		3	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
Penetración (pulgadas)	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**	**Dial**	**Presión lb/plg2**
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	143	354.54	115	285.12	88	218.18
0.050	274	679.34	232	575.21	193	478.51
0.075	392	971.90	332	823.14	296	733.88
0.100	491	1217.35	424	1050.00	396	981.82
0.200	756	1874.38	651	1612.81	612	1517.35
0.300	922	2285.95	798	1978.51	728	1804.95
0.400	1010	2504.13	894	2216.52	810	2008.26
0.500	1045	2590.90	955	2367.76	873	2164.46

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,1"
1,217.353	121.74
1,049.998	105.00
981.816	98.18
C.B.R (100%)	107.00

PRESION (lb/pulg2)	VALOR C.B.R. 0,2"
1,874.38	124.96
1,612.81	107.52
1,517.35	101.16
C.B.R (100%)	109.00

GRAFICAS C.B.R





Autor: Estefanía Gavilanes D.

RESUMEN DE RESULTADOS (ESPECIFICACIONES MTOP-001-F2002)								
GRANULOMETRIA			**LIMITES**					
TAMIZ	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	LIMITES	VALORES DEL ENSAYO	ESPECIFICACIONES MTOP	ENSAYOS REALIZADOS	VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES MTOP
1"	99	100	LIMITE LIQUIDO	24,11	≤ 25	ABRASION	37	< 40%
3/4"	92	70-100						
3/8"	67	50-80	LIMITE PLASTICO	21,53		C.B.R (0,1”)	107	> 80%
N°4	52	35-65						
N°10	40	25-50	INDICE DE PLASTICIDAD	2,58	< 6	C.B.R (0,2”)	109	> 80%
N°40	19	15-30						
N°200	4	3-15						

NOTA: LAS ESPECIFICACIONES PARA CLASIFICAR AL AGREGADO COMO BASE CLASE 2 FUERON TOMADAS DEL LIBRO ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES, MOP -001-F-2002 TOMO I, SECCION BASES.

3.2.2.4. ENSAYOS DE LA CARPETA ASFALTICA

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI FECHA: 14/11/2011
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI NORMA: ASTM D422
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL ¾"; 3/8"; Fino)
MINA: EL CHASQUI

GRANULOMETRIA MATERIAL ¾"

PESO TOTAL DE LA MUESTRAS (gr.)= 228,74

TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA	% QUE PASA CORREGIDO
3"	76,2	0	0	0	100	100
2"	50,4	0	0	0,00	100,00	100
1 1/2"	38,1	0	0	0,00	100,00	100
1"	25,4	100	100	43,72	56,28	56
3/4"	19	94	194	84,81	15,19	15
1/2"	12,5	29,8	223,8	97,84	2,16	2
3/8"	9,5	2,30	226,1	98,85	1,15	1
N°4	4,75	0,40	226,5	99,02	0,98	1
N°8	2,36	0,40	226,9	99,20	0,80	1
N°16	1,18	0,40	227,3	99,37	0,63	1
N°30	0,6	0,40	227,7	99,55	0,45	0
N°50	0,3	0,38	228,08	99,71	0,29	0
N°100	0,15	0,38	228,46	99,88	0,12	0
N°200	0,075	0,28	228,74	100,00	0,00	0
BANDEJA	0,00	0,00	228,74	100,00	0,00	0,00

Autor: Estefanía Gavilanes D.

GRANULOMETRIA MATERIAL 3/8”

PESO TOTAL DE LA MUESTRAS (gr.)= 385,79

TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA	% QUE PASA CORREGIDO
3"	76,2	0	0	0	100	100
2"	50,4	0	0	0,00	100,00	100
1 1/2"	38,1	0	0	0,00	100,00	100
1"	25,4	100	100	25,92	74,08	74
3/4"	19	100	200	51,84	48,16	48
1/2"	12,5	100	300	77,76	22,24	22
3/8"	9,5	80,89	380,89	98,73	1,27	1
N°4	4,75	0,89	381,78	98,96	1,04	1
N°8	2,36	0,76	382,54	99,16	0,84	1
N°16	1,18	0,70	383,24	99,34	0,66	1
N°30	0,6	0,70	383,94	99,52	0,48	0
N°50	0,3	0,66	384,6	99,69	0,31	0
N°100	0,15	0,66	385,26	99,86	0,14	0
N°200	0,075	0,53	385,79	100,00	0,00	0
BANDEJA	0,00	0	385,79	100,00	0,00	0,00

Autor: Estefanía Gavilanes D.

GRANULOMETRIA MATERIAL FINO

PESO TOTAL DE LA MUESTRAS (gr.)= 709,47

TAMIZ	TAMIZ (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	% RETENIDO	% QUE PASA	% QUE PASA CORREGIDO
3"	76,2	0	0	0	100	100
2"	50,4	0	0	0,00	100,00	100
1 1/2"	38,1	0	0	0,00	100,00	100
1"	25,4	100	100	14,10	85,90	86
3/4"	19	100	200	28,19	71,81	72
1/2"	12,5	100	300	42,29	57,71	58
3/8"	9,5	100	400	56,38	43,62	44
N°4	4,75	86,79	486,79	68,61	31,39	31
N°8	2,36	70,38	557,17	78,53	21,47	21
N°16	1,18	56,79	613,96	86,54	13,46	13
N°30	0,6	43,46	657,42	92,66	7,34	7
N°50	0,3	37,05	694,47	97,89	2,11	2
N°100	0,15	10,77	705,24	99,40	0,60	1
N°200	0,075	4,23	709,47	100,00	0,00	0
BANDEJA	0,00	0,00	709,47	100,00	0,00	0,00

Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL ¾"; 3/8")
MINA: EL CHASQUI

FECHA: 16/11/2011
NORMA: ASTM C 127
AASHTO T85
AASHTO T96

ENSAYOS PARA AGREGADO GRUESO Y MEDIO

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORSION							
AGREGADO	**MASA SECA DE LA MUESTRA A (gr.)**	**MASA DE LA MUESTRA S.S.S B (gr.)**	**MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN AGUA C (gr.)**	**GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Ge (gr/cm3)**	**GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S Gesss (gr/cm3)**	**GRAVEDAD APARENTE Gea (gr/cm3)**	**% DE ABSORCION**
GRUESO	1825	1910	1235	2,704	2,830	3,093	4,658
MEDIO	1670	1705	1065	2,609	2,664	2,760	2,096

ABRASION				
AGREGADO	**MASA INICIAL DE LA MUESTRA A (gr.)**	**MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 B (gr)**	**MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°12 C (gr.)**	**% DESGASTE**
GRUESO	6374	4329	2045	32.083
MEDIO	5734	3647	2087	36.397

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad C = A - B$$

$$Gesss = \frac{B}{B - C} \qquad \%Desg = \frac{C}{A} * 100$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad \%Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA

OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI FECHA: 18/11/2011

LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI NORMA: ASTM C 128

DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL FINO) AASHTO T84

MINA: EL CHASQUI

ENSAYOS PARA AGREGADO FINO

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION									
AGREGADO	**MASA DE LA MUESTRA SECA A (gr)**	**MASA DE LA MUESTRA S.S.S B (gr.)**	**MASA DEL MATRAZ Mm (gr)**	**MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ Ma (gr)**	**MASA DEL CONJUNTO MATRAZ+ AGUA+MUESTRA Mmw (gr)**	**GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Ge (gr/cm3)**	**GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S Gesss (gr/cm3)**	**GRAVEDAD APARENTE Gea (gr/cm3)**	**% DE ABSORCION**
FINO	510,7	517,8	347,8	282,4	1148	2,347	2,380	2,426	1,390

$$Ma = Mmw - (\mathrm{Mm} + \mathrm{B}) \qquad Gea = \frac{A}{500 + A + Mm - Mmw} \qquad Ge = \frac{A}{500 - Ma} \qquad \%Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

Autor: Estefanía Gavilanes D.

DURABILIDAD A LA ACCION DE LOS SULFATOS

OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL GRUESO)
MINA: EL CHASQUI

FECHA: 20/11/2011
NORMA: ASTM C 88

ESPECIFICACIONES: ≤12%

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

PESO TOTAL DE LA MUESTRAS (gr.)= 6234

	NÚMERO DE TAMIZ		MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO PARCIAL
FRACCIÓN	PASA	RETIENE				
1	2 1/2"	1 1/2"	2910	2910	46,679	46,679
2	1 1/2"	3/4"	1583	4493	72,073	25,393
3	3/4"	3/8"	1423	5512	88,418	22,826
4	3/8"	Nº 4	318	5830	93,519	5,101

DURABILIDAD A LA ACCION DE LOS SULFATOS

	NUMERO DE TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO (gr)	%QUE PASA (El tamiz más fino después del ensayo)	% DE DESGASTE PARCIAL
FRACCION	**PASA**	**RETIENE**					
1	2 1/2"	1 1/2"	46,68	2910	2503,30	14,0	6,52
2	1 1/2"	3/4"	25,39	1583	1581,34	0,1	0,03
3	3/4"	3/8"	22,83	1423	1420,14	0,2	0,05
4	3/8"	Nº 4	5,10	318	317,20	0,3	0,01
						TOTAL	**6,61**

Autor: Estefanía Gavilanes D.

DURABILIDAD A LA ACCION DE LOS SULFATOS

OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL FINO)
MINA: EL CHASQUI

FECHA: 21/11/2011
NORMA: ASTM C 88
ESPECIFICACION: ≤ 12%

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

PESO TOTAL DE LA MUESTRAS (gr.)= 879,93

	NÚMERO DEL TAMIZ		MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO PARCIAL
FRACCIÓN	PASA	RETIENE				
1	3/8"	Nº 4	103,33	103,33	11,74	11,74
2	Nº 4	Nº 8	104,50	207,83	23,62	11,88
3	Nº 8	Nº 16	167,80	375,63	42,69	19,07
4	Nº 16	Nº 30	106,50	482,09	54,79	12,10
5	Nº 30	Nº 50	228,70	710,76	80,77	25,99
6	PASA No. 50		169,10	879,86	99,99	19,22

DURABILIDAD A LA ACCION DE LOS SULFATOS

	NUMERO DE TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO (gr)	%QUE PASA (EL TAMIZ + FINO DESPUES DEL ENSAYO)	% DE DESGASTE PARCIAL
FRACCION	PASA	RETIENE					
1	3/8"	N°4	11,74	103,33	101,10	2,16	0,25
2	N°4	N°8	11,88	104,50	102,67	1,75	0,21
3	N°8	N°16	19,07	167,80	164,49	1,97	0,38
4	N°16	N°30	12,10	106,50	103,23	3,07	0,37
5	N°30	N°50	25,99	228,70	225,46	1,42	0,37
6	PASA No. 50		19,22	169,10	166,32	1,64	0,32
						TOTAL	1,89

CARAS FRACTURADAS

OBRA: TRAMO LATACUNGA- PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL ¾"; 3/8"; Fino)

NORMA: ASTM D 5821
ESPECIFICACIONES: ≥ 85%

MINA: EL CHASQUI

TAMIZ	PESO A (gr)	Peso de Caras Fracturadas B (gr)	% de caras Fracturadas C	E
1" a 3/4"	1621	1534	94,63	153400
3/4" a 1/2"	1184	1125	95,02	112500
1/2" a 3/8"	303,7	294,5	96,97	29450
SUMA	3108,7			295350

%CARAS FRACTURADAS= 95,01

C= (B/A) *100
E= A*C

DETERMINACION DEL INDICE DE CARAS ALARGADAS Y PLANAS

MATERIAL GRUESO 3/4"		
	Gr	%
PESO INICIAL	**571,8**	
Peso Cara Alargada	48,2	8,43
Peso Cara Plana	55,4	9,69
Peso Caras Redondas	21,5	3,76

MATERIAL MEDIO 3/8"		
	Gr	%
PESO INICIAL	**655,9**	
Peso Cara Alargada	50,2	7,65
Peso Cara Plana	44,4	6,77
Peso Caras Redondas	47,1	7,18

MATERIAL FINO		
	Gr	%
PESO INICIAL	**303,7**	
Peso Cara Alargada	29,6	9,75
Peso cara Plana	25,8	8,50
Peso Caras Redondas	17,1	5,63

INDICE DE ALARGAMIENTO 25,83
INDICE DE APLANAMIENTO 24,95

Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI FECHA: 24/11/2011
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (MATERIAL ¾"; 3/8"; FINO)
MINA: EL CHASQUI

MEZCLA DE AGREGADOS EN CALIENTE

Tamiz N°	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	16	30	50	100	200	PASA 200
Tamiz (mm).	25,4	19	12,7	9,51	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075	PASA 0,075
MATERIAL 3/4" (A)	100	94,04	29,80	2,32	0,40	0,40	0,40	0,40	0,38	0,38	0,28	
MATERIAL 3/8" (B)	100	100,00	100,00	80,89	0,89	0,76	0,70	0,70	0,66	0,66	0,53	
MATERIAL FINO C	100	100,00	100,00	100,00	86,79	70,38	56,79	43,46	37,05	10,77	4,23	
D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
MEZCLA	**100,00**	**98,81**	**85,96**	**76,64**	**52,33**	**42,46**	**34,30**	**26,30**	**22,44**	**6,67**	**2,70**	
Retenido Acumulado	0,00	1,19	14,04	23,36	47,67	57,54	65,70	73,70	77,56	93,33	97,30	2,70
Retenido Parcial	0,00	1,19	12,85	9,32	24,31	9,87	8,17	8,00	3,86	15,77	19,74	
Peso	0,00	13,11	141,33	102,50	267,38	108,59	89,83	88,00	42,44	173,46	217,12	
Peso acumulado	0,00	13,11	154,44	256,94	524,32	632,90	722,73	810,73	853,17	1026,63	1070,29	1200
Especif. Mínimas	**100**	**100**	**79**	**68**	**48**	**33**	**20**	**14**	**9**	**6**	**3**	
Especif. Máximas	**100**	**100**	**99**	**88**	**68**	**53**	**40**	**30**	**21**	**16**	**6**	

Retenido Acumulado=100- cantidad de mezcla en cada tamiz
Retenido Parcial= Retenido Acumulado del tamiz de abertura menor - Retenido Acumulado del tamiz de abertura mayor
Peso= (Peso de la briqueta 1100 * Retenido Parcial)/100
Peso Acumulado= Peso del tamiz de abertura menor + peso acumulado de la abertura mayor

FORMULA MAESTRA:

$$\text{Cantidad de agregado} = (\%\text{ de Mezcla A} * \text{Cantidad de agregado en cada tamiz de A}) + (\%\text{ de Mezcla B} * \text{Cantidad de agregado en cada tamiz de B}) + (\%\text{ de Mezcla C} * \text{Cantidad de agregado en cada tamiz de C})$$

Cálculo del Porcentaje de Asfalto

% DE MEZCLA		
A	0,20	20
B	0,20	20
C	0,60	60
D	0	0

G =	23,36	0,23
g =	24,31	0,24
A =	29,90	0,30
a =	19,74	0,20
f =	2,70	0,03
M=	4,25	

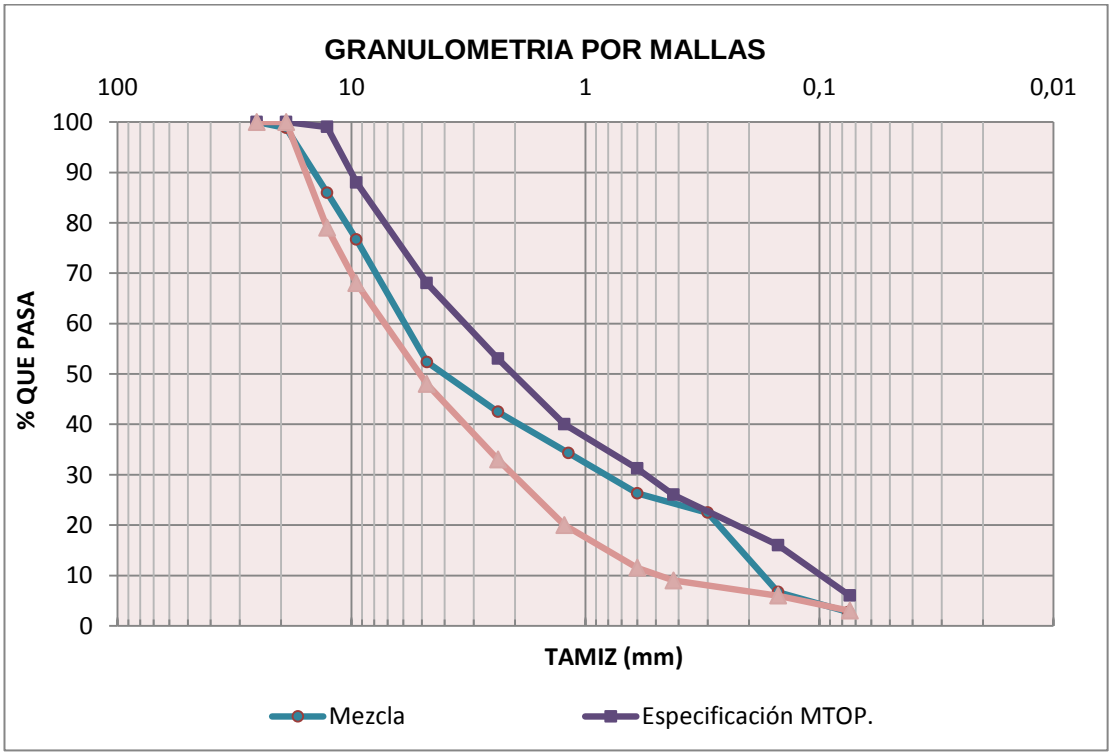
S = 6,823	**P (%) = 6,24**

DONDE:

Material A: Material Grueso
Material B: Material Intermedio
Material C: Material Fino
Especificaciones

P=	% Optimo de Ap3
M=	Coeficiente de tráfico (3,75 - 4,25)
G=	% de material mayor a 3/8
g=	% del material entre 3/8 y N°4
A=	% de material entre N°4 y N°50
a=	% del material entre N°50 y N°200
f=	Filler < N°200
S=	0,17*G + 0,33*g + 2,3*A + 12*a+135*f

$$P = M * \sqrt[5]{S}$$



Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA
OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI
LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI
DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA
MINA: EL CHASQUI

NORMA: ASTM D 2041

ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MAXIMA MEDIDA 5,74%

Gravedad especifica Mezcla Asfáltica sin compactar

$$Gm = \frac{A}{A-(B-C)}$$

DONDE:
A = Peso de la mezcla
B = Peso del frasco + muestra + agua
C = Peso del frasco + agua

A	1185,48
B	3925,77
C	3203,10
Gmm	**2,561**

ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MAXIMA MEDIDA 6,24%

Gravedad especifica Mezcla Asfáltica sin compactar

DONDE:
A = Peso de la mezcla
B = Peso del frasco + muestra + agua
C = Peso del frasco + agua

A	1211,23
B	3923,81
C	3186,75
Gmm	**2,554**

ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MAXIMA MEDIDA 6,74%

Gravedad especifica Mezcla Asfáltica sin compactar

DONDE:
A = Peso de la mezcla
B = Peso del frasco + muestra + agua
C = Peso del frasco + agua

A	1198,14
B	3921,45
C	3194,75
Gmm	**2,541**

Autor: Estefanía Gavilanes D.

PROYECTO: VIA LATACUNGA – PUJILI- ZUMBAHUA- LA MANA

OBRA: TRAMO LATACUNGA - PUJILI FECHA: 28/11/2011

LOCALIZACION: PROVINCIA DE COTOPAXI NORMA: ASTM D 1559

DESCRIPCION: CARPETA ASFALTICA (BRIQUETAS) ASTM D 2726

MINA: EL CHASQUI

ENSAYO MARSHALL

FECHA	N°Briqueta	% ASF.	Peso Seco	Peso S.S.S.	Peso Sum.	Vol. cm3	G. Bulk g/cm^3	Gmm g/cm^3	V.agre %	V v %	V.ae %	VAM %	VFM %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
														Medida	Correc.	Corregido	
28/11/2011	1		1288.20	1295.00	789.10	505.90	2.546							2095	1.04	2179	13
	2	5.74	1245.80	1265.80	740.00	525.80	2.369							2026	0.96	1945	11
	3		1242.90	1258.50	745.12	513.38	2.421							2110	1.00	2110	12
		5.74					**2.458**	**2.561**	**94.07**	**4.05**	**1.89**	**5.93**	**32.20**			**2078**	**12**
30/11/2011	4		1183.10	1195.00	717.00	478.00	2.475							2245	1.14	2559	14
	5	6.24	1236.20	1244.50	741.10	503.40	2.456							2256	1.04	2346	13
	6		1176.00	1188.00	713.00	475.00	2.476							2219	1.14	2530	13
		6.24					**2.465**	**2.554**	**93.85**	**3.48**	**2.66**	**6.15**	**43.81**			**2478**	**13**
01/12/2011	7		1220.50	1225.60	742.00	483.60	2.524							2220	1.09	2420	12
	8	6.74	1202.10	1208.30	714.00	494.30	2.432							2198	1.09	2396	15
	9		1251.10	1262.50	750.00	512.50	2.441							2205	1.00	2205	12
		6.74					**2.478**	**2.541**	**93.83**	**2.50**	**3.67**	**6.17**	**60.19**			**2340**	**14**

MEZCLA ASFALTICA 6,24%	
% Agregado Grueso	20
% Agregado Medio	20
% Agregado Fino	60
TOTAL %	100

GRAVEDAD DE AGREGADOS AL 6,24%	
Gravedad de agregados :	**2,463**

$$G.Agre = \frac{100}{(\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3})}$$

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK		
Ge (3/4")	=	2,70
Ge (3/8")	=	2,61
Ge fino	=	2,35

$$Volumen = P.SSS - P.Sum$$

$$G\ Bulk = \frac{Peso\ Seco}{P.SSS - P.Sm}$$

$$Gmm = \frac{A}{A - (B - C)}$$

$$\%Vol.Agregados = \frac{(100 - \%\ asfalto) * G.Bulk\ promedio}{Gravedad\ especifica\ bulk\ del\ agregado\ para\ cada\ \%}$$

$$\%V_{am} = 100 - \%\ volumend\ de\ agregados\ (Vagre.)$$

$$\%V_{FM} = \frac{\%\ volumen\ de\ agregado\ mineral\ (Vam) - \%volumen\ de\ vacios\ (Vv)}{\%Vam} * 1{,}011 * 100$$

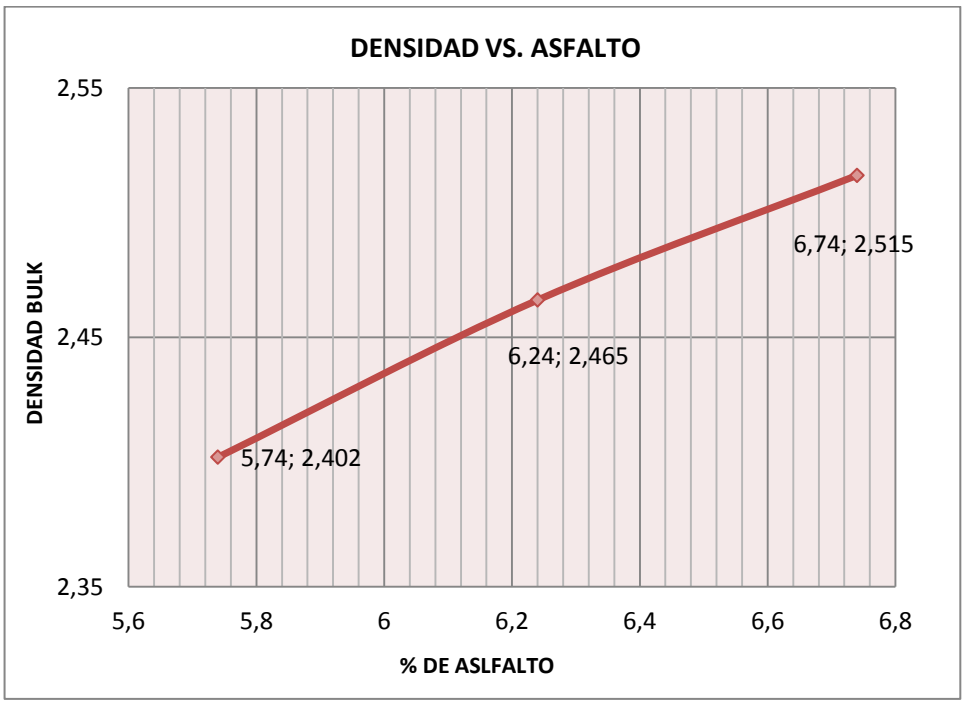
$$Estabilidad\ Corregida = Estabilidad * factor\ de\ correcion$$

Autor: Estefanía Gavilanes D.

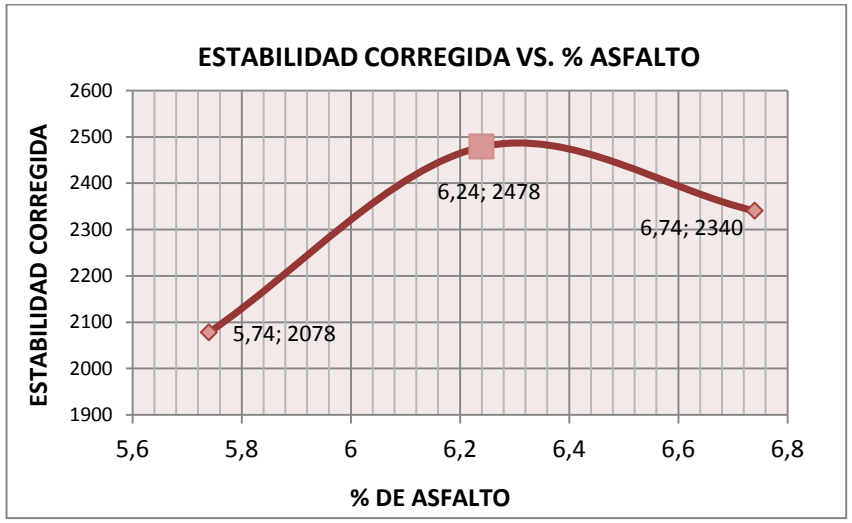
DISEÑO MARSHALL			
ENSAYOS	**ESPECIFICACIONES**		
NUMERO DE GOLPES	75		
ESTABILIDAD MINIMA (Lb.)	1800		
FLUJO (centésimas de Pulg)	8	-	16
PORCENTAJE DE VACIOS	3	-	5

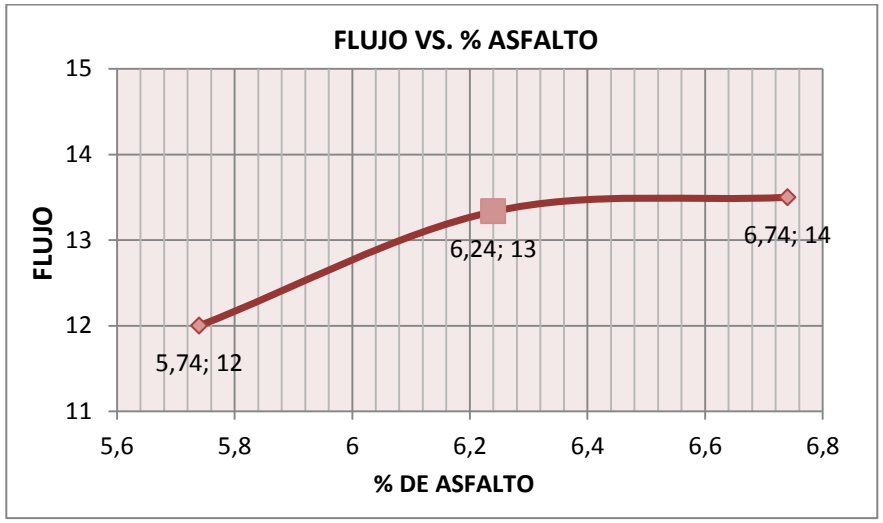
% MINIMO DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL

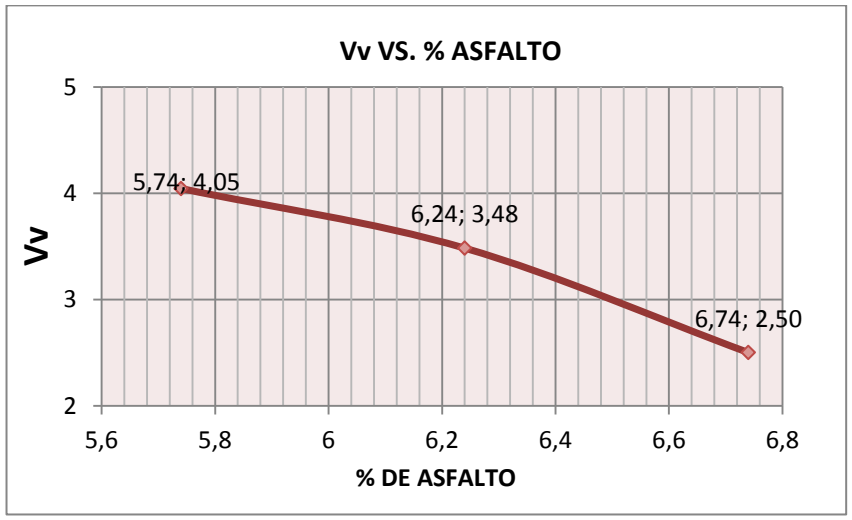
TAMAÑO MAXIMO DE LA PARTICULA		VACIOS MINIMOS EN EL AGREGADO MINERAL
PULG.	mm.	PORCENTAJE
1/2	12,50	16
3/4	19,00	15
1	25,00	14
1 1/4	31,25	13

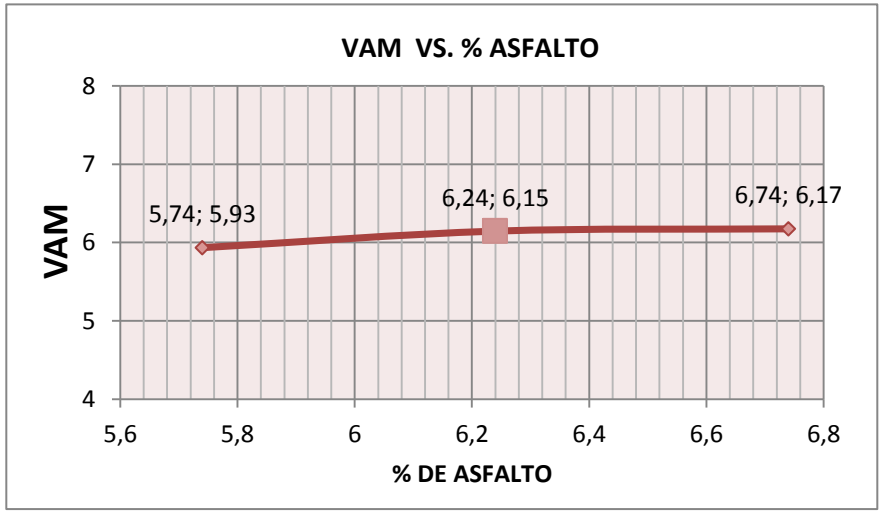


Autora: Estefanía Gavilanes D.


ESTABILIDAD CORREGIDA VS. % ASFALTO
ESTABILIDAD CORREGIDA
2600
2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
5,6
5,8
6
6,2
6,4
6,6
6,8
% DE ASFALTO
5,74; 2078
6,24; 2478
6,74; 2340


FLUJO VS. % ASFALTO
FLUJO
15
14
13
12
11
5,6
5,8
6
6,2
6,4
6,6
6,8
% DE ASFALTO
5,74; 12
6,24; 13
6,74; 14


Vv VS. % ASFALTO
Vv
5
4
3
2
5,6
5,8
6
6,2
6,4
6,6
6,8
% DE ASFALTO
5,74; 4,05
6,24; 3,48
6,74; 2,50


VAM VS. % ASFALTO
VAM
8
7
6
5
4
5,6
5,8
6
6,2
6,4
6,6
6,8
% DE ASFALTO
5,74; 5,93
6,24; 6,15
6,74; 6,17

3.2.3.5. ESPECIFICACIONES DEL GEOTEXTIL Y LA GEOMALLA

GEOTEXTIL MACTEX N 40.1

TABLA N°22. ESPECIFICACIONES GEOTETXIL NO TEJIDO

MacTex® N

Geotextil No Tejido en Polipropileno



Características técnicas

MacTex® N es un geotextil agujado producido con hilos de polipropileno.

MacTex® N			N 26.1	N 30.1	N 36.1	N 40.1	N 50.1	N 60.1	N 70.1	N 99.1
Propiedades mecánicas										
Resist. longit. a la tracción (Grab Test)	kN	ASTM D 4632	0,40	0,45	0,54	0,58	0,78	0,89	1,06	1,78
Elongación (Grab Test)	%	ASTM D 4632	65	65	65	65	70	70	70	50
Resistencia longitudinal al desgarre trapezoidal	kN	ASTM D 4533	0,16	0,22	0,27	0,29	0,36	0,38	0,42	0,67
Resistencia al punzonamiento	kN	ASTM D 4833	0,16	0,29	0,31	0,36	0,45	0,49	0,66	1,11
Resistencia al estalido	kPa	ASTM D 3786	1035	1554	1725	1930	2347	2795	3175	5517
Propiedades hidráulicas										
Permisividad	s^{-1}	ASTM D 4491	3,2	3,0	2,7	2,5	1,8	1,7	1,5	0,75
Permeabilidad normal	cm/s	ASTM D 4491	0,45	0,45	0,45	0,42	0,4	0,42	0,41	0,35
Flujo de agua	$l/min.m^2$	ASTM D 4491	9168	8133	6655	6111	5500	4889	4074	2460
Abertura aparente	mm	ASTM D 4751	0,30–0,425	0,212–0,18	0,212-0,18	0,212-0,18	0,212-0,18	0,212-0,15	0,18-0,15	0,15-0,11
Resistencia al UV	%/h	ASTM D 4355	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500	80/500
Presentación del rollo										
Ancho	m		3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	3,8 / 4,6	4,6 / 3,8
Largo	m		110	110	110	110	110 / 91	110 / 91	110 / 91	45,7/ 54,8
Peso estimado	**kg**		**57 / 66**	**59 / 70**	**66 / 78**	**69 / 82**	**89**	**100**	**114**	**113**

Los valores listados anteriormente corresponden a una media de resultados encontrados en ensayos realizados en laboratorios.

Empresa Maccaferri del Ecuador[45]

[45] Fuente: Empresa Macaferri del Ecuador, América Latina, Especificaciones para Geotextil no Tejido.

TABLA N°23. ESPECIFICACIONES GEOTEXTIL NO TEJIDO MACTEX N 40.1

Geotextil No Tejido de Polipropileno[46]

Características Técnicas

El Geotextil es elaborado con fibras de Polipropileno, mediante un proceso de punzonado por agujas. El geotextil es resistente a la degradación debido a la luz ultravioleta, ataques químicos y biológicos que normalmente se encuentran en los suelos.

PROPIEDADES	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	VALORES TIPICOS
MECANICAS			
Resistencia a la Tracción "Grab Test"	N	ASTM D 4632	580
Elongación a la Tracción "Grab Test"	%	ASTM D 4632	65
Resistencia al Punzonamiento	N	ASTM D 4833	360
CBR Resistencia la Punzonamiento	N	ASTM D 6241	1802
Resistencia al Estallido "Mullen Burst Test"	KPa	ASTM D 3786	1930
Resistencia al Desgarre Trapezoidal	N	ASTM D 4533	290
HIDRAULICAS			
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0,42
Permisividad	s^{-1}	ASTM D 4491	2,50
Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	mm	ASTM D 4751	0,212- 0,18
DURABILIDAD			
Resistencia a los Rayos UV	%	ASTM D 4355	80(1)
Tipo de Polímero	Polipropileno		

Observaciones: Después de 500 horas de Exposición.

[46] Fuente: Empresa Macaferri del Ecuador, América Latina, Especificaciones para Geotextil no Tejido, MacTex N40.1

Los geotextiles ayudan a prevenir la mezcla entre los suelos de sub-rasante y agregados o materiales seleccionados para conformar sub-bases, bases, o materiales para construir terraplenes; los cuales se colocarán sobre el geotextil de acuerdo a un espesor de diseño y valores de compactación establecidos en los sitios señalados.

Las propiedades mecánicas, hidráulicas y de resistencia de los geotextiles dependen de los requerimientos de supervivencia, de las condiciones y procedimientos de instalación. Estas propiedades corresponden a condiciones normales de instalación.

Preparación del terreno

La colocación del geotextil se ejecuta una vez removidos los materiales no aptos sobre la sub-rasante, excavando o rellenando hasta la rasante de diseño.

Colocación del Geotextil

El geotextil se debe extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. El mínimo traslapo debe ser de cincuenta centímetros (0.50 m) y depende tanto del CBR de la sub-rasante como del tráfico que va a circular sobre la vía durante la construcción.

Para todo final de rollo el traslapo mínimo es de 1.00 m. No se permitirá que el geotextil quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres días.

Colocación del Material de Cobertura

El material de relleno se descarga en un lugar previamente escogido y autorizado por el Fiscalizador. Luego el material se esparce sobre el geotextil, sin causar daños sobre el mismo. No se permite el tránsito de maquinaria sobre el geotextil hasta que se conforme la primera capa de material de relleno compactada.

El material de relleno se compacta con el equipo adecuado, para lograr el grado de compactación exigido del material, antes de dar paso al tráfico.



Imagen N° 21. Colocación del Geotextil y Geomalla

Tramo Latacunga- Pujili

GEOMALLA MACGRID EGB 15S

Características Técnicas[47]

Geomalla Biaxial Extruida de polipropileno, indicada para refuerzo y estabilización de base de pavimentos apoyos sobre suelos blandos.

TABLA N°24. ESPECIFICACIONES DE GEOMALLA MACGRID EGB 15S

PROPIEDADES	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	VALORES TIPICOS
FISICAS			
Abertura Nominal de la Malla Longitudinal (MD)	mm		38
Abertura Nominal de la Malla Transversal (TD)	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			Negro
MECANICAS			
Resistencia Longitudinal a la Tracción (MD)	KN/m	ASTM D 6637	15,0
Resistencia Transversal a la Tracción (TD)	KN/m	ASTM D 6637	15,0
Resistencia Longitudinal al 2% de Deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6637	5,0
Resistencia Longitudinal al 2% de Deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6637	5,0
Resistencia Longitudinal al 5% de Deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6637	7,0
Resistencia Transversal al 5% de Deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6637	7,0
PRESENTACION DEL ROLLO			
Ancho del Rollo	m		3,95
Largo del Rollo	m		50,00

[47] Fuente: Empresa Macaferri del Ecuador, América Latina, Especificaciones para Geomalla Biaxial EGB, MacGrid EGB 15S.

GEOMALLA MACGRID EGB 20S

Características Técnicas[48]

Geomalla Biaxial Extruida de polipropileno, indicada para refuerzo y estabilización de base de pavimentos apoyos sobre suelos blandos.

TABLA N°25. ESPECIFICACIONES DE GEOMALLA MACGRID EGB 20S

PROPIEDADES	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	VALORES TIPICOS
FISICAS			
Abertura Nominal de la Malla Longitudinal (MD)	mm		38
Abertura Nominal de la Malla Transversal (TD)	mm		36
Polímero			Polipropileno
Color			Negro
MECANICAS			
Resistencia Longitudinal a la Tracción (MD)	KN/m	ASTM D 6637	20,0
Resistencia Transversal a la Tracción (TD)	KN/m	ASTM D 6637	20,0
Resistencia Longitudinal al 2% de Deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6637	7,0
Resistencia Longitudinal al 2% de Deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6637	7,0
Resistencia Longitudinal al 5% de Deformación (MD)	KN/m	ASTM D 6637	14,0
Resistencia Transversal al 5% de Deformación (TD)	KN/m	ASTM D 6637	14,0
Eficiencia de las Juntas	%	GR GG2	93,0
Rigidez Flexural	mg-cm	ASTM D 1388	1'000000
Espesor Mínimo de la Costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	1,30
Espesor Mínimo de la Costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1,00
Estabilidad de las Aperturas	m-n/seg	COE Method	0,70
PRESENTACION DEL ROLLO			
Ancho del Rollo	m		3,95
Largo del Rollo	m		50,00

La tolerancia de las dimensiones de la Abertura es de ± 2mm.
Tolerancia Aplicable del 5%.

[48] Fuente: Empresa Maccaferri del Ecuador, América Latina, Especificaciones para Geomalla Biaxial EGB, MacGrid EGB 20S.

Generalmente se empleaba grandes espesores de material granular, los cuales generaban mayores costos y tiempo, además de tener una eficiencia limitada. Debido a esta razón actualmente se emplean las geomallas para el mejoramiento de la sub-rasante.

Por lo tanto las geomallas deben ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir las cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección en el plano de la misma, los refuerzos que proporciona son: el confinamiento lateral de la base o sub-base, el mejoramiento de la capacidad portante, restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o sub-base.

En este tramo experimental se utilizó la geomalla MACGRID EGB 20s, debido a sus propiedades, las mismas que fueron indicadas anteriormente.

Colocación de la Geomalla

La geomalla Biaxial se coloca sobre el geotextil, el cual sirve como separador del suelo y de la capa de material granular adecuado, que protege a la Geomalla y permite la circulación peatonal temporal sobre la misma.

La colocación se lleva a cabo manualmente sobre el suelo natural o sobre una sub-rasante que está terminada, primero se coloca el Geotextil separador y sobre este la Geomalla biaxial.

Las uniones longitudinales y transversales de la Geomalla y Geotextil deben tener un traslape entre 40 cm. y 100 cm., de acuerdo a la capacidad portante del suelo de la sub-rasante y a las recomendaciones del fabricante, etc.

Una vez extendido el Geotextil separador y la Geomalla biaxial MacGrid 20s en forma uniforme y regular, se distribuye sobre la Geomalla el material granular para protección o relleno, de acuerdo con los requerimientos del diseño, sin dejar expuestos los materiales sintéticos a la acción directa del sol, para evitar su deterioro.



Imagen Nº22. Colocación del Geotextil y Geomalla

Tramo Latacunga- Pujili

CAPITULO IV

DEFORMACIONES DINAMICAS

4.1. VIGA BENKELMAN

La viga Benkelman, denominada así en honor al Ing. Benkelman, quién la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la AASHO Road Test, es un ensayo que nos permite determinar las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por la acción de cargas vehiculares.

La viga Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple.

VIGA BENKELMAN



Imagen N° 23. Viga Benkelman

La viga consta esencialmente de dos partes: Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos y un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro.

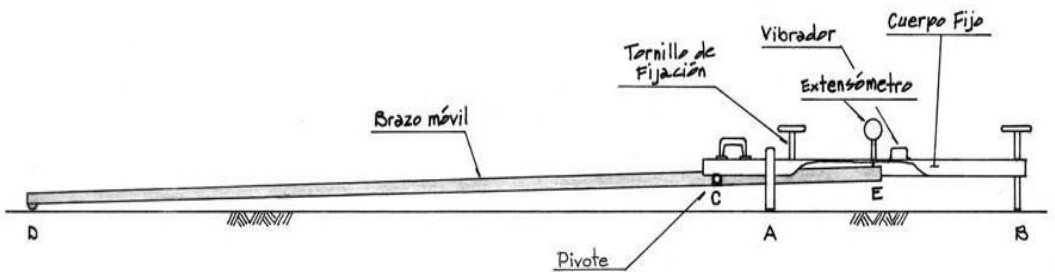


Imagen N°24. Viga Benkelman [49]

Procedimiento

- Se verifica la presión de inflado de las llantas del eje posterior de la volqueta. (85 Psi)
- Se aplica una carga estandarizada de 9000 libras (4090 kg) al pavimento, proporcionada por una de las llantas dobles del eje posterior de la volqueta, con el objetivo de medir las deflexiones que se generarán en la estructura del pavimento debido a la presencia de las distintas cargas vehiculares que van a circular por la carretera.
- Ubicar y fijar el punto donde se va a realizar el ensayo, de tal manera que este coincida con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (llanta doble).

[49] Fuente: es.scribd.com/doc/89076067/Viga Benkelman- Estados Unidos
Diapositivas de la Universidad Técnica Particular de Loja.

- Colocar en la mitad de los neumáticos sobre el punto establecido, el extremo del brazo móvil de la viga.
- Una vez instalada la viga Benkelman se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión, luego se colocaran los diales del extensómetro en cero, y mientras el camión se desplaza lentamente se procederá a tomar varias lecturas, conforme sean requeridas para fines de verificación, lo cual es recomendable si es que se quiere tener criterios en base a la grafica de deflexiones que se producirá.
- Se debe tomar una lectura final cuando la volqueta se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo, es decir cuando los diales estén en cero, lectura que corresponde al punto de referencia cuando ya no hay deflexión.
- Por último realizamos los cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto se deformó el pavimento.

FORMULAS:

$$Deflexion = Lectura * 4$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (Do - D25)}$$

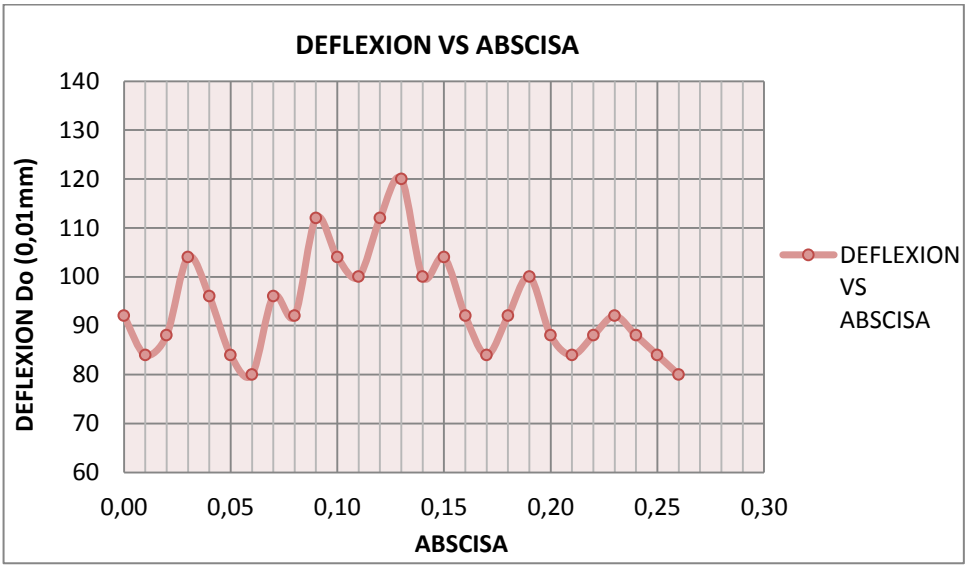
$$Zx = Area\ acumulada - \frac{Area\ acumulada\ total}{Distancia\ acumulada\ total} * Distancia\ acumulada$$

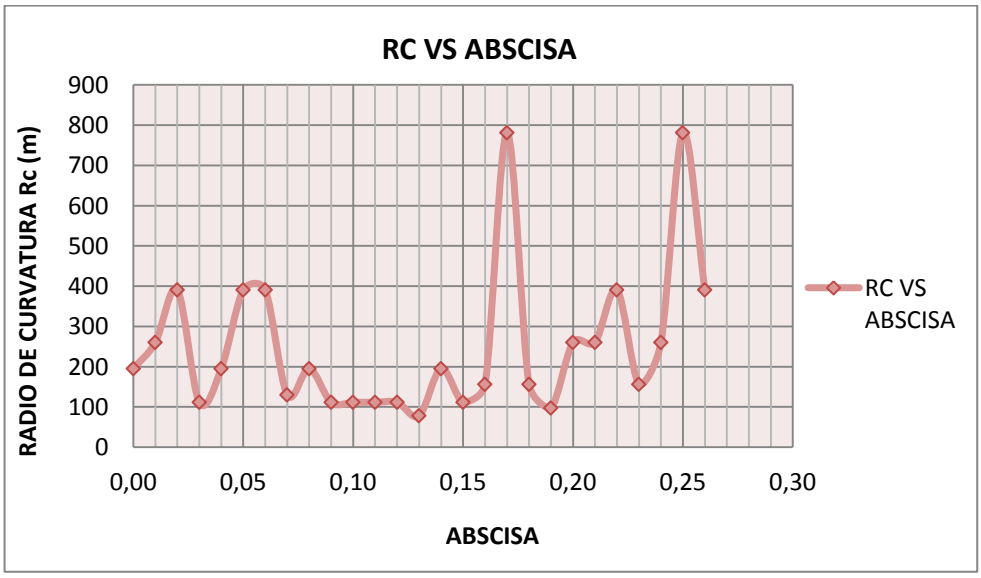
$$Deformacion\ critica\ dc = Do\ inicial + 2 * desviacion\ estandar\ (s)$$

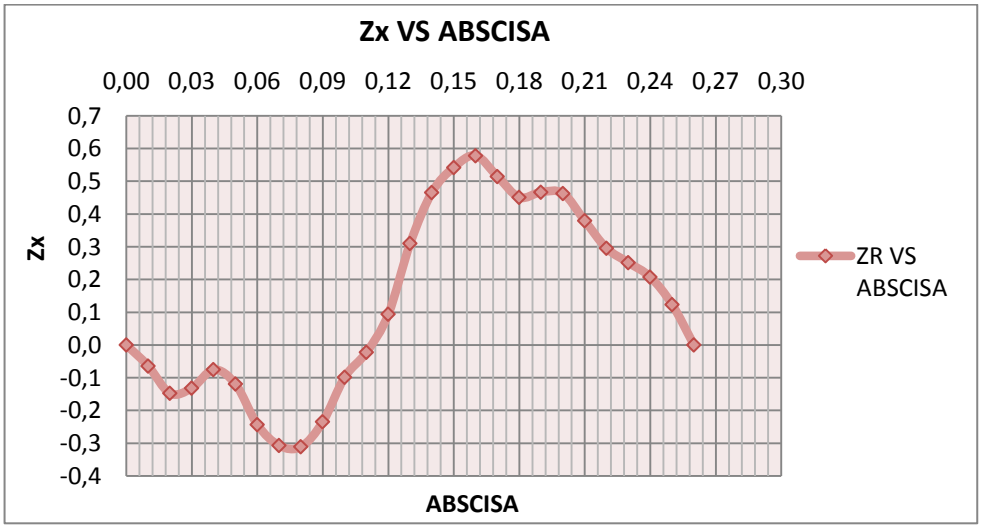
RESULTADOS DEL DEFLECTOMETRO EN EL TRAMO CON GEOMALLA

CALCULO DE DEFLEXIONES						CALCULO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS PARA SECCIONES HOMOGENEAS						
ABSCISA KM	Lecturas DO	DEFLEX 0,01mm	Lecturas D25	DEFLEX 0,01mm	RC (m)	Número del intervalo	Distancia del intervalo	Distancia Acumulada	Deflexión Promedio	Área del intervalo real	Área Acumulada	Zx
0.000	23.0	92	19.0	76	195	1	0	0.000	92	0.000	0.000	0.00
0.010	21.0	84	18.0	72	260	2	0.01	0.010	88	0.880	0.880	-0.06
0.020	22.0	88	20.0	80	391	3	0.01	0.020	86	0.860	1.740	-0.15
0.030	26.0	104	19.0	76	112	4	0.01	0.030	96	0.960	2.700	-0.13
0.040	24.0	96	20.0	80	195	5	0.01	0.040	100	1.000	3.700	-0.08
0.050	21.0	84	19.0	76	391	6	0.01	0.050	90	0.900	4.600	-0.12
0.060	20.0	80	18.0	72	391	7	0.01	0.060	82	0.820	5.420	-0.24
0.070	24.0	96	18.0	72	130	8	0.01	0.070	88	0.880	6.300	-0.31
0.080	23.0	92	19.0	76	195	9	0.01	0.080	94	0.940	7.240	-0.31
0.090	28.0	112	21.0	84	112	10	0.01	0.090	102	1.020	8.260	-0.23
0.100	26.0	104	19.0	76	112	11	0.01	0.100	108	1.080	9.340	-0.10
0.110	25.0	100	18.0	72	112	12	0.01	0.110	102	1.020	10.360	-0.02
0.120	28.0	112	21.0	84	112	13	0.01	0.120	106	1.060	11.420	0.09
0.130	30.0	120	20.0	80	78	14	0.01	0.130	116	1.160	12.580	0.31
0.140	25.0	100	21.0	84	195	15	0.01	0.140	110	1.100	13.680	0.47
0.150	26.0	104	19.0	76	112	16	0.01	0.150	102	1.020	14.700	0.54
0.160	23.0	92	18.0	72	156	17	0.01	0.160	98	0.980	15.680	0.58
0.170	21.0	84	20.0	80	781	18	0.01	0.170	88	0.880	16.560	0.51
0.180	23.0	92	18.0	72	156	19	0.01	0.180	88	0.880	17.440	0.45
0.190	25.0	100	17.0	68	98	20	0.01	0.190	96	0.960	18.400	0.47
0.200	22.0	88	19.0	76	260	21	0.01	0.200	94	0.940	19.340	0.46
0.210	21.0	84	18.0	72	260	22	0.01	0.210	86	0.860	20.200	0.38
0.220	22.0	88	20.0	80	391	23	0.01	0.220	86	0.860	21.060	0.30
0.230	23.0	92	18.0	72	156	24	0.01	0.230	90	0.900	21.960	0.25
0.240	22.0	88	19.0	76	260	25	0.01	0.240	90	0.900	22.860	0.21
0.250	21.0	84	20.0	80	781	26	0.01	0.250	86	0.860	23.720	0.12
0.260	20.0	80	18.0	72	391	26	0.01	0.260	82	0.820	24.540	0.00

s =	1.09	
dc =	94.18	
dc =	0.942	mm
E =	17.71	Mpa


DEFLEXION VS ABSCISA
DEFLEXION Do (0,01mm)
140
130
120
110
100
90
80
70
60
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
ABSCISA
DEFLEXION VS ABSCISA

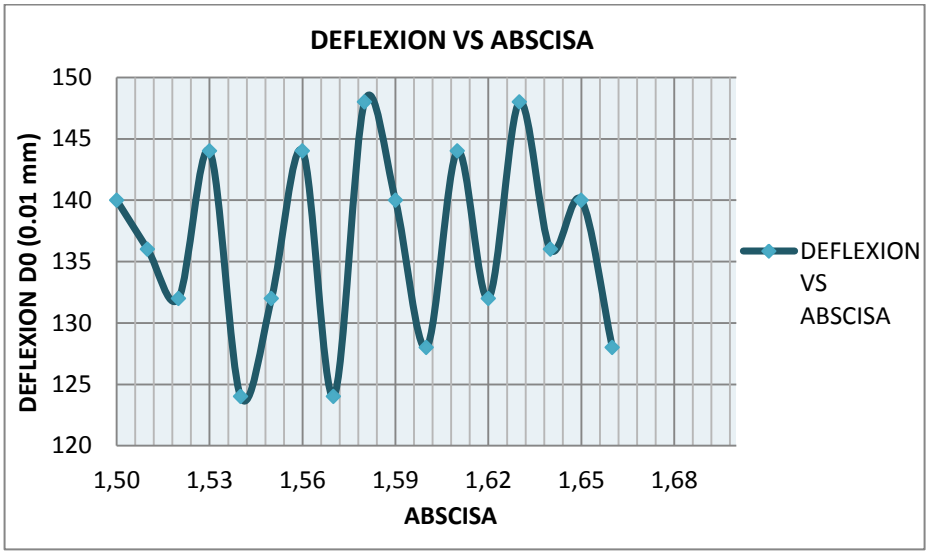

RC VS ABSCISA
RADIO DE CURVATURA Rc (m)
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
ABSCISA
RC VS ABSCISA

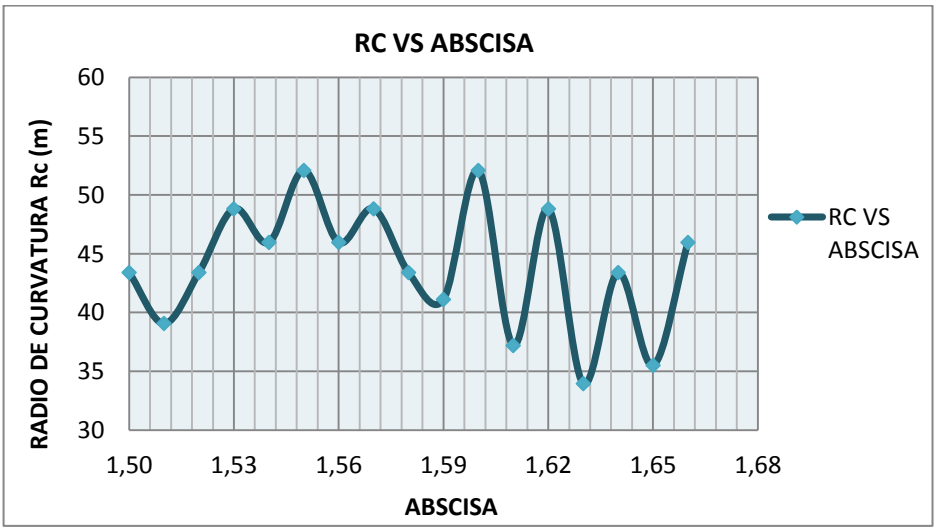

Zx VS ABSCISA
0,00 0,03 0,06 0,09 0,12 0,15 0,18 0,21 0,24 0,27 0,30
Zx
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
-0,1
-0,2
-0,3
-0,4
ABSCISA
ZR VS ABSCISA

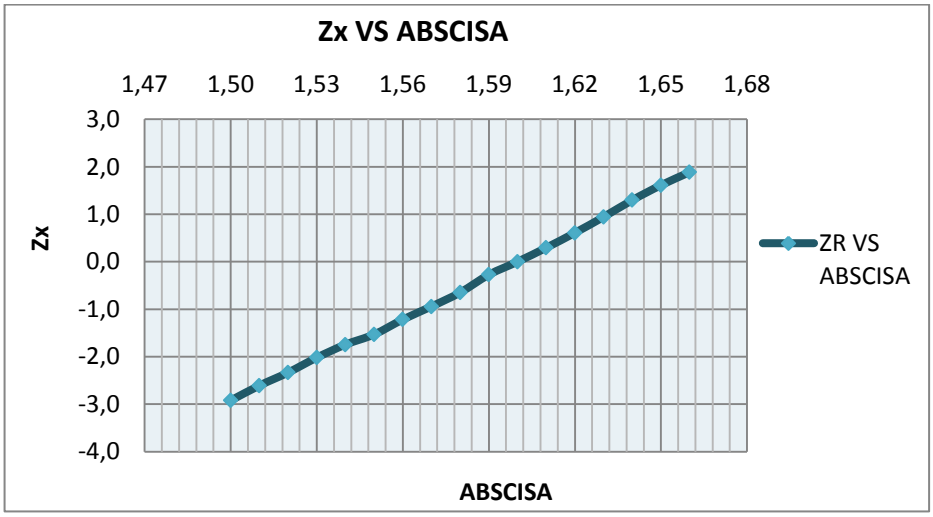
RESULTADOS DEL DEFLECTOMETRO EN EL TRAMO SIN GEOMALLA

CALCULO DE DEFLEXIONES						CALCULO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS PARA SECCIONES HOMOGENEAS						
ABSCISA KM	Lecturas DO	DEFLEX 0,01mm	Lecturas D25	DEFLEX 0,01mm	RC (m)	Número del intervalo	Distancia del intervalo	Distancia Acumulada	Deflexión Promedio	Área del intervalo real	Área Acumulada	Zx
1.500	35.0	140	17	68	43	27	0	0.250	112	0.000	23.720	-2.92
1.510	34.0	136	14	56	39	28	0.01	0.260	138	1.380	25.100	-2.61
1.520	33.0	132	15	60	43	29	0.01	0.270	134	1.340	26.440	-2.33
1.530	36.0	144	20	80	49	30	0.01	0.280	138	1.380	27.820	-2.02
1.540	31.0	124	14	56	46	31	0.01	0.290	134	1.340	29.160	-1.75
1.550	33.0	132	18	72	52	32	0.01	0.300	128	1.280	30.440	-1.53
1.560	36.0	144	19	76	46	33	0.01	0.310	138	1.380	31.820	-1.22
1.570	31.0	124	15	60	49	34	0.01	0.320	134	1.340	33.160	-0.94
1.580	37.0	148	19	76	43	35	0.01	0.330	136	1.360	34.520	-0.65
1.590	35.0	140	16	64	41	36	0.01	0.340	144	1.440	35.960	-0.27
1.600	32.0	128	17	68	52	37	0.01	0.350	134	1.340	37.300	0.00
1.610	36.0	144	15	60	37	38	0.01	0.360	136	1.360	38.660	0.29
1.620	33.0	132	17	68	49	39	0.01	0.370	138	1.380	40.040	0.61
1.630	37.0	148	14	56	34	40	0.01	0.380	140	1.400	41.440	0.94
1.640	34.0	136	16	64	43	41	0.01	0.390	142	1.420	42.860	1.30
1.650	35.0	140	13	52	36	42	0.01	0.400	138	1.380	44.240	1.61
1.660	32.0	128	15	60	46	42	0.01	0.410	134	1.340	45.580	1.89

s =	2.07	
dc =	144.15	
dc =	1.4415	mm
E =	9.356	Mpa







Autor: Estefanía Gavilanes D.

CAPITULO V

DISEÑO DE PAVIMENTOS

5.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR LA AASHTO 93

Para realizar el diseño de la estructura del pavimento se va a utilizar el método AASHTO 1993, introduciendo en los casos necesarios las recomendaciones formuladas por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador.

Los parámetros utilizados para este diseño se detallan a continuación:

- Amplitud y composición del Tráfico.
- Número de Cargas Equivalentes
- Características y resistencia de los materiales de la estructura del pavimento como son: Sub-Rasante, Sub-Base, Base y Carpeta.

En base al análisis y composición del tráfico obtenido se decidirá qué tipo de pavimento se colocará en la carretera, por lo que en este numeral se va a diseñar la estructura de pavimento flexible para un tramo experimental de 100 metros aplicado al tramo Latacunga- Pujili.

PARÁMETROS DE DISEÑO

El método toma en cuenta algunas consideraciones que influirán notablemente en el diseño de pavimentos y estos son: Variables de Tiempo, Tráfico, Confiabilidad, Niveles de Serviciabilidad, Propiedades de los Materiales y Drenaje.

- **VARIABLES DE TIEMPO**

Hay dos variables que se debe tomar en cuenta: Período de análisis o diseño y vida útil del pavimento.

Periodo de análisis es el tiempo que cada estrategia de diseño debe cubrir.
La vida útil del pavimento es aquel tiempo que media entre la construcción o rehabilitación y el momento en que el pavimento alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. En este caso se toma como tiempo de análisis, el mismo tiempo de vida útil, se tomará en cuenta la categoría de la vía para elegir esta variable.

En la tesis se va a diseñar la estructura del pavimento para un periodo de veinte años de vida útil, con una intervención de mantenimiento y refuerzo a los diez años.

TABLA N°26. PERIODO DE ANALISIS[50]

Condiciones del Camino	Periodo de Análisis (Años)
Alto Volumen Urbano	30 a 50
Alto Volumen Rural	20 a 50
Bajo Volumen Pavimentado	15 a 25
Bajo Volumen Revestido	10 a 20

AASHTO 1993

[50] Fuente: www.es.scribd.com/doc/60484328/Diseno-**Pavimento**-**Flexible**-**AASHTO.**
Cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente 18 Kips (8,6Tn.) para el periodo analizado, Diapositiva Nº 22.

- **TRÁNSITO (E´SALs)**

Corresponde al número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kip, o 8.180 Kg., la conversión de una carga dada por eje a ejes equivalentes se la realiza mediante los factores equivalentes de carga, esta variable está incluida en detalle en el Capítulo Dos.

TABLA N°27. RESUMEN DE EJES EQUIVALENTES

Tramo	**E'SALs (10 años)**	**E'SALs (20 años)**
Latacunga- Pujilí	8,5020 E+06	19,1953 E+06

- **CONFIABILIDAD (R)**

Se refiere a la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla la función prevista dentro de la vida útil, bajo las condiciones del medio ambiente existentes.

La selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de un pavimento está dada por el uso esperado de ese pavimento. Un sub-dimensionamiento del espesor del pavimento tiene consecuencias más graves para un pavimento en el cual se espera que lleve un gran volumen de tráfico, que para otro que tiene un nivel de tráfico bajo, en ambos casos habrá problemas, el pavimento alcanzará los niveles mínimos de servicio antes de lo previsto.

Un nivel de confiabilidad más alto representa un pavimento más costoso inicialmente pero, pasará más tiempo para una futura reparación, un nivel de confiabilidad menor representa un costo inicial menor pero el tiempo que transcurra para una reparación será también menor y por lo tanto aumentará el costo de mantenimiento y reparación.

El nivel de confiabilidad está dado por la tabla indicada a continuación:

TABLA N°28. NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO[51]

CLASIFICACION FUNCIONAL	NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO	
	URBANO	RURAL
Interestatal y Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 – 99	75 - 95
Calles Colectoras	80 – 95	75 - 95
Calles Locales	50 – 80	50 - 80

Por lo tanto se asume un nivel de confianza para arterias principales del 90% por cruzar por centros urbanos de alta densidad poblacional.

Procedemos a determinar la Desviación Normal Estándar (Z_R):

[51] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Variables para el Diseño, Confiabilidad, Pág. 264.

TABLA N°29. VALORES DE (Zr) – NIVEL DE CONFIANZA (R) [52]

CONFIABILIDAD %	DESVIACIÓN ESTANDAR (Zr)	CONFIABILIDAD %	DESVIACIÓN ESTANDAR (Zr)
50	0.00	92	-1.405
60	-0.253	93	-1.476
70	-0.524	94	-1.555
75	-0.674	95	-1.645
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090

AASHTO 1993

- Pavimento Flexible So=0, 40 a 0,50
- Pavimento Rígido So= 0,30 a 0,40

Por lo tanto tomamos un valor de Zr de -1,282 y un valor de Desviación Estándar So=0.45 para pavimentos flexibles.

- **NIVELES DE SERVICIABILIDAD (Po y Pt)**

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía.

[52] Fuente: www.es.scribd.com/doc/60484328/Diseno-**Pavimento**-**Flexible**-**AASHTO**
Cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente 18 Kips (8,6Tn.) para el periodo analizado, Diapositiva Nº 5.

- Serviciabilidad Inicial (Po): Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Los valores recomendados por la AASHTO para este parámetro están indicados en la Tabla N° 30 indicada a continuación:

TABLA N°30. SERVICIABILIDAD INICIAL[53]

SERVICIABILIDAD INICIAL (P_O)	
RIGIDO	4,5
FLEXIBLE	4,2

- Serviciabilidad Final (Pt): La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil. Los valores recomendados de Serviciabilidad Final Pt están indicados en la Tabla N° 31 indicada a continuación:

TABLA N°31. SERVICIABILIDAD FINAL [54]

SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)		
Autopistas	**Carreteras de Importancia Media**	**Carreteras de Importancia Baja**
3	2,5	2

AASHTO 93

[53] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Criterios de Comportamiento, Serviciabilidad, Pág. 265.
[54] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Criterios de Comportamiento, Serviciabilidad, Pág. 265.

TABLA N°32. SERVICIABILIDAD FINAL [55]

SERVICIABILIDAD	
Final (Pt)	**Característica**
5	Muy Bueno
4	Bueno
3	
	Regular
2	Malo
1	Muy Malo
0	

ASSHTO 93

- **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

En el método AASTHO 1993, se remplaza el CBR de sub-rasante, de base y de sub-base por el módulo resiliente, que es un módulo de deformación dinámico que tiene en cuenta solo las deformaciones recuperables.

Una vez obtenidos los resultados de soporte del suelo de fundación del pavimento se debe determinar de la totalidad de resultados el valor de CBR a través del percentil de diseño, de acuerdo al tráfico de la vía, como se muestra a continuación en la tabla:

[55]Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Criterios de Comportamiento, Serviciabilidad, Pág. 265.

TABLA N°33. PERCENTIL PARA C.B.R DE DISEÑO [56]

NUMERO DE EJES EQUIVALENTES A 8,2 TON EN EL CARRIL DE DISEÑO DURANTE EL PERIODO DE ANALISIS	PERCENTIL DE DISEÑO (%)
$\leq 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$\geq 10^6$	87,5

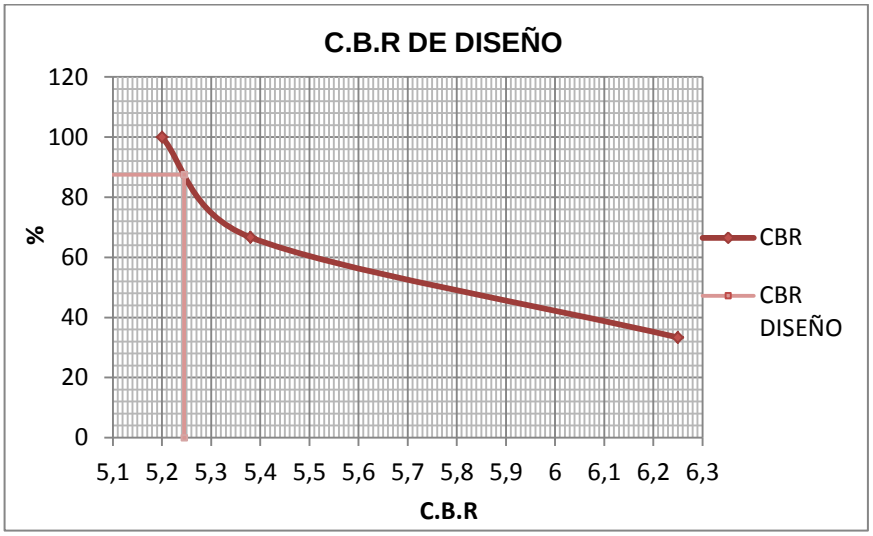
Instituto Norteamericano del Asfalto

De la tabla anterior se asume un percentil de diseño de 87,5; y posteriormente se procede a un ordenamiento ascendente de los valores de CBR obtenidos en el campo.

IMAGEN N°25. CBR DE DISEÑO

ABSCISA	CBR	ORDEN CRECIENTE	# DE ENSAYOS	%
0+190	6.25	5.20	3	100
0+220	5.20	5.38	2	66.67
0+250	5.38	6.25	1	33.33

[56] Fuente: Instituto Norteamericano del Asfalto.



En nuestro país no existe experiencia ni equipos suficientes para determinar el Módulo Resilente $\mathbf{M_R}$ de la sub-rasante, ante esta falencia se recurre a la siguiente relación con el C.B.R.:

MR= 1500 * CBR (psi) SI CBR< 7.2%

C.B.R (87,5%)=	**5,25**
MR=	**7867,5**

Obteniendo un valor de CBR de diseño 5,25 %, por lo tanto un módulo resiliente de 7867,5.

- **COEFICIENTES ESTRUCTURALES (ai)**

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características, tienen un coeficiente estructural "ai". Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Estos Coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHTO, indicados a continuación.

IMAGEN Nº26. COEFICIENTE DE CAPA PARA CARPETA ASFALTICA[57]

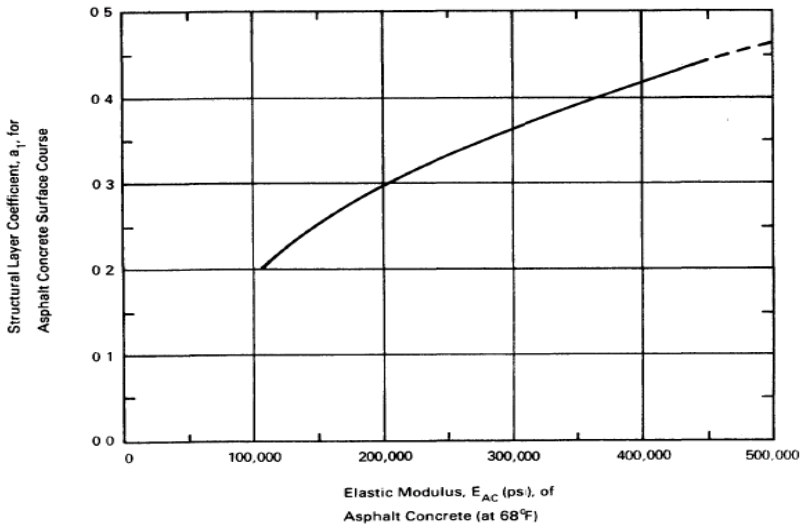


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

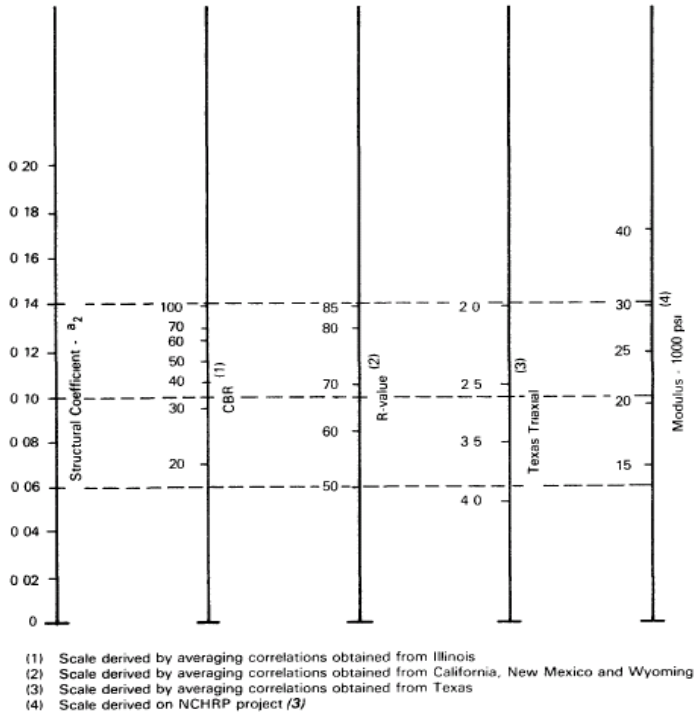
En base al Módulo Elástico del concreto asfaltico de 400.000 Psi a temperatura de 20ºC, se obtuvo un coeficiente de capa a_1= 0.43 pulgadas, para la temperatura media de la zona de 14.5 ºC.

COEFICIENTE DE CAPA PARA BASE GRANULAR

Realizado el ensayo de C.B.R para Base granular se obtuvo un valor de 107 % por lo que se toma a_2 = 0,14 y un Módulo Elástico de 30.000 Psi, determinado del grafico siguiente:

[57] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Coeficientes de Capa, Pág. 268.

IMAGEN Nº27. COEFICIENTE DE CAPA a_2 [58]



(1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
(2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

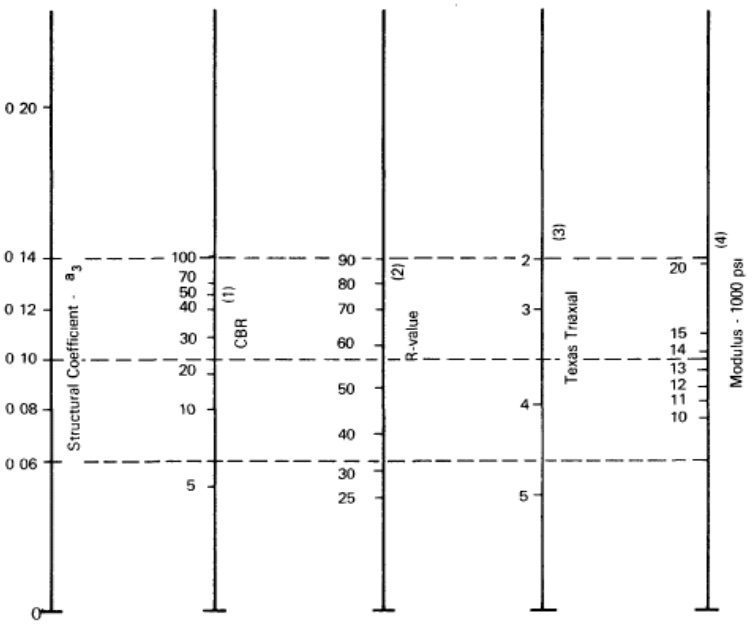
Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (3)

COEFICIENTE DE CAPA PARA SUB-BASE GRANULAR

Realizado el ensayo de C.B.R para Sub-base granular se obtuvo un valor de 43,14 % por lo que se toma a_3 = 0,122 y un Módulo Elástico de 17.200 Psi, determinado del grafico siguiente: [59]

[58] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Coeficientes de Capa, Base, Pág. 269.
[59] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Propiedades de los Materiales, Coeficientes de Capa, Sub-base, Pág. 273.

IMAGEN Nº28. COEFICIENTE DE CAPA a_3



(1) Scale derived from correlations from Illinois
(2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived from correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (*3*)

- **DRENAJE**

Se refiere a las condiciones de drenaje que van a tener las diferentes capas de la estructura del pavimento, y el tiempo que la sub-rasante mejorada estará expuesta a niveles de saturación será de 1 día al 50% de la saturación, este coeficiente se determina en base a las siguientes condiciones:

TABLA N°34. CONDICIONES DE DRENAJE [60]

Drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	(el agua no drena)

TABLA N°35. VALORES DEL COEFICIENTE (mi)

CALIDAD DEL DRENAJE		**% Del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cerca a la saturación**			
CONDICION	EXTRACCION DEL AGUA	MENOR QUE 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	MAYOR QUE 25%
Excelente	2 horas	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 -1,20	1,2
Bueno	1 dia	1,25 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 -1,00	1
Regular	1 semana	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,05 -0,80	0,8
Malo	1 mes	1,15 - 1,05	1,05- 0,80	0,80 - 0,60	0,6
Muy Malo	No drena	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 -0,40	0,4

De la tabla indicada anteriormente se adopta un coeficiente de drenaje de 1 para carpeta asfáltica; 0,95 para base clase 2; 0,90 para sub-base clase 3.

[60] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Características Estructurales del Pavimento, Drenaje, Pág. 271.

DETERMINACION DEL NÚMERO ESTRUCTURAL (NE)

El procedimiento AASHTO se recomienda usar en condiciones de caminos de alto volumen de vehículos pesados y largos períodos de análisis, considerando al menos un período de rehabilitación.

Mediante la siguiente expresión podemos determinar el número estructural.[61]

$$\text{Log}\,(W_{18}) = Z_{R*}S_O + 9{,}36\,\text{Log}\,(NE+1) - O{,}20 + \frac{\text{Log}\left[\frac{(4{,}2-P_t)}{(4{,}2-1{,}5)}\right]}{0{,}4+\frac{1094}{(NE+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32\,\text{Log}\,M_R - 8{,}07$$

DONDE:

W_{18}= Número previsto de 80 KN (18.000 lb.) ESAL

NE= Número Estructural

Zr = Desviación Normal Estándar

So = Valores de Error Estándar

Pt = Serviciabilidad Final

Mr = Modulo de Resiliencia

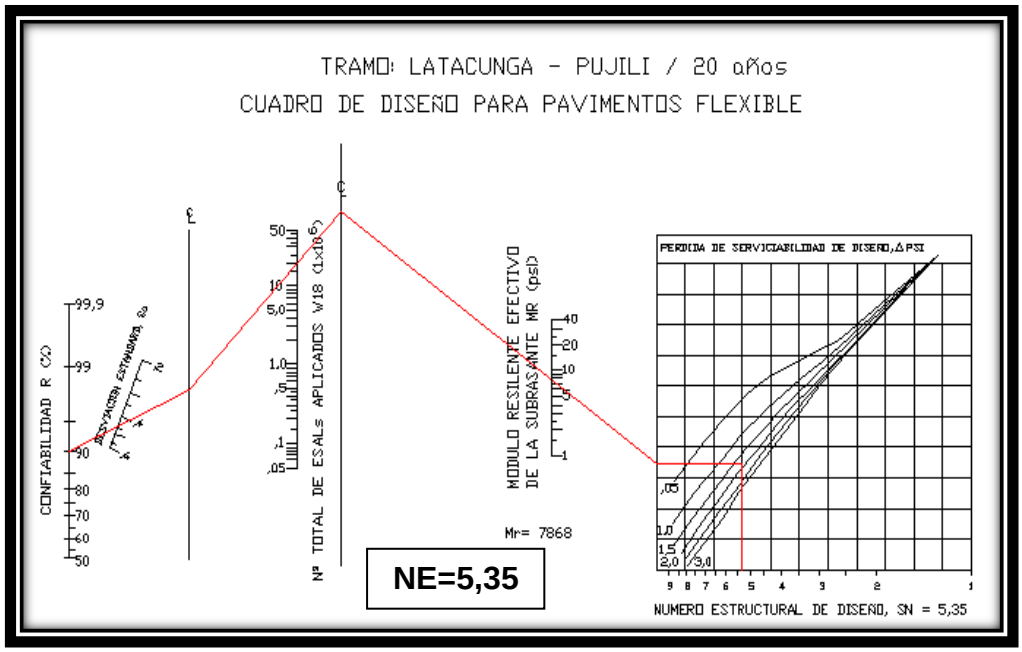
Los números estructurales calculados mediante la fórmula para el diseño del pavimento son los siguientes:

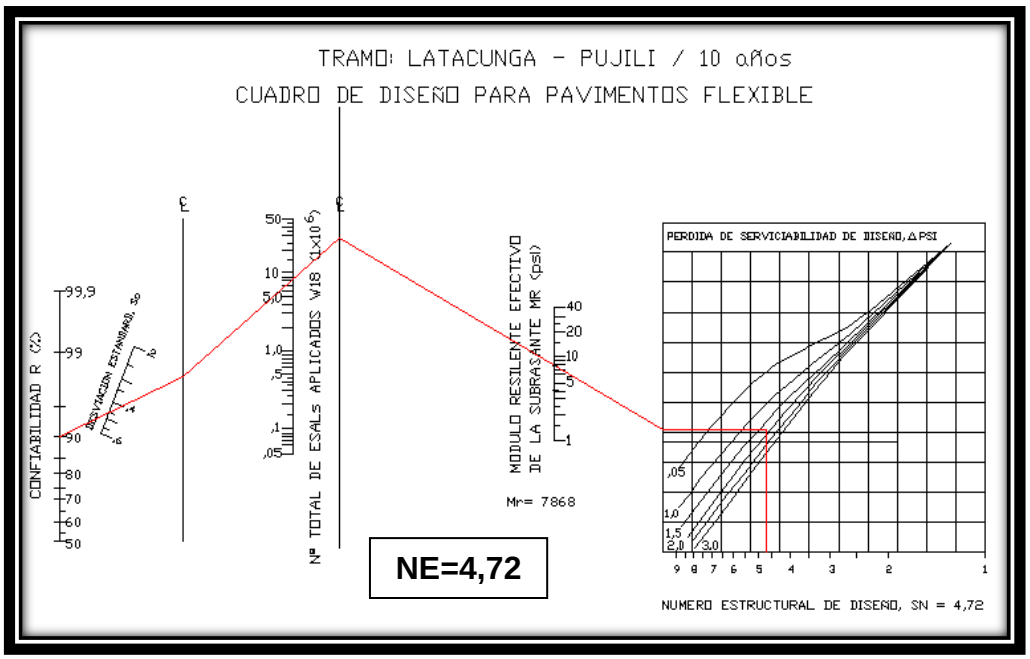
TABLA N°36. NUMERO ESTRUCTURAL

PERIODO DE DISEÑO	N.E
TRAMO LATACUNGA - PUJILI	
DISEÑO A 20 AÑOS	5,35
DISEÑO A 10 AÑOS	4,77

[61] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogota D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Diseño Estructural del Pavimento, Pág. 274.

Este método se simplifica al aplicar el ábaco de la AASHTO, el mismo que determina de una forma rápida el valor de (NE), este valor adimensional es con el que se va a trabajar para dimensionar la estructura del pavimento, para los 20 y 10 años respectivamente.





Una vez calculado el Número Estructural, procedemos a transformar este número (NE), mediante la aplicación de los diferentes coeficientes de capas ya indicados, para así determinar el espesor de las diferentes capas de la estructura del pavimento, las que de acuerdo a sus características estructurales satisfagan el (NE) obtenido.

La estructuración no tiene una solución única, se pueden establecer variadas combinaciones de capas que satisfacen la ecuación del (NE), en la elección de las capas se deben considerar los materiales disponibles en el proyecto y su costo.

El número estructural de un pavimento es el que determinará los espesores de capa, en base a los coeficientes de capa y drenaje de cada material a ser colocado, así como también los espesores mínimos sugeridos por AASHTO.

TABLA N°37. ESPESORES MINIMOS [62]

	Minimum Thickness (inches)	
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1 0 (or surface treatment)	4
50,001–150,000	2 0	4
150,001–500,000	2 5	4
500,001–2,000,000	3 0	6
2,000,001–7,000,000	3 5	6
Greater than 7,000,000	4 0	6

AASHTO 93

[62] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Diseño Estructural del Pavimento, Selección de los Espesores de Capas, Pág. 277.

TABLA N° 38. RESUMEN DE PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS

PARAMETROS	
ESAL's 10 AÑOS **ESAL's 20 AÑOS**	**8'502.034,145** **19'195.287,38**
Confiabilidad R	**90%**
Desviación Normal Estándar (Zr)	**-1.282**
Desviación Estándar So	**0.45**
Serviciabilidad Inicial (Po)	**4.20**
Serviciabilidad Final (Pt)	**2.50**
CBR sub-rasante	**5.245 %**
Módulo Resiliente MR	**7868 psi**

ESPESORES MINIMOS cm	
CARPETA ASFALTICA	10 cm
CAPA DE BASE	15 cm

COEFICIENTE DE CAPA	COEFICIENTES ESTRUCTURALES ai (")	COEFICIENTES DE DRENAJE mi
Carpeta Asfáltica	0.430	1.00
Base	0.140	0.95
Sub-base	0.122	0.90

5.1.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO POR LA AASHTO **93 (En función del Número Estructural de la Sub-rasante)**

Este metodo es aplicable para vías con transito superior a 0,05 * 10^6 ejes equivalentes.

Este metodo solo es utilizado para diseñar la estructura del pavimento tradicional y poder compararla con el metodo de la estructura del pavimento reforzada con Geomalla Biaxial Mac Grid 20s.

Por lo tanto para el presente diseño de la estructura del pavimento sin reforzar se adopta un espesor mínimo de carpeta asfáltica de 4 pulgadas, como se hace referencia en la Tabla N°37.

Mediante la siguiente ecuación se puede identificar un conjunto de capas cuyos espesores, adecuadamente combinados, proporcionan la capacidad portante correspondiente al Numero Estructural obtenido para la sub rasante de la fórmula o del Nomograma.

NE = (a1 * h1) + (a2 * h2*m2) + (a3 * h3*m3)

Dónde: [63]

NE = Número Estructural Requerido (NE 1+ NE 2 + NE 3)

h1, h2, h3 = Espesores adoptados de las diferentes capas.

a1, a2, a3 = Coeficientes de las respectivas capas.

m2, m3 = Coeficientes de drenaje.

Para lo cual el Numero Estructural total calculado ya con los espesores escogidos debe ser mayor o igual al obtenido de la formula.

$NE_{calculado} \geq$ NE obtenido de la formula o del nomograma

[63] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método ASSHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Diseño Estructural del Pavimento, Selección de los Espesores de Capas, Pág. 275.

TABLA N°39. DISEÑO DE PAVIMENTO TRAMO LATACUNGA – PUJILI

PAVIMENTO FLEXIBLE

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

DETERMINACION DEL NUMERO ESTRUCTURAL (NE)				
PARAMETRO	VALOR	U	DESCRIPCION	RANGO TIPICO
W18	19.195.287		Aplicaciones ESAL´S en el periodo de diseño	0,1 - 80 Millones
R	90	%	Confiabilidad (Interestatal - Rural Secundaria)	95% - 70%
Zr	-1,282		Desviación Normal Estándar	
So	0,45		Desviación Estándar	0,3 - 0,5
CBR	5,245		CBR de la sub rasante	
MR	7.868	psi	Módulo Resilente de la sub-rasante AASHTO	3000 - 9000
Pi	4,2		Serviciabilidad Inicial	4,2 - 4,8
Pt	2,5		Serviciabilidad Final	2,0 - 3,0

NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO	5,35

TABLA N°40. DISEÑO DE PAVIMENTOS TRAMO LATACUNGA – PUJILI

PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFORZAR

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS				
MATERIAL	COEFICIENTE DE CAPA (Pulg.)	COEFICIENTE DE DRENAJE	ESPESOR (cm)	NUMERO ESTRUCTURAL / 2,54 cm
Carpeta Asfáltica	0.430	1.00	10	1.6929
Base Granular	0.140	0.95	20	1.0472
Sub-Base	0.122	0.90	20	0.8646
Mejoramiento	0.100	0.90	50	1.7717
		TOTAL	100	5,38

TABLA N°41. DISEÑO DE PAVIMENTO TRAMO LATACUNGA – PUJILI

PAVIMENTO FLEXIBLE

PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS

DETERMINACION DEL NUMERO ESTRUCTURAL (NE)				
PARAMETRO	VALOR	U	DESCRIPCION	RANGO TIPICO
W18	8.502.034		Aplicaciones ESAL´S en el periodo de diseño	0,1 - 80 Millones
R	90	%	Confiabilidad (Interestatal - Rural Secundaria)	95% - 70%
Zr	-1,282		Desviación Normal Estándar	
So	0,45		Desviación Estándar	0,3 - 0,5
CBR	5,245		CBR de la sub rasante	
MR	7.868	psi	Módulo Resilente de la sub-rasante AASHTO	3000 - 9000
Pi	4,2		Serviciabilidad Inicial	4,2 - 4,8
Pt	2,5		Serviciabilidad Final	2,0 - 3,0

NUMERO ESTRUCTURAL DE DISEÑO	4,77

TABLA N°42. DISEÑO DE PAVIMENTOS TRAMO LATACUNGA – PUJILI

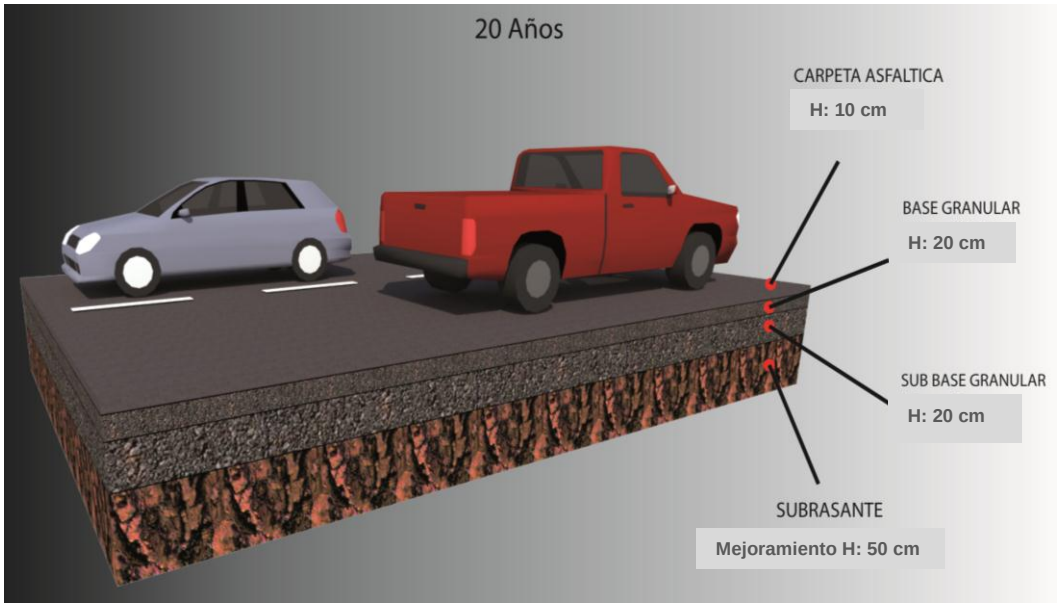
PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFORZAR

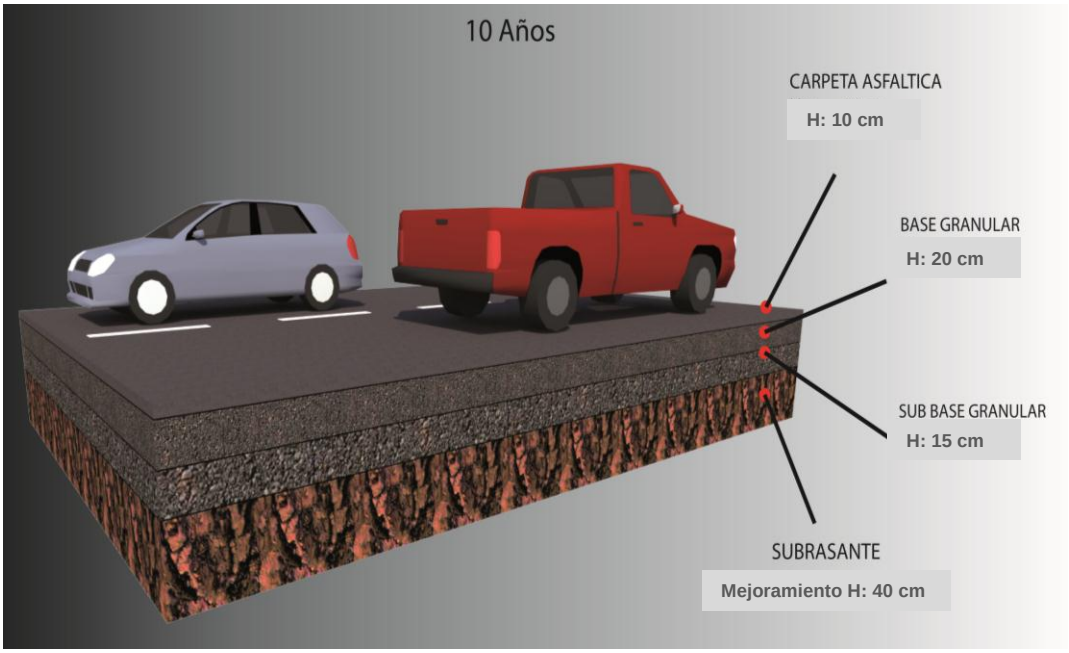
PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS

DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS				
MATERIAL	COEFICIENTE DE CAPA (Pulg.)	COEFICIENTE DE DRENAJE	ESPESOR (cm)	NUMERO ESTRUCTURAL / 2,54 cm
Carpeta Asfáltica	0.430	1.00	10	1.6929
Base Granular	0.140	0.95	20	1.0472
Sub-Base	0.122	0.90	15	0.6484
Mejoramiento	0.100	0.90	40	1.4173
		TOTAL	85	4,81

IMAGEN Nº29. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO ASSHTO 93

(CONSIDERANDO SOLO EL NE DE LA SUBRASANTE)





Este método es considerado y realizado solo para la comparación con la estructura del pavimento reforzada con Geomalla biaxial.

5.1.2 DISEÑO DE LA ESTRUTURA DEL PAVIMENTO POR ANALISIS DEL DISEÑO POR CAPAS

El pavimento es un sistema multicapa, donde se determinan los números estructurales necesarios de la base, sub base y sub rasante, utilizando los valores de resistencia respectivos, para determinar la distribución de los espesores de tal manera que la estructura sea viable.

1. Determinar los módulos resilientes de las capas de Base y Sub-base Granular determinado de las gráficas 27 y 28 respectivamente.

El CBR de la Base es de 100% lo que nos da un coeficiente de capa a_2 de 0,43 y un módulo de resilencia de 30.000 (lb/pulg^2) y el CBR de la Sub-base es de 43,14% lo que nos da un coeficiente de capa a_3 de 0,122 y un módulo resiliente de 17.200 (lb/pulg^2).

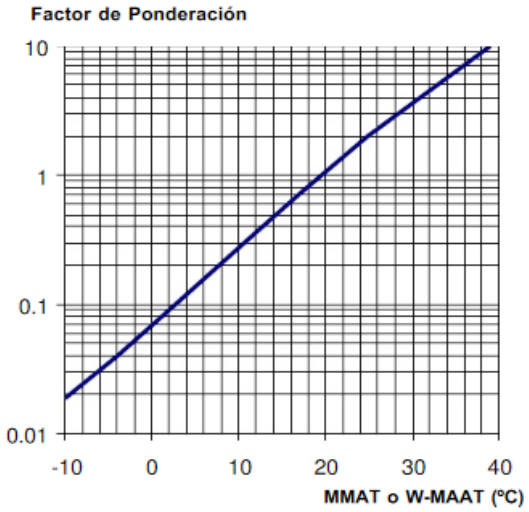
2. La temperatura media de la zona del proyecto es de 14,5 °C, por lo que se estima que el modulo elástico del concreto asfaltico sea de 400.000 (lb/pulg^2), obteniéndose un coeficiente de capa a_1 de 0,44.

TEMPERATURA

MES	MMAT °C 2011	FACTOR DE PONDERACION 10^-1
ENERO	14,0	4,7
FEBRERO	14,2	4,8
MARZO	14,3	4,9
ABRIL	14,4	5,0
MAYO	14,8	5,5
JUNIO	14,3	4,9
JULIO	13,2	4,4
AGOSTO	14,4	5,0
SEPTIEMBRE	14,1	4,7
OCTUBRE	15,2	5,8
NOVIEMBRE	14,9	5,5
DICIEMBRE	14,3	4,9
TOTAL		**60,1**
PROMEDIO		**5,01**
TEMPERATURA		**14,5**

Cuyos factores de ponderación se obtuvieron de la siguiente grafica en base a la temperatura de cada mes.

IMAGEN Nº30. FACTOR DE PONDERACION [64]



[64] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método Shell para Diseño de Pavimentos Flexibles, Parámetros para el Diseño Estructural, Temperatura, Pág. 288.

3. Con el Numero Estructural (NE_1) obtenido para la Base Granular empleando el módulo resiliente de la misma, se procede a determinar el espesor de la carpeta asfáltica con la ayuda de la ecuación: [65]

$$D_1 = \frac{NE_1}{a_1}$$ **(Pulgadas).**

4. Una vez adoptado el espesor a utilizarse de la carpeta asfáltica se recalcula el numero estructural: [65]

$$NE_1^* = a_{1^*} D_{1adopatado^*} m_1$$

5. Se determina el Numero Estructural de la Base Granular para poder calcular el espesor de la misma, empleando el módulo resiliente de la sub-base, para ello se usa la ecuación: [65]

$$NE_{2\ base\ para\ el\ cálculo} = NE_{2\ (obtenido\ de\ la\ formula\ con\ modulo\ de\ la\ sub\ base)} - NE_1^*$$

6. Se procede a calcular el espesor de la Base Granular.[65]

$$D_2 = \frac{NE_{2base\ para\ el\ calculo}}{a_2 * m_2}\ (pulgadas)$$

7. Se recalcula el Numero Estructural: $NE_2^* = a_{2^*} D_{2adopatado^*} m_2$

[65] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método AASHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Análisis del diseño capa por capa, Pág. 280.

8. Calcular el Numero Estructural de la Sub-base Granular para poder obtener el espesor de la de la misma.[64]

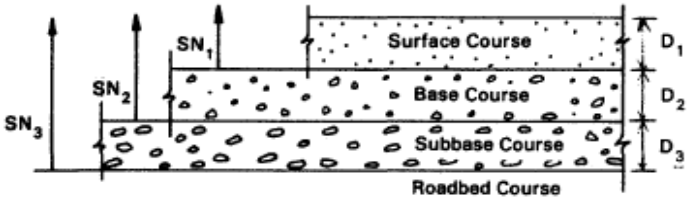
$$NE_{3\ sub\text{-}base\ para\ el\ cálculo} = NE_{subrasante} - (NE_1^* + NE_2^*)$$

9. Se calcula el espesor de la Sub-base Granular con la ecuación:

$$D_3 = \frac{NE_{3\ subbase\ para\ calculo}}{a_3 * m_3} \ (pulgadas)$$

10. Se recalcula el Numero Estructural $NE_3^* = a_{3^*} D_{3adopatado^*} m_3$

IMAGEN 31. REQUISITOS PARA EL ANALISIS POR CAPAS[66]



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

[66] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método AASHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles, Análisis del diseño por capas, Pág. 278.

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PARA 20 AÑOS

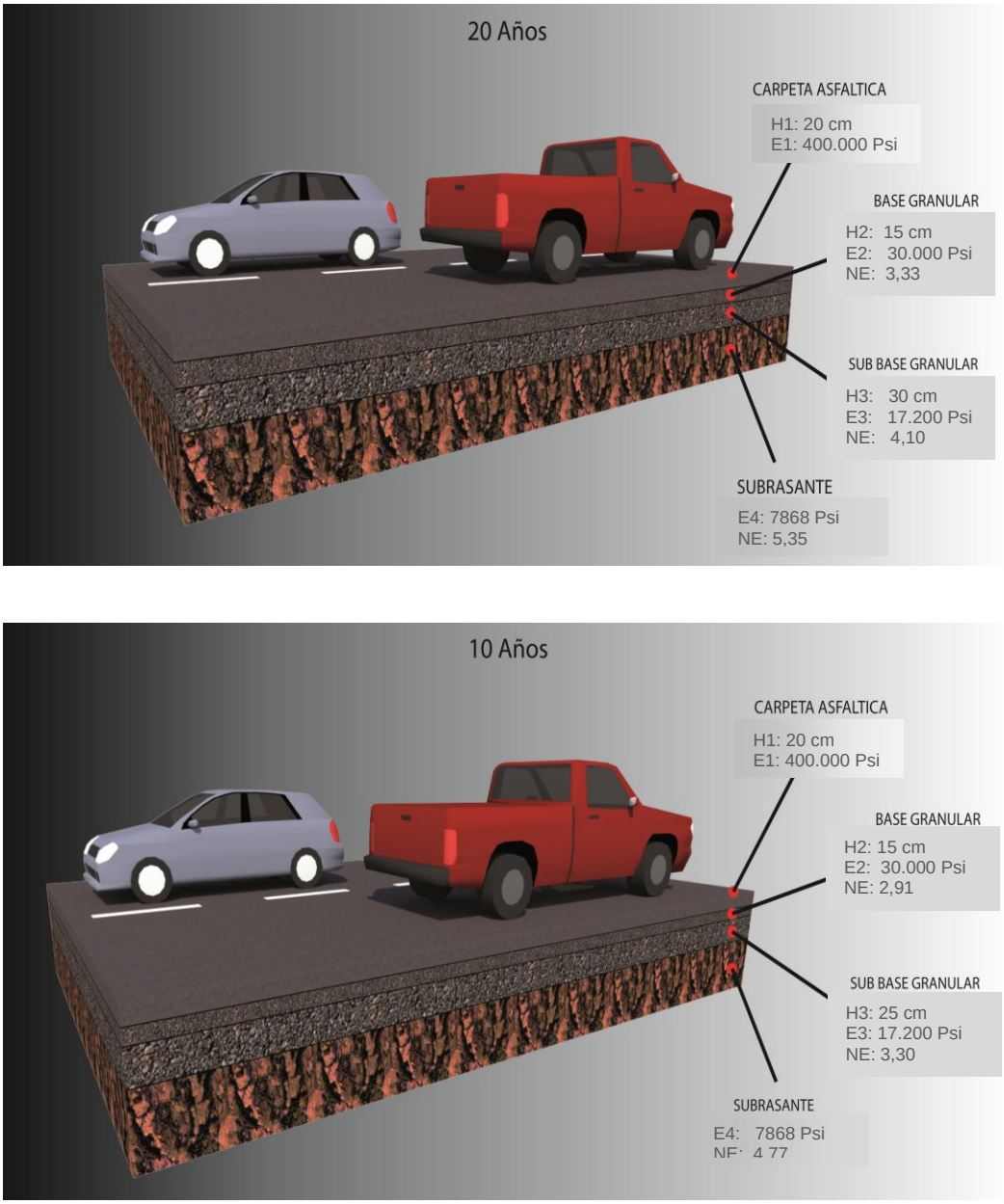
CAPA	Módulos de Elasticidad (psi)	Coeficientes de Capa ai (Pulgadas)	Coeficientes de Drenaje (mi)	Numero Estructural Calculado	Espesores Adoptados (Pulgadas)	Espesores (cm)
Carpeta Asfáltica	400000	0,430	1,00		8,00	20
Base Granular	30000	0,140	0,95	3,33	6,00	15
Sub base Granular	17200	0,122	0,90	4,10	11,00	30
Sub rasante	7867,5			5,35		

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PARA 10 AÑOS

CAPA	Módulos de Elasticidad (psi)	Coeficientes de Capa ai (Pulgadas)	Coeficientes de Drenaje (mi)	Numero Estructural Calculado	Espesores Adoptados (Pulgadas)	Espesores (cm)
Carpeta Asfáltica	400000	0,430	1,00		7,00	20
Base Granular	30000	0,140	0,95	2,91	6,00	15
Sub base Granular	17200	0,122	0,90	3,30	9,00	25
Sub rasante	7867,5			4,77		

Por lo tanto se obtiene un diseño de la estructura del pavimento donde se controla capa por capa con la ayuda de sus respectivos números estructurales también se va a diseñar la estructura por el Metodo de la Shell para determinar si las deflexiones y esfuerzos no son mayores que los admisibles, de manera que se pueda tener una estructura del pavimento adecuada, segura, y durable.

IMAGEN Nº32. DISEÑO DE PAVIMENTOS POR ANALISIS DE CAPAS



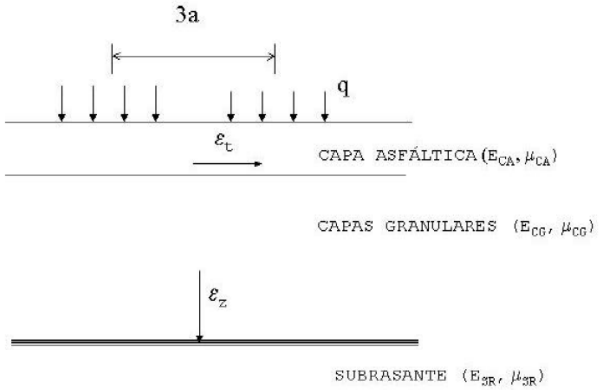
5.2 METODO SHELL PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El Método Shell es de tipo racional, es decir que trabaja como un sistema multicapa linealmente elástico, en donde cada uno de los materiales que

conforman sus capas se encuentran caracterizadas por los módulos elásticos de Young y la relación de Poisson. Estos materiales se consideran homogéneos e isotrópicos, suponiendo que las capas tienen extensión infinita en sentido horizontal.

Este método consiste en determinar la combinación de espesores y características de sus materiales adecuadas, de manera que las deformaciones horizontales por tracción ε_t, las cuales pueden causar agrietamiento en la carpeta asfáltica debido a la tracción en la fibra inferior de la misma, ya que al flexionarlas bajo la acción de las cagas, puede superar el límite admisible, las deformaciones verticales por compresión ε_v pueden ocasionar deformaciones permanentes de toda la estructura del pavimento y el esfuerzo en la subrasante, permanezcan dentro de los límites admisibles durante el periodo de diseño del pavimento.

IMAGEN Nº33. ESTRUCTURA TRICAPA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE[67]



[67] Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método SHELL para Diseño de Pavimentos Flexibles, Estructura Tricapa de un pavimento flexible, Pág. 283.

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (20 AÑOS)

METODO SHELL

Radio de carga (a)	10,80	Cm
Presión de Contacto (q)	6,00	Kg/cm²
Separación entre ejes (s)	32,4	Cm
Nc para calcular el Ɛz adm.	85%	FORMULA SHELL
ESALS 10 AÑOS	8502034,145	
ESALS 20 AÑOS	**19195287,38**	
CBR Sub rasante	5,245	%

CAPA	ESPESORES (cm)	MODULOS Kg /cm²	COEFICIENTE POISSON u
Carpeta Asfáltica	22	28181,87	0,35
Base Granular	20	3007,15	0,40
Sub base Granular	45	1251,81	0,40
Sub rasante		524,50	0,50

SUBRASANTE FORMULAS	Modulo Elástico Mpa	Modulo Elástico Kg/cm²	τ Kg /cm²	τadm Mpa	τadm Kg/cm²	C
E_{SR} = 100 * CBR (Kg/cm^2)	51,42	524,50	0,21	33,157	0,688	0,008
E_{SR}= 6,5 * CBR ^{0,65} (Mpa)	19,09	194,69	DEPAV	Bélgica CRR	0,602	0,007
E_{SR}= 5 * CBR (Mpa)	26,23	267,50			0,516	0,006

$$\tau_z adm = 0,09607 * CBR^{1,2} * (ESAL's)^{\frac{1}{4,35}} \text{ (MPa) CRR [68]}$$

$$\tau_z adm = \frac{C * E_{SUBRASANTE}}{1+0,7\ Log_{10}(Esal's\ 20\ años)} \text{ Kg/cm}^2 \text{ Dormon \& Kerhoven [68]}$$

DEFORMACIONES Ɛz	DEFORMACIONES ADMISIBLES
Shell 50%	0,000423
Shell 85%	0,000322
Shell 95%	0,000270
Nottingham (Brown y Pell)	0,000197
LCPC Francia, calzadas nuevas	0,000375
LCPC Francia, para refuerzo	0,000418
CRR Centro de Investigaciones Bélgica	0,000232
Chevron	0,000249

Shell 85% $\varepsilon_z = 2{,}13 * 10^{-2}$ (ESAL's)$^{-0,25}$, el resto de fórmulas son indicadas en el anexo A.[68]

FORMULAS	MODULO DE ELASTICIDAD			
	SUBBASE		BASE	
	Kg/cm²	Mpa	Kg/cm²	Mpa
$E_{CG}= 0{,}206\ H_{CG}^{\ 0,45} * E_{SR}$	1688,72	165,56	1172,40	114,94
Formula grande	1251,81	122,73	3007,15	294,819

$E_{SB}= E_{SR} * (5{,}35 \text{ Log } h_{SB}+ 0{,}62 \text{ Log } E_{SR} -1{,}56 * \text{Log } h_{SB} * \text{Log } E_{SR} - 1{,}13)$[69]

$E_B= E_{SR} * (8{,}05 \text{ Log } h_B+ 0{,}84 \text{ Log } E_{SB} - 2{,}10 * \text{Log } h_B * \text{Log } E_{SB} - 2{,}21)$

DEFORMACIONES Ɛt	ECUACION DE ELONGACION
Nottingham	0,0001137123
Mezclas Densas con penetración 100	5,72053E-05
Asfalto 180/220	3,37967E-05
Bélgica CRR	4,72769E-05
Shell smix	1,53607E-05
Cedex- Cost324	6,95702E-05
Shell-Cedex	8,81264E-05
Shell-Espas	9,96576E-05

Shell donde el porcentaje del contenido de asfalto de la mezcla es 6,24% y el módulo de la mezcla Smix= 2620'000.000 Pascales.

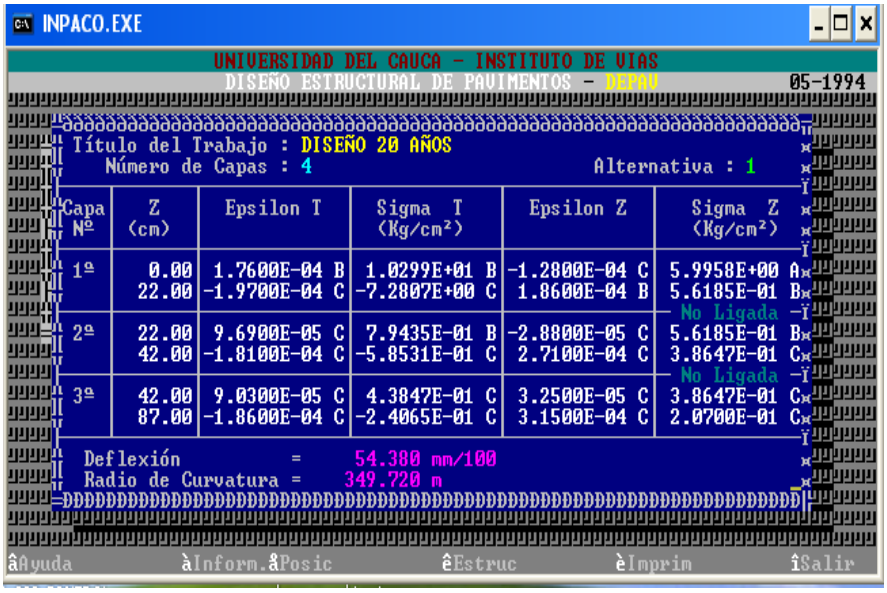
$\varepsilon t = (0{,}856 * \%\text{ de asfalto} + 1{,}08) * \text{Smix}^{-0,36} * (\text{ESAL's})^{-0,20}$, el resto de fórmulas son indicadas en el anexo A.

[68] Fuente: SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. "Addendum to the Shell", Pavement Design Manual". London 1985.
[69] Fuente: Luis Ricardo Vasques Varela. Metodo Empírico –mecanicista de diseño de pavimentos flexibles". Manizales. 2002.



Software DEPAV

CAPA	VALORES CALCULADOS		VALORES ADMISIBLES
Carpeta Asfáltica (Ɛt)	-0,000197	<	0,0000153607
Sub rasante (Ɛz)	0,000315	<	0,0003217962
Esfuerzo Subrasante τ (Kg/cm^2)	0,207000	<	0,6020593266



Software DEPAV

Con esta estructura del pavimento se cumple las deformaciones y esfuerzos admitidos, siendo totalmente viable este diseño.

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (10 AÑOS)

METODO SHELL

Radio de carga (a)	10,80	Cm
Presión de Contacto (q)	6,00	Kg/cm²
Separación entre ejes (s)	32,4	Cm
Nc para calcular el Ɛz adm.	85%	FORMULA SHELL
ESALS 10 AÑOS	**8502034,145**	
ESALS 20 AÑOS	19195287,38	
CBR Sub rasante	5,245	%

CAPA	ESPESORES (cm)	MODULOS Kg /cm^2	COEFICIENTE POISSON u
Carpeta Asfáltica	22	28181,87	0,35
Base Granular	20	2842,00	0,40
Sub base Granular	30	1149,55	0,40
Sub rasante		524,50	0,50

SUBRASANTE FORMULAS	Modulo Elástico Mpa	Modulo Elástico Kg/cm²	τ Kg /cm^2	τadm Mpa	τadm Kg/cm²	C
E_{SR} = 100 * CBR (Kg/cm^2)	51,42	524,50	0,25	27,496	0,717	0,008
E_{SR}= 6,5 * CBR ^{0,65} (Mpa)	19,09	194,69	DEPAV	Bélgica CRR	0,628	0,007
E_{SR}= 5 * CBR (Mpa)	26,23	267,50			0,538	0,006

$$\tau_z adm = 0,09607 * CBR^{1,2} * (ESAL's)^{\frac{1}{4,35}} \text{ (MPa) CRR } [70]$$

$$\tau_z adm = \frac{C * E_{SUBRASANTE}}{1+0,7\ Log_{10}(Esal's\ 20\ años)} \text{ Kg/cm}^2. \text{ Dormon \& Kerhoven } [70]$$

DEFORMACIONES Ɛz	DEFORMACIONES ADMISIBLES
Shell 50%	0,000519
Shell 85%	0,000394
Shell 95%	0,000331
Nottingham (Brown y Pell)	0,000248
LCPC Francia, calzadas nuevas	0,000456
LCPC Francia, para refuerzo	0,000510
CRR Centro de Investigaciones Bélgica	0,000280
Chevron	0,000299

Shell 85% $\varepsilon_z = 2{,}13 * 10^{-2}$ (ESAL's)$^{-0,25}$, el resto de formulas son indicadas en el Anexo A.

FORMULAS	MODULO DE ELASTICIDAD			
	SUBBASE		BASE	
	Kg/cm²	Mpa	Kg/cm²	Mpa
E_{CG}= 0,206 $H_{CG}^{0,45}$ * E_{SR}	1407,08	137,95	1172,40	114,94
Formula grande	1149,55	112,70	2842,00	278,63

E_{SB}= E_{SR} * (5,35 Log h_{SB}+ 0,62 Log E_{SR} -1,56 * Log h_{SB} * Log E_{SR} – 1,13)[70]

E_B= E_{SR} * (8,05 Log h_B+ 0,84 Log E_{SB} - 2,10 * Log h_B * Log E_{SB} – 2,21)

DEFORMACIONES Ɛt	ECUACION DE ELONGACION
Nottingham	0,00013426
Mezclas Densas con penetración 100	7,21495E-05
Asfalto 180/220	4,48330E-05
Bélgica CRR	5,60945E-05
Shell smix	1,80778E-05
Cedex- Cost324	8,66792E-05
Shell-Cedex	0,000103632
Shell-Espas	0,000117203

Shell donde el porcentaje del contenido de asfalto de la mezcla es 6,24% y el módulo de la mezcla Smix= 2620'000.000 Pascales.

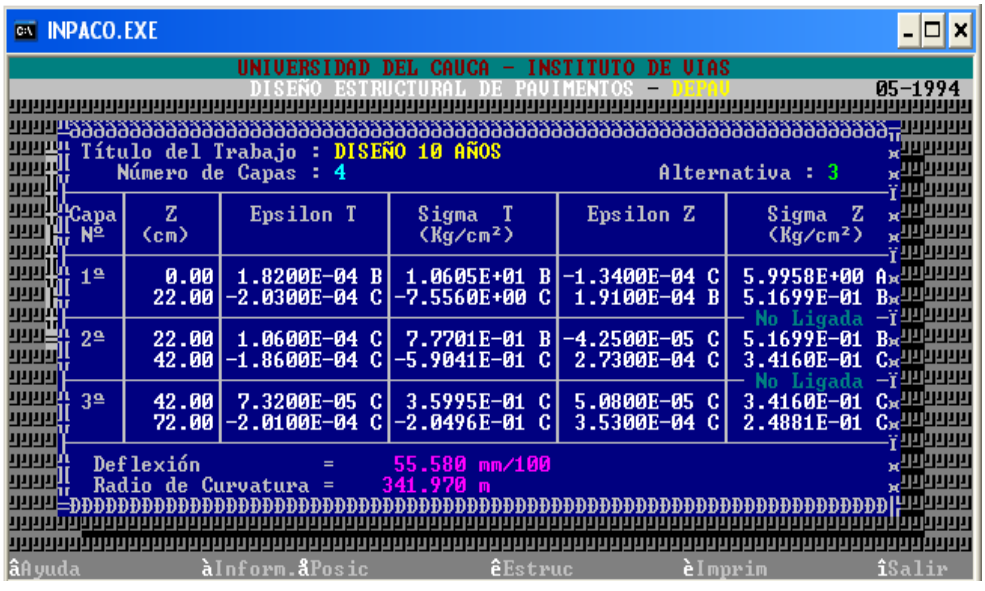
$\varepsilon t = (0{,}856 * \%$ de asfalto + 1,08) * Smix$^{-0,36}$ * (ESAL's)$^{-0,20}$, el resto de fórmulas son indicadas en el Anexo A.

[70] Fuente: SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. "Addendum to the Shell", Pavement Design Manual". London 1985.
Fuente: Luis Ricardo Vasques Varela. Metodo Empírico –mecanicista de diseño de pavimentos flexibles". Manizales. 2002.



Software DEPAV

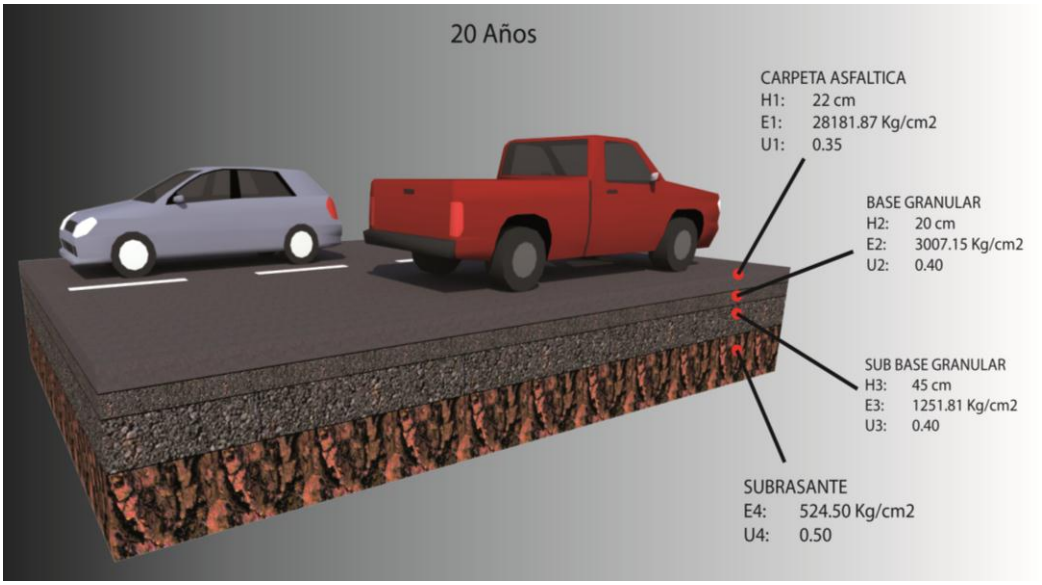
CAPA	VALORES CALCULADOS		VALORES ADMISIBLES
Carpeta Asfáltica (Ɛt)	-0,000203	<	0,0000180778
Sub rasante (Ɛz)	0,000353	<	0,0003944563
Esfuerzo Subrasante τ (Kg/cm^2)	0,248810	<	0,6275353960

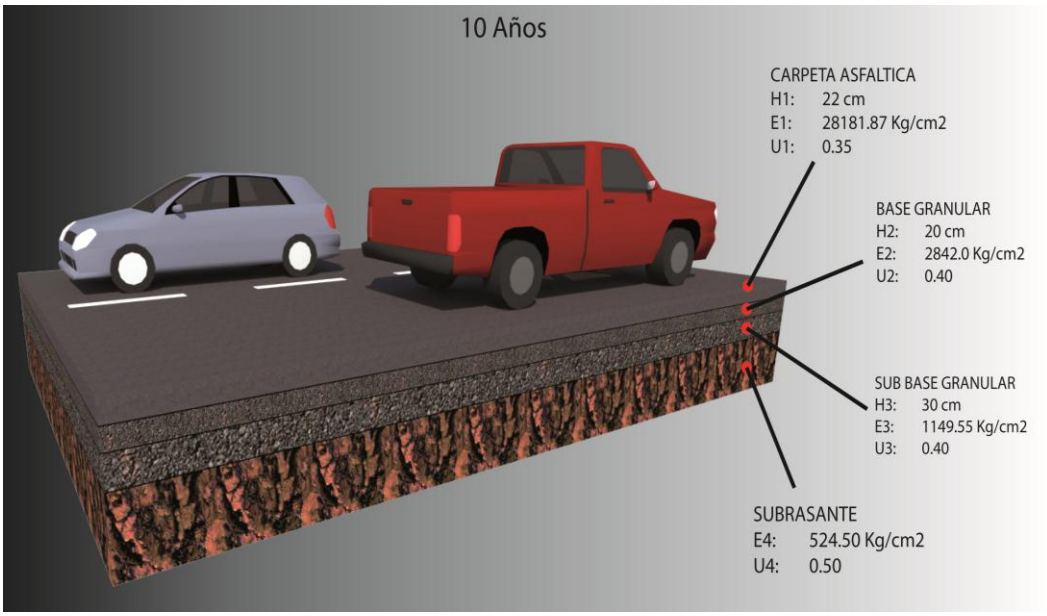


Software DEPAV

Con esta estructura del pavimento se cumple las deformaciones y esfuerzos admitidos, siendo totalmente viable este diseño.

IMAGEN Nº34. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO SHELL





Este método es considerado el más viable para el diseño de la estructura del pavimento debido a que controla las deformaciones y los esfuerzos que se producen en la misma, controlando que estos no

sean mayores que los valores admisibles, evitando así la falla estructural del pavimento.

5.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO CON GEOMALLA

Para diseñar la estructura del pavimento reforzada con geomalla nos basamos en el diseño con el método de la AASHTO 93, el cual ha sido acoplado para explicar la contribución estructural de las mismas, desarrollado por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, quienes se basaron en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real para poder aplicar este método usando geomallas biaxiales.

Este tipo de Geomallas Biaxiales son rígidas con valores de esfuerzos y módulos de resistencia altos. La geomalla que se va a utilizar en este tramo experimental es la MacTex 20s, cuya resistencia a la tensión es de 20 KN/m.

A continuación se detalla el diseño para la estimación del número estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones del método AASHTO para pavimentos flexibles, y la introducción del Layer Coefficient Ratio (LCR) de la geomalla biaxial, el cual cuantifica la contribución estructural de la misma a la estructura del pavimento.

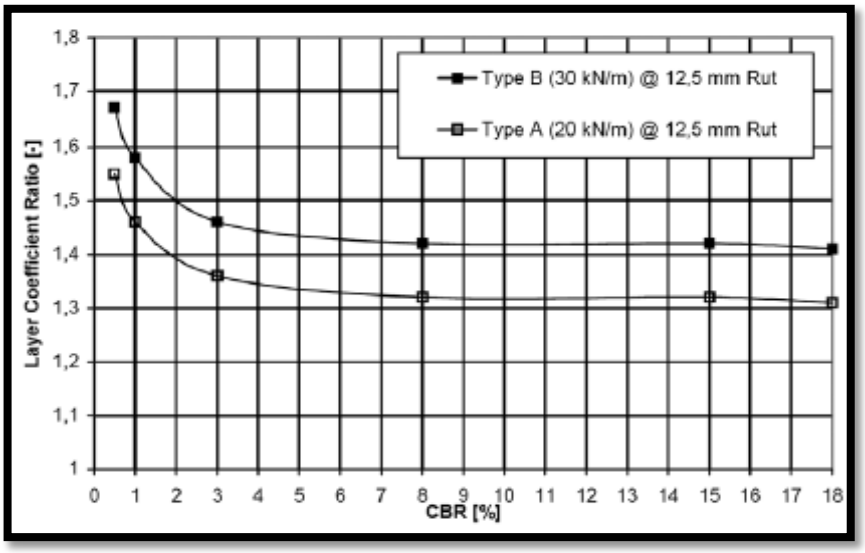
1.- Una vez obtenido el número estructural de la sub-rasante en base al diseño de la estructura del pavimento sin reforzar para los 10 y 20 años

respectivamente, lo utilizamos para realizar un cálculo de la estructura sustituyendo la base granular por sub-base granular, determinando espesores equivalentes. Este nuevo espesor se denomina D3', el mismo que es determinado mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{NE} = \mathbf{a_1} * \mathbf{D_1} + \mathbf{a_3} * \mathbf{D'_3} * \mathbf{m_3}$$[71]

2.- Procedemos a determinar el coeficiente de aporte de la geomalla biaxial de 20 KN/m (Tipo A), a la estructura del pavimento, utilizando la siguiente grafica que nos ayuda a determinar el valor de LCR (Layer Coefficient Ratio), para una sub-rasante con CBR = 5.245 %.

IMAGEN N°35. LCR VS % CBR[72]



De la cual se obtuvo un valor de L.C.R de 1.34.

[71] Tenax, TDS006, Design of Flexible Road Pavements with Tenax Geogrids.
[72] Tenax, TDS006, Design of Flexible Road Pavements with Tenax Geogrids

Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura del pavimento y obtener una disminución de los espesores, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.

NE reforzado= NE sin reforzar

3.- Se procede a calcular el nuevo espesor D_{3r} de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura.

$$\boldsymbol{NE\ reforzado = a_1 * D_1 + a_3 * LCR * D_{3ref.} * m_3}^{69}$$

4.- Obtenido el nuevo espesor de la capa granular, el que utiliza la geomalla, se procede a calcular el número estructural de la misma.

$$\boldsymbol{NE_3\ reforzado = a_3 * D_{3ref.} * m_3}^{69}$$

5.- Calculado el número estructural reforzado, se procede a determinar los nuevos espesores de base y sub-base granular, como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de materiales de base y sub-base, se calculan los nuevos espesores en función del número estructural de la capa de sub-base ya obtenido.

$$\boldsymbol{NE\ reforzado = a_2 * D_{2ref.} * m_2 + a_3 * D_{3ref.} * m_3}^{69}$$

Como se tiene dos incógnitas se procede a colocar un espesor de base mínimo 15 cm o se mantiene constante el valor obtenido del diseño tradicional, y se despeja el espesor reforzado para la Sub-base.

6.- Para que la estructura sea viable, el número estructural de las capas granulares debe ser en lo posible igual al número estructural obtenido en el paso 4, ya que los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo, por lo tanto se debe verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura.

CAPA	ESTRUCTURA INICIAL		ESTRUCTURA REFORZADA	
	20 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS	10 AÑOS
Carpeta Asfáltica	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm
Sub Base clase 3	20 cm	20 cm	20 cm	15 cm
Base Clase 2	20 cm	15 cm	20 cm	15 cm
Mejoramiento	50 cm	40 cm	20 cm	15 cm

ESQUEMA DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO TRADICIONAL Y REFORZADA CON GEOMALLA BIAXIAL

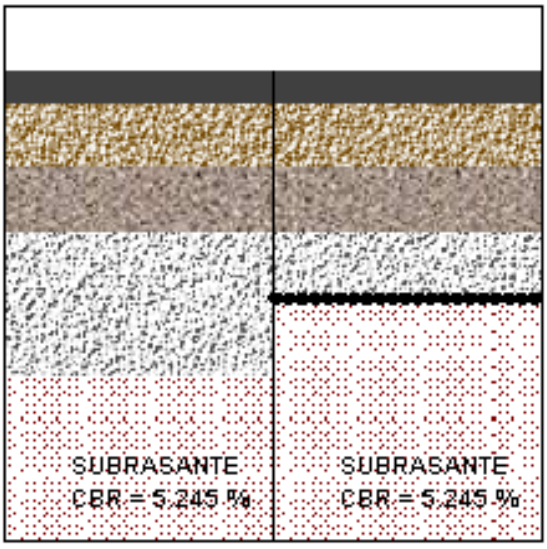
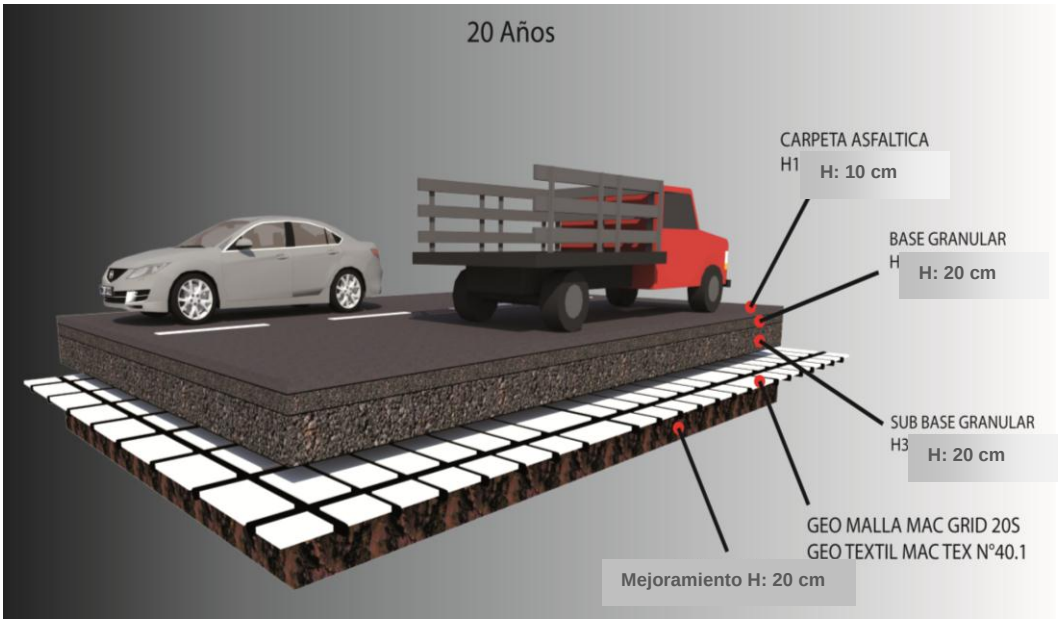


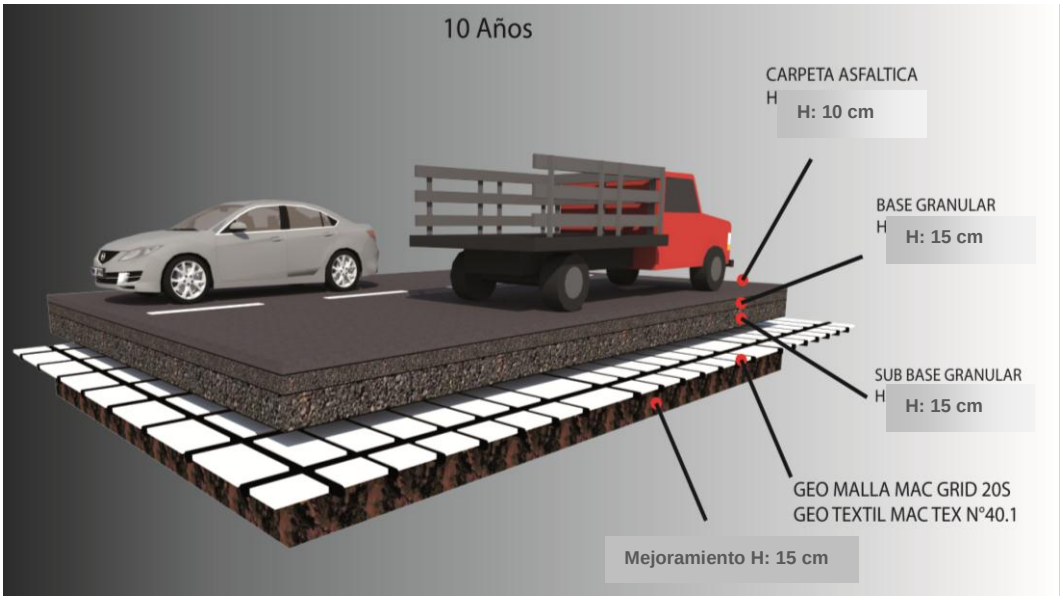
TABLA Nº 43. DISEÑO DE PAVIMENTO REFORZADO TRAMO LATACUNGA – PUJILI

PAVIMENTO FLEXIBLE

Número de Años	Espesor Equivalente		LCR	NE Reforzado	Espesor Equivalente D3 ref.		NE 3 reforzado	D2 reforzado	D2 reforzado	D3 reforzado	D3 reforzado	D4 reforzado
	D' 3 (Pulg)	D' 3 (cm)	Figura Nº10.		D3 ref.(Pulg)	D3 ref.(cm)	a3*D3r*m3	(cm)	(Pulgadas)	(cm)	(cm)	
20 AÑOS	33,55	85,21	1,34	5,38	25,04	63,59	2,75	20	7,87	15,50	20	20
10 AÑOS	28,35	72,01	1,34	4,81	21,16	53,74	2,32	15	5,91	14,00	15	15

IMAGEN Nº36. DISEÑO DE PAVIMENTOS REFORZADOS





5.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO METODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)

Este método permite determinar los espesores que conforman la estructura del pavimento, aplicando un criterio adecuado el cual permita equilibrar adecuadamente los costos iniciales y los de mantenimiento.

Consideraciones Básicas:

- El grado de transferencia de carga proporcionado en las juntas transversales, por cada tipo de pavimento.
- El efecto de usar bermas de concreto, adyacentes al pavimento, las cuales reducen los esfuerzos de flexión y las deflexiones producidas por las cargas de los vehículos.
- El efecto de usar una sub base de concreto pobre, la cual reduce los esfuerzos y deflexiones, proporciona un soporte considerable cuando los vehículos pasan sobre las juntas y además proporciona resistencia a la erosión que se produce en la sub base a causa de las deflexiones repetidas del pavimento.

Criterios de diseño:

- **Análisis de fatiga**: Sirve para proteger al pavimento contra la acción de los esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.

- **Análisis de erosión**: Sirve para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas, y controlar así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas.

Factores de Diseño

- Resistencia del concreto a la flexión (MR): Esta resistencia se considera en el procedimiento de diseño por el criterio de fatiga, el cual controla el agrietamiento del pavimento bajo la acción repetida de las cargas de los vehículos pesados. Las deformaciones que sufre un pavimento de concreto bajo las cargas del tránsito producen tantos esfuerzos de tensión como de compresión los cuales deberán ser tomados en cuenta en el diseño.
- Período de Diseño: Generalmente se toma un lapso de 20 años como período para el diseño de un pavimento rígido.
- Tránsito: Los principales factores de tránsito que inciden en el diseño de un pavimento rígido, son el número y la magnitud de las cargas por eje más pesadas que se esperan durante el período de diseño.

  Carga (9,81KN)= Carga * 9,81

  TPDA CARRIL=$TPDA_O$ * 365 * factor de seguridad * periodo de diseño.

- Soporte de la Subrasante y Subbase: La resistencia de la subrasante se mide en términos del módulo de reacción K determinado por

pruebas de placa directa. Se estimo un valor de K= 38 MPa/m para la subrasante por correlación con el CBR 5,24% obtenido mediante ensayos en laboratorio. Cuando se requiere la colocación de la capa de subbase, principalmente para prevenir el fenómeno del bombeo se obtiene, un aumento en el valor de K, el cual debe aprovecharse en el diseño estructural, obteniendo así un valor de 9,81 Kg/cm^2/cm para la estructura sin reforzar mediante el ensayo de la prueba de placa.

- Solo para que el valor este dentro de los parámetros establecidos se adopto un valor de 64,31 MPa/m correlacionado con el CBR, para el conjunto subrante- subbase, para un espesor de material granular de 30 cm.

TABLA Nº 44. MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE

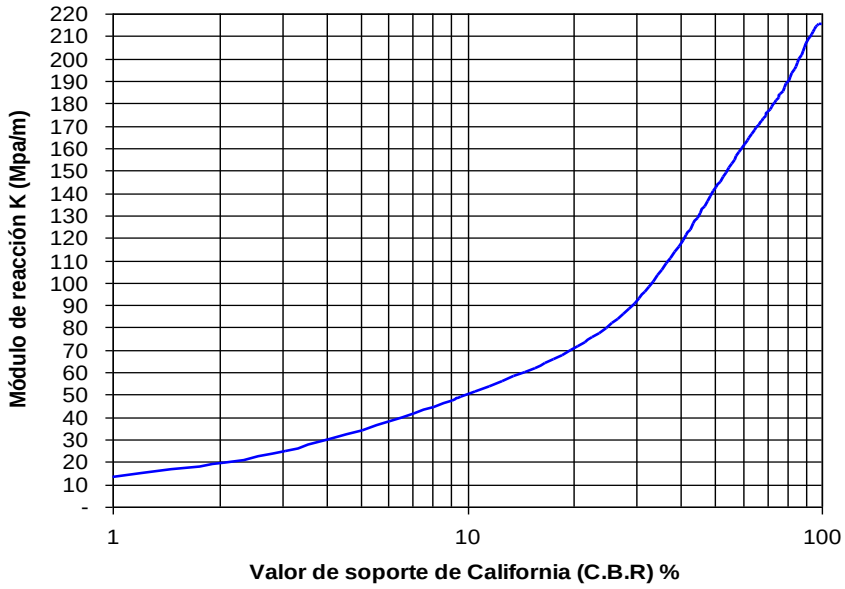


TABLA Nº45. EFECTO DE LAS BASES SIN TRATAR EN EL MODULO DE REACCION

Módulo k subrasante		Módulo K de Sub*-base/sub-rasante							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Las tablas y gráficos empleados para determinar el factor de seguridad, los valores de esfuerzos equivalentes y factores de erosión, para el análisis por fatiga y erosión para el diseño de la estructura de pavimento rígido son indicados en el Anexo B.

PARAMETROS PARA EL DISEÑO

Periodo de Diseño	20 Años			
ESAL's 20 AÑOS	19195287,38			
Módulo de Rotura	45 Kg/ cm^2	=	4,4	Mpa
CBR de la Sub-rasante	5,245 %			

Coeficiente de Balasto k de la Estructura sin Geo sintéticos	**9,840**	Kg/cm^2/cm	=	64,31	Mpa/m
Coeficiente de Balasto k de la Estructura con Geo sintéticos	12,20	Kg/cm^2/cm	=	79,74	Mpa/m
Factor de Seguridad	1,50				

Factor de Proyección	1,30
Espesor de la Base	30 cm
Espesor de tanteo de la losa	30 cm
Juntas con pasadores	SI
Berma de Concreto	NO

ANALISIS DEL TRÁFICO

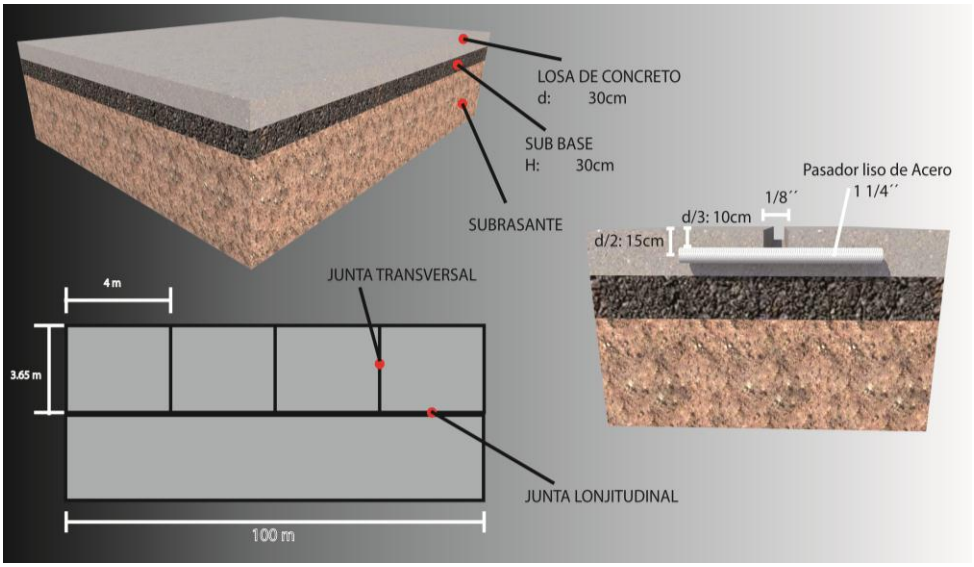
TIPO DE VEHICULO	SIMPLE (Toneladas)	TANDEM (Toneladas)	TRIDEM (Toneladas)	CARGA (9.81KN)	TPDAo	TPDA CARRIL
LIVIANO	0,7 1,7			6,867 16,677	4708	51552600
BUS MEDIANO	3,9 9,2			38,259 90,252	377	4128150
CAMION 2DB	6 12			58,86 117,72	567	6208650
CAMION 3A	6	20		58,86 196,2	53	580350
CAMION 2S2	6 12	20		58,86 117,72 196,2	0	0
CAMION 3S2	6	20 20		58,86 196,2 196,2	0	0
CAMION 3S3	6	20	24	58,86 196,2 235,44	49	536550

CARGA POR EJE (KN)	FACTOR DE SEGURIDAD (Tabla)	REPETICIONES ADMISIBLES DE CARGA	ANALISIS DE FATIGA		ANALISIS DE EROSION	
			REPETICIONES ADMISIBLES	% FATIGA	REPETICIONES ADMISIBLES	% FATIGA
EJES SIMPLES			*ESFUERZO EQUIVALENTE* (TABLA **6.5** y 6.6)	**0,950**	*FACTOR DE EROSION* **2,3** (TABLA **6.7**,6.8,6.9,6.10)	
		RELACION DE ESFUERZO (Esf/MR)=		**0,216**		
6,87	8,93	51552600	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
16,68	21,68	51552600	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
38,26	49,74	4128150	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
90,25	117,33	4128150	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
58,86	76,52	7325550	ILIMITADO	0,00	ILIMITADO	0,00
117,72	153,04	6208650	ILIMITADO	0,00	20000000	31,04

CARGA POR EJE (KN)	FACTOR DE SEGURIDAD (Tabla)	REPETICIONES ADMISIBLES DE CARGA	ANALISIS DE FATIGA		ANALISIS DE EROSION	
			REPETICIONES ADMISIBLES	% FATIGA	REPETICIONES ADMISIBLES	% FATIGA
EJES TANDEM			*ESFUERZO EQUIVALENTE* (TABLA 6.5 y 6.6)	**0,890**	*FACTOR DE EROSION* (TABLA 6.7,6.8,6.9,6.10)	**2,500**
		RELACION DE ESFUERZO (Esf/MR)=		**0,202**		
196,20	255,06	1116900	ILIMITADO	0,00	15000000	7,45

CARGA POR EJE (KN)	FACTOR DE SEGURIDAD (Tabla)	REPETICIONES ADMISIBLES DE CARGA	ANALISIS DE FATIGA		ANALISIS DE EROSION	
			REPETICIONES ADMISIBLES	% FATIGA	REPETICIONES ADMISIBLES	% FATIGA
EJES TRIDEM			*ESFUERZO EQUIVALENTE* (TABLA C1)	**0,630**	*FACTOR DE EROSION* (TABLA C2)	**2,620**
		RELACION DE ESFUERZO (Esf/MR)=		**0,143**		
235,44	306,07	536550	ILIMITADO	0,00	21000000	2,56
			TOTAL	**0,00**	**TOTAL**	**41,04**

IMAGEN Nº37. ESQUEMA DEL PAVIMENTO RIGIDO



CAPITULO VI

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

6.1. COSTO DEL DISEÑO TRADICIONAL Y DEL DISEÑO REFORZADO 20 AÑOS

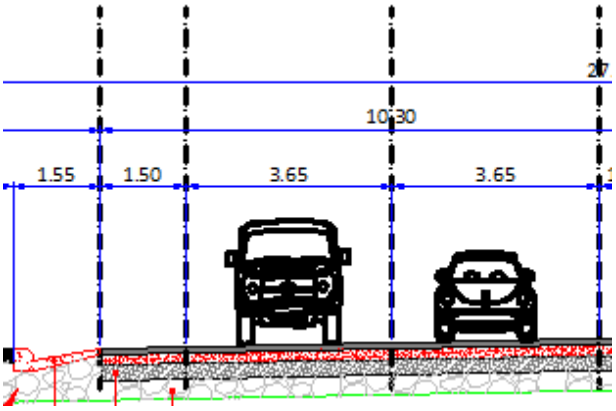


TABLA N°46. PRESUPUESTO PARA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFORZAR 20 AÑOS

Rubro N°	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	CALZADA				
1	Mejoramiento de la sub rasante con suelo seleccionado	m3	515,00	7,70	3.967,19
2	Sub-base Clase 3	m3	206,00	7,88	1.623,26
3	Base Clase 2	m3	206,00	10,42	2.145,70
4	Capa de rodadura de hormigón asfáltico e=10 cm	m2	1.030,00	11,10	11.427,90
5	Transporte de suelo seleccionado para mejoramiento de sub rasante	m3-km	16.222,50	0,25	4.055,63
6	Transporte de sub- base	m3-km	6.489,00	0,25	1.622,25
7	Transporte de base	m3-km	6.489,00	0,25	1.622,25

TOTAL	**26.464,17**

TABLA N°47. PRESUPUESTO PARA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA TIPO A (20s)

Rubro N°	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	CALZADA				
1	Mejoramiento de la sub rasante con suelo seleccionado	m3	206,00	7,70	1.586,87
8	Geotextil Separador	m2	1.030,00	1,56	1.605,62
9	Geomalla Biaxial	m2	1.030,00	2,73	2.812,61
2	Sub-base Clase 3	m3	206,00	7,88	1.623,26
3	Base Clase 2	m3	206,00	10,42	2.145,70
4	Capa de rodadura de hormigón asfáltico e=10 cm	m2	1.030,00	11,10	11.427,90
5	Transporte de suelo seleccionado para mejoramiento de sub-rasante	m3-Km	6.489,00	0,25	1.622,25
6	Transporte de Sub-base	m3-Km	6.489,00	0,25	1.622,25
7	Transporte de Base	m3-Km	6.489,00	0,25	1.622,25
				TOTAL	**26.068,71**

Autor: Estefanía Gavilanes D.

6.2. COSTO DEL DISEÑO TRADICIONAL Y DEL DISEÑO REFORZADO 10 AÑOS

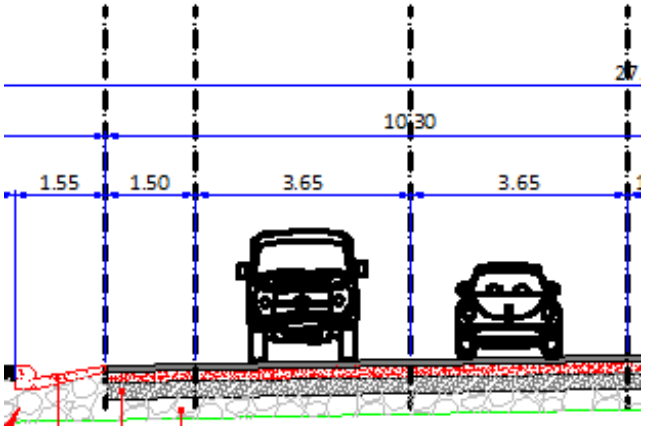


TABLA N°48. PRESUPUESTO PARA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFORZAR 10 AÑOS

Rubro N°	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	CALZADA				
1	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado	m3	412,00	7,70	3.173,75
2	Sub-base clase 3	m3	154,50	7,88	1.217,45
3	Base clase 2	m3	206,00	10,42	2.145,70
4	Capa de rodadura de hormigón asfáltico e=10 cm	m2	1.030,00	11,10	11.427,90
5	Transporte de suelo seleccionado para mejoramiento de subrasante	m3-km	12.978,00	0,25	3.244,50
6	Transporte de sub - base	m3-km	4.866,75	0,25	1.216,69
7	Transporte de base	m3-km	6.489,00	0,25	1.622,25
				TOTAL	**24.048,23**

TABLA N°49. PRESUPUESTO PARA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA TIPO A (20s)

Rubro N°	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	CALZADA				
1	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado	m3	154,50	7,70	1.190,16
8	Geotextil Separador	m2	1.030,00	1,56	1.605,62
9	Geomalla Biaxial	m2	1.030,00	2,73	2.812,61
2	Sub-base clase 3	m3	154,50	7,88	1.217,45
3	Base clase 2	m3	154,50	10,42	1.609,27
4	Capa de rodadura de hormigón asfáltico e=10 cm	m2	1.030,00	11,10	11.427,90
5	Transporte de suelo seleccionado para mejoramiento de sub-rasante	m3-Km	4.866,75	0,25	1.216,69
6	Transporte de sub-base	m3-Km	4.866,75	0,25	1.216,69
7	Transporte de Base	m3-Km	4.866,75	0,25	1.216,69
				TOTAL	**23.513,06**

Autor: Estefanía Gavilanes Dávila.

CAPITULO VII

7.1. CONCLUSIONES

- La carretera Latacunga- Pujilí – Zumbahua - La Mana es una vía de comunicación de uso público, construida especialmente para la circulación de vehículos, forma parte de la Red Vial Estatal del país, la cual es parte del corredor vial Latacunga, ubicada en la provincia de Cotopaxi, formando parte de la vía transversal central E30 que une las Regiones de la Sierra Central con la Región Costa, por lo cual va a diseñarse para un periodo de vida útil de 20 años con una intervención de 10 años para realizar el mantenimiento de la misma.
- El tramo de la carretera Latacunga- Pujili corresponde a una vía clase I, ya que el valor del TPDA obtenido es de 4796, superior a 3000 pero inferior a 8000 vehículos diarios.
- Los valores del TPDA y sus características, se obtuvieron a través de contajes volumétricos, automáticos y manuales realizados en la semana del 20 al 26 de Junio del 2010, que permitieron determinar el número de ejes equivalentes ESSAL´s, de: 8´502.034,15 para 10 años y 19´195.287,38 20 años.
- En este sector se encontraron suelos blandos a nivel de subrasante, con presencia de nivel freático elevado, lo más representativo para la comparación entre la estructura del pavimento flexible tradicional y la reforzada con geomalla a nivel de sub-rasante.

- A nivel de subrasante, en el tramo analizado, se determinó que el tipo de suelo predominante de acuerdo a la clasificación SUCS corresponde a limos arenosos (ML), con un índice de plasticidad promedio de 4,22, de humedad natural media 29,74%, de color café obscuro, también se advirtió la presencia de arenas limosas (SM), con grados de plasticidad bajos 2,64, en promedio, humedad natural media 30,38%, debido a las condiciones climatológicas de la zona presentes a la fecha en la que se realizaron los ensayos.
- De acuerdo a la clasificación AASHTO se determinó suelos A-4, con índice de grupo menor a 1, correspondiente a suelos de regular a mala capacidad portante (CBR 5,25%) para terreno de fundación.
- De los ensayos de Proctor Modificado realizados en el laboratorio se determinó valores promedios de humedad optima 18.10 %, y densidad máxima 1.65 gr/cm^3.
- Mediante la ejecución de los ensayos de California Bearing Ratio realizados en laboratorio se obtuvieron valores promedios de 5,61% para 0,1" y 5,83% para 0,2" y de los Ensayos del Penetrometro Dinámico de Cono efectuados en campo se determino un valor promedio C.B.R de 3,36%, analizando los datos, se definió trabajar con los valores del C.B.R para 0,1", considerando el 87.5% percentil, en base al tráfico que va a pasar por la carretera, representando así un valor del 5.25 %.
- Los materiales granulares provenientes de la mina El Chasqui, considerados en el presente diseño para la estructura del pavimento,

para: Hormigón Asfaltico mezclado en planta, Base Clase 2, Sub-base Clase 3, están calificados de acuerdo a las normas del MTOP -001-F-2002, TOMO I, cumpliendo con los porcentajes de CBR establecidos en las mismas mayor o igual al 80% para Bases y 30% para Subbases, así como el de desgaste a la abrasión menor al 40% permitido para este tipo de materiales.

- El diseño de la carpeta asfáltica empleó material ¾", 3/8" y material fino provenientes de la mina El Chasqui obteniéndose valores de estabilidad de 2478 libras y flujo de 13 centésimas de pulgada de acordes al tráfico vehicular.
- Se utilizó Geotextil no tejido de polipropileno MacTex N°40.1 a nivel de sub-rasante en el tramo donde se colocó la geomalla, para que sirva como separador de materiales de la estructura del pavimento y para permitir que el material granular trabaje como dren. Sobre el geotextil se colocó la Geomalla MacGrid 20s como mejoramiento de sub-rasantes ocasionando el aumento en la resistencia del pavimento flexible. Estos materiales cumplen con las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del MTOP y de las normas ASTM como se indicó en el numeral 3.2.2.5 del capítulo 3.
- Realizado el ensayo de la Prueba de Placa de Carga a nivel de base granular, con un plato circular de 45cm de diámetro, se obtuvo un valor de coeficiente de balasto (Ks) de 9,81 Kg/cm^2/cm sin uso de geomalla y 12,20 Kg/cm^2/cm con uso de geomalla para el conjunto sub-rasante, sub-base, base.

Por lo tanto se aprecia que el valor del coeficiente de balasto (Ks) en el conjunto que usa geomalla aumenta en un 3%, con respecto al que no tiene geomalla, por lo que se puede apreciar que la estructura que contiene la geomalla es más rígida.

- Realizado el ensayo de la Viga Benkelman a nivel de base granular, para el conjunto sub-rasante, sub-base, base, se calcularon valores de deformaciones críticas de 0,942mm para la estructura con geomalla y 1,4415mm sin geomalla, siendo valores que se encuentran dentro de lo permisible 2,54cm.

  Es decir que el tramo con la estructura de pavimento reforzada, presenta menores deformaciones y mayores rigideces en las diferentes capas del pavimento, comparadas con las del diseño tradicional, por tal razón la utilización del geotextil y la geomalla a nivel de sub-rasante ayuda a la estabilidad de la estructura, reduciendo los espesores de las capas.

Los valores obtenidos de los diferentes ensayos, una vez analizados constituyen parámetros que sirven para poder diseñar la alternativa más viable técnica y económicamente de la estructura del pavimento.

- El diseño de la estructura del pavimento obtenida con el metodo ASSHTO 93 Capa por Capa determina los números estructurales necesarios de la base, subbase y subrasante, utilizando los módulos de elasticidad respectivos, para determinar la distribución de los

espesores, garantizando que estos sean óptimos para la transmisión de las cargas provenientes del tráfico vehicular.

- El Metodo de diseño por la Shell garantiza que la estructura del pavimento no falle por deformaciones horizontales por tracción $\varepsilon_{t,}$ vertical por compresión ε_v y esfuerzos en la subrasante, permaneciendo dentro de los límites admisibles durante el periodo de diseño del pavimento, por lo tanto este es el diseño más viable.

CAPA	ANALISIS POR CAPAS		METODO SHELL	
	ESPESOR (cm)		ESPESOR (cm)	
	20 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS	10 AÑOS
Carpeta Asfáltica	20	20	22	22
Base Granular	15	15	20	20
Sub base Granular	30	25	45	30
TOTAL	65	60	87	72

- Solo para la comparación del diseño entre la estructura del pavimento sin reforzar y el reforzado se utilizaron los Métodos de la ASSHTO 93 y de la Tensar empleando una Geomalla biaxial Mac Grid 20s.

  El ahorro de material granular es del 30% con la incorporación de los Geosinteticos.

CAPA	ASSHTO 93		REFORZADO	
	ESPESOR (cm)		ESPESOR (cm)	
	20 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS	10 AÑOS
Carpeta Asfáltica	10	10	10	10
Base Granular	20	20	20	15
Sub base Granular	20	15	20	15
Mejoramiento	50	40	20	15
TOTAL	100	85	70	55

- Para diseñar la estructura del pavimento rígido se adopto un valor de 38 MPa/m para la subrasante, obtenido mediante correlación con el CBR de diseño 5,25%, lo que permitió tomar un coeficiente de balasto del conjunto sin reforzar de 66 MPa/m, para que cumpla con los límites establecidos, con los cuales se obtuvo un espesor de Losa de concreto de 30 cm y un espesor de Sub base Granular de 30cm.
- En los análisis de precios unitarios realizados se demuestra que el costo de la estructura del pavimento reforzado con geomalla biaxial tipo A son menores a los de la estructura tradicional.

20 AÑOS	**TOTAL**
ESTRUCTURA NO REFORZADA	26.464,17
ESTRUCTURA REFORZADA	26.068,71

10 AÑOS	
ESTRUCTURA NO REFORZADA	24.048,23
ESTRUCTURA REFORZADA	23.513,06

- Un pavimento con geomalla garantiza ahorro en material, mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla y de los materiales.
- El pavimento reforzado es de fácil y rápida instalación ya que no requiere de equipo especializado, disminuye los costos de mantenimiento, por lo tanto son muy competitivos en comparación con los precios cuando se remplaza el suelo natural.

7.2. RECOMENDACIONES

- El uso de geotextil y geomalla biaxial a nivel de sub-rasante en la estructura del pavimento, mejora la resistencia de las diferentes capas del mismo, por lo tanto se pueden reducir los espesores de estas capas, generando disminución en los costos debido al ahorro del 25% que existe entre el diseño tradicional y el diseño reforzado.
- Se recomienda el uso del geotextil y geomalla biaxial a nivel de la sub-rasante ya que su utilización garantiza la estabilidad de la estructura, por lo tanto aumenta la vida útil del pavimento.
- Utilizar geomallas más geotextiles sobre la sub-rasante para evitar una contaminación entre los materiales de la base con los del terraplén.
- Realizar un mantenimiento adecuado y permanente de toda la carretera.
- Colocar peajes para obtener un ingreso económico y poder realizar mantenimiento y mejoras contantes en la carretera, para seguridad del usuario.

ANEXO A (METODO SHELL)

E_{SR}= 100 CBR (Kg/cm^2)
E_{SR}= 130 $CBR^{0.714}$ (Kg/cm^2)
E_{SR}= 10 CBR (MPa)

Para suelos blandos con CBR < 10%

E_{SR}= 6.5 $CBR^{0.65}$ (MPa)
E_{SR}= 5 CBR (MPa)

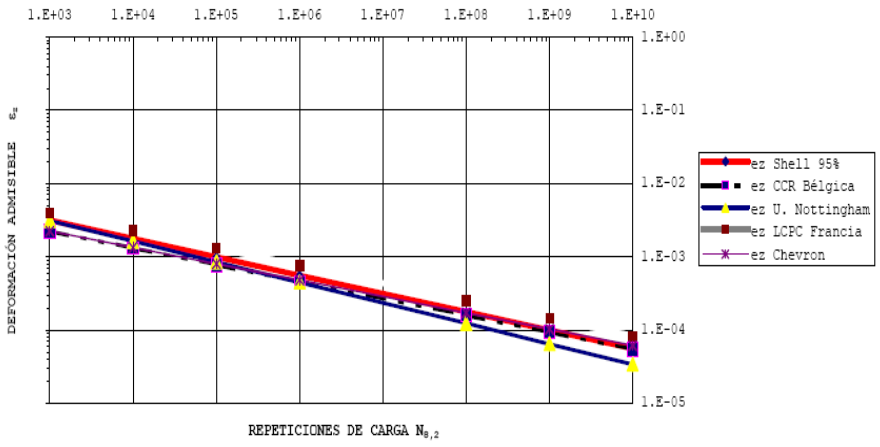
La relación de Poisson se puede tomar: $0.35 < \mu < 0.50$

Los límites admisibles se pueden obtener con las ecuaciones que se muestran en las siguientes tablas.

ECUACIÓN DE ESFUERZO	UNIDAD	OBSERVACIONES
$\sigma_z = C\ E_{SR} / 1 + 0.7LOG_{10}(N)$	(Kg/cm^2)	C = 0.008 (JEUFFROY). C = 0.007 (Dormon & Kerhoven). C = 0.006 (ACUM & FOX)
$\sigma_z = 0.09607\ CBR^{1.2}\ (N)^{1/4.35}$	MPa	Centro de investigaciones viales de Bélgica (CRR), CBR en %

ECUACIÓN DE ELONGACIÓN	OBSERVACIONES
$\varepsilon_z = 2.8X10^{-2}(N)^{-0.25}$	Shell, confiabilidad 50% **
$\varepsilon_z = 2.13X10^{-2}(N)^{-0.25}$	Shell, confiabilidad 85%
$\varepsilon_z = 1.79X10^{-2}(N)^{-0.25}$	Shell, confiabilidad 95%
$\varepsilon_z = 2.16X10^{-2}(N)^{-0.28}$	Universidad de Nottingham. Brown y Pell.
$\varepsilon_z = 2.1X10^{-2}(N)^{-0.24}$	LCPC Francia, para calzadas nuevas.
$\varepsilon_z = 2.5X10^{-2}(N)^{-1/4.1}$	LCPC Francia, Para refuerzos.
$\varepsilon_z = 1.1X10^{-2}(N)^{-0.23}$	Centro de investigaciones viales de Bélgica (CRR).
$\varepsilon_z = 1.05X10^{-2}(N)^{-0.223}$	Chevron.

DEFORMACIONES VERTICALES ESPECIFICAS DE COMPRESIÓN SOBRE LA SUBRASANTE



Los límites admisibles se pueden obtener con las ecuaciones que reporta la bibliografía reunidas en la siguiente tabla.

ECUACIÓN DE ELONGACIÓN	OBSERVACIONES
$\varepsilon_t = 3.48X10^{-3}\ (N)^{-0.204}$	Universidad de Nottingham[++], Hot Rolled.
$\varepsilon_t = 6.81X10^{-3}\ (N)^{-0.285}$	[++]Mezclas densas con asfalto de penetración 100.
$\varepsilon_t = 11.38X10^{-3}\ (N)^{-0.347}$	[++]Con asfalto 180/220.
$\varepsilon_t = 1,6X10^{-3}\ (N)^{-0.21}$	Centro de investigaciones viales de Bélgica (CRR).
$\varepsilon_t=(0.856V_b+1.08)S_{mix}^{-0.36}(N)^{-0.2}$	Shell. V_b = % de contenido de asfalto de la mezcla, S_{mix} = Modulo de la mezcla en Pa.
$\varepsilon_t = 6.44X10^{-3}\ (N)^{-0.27}$	CEDEX-COST324 España 1998.
$\varepsilon_t = 2.522X10^{-3}\ (N)^{-0.20}$	Shell-CEDEX España 1986.
$\varepsilon_t = 2.852X10^{-3}\ (N)^{-0.20}$	Shell-ESPAS España 1990.

BIBLIOGRAFIA:

- SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. “Addendum to the Shell”, pavement design manual”. London 1985.

- VASQUES VARELA, LUIS RICARDO. “Método empírico –mecanicista de diseño de pavimentos flexibles”. Manizales. 2002.

ANEXO B (METODO P.C.A)

Tasas de crecimiento del tráfico (%)	Factor de proyección 20 años	Factor de proyección 40 años
1	1.1	1.2
1 ½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 ½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 ½	1.4	2
4	1.5	2.2
4 ½	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

ESFUERZO EQUIVALENTE SIN BERMA EJES SIMPLES Y TANDEM

Tabla 6.5
Esfuerzo equivalente-sin berma de concreto (eje simple/eje tándem)

Espesor de losas (m.m.)	K combinado (Mpa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42/4.39	4.75/3.83	4.38/3.59	4.13/3.44	3.66/3.22	3.45/3.15
110	4.74/3.88	4.16/3.35	3.85/3.12	3.63/2.97	3.23/2.76	3.06/2.68
120	4.19/3.47	3.69/2.98	3.41/2.75	3.23/2.62	2.88/2.40	2.73/2.33
130	3.75/3.14	3.30/2.68	3.06/2.46	2.89/2.33	2.59/2.13	2.46/2.05
140	3.37/2.87	2.97/2.43	2.76/2.23	2.61/2.10	2.34/1.90	2.23/1.83
150	3.06/2.64	2.70/2.23	2.51/2.04	2.37/1.92	2.13/1.72	2.03/1.65
160	2.79/2.45	2.47/2.06	2.29/1.87	2.17/1.76	1.95/1.57	1.86/1.50
170	2.56/2.28	2.26/1.91	2.10/1.74	1.99/1.63	1.80/1.45	1.71/1.38
180	2.37/2.14	2.09/1.79	1.94/1.62	1.84/1.51	1.66/1.34	1.58/1.27
190	2.19/2.01	1.94/1.67	1.80/1.51	1.71/1.41	1.54/1.25	1.47/1.18
200	2.04/1.90	1.80/1.58	1.67/1.42	1.59/1.33	1.43/1.17	1.37/1.11
210	1.91/1.79	1.68/1.49	1.56/1.34	1.48/1.25	1.34/1.10	1.28/1.04
220	1.79/1.70	1.57/1.41	1.46/1.27	1.39/1.18	1.26/1.03	1.20/0.98
230	1.68/1.62	1.48/1.34	1.38/1.21	1.31/1.12	1.18/0.98	1.13/0.92
240	1.58/1.55	1.39/1.28	1.30/1.15	1.23/1.06	1.11/0.93	1.06/0.87
250	1.49/1.48	1.32/1.22	1.22/1.09	1.16/1.01	1.05/0.88	1.00/0.83
260	1.41/1.41	1.25/1.17	1.16/1.05	1.10/0.97	0.99/0.84	0.95/0.79
270	1.34/1.36	1.18/1.12	1.10/1.00	1.04/0.93	0.94/0.80	0.90/0.75
280	1.28/1.30	1.12/1.07	1.04/0.96	0.99/0.89	0.89/0.77	0.86/0.72
290	1.22/1.25	1.07/1.03	0.99/0.92	0.94/0.85	0.85/0.74	0.81/0.69
300	1.16/1.21	1.02/0.99	0.95/0.89	0.90/0.82	0.81/0.71	0.78/0.66
310	1.11/1.16	0.97/0.96	0.90/0.86	0.86/0.79	0.77/0.68	0.74/0.64
320	1.06/1.12	0.93/0.92	0.86/0.83	0.82/0.76	0.74/0.66	0.71/0.62
330	1.02/1.09	0.89/0.89	0.83/0.80	0.78/0.74	0.71/0.63	0.68/0.59
340	0.98/1.05	0.85/0.86	0.79/0.77	0.75/0.71	0.68/0.61	0.65/0.57
350	0.94/1.02	0.82/0.84	0.76/0.75	0.72/0.69	0.65/0.59	0.62/0.55

ESFUERZO EQUIVALENTE SIN BERMA EJES TRIDEM

Table C1. Equivalent Stress—Tridems
(Without Concrete Shoulder/With Concrete Shoulder)

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.36/2.67	3.10/2.67	3.02/2.60	2.98/2.57	2.94/2.56	2.93/2.57
110	2.92/2.50	2.64/2.29	2.55/2.22	2.50/2.18	2.45/2.16	2.44/2.16
120	2.60/2.20	2.30/2.00	2.20/1.93	2.14/1.89	2.08/1.85	2.07/1.85
130	2.35/1.97	2.04/1.78	1.93/1.70	1.87/1.66	1.80/1.61	1.78/1.61
140	2.15/1.78	1.83/1.59	1.72/1.52	1.65/1.48	1.58/1.43	1.55/1.42
150	1.99/1.62	1.67/1.44	1.55/1.37	1.48/1.33	1.40/1.27	1.37/1.26
160	1.85/1.49	1.54/1.32	1.41/1.24	1.34/1.20	1.25/1.15	1.23/1.13
170	1.73/1.38	1.43/1.21	1.30/1.14	1.23/1.10	1.14/1.04	1.11/1.03
180	1.62/1.28	1.34/1.12	1.21/1.05	1.14/1.01	1.04/0.96	1.01/0.94
190	1.53/1.19	1.26/1.04	1.13/0.98	1.06/0.94	0.96/0.88	0.92/0.86
200	1.45/1.12	1.19/0.98	1.07/0.91	0.99/0.87	0.89/0.82	0.85/0.80
210	1.37/1.05	1.13/0.92	1.01/0.85	0.93/0.81	0.83/0.76	0.79/0.74
220	1.30/0.99	1.07/0.86	0.95/0.80	0.88/0.76	0.78/0.71	0.74/0.69
230	1.24/0.93	1.02/0.81	0.91/0.76	0.84/0.72	0.73/0.67	0.70/0.65
240	1.18/0.88	0.97/0.77	0.87/0.71	0.80/0.68	0.69/0.63	0.66/0.61
250	1.13/0.84	0.93/0.73	0.83/0.68	0.76/0.64	0.66/0.59	0.62/0.57
260	1.07/0.79	0.89/0.70	0.79/0.64	0.73/0.61	0.63/0.56	0.59/0.54
270	1.02/0.75	0.86/0.66	0.76/0.61	0.70/0.58	0.60/0.53	0.57/0.52
280	0.98/0.72	0.82/0.63	0.73/0.59	0.67/0.56	0.58/0.51	0.54/0.49
290	0.93/0.68	0.79/0.60	0.71/0.56	0.65/0.53	0.55/0.49	0.52/0.47
300	0.89/0.65	0.76/0.58	0.68/0.54	0.63/0.51	0.53/0.46	0.50/0.45
310	0.85/0.62	0.73/0.55	0.66/0.51	0.60/0.49	0.51/0.44	0.48/0.43
320	0.81/0.59	0.70/0.53	0.63/0.49	0.58/0.47	0.50/0.43	0.46/0.41
330	0.77/0.57	0.68/0.51	0.61/0.47	0.56/0.45	0.48/0.41	0.45/0.39
340	0.73/0.54	0.65/0.49	0.59/0.46	0.55/0.43	0.46/0.39	0.43/0.38
350	0.70/0.52	0.63/0.47	0.57/0.44	0.53/0.42	0.45/0.38	0.42/0.36

REPETICIONES ADMISIBLES

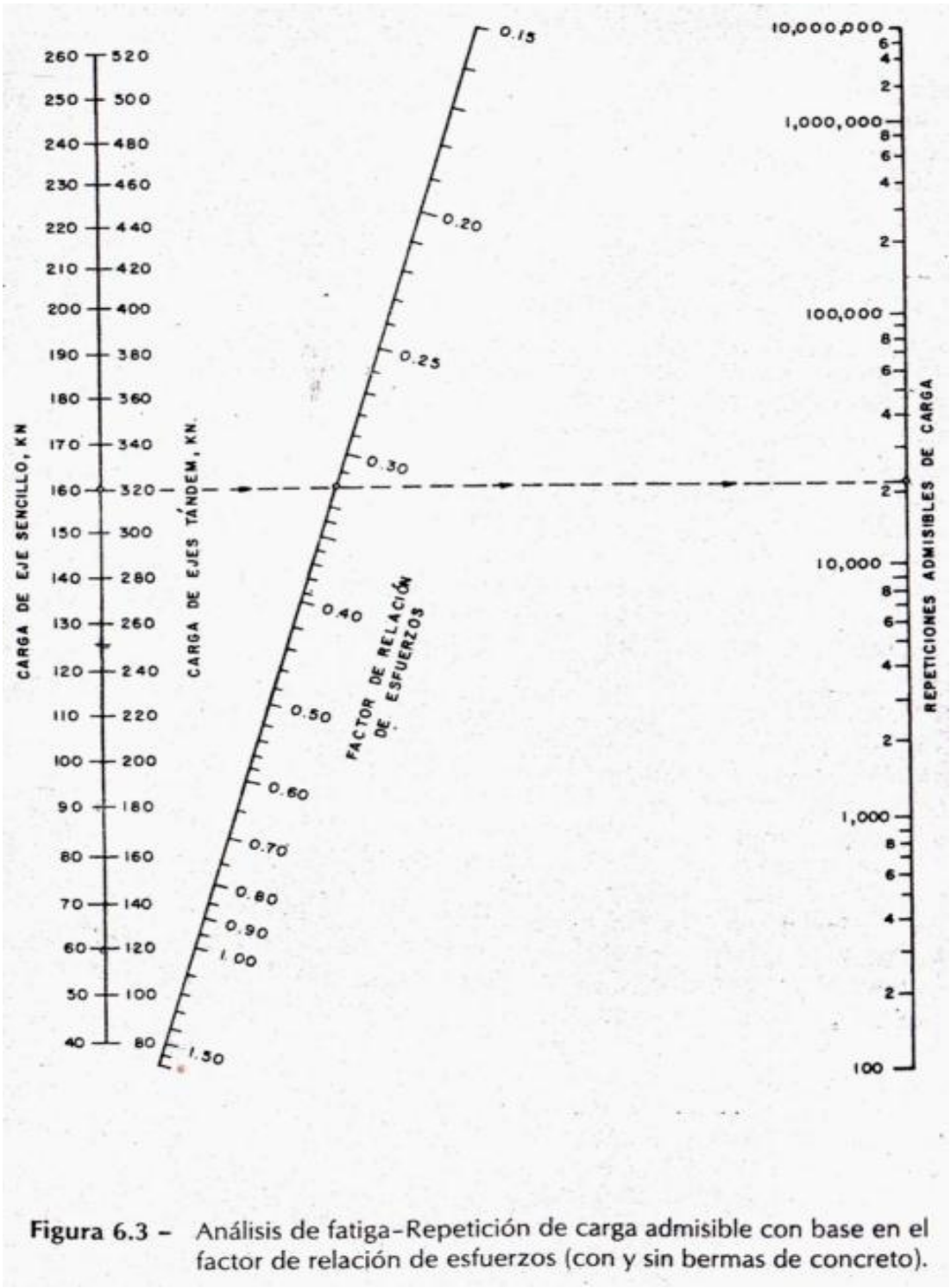


Figura 6.3 – Análisis de fatiga–Repetición de carga admisible con base en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de concreto).

FACTOR DE EROSION SIN BERMA CON PASADORES EN LAS JUNTAS EJES SIMPLES Y TANDEM

Tabla 6.7
Factores de erosión -Juntas con pasadores-
Sin bermas en concreto (eje simple/eje tándem).

Espesor de losa (mm)	K Combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.76/3.83	3.75/3.79	3.74/3.77	3.74/3.76	3.72/3.72	3.70/3.70
110	3.63/3.71	3.62/3.67	3.61/3.65	3.61/3.63	3.59/3.60	3.58/3.58
120	3.52/3.61	3.50/3.56	3.49/3.54	3.49/3.52	3.47/3.49	3.46/3.47
130	3.41/3.52	3.39/3.47	3.39/3.44	3.38/3.43	3.37/3.39	3.35/3.37
140	3.31/3.43	3.30/3.38	3.29/3.35	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
150	3.22/3.36	3.21/3.30	3.20/3.27	3.19/3.25	3.17/3.21	3.16/3.19
160	3.14/3.28	3.12/3.22	3.11/3.19	3.10/3.17	3.09/3.13	3.08/3.12
170	3.06/3.22	3.04/3.15	3.03/3.12	3.02/3.10	3.01/3.06	3.00/3.04
180	2.99/3.16	2.97/3.09	2.96/3.06	2.95/3.03	2.93/2.99	2.92/2.97
190	2.92/3.10	2.90/3.03	2.88/2.99	2.88/2.97	2.86/2.93	2.85/2.91
200	2.85/3.05	2.83/2.97	2.82/2.94	2.81/2.91	2.79/2.87	2.78/2.85
210	2.79/2.99	2.77/2.92	2.75/2.88	2.75/2.86	2.73/2.81	2.72/2.79
220	2.73/2.95	2.71/2.87	2.69/2.83	2.69/2.80	2.67/2.76	2.66/2.73
230	2.67/2.90	2.65/2.82	2.64/2.78	2.63/2.75	2.61/2.70	2.60/2.68
240	2.62/2.86	2.60/2.78	2.58/2.73	2.57/2.71	2.55/2.66	2.54/2.63
250	2.57/2.82	2.54/2.73	2.53/2.69	2.52/2.66	2.50/2.61	2.49/2.59
260	2.52/2.78	2.49/2.69	2.48/2.65	2.47/2.62	2.45/2.56	2.44/2.54
270	2.47/2.74	2.44/2.65	2.43/2.61	2.42/2.58	2.40/2.52	2.39/2.50
280	2.42/2.71	2.40/2.62	2.38/2.57	2.37/2.54	2.35/2.48	2.34/2.46
290	2.38/2.67	2.35/2.58	2.34/2.53	2.33/2.50	2.31/2.44	2.30/2.42
300	2.34/2.64	2.31/2.55	2.30/2.50	2.29/2.46	2.26/2.41	2.26/2.38
310	2.29/2.61	2.27/2.51	2.25/2.46	2.24/2.43	2.22/2.37	2.21/2.34
320	2.25/2.58	2.23/2.48	2.21/2.43	2.20/2.40	2.18/2.33	2.17/2.31
330	2.21/2.55	2.19/2.45	2.17/2.40	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.28
340	2.18/2.52	2.15/2.42	2.14/2.37	2.12/2.33	2.10/2.27	2.09/2.24
350	2.14/2.49	2.11/2.39	2.10/2.34	2.09/2.30	2.07/2.24	2.06/2.21

FACTOR DE EROSION SIN BERMA CON PASADORES EN LAS JUNTAS EJES TRIDEM

Table C2. Erosion Factors—Tridems—Doweled Joints (Without Concrete Shoulder/With Concrete Shoulder)

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.66/3.27	3.90/3.17	3.75/3.13	3.71/3.12	3.62/3.07	3.56/3.03
110	3.78/3.19	3.69/3.07	3.65/3.02	3.62/3.00	3.53/2.95	3.48/2.92
120	3.68/3.12	3.60/2.99	3.56/2.93	3.52/2.90	3.45/2.85	3.40/2.82
130	3.60/3.06	3.51/2.92	3.47/2.85	3.44/2.81	3.37/2.76	3.33/2.73
140	3.53/3.00	3.43/2.86	3.39/2.78	3.36/2.74	3.29/2.67	3.26/2.64
150	3.47/2.95	3.36/2.80	3.31/2.73	3.28/2.67	3.22/2.59	3.19/2.56
160	3.41/2.91	3.30/2.76	3.25/2.67	3.21/2.62	3.15/2.52	3.12/2.49
170	3.35/2.86	3.24/2.71	3.19/2.62	3.15/2.57	3.08/2.47	3.05/2.43
180	3.30/2.82	3.19/2.67	3.13/2.58	3.09/2.52	3.02/2.41	2.99/2.37
190	3.25/2.79	3.14/2.63	3.08/2.54	3.04/2.48	2.96/2.37	2.93/2.32
200	3.21/2.75	3.09/2.59	3.03/2.50	2.99/2.44	2.91/2.32	2.88/2.28
210	3.16/2.72	3.05/2.56	2.99/2.47	2.94/2.40	2.86/2.28	2.83/2.23
220	3.12/2.68	3.01/2.53	2.94/2.43	2.90/2.37	2.82/2.25	2.78/2.20
230	3.08/2.65	2.97/2.49	2.90/2.40	2.86/2.34	2.77/2.21	2.74/2.16
240	3.05/2.62	2.93/2.46	2.86/2.37	2.82/2.31	2.73/2.18	2.69/2.13
250	3.01/2.59	2.89/2.44	2.83/2.34	2.78/2.28	2.69/2.15	2.65/2.10
260	2.98/2.57	2.86/2.41	2.79/2.32	2.74/2.25	2.66/2.12	2.62/2.07
270	2.94/2.54	2.82/2.38	2.76/2.29	2.71/2.22	2.62/2.10	2.58/2.04
280	2.91/2.51	2.79/2.36	2.72/2.26	2.68/2.20	2.59/2.07	2.55/2.01
290	2.88/2.49	2.76/2.33	2.69/2.24	2.65/2.17	2.55/2.04	2.51/1.99
300	2.85/2.47	2.73/2.31	2.66/2.22	2.62/2.15	2.52/2.02	2.48/1.96
310	2.82/2.44	2.70/2.29	2.63/2.19	2.59/2.13	2.49/2.00	2.45/1.94
320	2.80/2.42	2.68/2.26	2.61/2.17	2.56/2.10	2.46/1.97	2.42/1.92
330	2.77/2.40	2.65/2.24	2.58/2.15	2.53/2.08	2.44/1.95	2.40/1.89
340	2.74/2.38	2.62/2.22	2.55/2.13	2.50/2.06	2.41/1.93	2.37/1.87
350	2.72/2.36	2.60/2.20	2.53/2.11	2.48/2.04	2.38/1.91	2.34/1.85

REPETICIONES ADMISIBLES

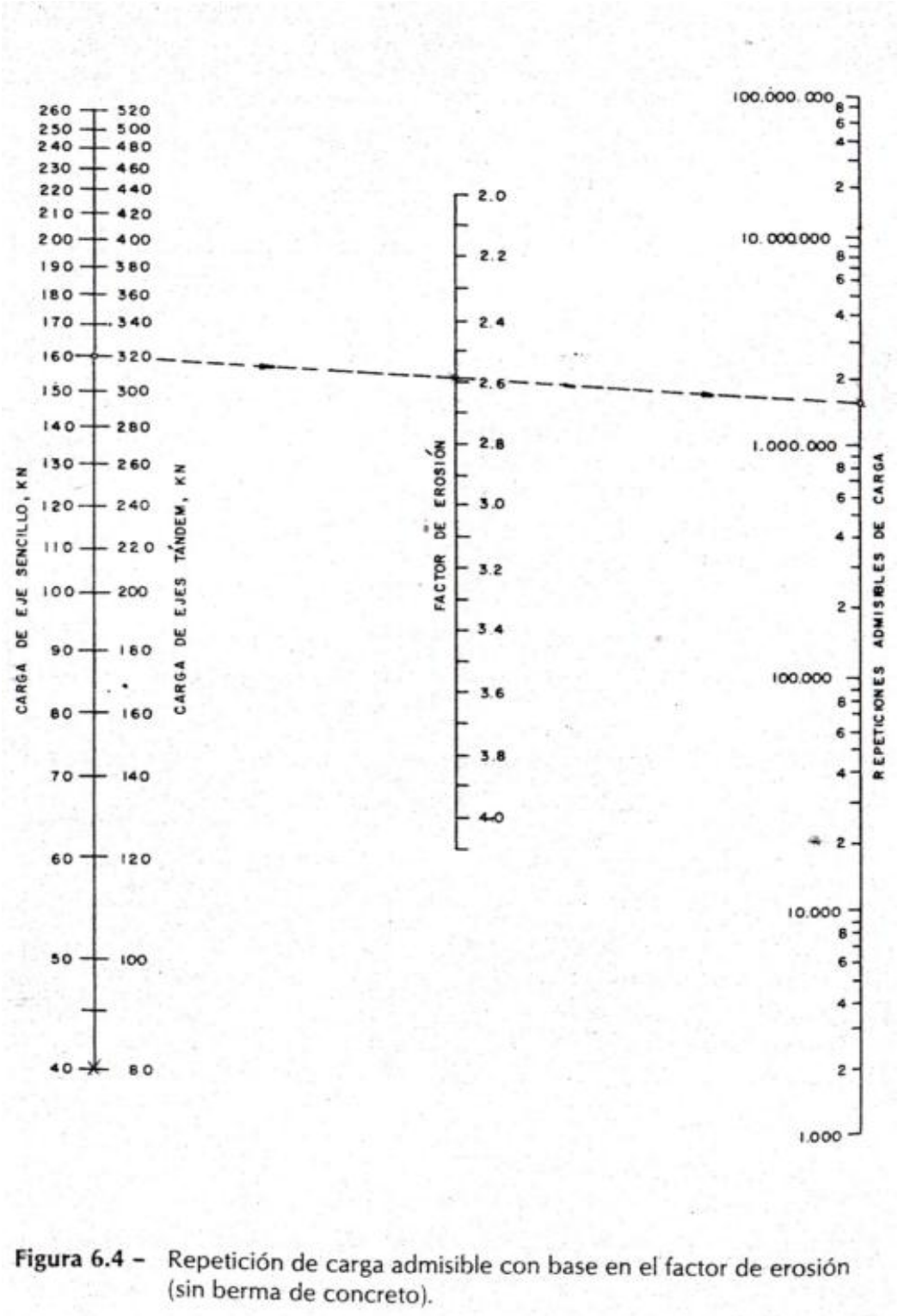


Figura 6.4 – Repetición de carga admisible con base en el factor de erosión (sin berma de concreto).

Fuente: Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Segunda Edición, 2002, Bogotá D.C, Método Portland Cement Association, Pág. 360.