



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULA DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Guerra Castro, Marco David

DIRECTOR: Segarra Morales, María Soledad, Ing. Msc

LOJA-ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniera.

María Soledad Segarra Morales

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

De mi consideración:

Que el presente trabajo de titulación, “Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito” realizado por: Guerra Castro Marco David; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Agosto de 2015

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Guerra Castro Marco David declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito”, de la titulación de Ingeniero Civil, siendo María Soledad Segarra Morales directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Guerra Castro, Marco David.

CI: 1103390439.

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este logro a mis padres Marco e Irma, que han hecho todo en la vida para que pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando más lo necesité, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido cumplir con esta meta.

A mis padres por formarme y por el apoyo incondicional que me han dado durante la realización de éste proyecto, y durante toda mi vida.

A la Ingeniera María Soledad Segarra M., directora del proyecto de fin de carrera, que con su tiempo, paciencia y dedicación me orientó durante el presente trabajo de investigación.

A la Ingeniera Carmen Esparza, docente de la Titulación de Ingeniería Civil, por brindarme su apoyo desinteresado en la realización de ensayos de campo y laboratorio y por guiarme en el desarrollo del presente proyecto.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, en su Titulación de Ingeniería Civil, a sus autoridades y en especial a los docentes que han sabido impartir sus conocimientos.

A los ingenieros docentes y encargados del laboratorio de mecánica de suelos de la escuela de ingeniería civil por brindarme su apoyo y conocimientos en la realización del presente proyecto.

A todas las personas, amigos, familiares y empresas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este proyecto de fin de carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

1.1.	Alcance	8
1.2.	Problemática	8
1.3.	Justificación	9
1.4.	Metodología	10
1.5.	Ubicación.....	10
2.1.	Generalidades	14
2.2.	Clasificación de las vías.....	16
2.3.	Capas de las estructuras de pavimentos	17
2.4.	Caracterización de la subrasante.....	19
2.5.	Clasificación de los suelos	27
2.6.	Normativa de vialidad ecuatoriana	32
2.7.	Selección del CBR de diseño	36
2.8.	Tránsito de diseño	37
2.9.	Parámetros de diseño para el método AASHTO 93	41
2.10.	Parámetros de diseño para el método de la Universidad Nacional de Colombia	45
3.1.	Parámetros de diseño	49
3.1.1.	Obtención de CBR de diseño.	49
3.1.2.	Obtención del tránsito de diseño.	57
3.1.2.1.	Obtención de Ejes equivalentes de diseño.	61
3.2.	Diseño de la estructura del pavimento.....	62
3.2.1.	Diseño mediante metodología para pavimentos de bajo volumen de tránsito de la Universidad Católica de Chile.	62
3.2.2.	Diseño según el método de la Universidad Nacional de Colombia.	65
3.2.3.	Diseño según la metodología AASHTO 93.	66
3.2.4.	Presupuesto para cada metodología de diseño.....	67
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA.....	73

RESUMEN

El presente trabajo propone alternativas de diseño para la estructura de pavimento en caminos de bajo nivel de tránsito en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, basado en las normativas de diseño de la NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 – MTOP, de la Universidad Católica de Chile para vías de bajo volumen de tránsito, y de la Universidad Nacional de Colombia para vías de bajo volumen de tránsito, logrando así un diseño óptimo y económico para las condiciones y materiales del sector.

Aplicando procedimientos de diseño adecuados para estructuras de pavimento en vías de bajo volumen de tránsito, que en nuestro medio son mayormente olvidadas o en el mejor de los casos, se aplican métodos de diseño de estructuras de pavimento para vías de tránsito elevado.

PALABRAS CLAVE: Bajo volumen de tránsito, estructura de pavimento, zonas no urbanizadas de Loja.

ABSTRACT

This paper proposes design alternatives for the road pavement structure in low volume roads in not urbanized areas of Loja city, based on the design standards NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 – MTOP, Catholic University Chile for low-volume roads, and the National University of Colombia for low volume roads, achieving an optimal and economical design for de local conditions materials.

Applying appropriate procedures for low volume roads pavement structures, that in our country are forgotten or at best cases, design methods applied pavement structures for high volume roads

KEYWORDS: Low volume of traffic, pavement structure, non-urbanized areas of Loja city.

INTRODUCCIÓN

Según el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), en esta región, alrededor del 80% de la longitud de la red vial total está conformada por caminos de bajo volumen de tránsito, siendo en muchos casos el único medio para la movilización de la población en zonas marginadas. Por lo general, en estas vías su capa de rodadura está conformada por suelo natural y en pocos casos por una capa de material de mejoramiento, lo que afecta su vida útil.

Así mismo, estos países poseen normativas que tienen una escasa o casi nula información acerca de los principios técnicos para el diseño de caminos de bajo volumen de tránsito, a esto se suma el limitado mantenimiento brindado a estas vías.

Por otro lado en nuestro país el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, mediante los objetivos N° 2 y N° 3 manifiesta: *“Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial en la diversidad”*, y *“Mejorar la calidad de vida de la población”*, con los cuales se evidencia el interés por parte del gobierno ecuatoriano en dotar entre otros servicios, de una infraestructura vial adecuada para las zonas rurales y desatendidas, con el fin de garantizar el mejoramiento de la calidad de vida de la población. En ese contexto un estudio técnico para diseñar la estructura de pavimento de una vía de bajo volumen de tránsito, ayudaría a cumplir con esos objetivos.

En la provincia y ciudad de Loja se han detectado algunos casos en los cuales la infraestructura vial no responde a los años de vida útil para los cuales fue proyectado; lo propio ocurre con caminos de bajo nivel de transitabilidad, los cuales cuentan con muy poco financiamiento para su mantenimiento, lo que dificulta el desarrollo de zonas productivas aledañas.

Dentro de la presente investigación se abordarán seis capítulos que permitirán abordar el tema planteado, estos son:

En el capítulo 1 se presenta la descripción general del proyecto, en el cual se presentará la problemática, la justificación, la metodología a aplicarse y la ubicación del sector de estudio.

En el capítulo 2 se describe la metodología, en la cual se hace una revisión de la normativa para la vialidad en el Ecuador, donde se muestran los principios técnicos de diseño geométrico y el diseño de pavimentos de bajo volumen de tránsito.

En el capítulo 3, se muestran los parámetros de diseño de la zona de estudio, se detallan los procedimientos para la caracterización de los materiales y los ensayos empleados. Además se muestra el proceso de obtención del tránsito de diseño. Con todos estos parámetros se plantean las posibles soluciones que cumplan con las especificaciones técnicas.

En el capítulo 4 se plantean las principales conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo 5 se presentan las referencias bibliográficas empleadas.

En el capítulo 6 se muestran los anexos en donde se detallan los ensayos realizados.

Se propone una metodología para realizar un diseño de estructura de pavimento de caminos de bajo nivel de tránsito, en base a las características del tipo de camino, CBR de la subrasante, el tránsito medio diario anual (TMDA) y las condiciones climáticas.

El principio de diseño propuesto incluye la búsqueda de estructuras de pavimento que optimicen el costo, la capacidad estructural, aspectos constructivos y de durabilidad, mediante los siguientes pasos:

- Producir un balance estructural entre las capas, de tal manera que cada capa sea diseñada para que soporte las tensiones específicas, de acuerdo a la profundidad a la que se encuentre.
- Balancear la vida útil de las diferentes capas, con la precaución de otorgarle una mayor vida útil a las capas inferiores, debido a que en obras de mantenimiento y rehabilitación es más fácil reforzar las capas superiores.
- Diseñar la estructura de pavimento ante eventuales sobrecargas, es decir, que resistan las tensiones máximas por sobrecargas.
- Diseñar con una resistencia a la fatiga para un periodo medio entre 5 y 10 años, porque como se indica en capítulos posteriores este es el periodo de diseño empleado para vías de bajo volumen de tránsito.
- Presentar varias alternativas de diseño que permitan optimizar el uso de materiales locales.

Este principio de diseño utiliza un método analítico de análisis multicapa que tiene la siguiente secuencia:

1. Caracterización de los materiales, y caracterización de las cargas o solicitaciones (Estimación de los ejes equivalentes de diseño).
2. Análisis estructural, buscando la respuesta de la estructura del pavimento a tensiones y deformaciones críticas.
3. Aplicación de las ecuaciones de fatiga para obtener los modelos de desempeño del pavimento.
4. Estimación de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento.
5. Diseño final.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Proponer alternativas de diseño para la estructura de pavimento en caminos de bajo nivel de tránsito en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja.

Objetivos específicos:

- Caracterización de propiedades físico mecánicas de los materiales disponibles en la zona.
- Obtención de los parámetros de diseño y medición del tránsito de diseño en la zona de estudio.
- Aplicación de las normativas ecuatorianas vigentes para los ensayos y diseños a realizarse, así como de las normativas de la Universidad Católica de Chile y de la Universidad Nacional de Colombia.
- Analizar alternativas de diseño de las estructuras de pavimento sostenibles y sustentables en función de las características de la zona de estudio.

CAPÍTULO 1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Alcance

Este trabajo está dirigido a áreas urbanizables de la ciudad de Loja. Una de ellas según las ordenanzas municipales, es el sector de “El Capulí”, que se encuentra ubicado al sur de la ciudad, se eligió este sector porque este proyecto busca impulsar el desarrollo urbano de la ciudad de Loja y este sector se encuentra rodeado por la vía lateral de paso convirtiéndolo en un sector a urbanizarse en poco tiempo.

La presente investigación es aplicable para vías de bajo volumen de tránsito y utilizando todas las normas de diseño vigentes en Ecuador, y de países con características similares, como lo son: Chile y Colombia.

El diseño que se proponga deberá ser factible tanto técnica como económicamente, de tal manera que cumpla con las exigencias técnicas pero a su vez se constituya en una opción económicamente viable, sin afectar el periodo de vida útil de la obra, y utilizando procedimientos de diseño específicos para pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito.

1.2. Problemática

En el mundo entero se busca la inclusión y el mejoramiento de la calidad de vida de los sectores más necesitados, por lo cual es importante dar atención a las vías de tercer orden o caminos de bajo volumen de tránsito, para que exista transitabilidad, en todas las épocas del año. Existen más posibilidades de reducir la pobreza cuando las comunidades tienen acceso en todo momento y en todas las condiciones climáticas a los servicios esenciales y a los mercados. Según el Banco Mundial, se estima que 1000 millones de personas, o alrededor del 40% de la población rural en los países que reciben asistencia de la Asociación Internacional de Fomento (AIF), carecen de acceso directo a una ruta vial que pueda utilizarse todo el año.

De igual manera en nuestro país, se ha brindado un apoyo parcial al desarrollo de este tipo de vías.

En particular, debido al crecimiento de la ciudad de Loja, se ha considerado evaluar las zonas urbanizables de la misma, y de esta manera brindar una mejor calidad de vida a los futuros usuarios de estas zonas; se ha visto la necesidad de conocer las características del

suelo, lo que nos permitirá diseñar una estructura de pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito, que sea óptima tanto económica y estructuralmente.

Una problemática importante de un gran número de caminos de bajo volumen de tránsito se relaciona con la relativa baja calidad funcional y estructural de sus pavimentos o superficies de rodado, otorgando bajos niveles de serviciabilidad y baja durabilidad. La problemática se relaciona en gran medida con la limitación de recursos de inversión, para mejorar los estándares de este tipo de caminos, así como la restricción de recursos para la conservación de estos. Todo esto se traduce en que muchos caminos de bajo volumen de tránsito, cumplan sus funciones con importantes limitaciones (movilidad, accesibilidad y seguridad) y altos costos operacionales.

1.3. Justificación

En todo el territorio ecuatoriano y en particular en la ciudad de Loja, las estructuras de pavimento construidas, por lo general no cumplen con su periodo de vida útil para el cual fueron diseñadas, sufriendo deterioros prematuros y asentamientos, debido a la falta de diseños técnicos adecuados, donde se conozca la capacidad del suelo y el diseño estructural óptimo para ese tipo de suelo. Las vías de bajo volumen de tránsito son muy afectadas por este tipo de daños, por ser un tipo de vías consideradas de tercer orden, no se les da el mantenimiento requerido, dejándolas al abandono.

La principal dificultad está relacionada con los costos de construcción y rehabilitación de esas vías

Es por estas razones que se ha considerado realizar una investigación acerca del diseño de pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito, para optimizar los recursos locales y ayudar a mejorar la calidad de vida y el desarrollo.

1.4. Metodología

El procedimiento para la presente investigación se resume en los siguientes componentes:

- Recopilación de información
- Selección del área de estudio
- Delimitación y obtención de planos de la futura urbanización en el área de estudio previamente seleccionada.
- Ubicación de los puntos de muestreo en el sector a partir de la implantación de la futura vía.
- Conteo de vehículos en las vías cercanas al área de estudio.
- Correlación del número de vehículos de las zonas cercanas con el número de vehículos a proyectarse en la zona de estudio.
- Obtención del TPDA para la vía considerada.
- Obtención de muestras de las calicatas realizadas en los puntos de muestreo planteados.
- Realización de ensayos de laboratorio de las calicatas mediante normativa AASHTO y ASTM
- Clasificación de suelos a partir de los datos obtenidos
- Realización de ensayos de compactación y CBR de las muestras
- Cálculo de diseños de pavimentos a partir de los datos obtenidos
- Selección del diseño final

1.5. Ubicación

La zona de estudio del presente proyecto corresponde al sector “El Capulí” ubicado al Sur de la ciudad de Loja. El sector de estudio corresponde a los terrenos del Ingeniero Aníbal Álvarez. El área total del sector a urbanizar es de 3.56 Ha. En la Tabla 1 se presenta las coordenadas del polígono de estudio. La longitud de la vía que se diseñará en la urbanización es de 710 m, la cual se ve en la Figura 2.

Tabla 1: Coordenadas del polígono de estudio “El Capulí”.

ESTE	NORTE
693316.23	9506954.76
693316.23	9506561.49
693930.88	9506561.49
693930.88	9506954.76

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

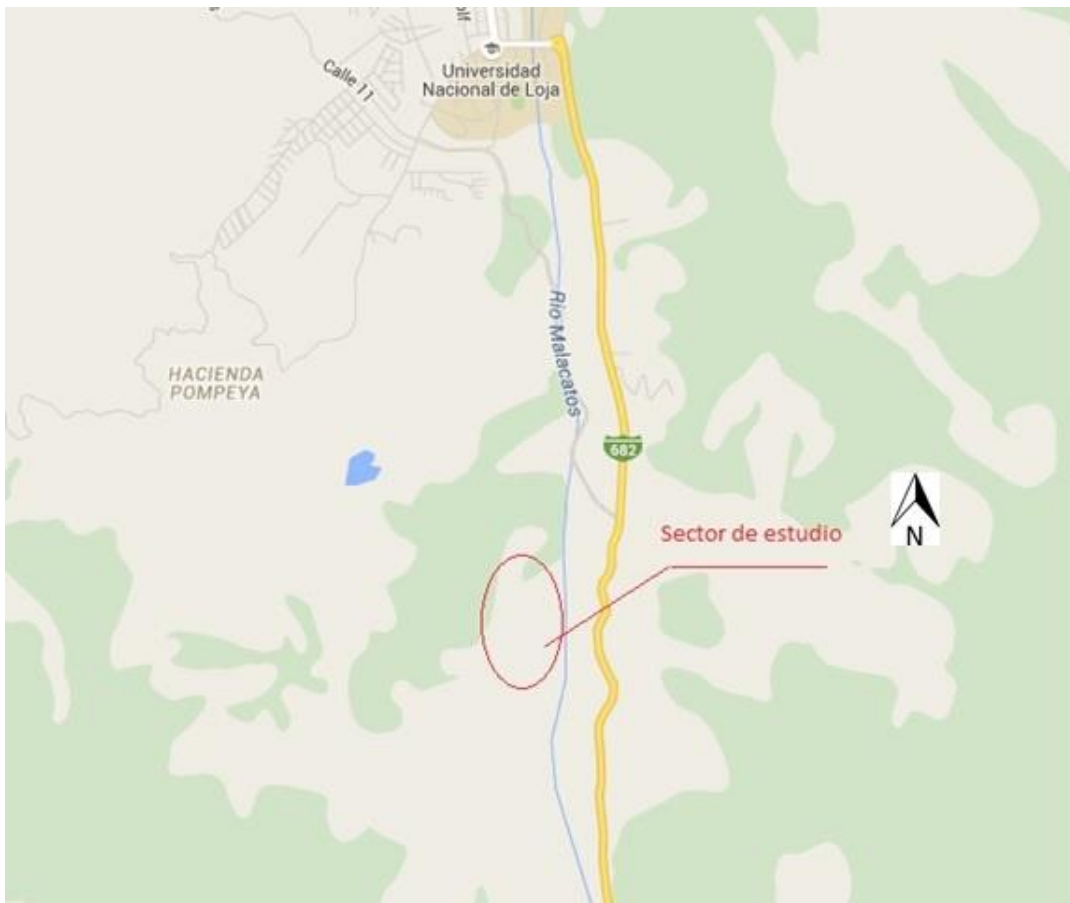


Figura 1: Ubicación del sector de estudio.

Fuente: <https://www.google.com/maps/views/explore> (Adaptada por el autor).

Elaboración: El autor.



Figura 2. Polígono de estudio “El Capulí”.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

CAPÍTULO 2
METODOLOGÍA

2.1. Generalidades

Se considera una vía o carretera a una estructura de transporte que se ubica en una faja de terreno. Se construye para permitir y facilitar la circulación de vehículos y personas de manera fluida desde un punto hacia otro.

La estructura que soporta las cargas sobre la vía se denomina paquete estructural. Un paquete estructural se forma por un sistema multicapas que se suponen horizontales. Cada una de estas capas debe ser diseñada y construida con los materiales adecuados y de preferencia que se encuentren en la zona de tal manera que no se encarezca la obra, siempre obteniendo la compactación requerida y especificada en el diseño y bajo las normas vigentes.

La base de suelo natural o mejorado sobre la que se soporta la estructura de pavimento se denomina subrasante, y es a partir de la capacidad de soporte de esta que se diseña la estructura del pavimento.

El pavimento se degrada por factores ambientales y por la sollicitación de las cargas debidas al tránsito. Entonces, deberá disipar los esfuerzos inducidos por el tránsito garantizando niveles de esfuerzo y/o deformación en el suelo de soporte, que no superen sus valores admisibles.

Los pavimentos pueden clasificarse como: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimentos semirrígidos o pavimentos articulados.

Los pavimentos flexibles están conformados sobre la subrasante con una capa de subbase, una capa de base y una carpeta asfáltica de rodadura, tal como se muestra en la Figura 3.

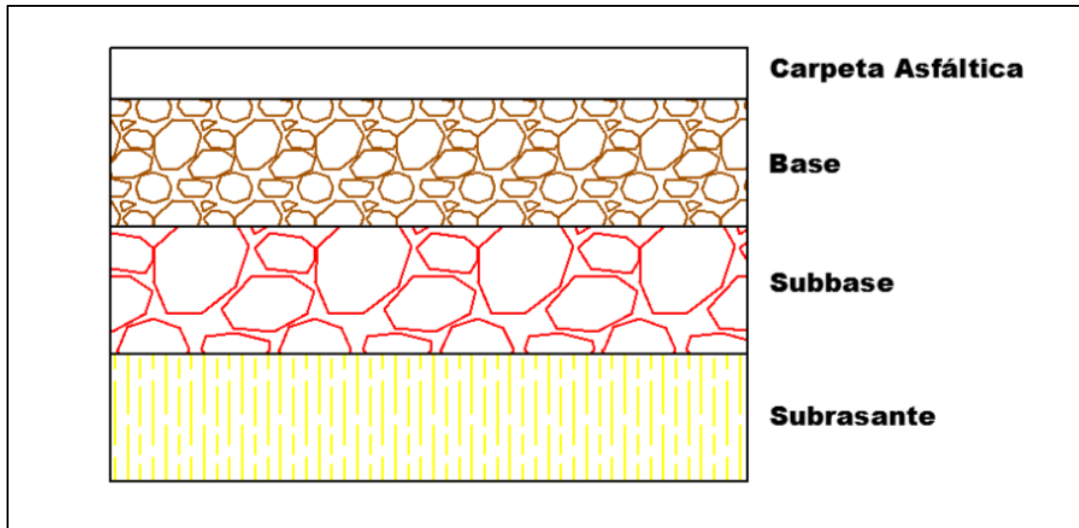


Figura 3. Estructura pavimento flexible.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Los pavimentos rígidos son construidos mediante losas de concreto. Estas losas pueden estar apoyadas directamente sobre la subrasante, o en caso de ser necesario se pueden apoyar sobre una capa de subbase, cuando la capacidad de soporte de la subrasante es muy baja, o cuando se desea disminuir el espesor de la losa de concreto.

Los pavimentos semirrígidos tienen una estructura similar a los pavimentos flexibles, es decir, con una capa de rodadura de carpeta asfáltica, sin embargo una de sus capas (subbase o base) es rigidizada con asfalto, cemento o cal. Esto se lo hace porque los materiales existentes en la zona no cumplen las características requeridas, por lo que es necesario mejorarlos con el empleo de estos aditivos.

Los pavimentos articulados tienen por capa de rodadura bloques de hormigón prefabricados, que también se los conoce con el nombre de adoquines, para unirlos y nivelar el terreno es necesario colocar bajo estos una capa delgada de arena. Toda esta estructura puede apoyarse directamente sobre la subrasante, o sobre una capa de base granular para mejorar la capacidad de soporte de la estructura.

2.2. Clasificación de las vías

Una de las variables más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

Según la **NORMATIVA ECUATORIANA DE VIALIDAD 2012 (NEVI 12)** la clasificación de las vías en el país, según la capacidad y en función del tránsito promedio diario anual (TPDA) se muestra en la Tabla 2

Tabla 2. Clasificación de vías en función del TPDA.

Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

En general, para el diseño de las estructuras de pavimentos, es necesario normalizar las cargas que soportará el mismo, es por eso que se toma como referencia un eje estándar de 8.2 toneladas de peso; es decir que, se requiere de un factor para convertir cada tipo de vehículo que transita por la zona de estudio en su eje estándar equivalente de 8.2 toneladas. Cabe indicar que al realizar esta conversión solo se consideran a los vehículos de carga pesada debido a que afectan mayormente la estructura de un pavimento.

El factor camión es el número de aplicaciones de ejes sencillos con carga equivalente de 8.2 toneladas, que corresponde al paso de un vehículo pesado. Toda vía que tenga hasta 1 millón de ejes equivalentes de 8.2 ton se la considera como una vía de bajo volumen de tránsito.

2.3. Capas de las estructuras de pavimentos

2.3.1. Capas de soporte.

El suelo que puede ser natural, de relleno o mejorado sobre el cual se construye la estructura de pavimento se denomina subrasante. De la calidad y capacidad de soporte que posea esta capa depende todo el diseño, los espesores y de las capas, lo que afecta al costo de una estructura de pavimento.

Dentro de los parámetros que se requiere conocer acerca de esta capa están: la capacidad de soporte al esfuerzo cortante, variación del volumen con la humedad, tipo de material del que está conformado, y grado de compactación del mismo.

2.3.2. Capas de cuerpo.

Las capas de cuerpo son las que conforman el paquete estructural del pavimento, debiéndose diseñar sus espesores y características para que soporten las cargas a las que van a ser sometidas por el paso de los vehículos.

Algunas de las funciones de las capas de cuerpo son:

- Nivelar la superficie para la construcción de las capas superiores.
- Servir como capas de transición y suministrar un apoyo firme a la capa de rodadura.
- Proteger la subrasante.
- Soportar el eventual tránsito durante la construcción.
- Contribución al drenaje de la calzada.
- Controlar los cambios volumétricos de la subrasante.

A continuación se presentan los diferentes tipos de capas de cuerpo.

2.3.2.1. Base (granular, estabilizada con cemento, estabilizada con ligante asfáltico entre otros).

Esta capa está constituida por material seleccionado que puede ser o no estabilizado, su función principal consiste en trabajar como un elemento resistente que transmita a las capas inferiores (subbase y subrasante) los esfuerzos que ocasiona el paso de los vehículos por sobre la capa de rodadura. Debido a la alta concentración de esfuerzos a los que se ve sometida esta capa, los materiales que la

componen deben ser de alta calidad para evitar la falla o deformaciones, por lo que para esta capa se exige una relación de soporte CBR de 100.

2.3.2.2. Subbase.

Esta capa debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas producidas por el paso de los vehículos a través de las capas superiores y distribuye el esfuerzo sobre la subrasante de tal manera que las deformaciones a este nivel permanezcan dentro de límites admisibles. Para las vías de bajo tránsito, el papel que desempeña la capa de subbase puede remplazarse, en ciertos casos, por un tratamiento del suelo de la subrasante, además esta capa impide que los materiales finos (arcillas y limos) que pueden componer la subrasante se filtren a la capa de base y disminuyan así su capacidad de soporte y calidad.

2.3.3. Capas superficiales.

Al referirse a capas superficiales se hace referencia a las capas de rodadura y a la condición de liga entre las capas superficiales y la capa de base. Se puede incluir también cualquier capa destinada a evitar el reflejo de fisuras de las capas de cuerpo y que puedan afectar las capas superficiales. Esta capa puede ser de diferentes materiales como: concreto asfáltico, concreto hidráulico o adoquines.

La carpeta de rodadura debe tener una superficie totalmente uniforme que facilite la circulación del tránsito en forma segura y cómoda. Debe soportar los efectos de abrasión por el paso de los vehículos, Generalmente esta capa es impermeable para que las capas interiores de la estructura del pavimento permanezcan en condiciones óptimas de trabajo.

2.4. Caracterización de la subrasante

La subrasante se la considera como un estrato de espesor semi-infinito. Este estrato o capa es la base de la fundación de la estructura de un pavimento para una vía, el suelo que conforma a la subrasante es un suelo natural y sin ningún tipo de tratamiento, que puede ser producto de corte o de relleno. A pesar de definirse como el suelo natural sin tratamiento, en ocasiones puede ser necesario su estabilización o mejoramiento con algún tipo de material, de acuerdo al diseño del paquete estructural. La capacidad portante de la subrasante está asociada a las propiedades del suelo y a las condiciones hídricas más desfavorables durante la vida útil de servicio de la estructura de pavimento. La clasificación del tipo de suelo se puede realizar de acuerdo con la normativa de suelos de la AASHTO. Se deberá conocer también el porcentaje de humedad natural que posea dicha subrasante, y los límites de Atterberg. De igual manera, se debe estimar el comportamiento mecánico de la subrasante con ensayos en el campo y/o ensayos de laboratorio. Conociendo estos parámetros se puede decidir si se incluye o no una capa de mejoramiento.

Los ensayos en el campo se realizan en base a las técnicas y normativas vigentes, con el fin de establecer las características del suelo de la subrasante e identificar problemas potenciales asociados a aspectos geotécnicos.

Los parámetros asociados a la naturaleza del material que se consideran en la clasificación de la subrasante son:

- **Humedad natural:** Permite determinar en laboratorio el contenido de agua de los materiales del suelo, roca y mezclas de suelo-agregado por peso.
- **Granulometría:** Determina la composición granulométrica de un suelo, así como la dimensión máxima de las partículas contenidas en el suelo, es decir, que se estima la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Este parámetro sirve para definir la factibilidad de excavación y, especialmente, para evaluar el espesor de capas básicas de compactación y las condiciones de mezcla eventual con un ligante. Para el ensayo de granulometría de este estudio se utilizaron los tamices descritos en la Tabla 3

Tabla 3. Tamaño de la apertura de tamices empleados.

Apertura (pulgadas)	Apertura (milímetros)
2	50.80
1 ½	38.10
1	25.40
¾	19.05
½	12.70
3/8	9.53
Nº4	4.76
Nº10	2.00
Nº40	0.42
Nº200	0.074

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Dependiendo del tipo de material (fino, grueso), los ensayos de granulometría son necesarios realizarlos por los métodos de lavado y tamizado, procediendo de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra representativa del material de alrededor de 20 kg, a la cual se la dejó secar a temperatura ambiente.
- Por medio de cuarteo se tomó una cantidad de material dependiendo del tamaño máximo nominal de la muestra, con el fin de conocer la cantidad mínima de material que se requiere ser ensayada, se considera normalmente la Tabla 4.

Tabla 4. Cantidad mínima de material a ensayar según tamaño de partículas.

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad de material mínima a ensayar (gr)
5	500
12.5	5000
20	8000
25	10000
50	20000
80	32000

Fuente: Geotecnia LNV., 1993.

Elaboración: El autor.

- Una vez cuarteado el material y con las consideraciones de la cantidad de material mínimo a ser ensayado, se realizó el proceso de tamizado por lavado. Para esto se pesa el material antes de lavar, se registra ese valor y se satura por completo el material hasta que todas las partículas puedan disolverse fácilmente con los dedos.
- Al material saturado se lo pasa por el tamiz N° 200 con ayuda de agua de tal manera que todas las partículas menores pasen por dicho tamiz. Las partículas que no pasen se las coloca en un recipiente para luego colocarlas en el horno y secarlos por completo.
- Se registra el peso del material seco después del lavado
- Con el material sobrante se procede al ensayo granulométrico empleando la normativa ASTM D 421.

Todos los límites de consistencia se los determinan empleando el suelo que pase el tamiz N° 40, para el desarrollo del ensayo de límite líquido se procedió según lo especificado en la normativa ASTM D 423.

- El límite líquido LL: es un parámetro que determina el mayor contenido de agua que puede tener un suelo sin pasar de estado plástico a líquido.

Todos los límites de consistencia se los determinan empleando el suelo que pase el tamiz N° 40, para el desarrollo del ensayo de límite líquido se procedió según lo especificado en la normativa ASTM D 423.

- El límite plástico LP: es un parámetro que determina el contenido más bajo de agua en un suelo, para el cual puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica,

cambio de volumen agrietamiento o desmoronamiento. Se lo puede definir como la frontera entre el estado plástico del suelo y el estado semisólido del mismo, este ensayo se lo realizó siguiendo la normativa ASTM D 4318

- El Índice de Plasticidad IP: es el parámetro que indica el rango de humedades en el que un suelo tiene comportamiento plástico. Es la diferencia numérica entre los Límites de Atterberg: límite líquido y límite plástico.
- Compactación: Al reducir el volumen de un suelo mediante la aplicación de cargas se logra la reducción de la relación de vacíos y por ende el aumento de su densidad. Este proceso tecnificado se lo conoce con el nombre de compactación. Con la ejecución de este ensayo basado en las normativas AASHTO T180, se logra obtener los parámetros de densidad seca máxima del suelo y el contenido óptimo de humedad del mismo. Para esto, se realiza la compactación del material a diversos contenidos de humedad, y con ello graficar la curva de compactación y obtener los parámetros antes mencionados.

Estos parámetros son necesarios para realizar el ensayo de CBR, así como también para verificar el grado de compactación a proveer a las diversas capas que conforman la estructura del pavimento.

- CBR: este ensayo permite la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado Relación de Soporte de California (California Bearing Ratio en inglés).

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base y sub-base.

Los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y el contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

Este ensayo se lo realizó según la norma AASHTO T 193, para lo cual se realizó lecturas a diversas penetraciones, las cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Penetraciones a las que se realiza lecturas.

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.05
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: Norma AASHTO T-193.

Elaboración: El autor.

Los resultados del valor de CBR, por tratarse de material de subrasante se los obtiene al 95% de compactación de la muestra y en base a ese valor, se puede clasificar los suelos de subrasante como indica la Tabla 6, siendo la categoría S1 la de menor calidad, y la categoría S6 la de mejor.

Tabla 6: Categorías de la subrasante según el CBR.

Categorías de subrasante	CBR
S1	CBR < 3%
S2	3% ≤ CBR < 6%
S3	7% ≤ CBR < 10%
S4	11% ≤ CBR < 14%
S5	15% ≤ CBR < 19%
S6	CBR ≥ 20%

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

- Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC): este ensayo permite establecer la medida de la tasa de penetración en un suelo inalterado o alterado usando el penetrómetro dinámico de cono, este ensayo se lo realiza según lo especificado en la norma ASTM D 6951 - 03

Este método de ensayo cubre la medida de la tasa de penetración del (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La tasa de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio).

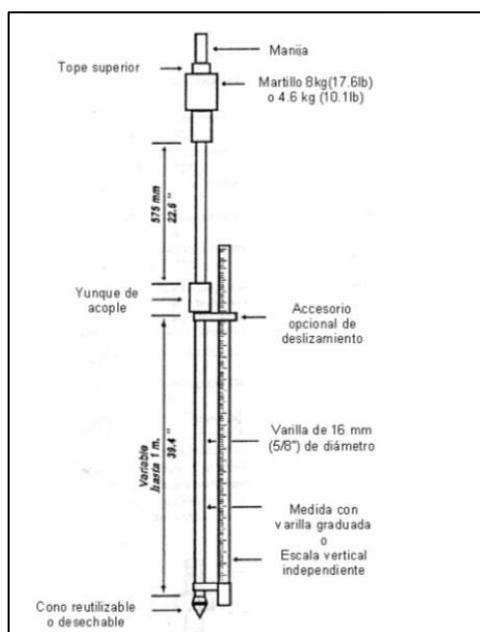


Figura 4: Esquema de cono dinámico de penetración.

Fuente: Norma ASTM D 6951 – 03.

Elaboración: El autor.

El número de golpes entre lecturas puede variar, dependiendo de la resistencia del material. Normalmente, se toman lecturas luego de un número fijo de golpes, por ejemplo, un golpe para suelos blandos, 5 golpes para materiales “normales” y 10 golpes para materiales muy resistentes. Se debe registrar la penetración aproximada al milímetro más cercano (0.04 pulgadas) para un número específico de golpes. Se debe tomar una lectura inmediatamente se detecte un cambio significativo en las propiedades de los materiales o en la tasa de penetración de la varilla. (ASTM, 2003).

En la Tabla 7 se muestra la correlación entre el índice de penetración y el valor de CBR correspondiente.

Tabla 7: Correlación tabulada de CBR vs Índice PDC.

Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

Fuente: Norma ASTM D 6951 – 03.

Elaboración: El autor.

La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando alguna correlación apropiada. Por ejemplo, la correlación entre la penetración por golpe (PDC) y el CBR que se muestra en la Tabla 7 ha sido derivada de una ecuación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que se indica como sigue:

Ecuación 1

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

Esta ecuación es usada para todos los suelos, excepto para los clasificados como CL y tengan un CBR inferior a 10, y los suelos CH. Para los cuales el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos recomienda las siguientes expresiones:

Suelos tipo CL con CBR < 10:

Ecuación 2

$$CBR = \frac{1}{(0.017019 \times PDC)^2}$$

Suelos CH:

Ecuación 3

$$CBR = \frac{1}{0.002871 \times PDC}$$

A más de estas ecuaciones, diversos autores han realizado investigaciones, obteniendo relaciones que son muy cercanas a la realidad, entre estos se emplearán las siguientes:

Ecuación de Kleyn (1975):

Ecuación 4

$$\text{Log}(CBR) = 2.465 - 1.12 \text{Log}(DCP)$$

Ecuación de Kleyn – Van Heerden (1983):

Ecuación 5

$$\text{Log}(CBR) = 2.6637 - 1.314 \text{Log}(DCP)$$

Ecuación de Harrison (1987):

Ecuación 6

$$\text{Log}(CBR) = 2.7929 - 1.31 \text{Log}(DCP)$$

2.5. Clasificación de los suelos

Debido a la gran variedad de suelos que se encuentran en la naturaleza es necesario realizar una clasificación de suelos, que se trata de una categorización de tierras basado en características distintivas y en criterios de uso. Se han desarrollado varios métodos de clasificación de los suelos, pero los principales y los empleados en la presente investigación por su aplicación al diseño de pavimentos son: Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) y el sistema de la American Association of State Highway Officials (AASHTO)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System (SUCS) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo es necesario realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado y la obtención de los límites de Atterberg, esta clasificación se la emplea mayormente para cimentaciones, en la Tabla 8, se muestran los símbolos empleados en la clasificación SUCS.

Tabla 8: Simbología de la clasificación SUCS.

Símbolo	Definición
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Orgánico
P	Pobremente gradado (tamaño de partícula uniforme)
W	Bien gradado (tamaños de partícula diversos)
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad

Fuente: Crespo Villalaz, Mecánica de suelos y cimentaciones, 2011.

Elaboración: El autor.

Tabla 9: Sistema de clasificación de suelos SUCS.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos de grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO						
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times$ entre 1 y 3				
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.				
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.				
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.						
	ARENAS	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	<5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times$ entre 1 y 3				
			(pocos o sin finos)	SP			Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.			
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.			5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.		
			(apreciable cantidad de finos)	SC					Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	
		Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)						Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.							
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.							
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.							
	Limos y arcillas:	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.							
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.							
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.							
		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.							
Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Límite líquido mayor de 50									
Suelos muy orgánicos										

Fuente: Crespo Villalaz, Mecánica de suelos y cimentaciones.

Elaboración: El autor.

La "American Association of State Highway Officials" adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2,..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg, de la fracción que pasa por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200).

La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.
- A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado
- A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.
- A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
 - A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz nº 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

- A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con las características de los grupos A-6 y A-7.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento en explanadas va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad. De esta forma se clasifican también los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

Los grupos incluidos en los suelos granulares son los siguientes:

- A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.
- A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.
- A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcillosos plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.
- A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.

- A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.

- A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes. (AASHTO, 2000)

Tabla 10: Sistema de clasificación de suelos AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3					A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	-		-	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				
(1):	No plástico										
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30 El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30										

Fuente: AASHTO M 145.

Elaboración: El autor.

Índice de grupo :

$$IG = (F - 35) \cdot [0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)] + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$$

Siendo :

F : % que pasa el tamiz ASTM n° 200.
 LL : límite líquido.
 IP : índice de plasticidad.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A - 2 - 6 y A - 2 - 7 se calcula usando sólo : $IG = 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$

2.6. Normativa de vialidad ecuatoriana

Según las normas NEVI 12 que es la normativa vigente para vialidad en el Ecuador, los materiales utilizables en formación de la subrasante para los que los diseños deberán incluir las prescripciones complementarias se presentan en la Tabla 11

Tabla 11: Materiales utilizables en formación de la explanada.

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	Suelo inadecuado o marginal	Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2
0	Suelo tolerable	CBR \geq 3 Contenido en materia orgánica < 1% Contenido en sulfatos solubles (SO ₃) < 1% Hinchamiento libre < 1%
1	Suelo adecuado	CBR \geq 5
2	Suelo seleccionado	CBR \geq 10
3	Suelo seleccionado	CBR \geq 0
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal	Espesor mínimo: 25 cm Espesor máximo: 30 cm

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

SUBBASES

El árido grueso no presentará porcentaje a la degradación mayor al 50% en cualquiera de los métodos de ensayo utilizados: NTE INEN 860 Áridos determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles, o NTE INEN 861 Áridos determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.

El valor del índice de soporte CBR no será menor de 30%

La porción del agregado que pase el tamiz N° 40, incluyendo el relleno mineral, deberá carecer de plasticidad o tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, al ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos en las normas ASTM D 4318 (AASHTO T.89 y T.90)

Cuando los finos naturales existentes en los materiales originales de la cantera o yacimiento tengan un límite líquido o un índice plástico superiores a los máximos especificados, el fiscalizador ordenará la mezcla con material adecuado, para reducir los valores de la plasticidad hasta el límite especificado.

Subbase clase 1:

Está formada por áridos gruesos provenientes de la trituración de grava o roca, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada a continuación, la trituración del árido grueso no deberá ser menor del 30%

Subbase clase 2:

Está formada por áridos gruesos, obtenidos mediante trituración o cribado de gravas o yacimientos cuyas partículas estén fragmentadas naturalmente, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada en la Tabla 12, la trituración del árido grueso no deberá ser menor del 30%

Subbase clase 3:

Está formada por áridos gruesos, obtenidos mediante cribado de gravas o rocas mezcladas con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada.

Tabla 12: Granulometría en peso requerida para subbase.

TAMIZ	SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
3"						100
2"				100		--
1 1/2 "		100	70	100		--
Nº 4	30	70	30	70	30	70
Nº 40	10	35	15	40		--
Nº 200	0	15	0	20	0	20

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

Tabla 13: Recomendaciones para uso de material de base.

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	Nº CARRILES	TPDA
BASE CLASE 1	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico	8 a 12	> 50000
BASE CLASE 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65m. Se incluye franja central desde 2 a 4m	2 a 6	8000 - 50000
BASE CLASE 3	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1000 - 8000
BASE CLASE 4	Caminos vecinales	2	<1000

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

Tabla 14: Granulometría para base clase 1.

TAMIZ	BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
	Min	Máx	Min	Máx
2		100		100
1 1/2"	70	100	70	100
1"	55	85	60	90
3/4"	50	80	45	75
3/8"	35	60	30	60
Nº4	25	50	20	50
Nº10	20	40	10	25
Nº40	10	25	2	12
Nº 200	2	12		

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

Tabla 15: Granulometría para base clase 2.

TAMIZ	BASE CLASE 2	
	Min	Máx
2		100
1 1/2"	70	100
1"	55	85
3/4"	47	75
3/8"	35	65
Nº4	25	55
Nº10	15	45
Nº40	5	25
Nº 200	0	10

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

Tabla 16: Granulometría requerida para material base clase 3.

TAMIZ	BASE CLASE 3	
	Min	Máx
2		100
1"	70	100
3/4"	60	90
3/8"	40	75
Nº4	30	60
Nº10	15	45
Nº40	10	30
Nº 200	0	15

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

Tabla 17: Granulometría requerida para material base clase 4.

TA MIZ	BASE CLASE 4	
	Min	Máx
2		100
1"	60	90
Nº4	20	50
Nº 200	0	15

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

2.7. Selección del CBR de diseño

Para la selección del CBR de diseño, una vez obtenidos los resultados de clasificación y compactación, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Determinar el tránsito de diseño.
- Ordenar de menor a mayor todos los valores de CBR.
- Determinar en cada cambio de valor de CBR, el número total de valores mayores o iguales a este y expresarlo en porcentaje con relación al total.
- Elaborar un gráfico de CBR vs el porcentaje de valores mayores o iguales.
- De la curva anterior se obtiene el CBR de diseño teniendo en cuenta el % que determine el tránsito de diseño, para lo cual se debe tener en cuenta las consideraciones indicadas en la Tabla 18

Tabla 18. Límites de diseño de la subrasante.

Clase de tránsito	Nº ejes equivalentes	Valor de diseño %
Liviano	$\leq 10^4$	60%
Mediano	$10^4 - 10^6$	75%
Pesado	$> 10^6$	87.5%

Fuente: Normas NEVI 12.

Elaboración: El autor.

2.8. Tránsito de diseño

El tránsito influye directamente al diseño de una estructura de pavimento, por lo que es necesario conocer el número y el peso de los ejes que pasan en el periodo de diseño del pavimento.

Es necesario indicar que los vehículos livianos no contribuyen significativamente al daño estructural de un pavimento, por lo que se consideran sólo los vehículos pesados para estimar las cargas que soportará la estructura. En pavimentos de bajo volumen de tránsito estas cargas se obtienen a partir de valores de volumen de tránsito como el TPDA.

El volumen de tránsito representa el número de vehículos que pasan por un punto de la vía durante un tiempo determinado. Este volumen puede medirse en vehículos por día, vehículos por hora o por minuto.

Del conteo del volumen de tránsito se obtiene el tránsito promedio diario anual (TPDA) y el volumen máximo horario (VMH). El tránsito promedio diario anual se define como el número de vehículos que pasan por un punto particular de la vía durante un periodo de 24 horas consecutivas en promedio durante un año.

Como no es posible efectuar conteos continuos durante los 365 días del año, los valores de tránsito promedio diario se los basa en procedimientos de muestreo estadístico para un periodo menor a 365 días.

El tránsito promedio diario anual se lo calcula según la siguiente ecuación:

Ecuación 7

$$TPDA = Tp + Td + Tg$$

Donde:

Tp= Tránsito proyectado y se lo obtiene a partir del tránsito actual

Td= Tránsito desviado

Tg= Tránsito generado

Para obtener el tránsito proyectado se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 8

$$Tp = Ta(1 + i)^n$$

Donde:

Ta= Es el tránsito actual de la vía

i= Tasa de crecimiento de vehículos para la zona de estudio

n= número de años para la proyección vehicular

Para conocer el tránsito actual de la vía es necesario emplear la siguiente ecuación:

Ecuación 9

$$T_a = T_e * 1,25$$

Donde:

Te= Tránsito existente de la vía que se lo obtiene a partir de conteos vehiculares

El tránsito desviado se lo obtiene utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 10

$$T_d = 0,2 * T_p$$

Finalmente el tránsito generado se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 11

$$T_g = 0,25 * T_p$$

Una vez obtenido el valor de TPDA para la vía en diseño, se debe seguir el siguiente procedimiento para la obtención del número de ejes equivalentes de diseño:

- Definir el periodo de diseño (5-10 años)
- Determinar el número de vehículos pesados que transitan por la vía en un sentido.
- Definir la tasa de crecimiento de los vehículos (4-7%)
- Definir el tipo de carga que poseen los vehículos pesados que transitan la vía en diseño: Tránsito liviano (Eliv) y tránsito pesado (Epes)
 - Estratigrafía para caminos de tránsito liviano (Eliv): Utilizada en caminos con tránsito liviano y un porcentaje menor al 15% de buses y camiones de 2 ejes, con presencia casi nula de camiones de más de dos ejes. Esta estratigrafía está asociada a caminos por los cuales transitan automóviles y vehículos pesados de servicios básicos.

- Estratigrafía para caminos de tránsito pesado (Epes): Utilizada en caminos con una variedad de vehículos pesados, que poseen vehículos de 2 ejes y de más de 2 ejes. Esta estratigrafía está asociada a caminos en que el flujo de tránsito es compartido por vehículos livianos de servicio y camiones asociados a operaciones industriales, agrícolas, ganaderas, forestales y mineras. Esta estratigrafía no se ajusta a caminos de explotación exclusiva (forestales, mineros u otros).
- Con todas estas variables definidas, se ingresa a las siguientes figuras, dependiendo de la estratigrafía de la vía.

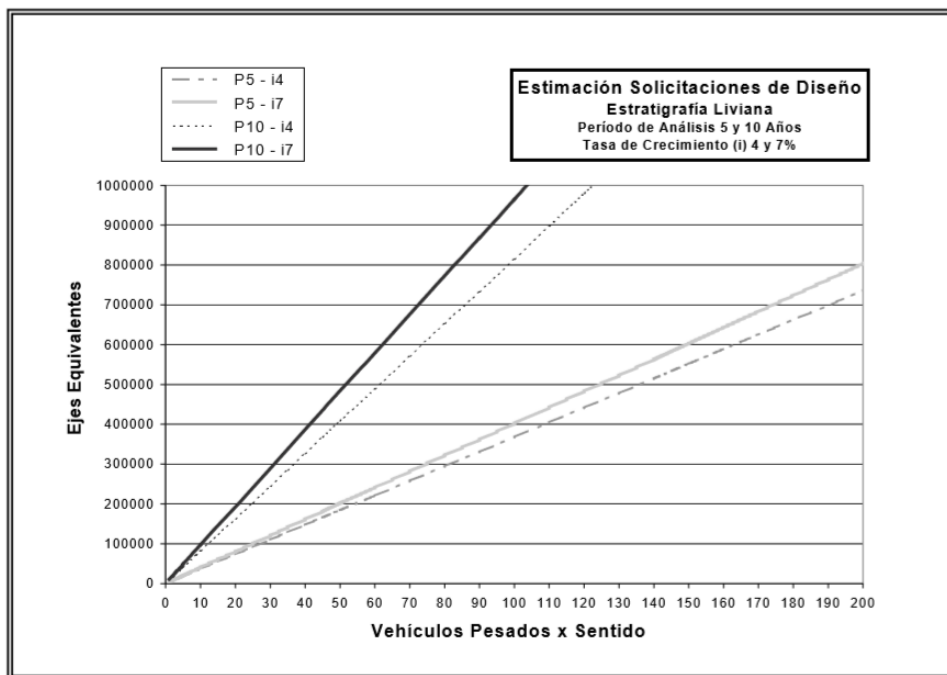


Figura 5. Estimación de ejes equivalentes de diseño. Estratigrafía liviana.

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

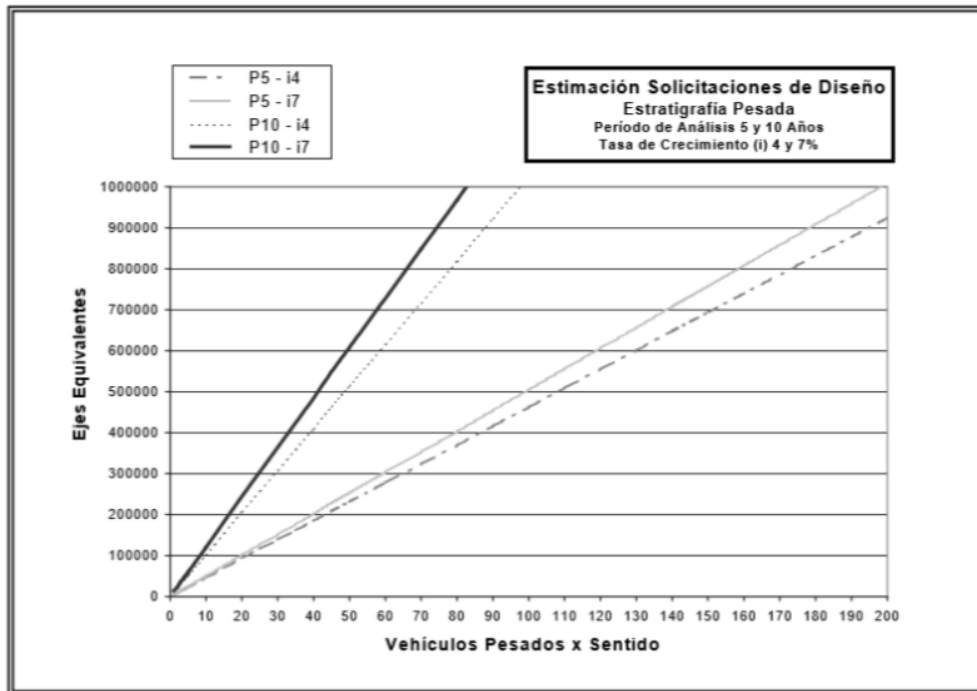


Figura 6. Estimación de ejes equivalentes de diseño. Estratigrafía pesada.

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

Una vez determinado el número de ejes equivalentes de diseño se debe determinar el rango en el que se encuentra la vía, para lo cual se emplea la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 19. Rangos de solicitudes de tránsito

Solicitaciones de Tránsito por sentido	
Rango	Ejes equivalentes
T0	0 – 150000
T1	150000 - 300000
T2	300000 - 500000
T3	500000 - 700000
T4	700000 - 1000000

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

2.9. Parámetros de diseño para el método AASHTO 93

El diseño a partir de este método está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado.

Dicho número estructural se lo encuentra a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 12

$$\log_{10} W_{18} = ZR * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} MR - 8.07$$

Para la aplicación de la ecuación 12, o para el empleo de nomogramas basados en la misma, se requiere conocer varios parámetros de diseño.

Estos parámetros de diseño se detallan a continuación:

Periodo de diseño: Es el tiempo estimado para el cual se espera que la estructura diseñada, soporte los esfuerzos y tensiones producidas por el paso de las cargas o vehículos.

Tránsito de diseño: Es necesario conocer el número de ejes equivalentes de carga de 8.2 ton, acumulados durante el periodo de diseño. Para esto es necesario conocer la distribución del tránsito en la vía de estudio.

Serviciabilidad: Se puede definir como la variación en la calidad de servicio que la estructura del pavimento le proporciona al usuario. Este parámetro de diseño se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 13

$$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

Donde:

ΔPSI : Es el índice de serviciabilidad, resultado de la diferencia entre el índice de servicio inicial y el índice de servicio final al periodo de diseño deseado.

P_0 : Es el índice de servicio inicial, la guía AASHTO 93 recomienda un valor de 4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para pavimentos flexibles.

Pt= Es el índice de servicio final al periodo de diseño, de igual manera la guía AASHTO 93 recomienda un valor de 2.5 ó 3 para caminos principales, y un valor de 2 para caminos de segundo orden.

Confiabilidad: La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento dure hasta el periodo de diseño con un índice de serviciabilidad mayor o al menos igual al terminal. En general al darle un mayor nivel de confiabilidad el pavimento tendrá un costo inicial mayor, pero un menor costo de mantenimiento, mientras que, por el contrario si al pavimento se le da una menor confiabilidad en su diseño, su costo inicial será menor pero se tendrá un mayor costo de mantenimiento, los valores de confiabilidad recomendados por la guía de diseño AASHTO 93, se muestran en la Tabla 20

Tabla 20. Confiabilidad sugerida para el diseño por el método AASHTO 93.

Clasificación funcional	Confiabilidad sugerida (R%)	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guía de diseño de pavimentos AASHTO 93.

Elaboración: El autor.

Desviación estándar: Está ligada con la Confiabilidad (R). La selección se la realiza en base a la Tabla 21, este valor debe ser representativo de las condiciones locales particulares, en donde se considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito..

Tabla 21. Desviación estándar para el diseño por el método AASHTO 93.

Caso de análisis	Desviación estándar total (So)	
	Pavimento flexible	Pavimento rígido
Rango	0.40 - 0.50	0.30 - 0.40
Considerando la varianza del tránsito futuro	0.49	0.39
Sin considerar la varianza del tránsito futuro	0.44	0.34

Fuente: Guía de diseño de pavimentos AASHTO 93.

Elaboración: El autor.

Drenaje: Para el diseño del pavimento es necesario conocer la capacidad de drenaje de las diferentes capas que conformarán su estructura. Para esto se recomienda un valor de 1 para el concreto asfáltico, en cambio, para las capas inferiores, la guía de diseño AASHTO 93 recomienda los valores mostrados en la Tabla 22:

Tabla 22. Consideraciones para el drenaje en las capas inferiores de la estructura.

Calidad del drenaje	El agua libre se remueve en:	% del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación			
		< 1%	1- 5%	5 - 25%	> 25%
Excelente	2 horas	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Aceptable	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy pobre	El agua no drenará	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Guía de diseño de pavimentos AASHTO 93.

Elaboración: El autor.

Módulo resiliente de la subrasante: Este parámetro de diseño viene dado por la capacidad de soporte de la subrasante y se obtiene a partir de una correlación con el CBR de diseño de la subrasante, para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 14

$$MR = CBR * 1500$$

Finalmente, con todos estos parámetros de diseño es posible ingresar en el nomograma dispuesto por la normativa AASHTO 93 y obtener el número estructural SN requerido para las cargas que soportará la estructura del pavimento.

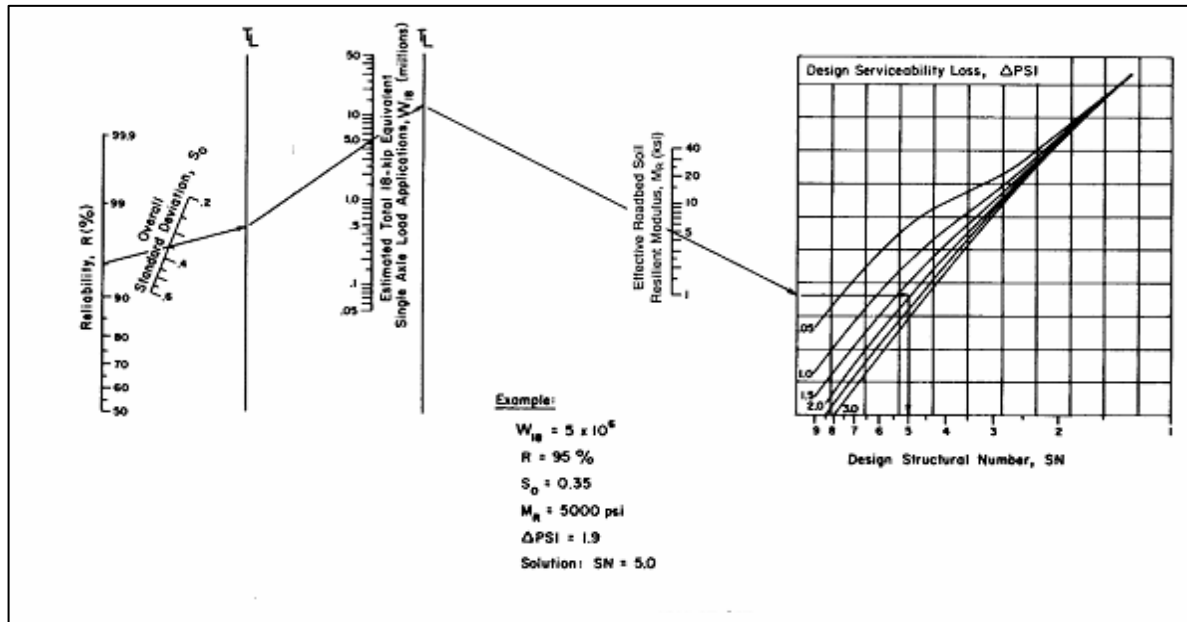


Figura 7. Nomograma para la obtención del número estructural.

Fuente: Guía de diseño AASHTO 93.

Elaboración: El autor.

Una vez obtenido el número estructural total de la estructura del pavimento, se puede dimensionar cada capa de la misma, obteniendo un número estructural para cada una de estas capas y empleando la Figura 8 y ecuaciones planteadas por la guía AASHTO 93

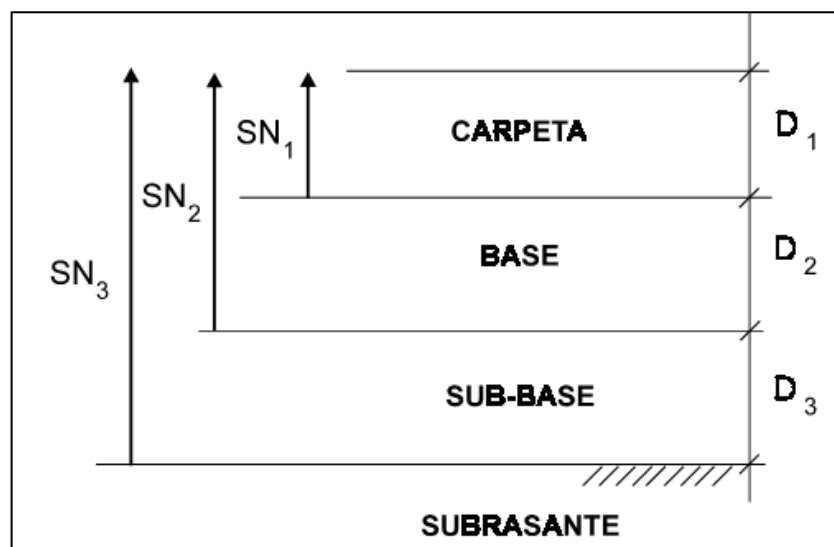


Figura 8. Capas de la estructura del pavimento.

Fuente: Guía de diseño de pavimentos AASHTO 93.

Elaboración: El autor.

Ecuación 15

$$D_{*1} \geq \frac{SN1}{a1}$$

Ecuación 16

$$SN_{*1} = a1D1 \geq SN1$$

Ecuación 17

$$D_{*2} \geq \frac{SN2 - SN1}{a2m2}$$

Ecuación 18

$$SN_{*1} + SN_{*2} \geq SN_2$$

Ecuación 19

$$D_{*3} \geq \frac{SN_3 - (SN_{*1} + SN_{*2})}{a3m3}$$

2.10. Parámetros de diseño para el método de la Universidad Nacional de Colombia

El proceso de diseño a partir de este método, al igual que el método planteado por la Pontificia Universidad de Santiago de Chile. Emplea cartillas de diseño que se clasifican dependiendo de parámetros de diseño esenciales para cualquier diseño de una estructura de pavimento, estos parámetros se detallan a continuación:

Tránsito de Diseño: Para el empleo de este método de diseño y sus cartillas, es necesario categorizar el tránsito de diseño, según el número de vehículos comerciales (pesados) que transitan en la vía de diseño por día. Para esto la guía de diseño planteada por la Universidad Nacional de Colombia propone la Tabla 23 de categorización del tránsito de diseño:

Tabla 23. Categorías de tránsito para el método de diseño de la Universidad Nacional de Colombia.

Denominación	Número de vehículos comerciales día
T1-1	$T \leq 50$
T2-1	$51 < T \leq 100$
T2-1	$100 < T < 150$

Fuente: Guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito de la Universidad Nacional de Colombia.

Elaboración: El autor.

Capacidad Portante Equivalente (CPE): Es la resistencia al esfuerzo cortante de la capa de subrasante o la capa de mejoramiento, en caso de existir. Se la clasifica en 4 categorías dependiendo del CBR de diseño, en la Tabla 24 se indican las categorías empleadas en esta cartilla de diseño:

Tabla 24. Capacidad portante equivalente para el diseño según el método de la Universidad Nacional de Colombia.

ENSAYO	CPE			
	CPE1	CPE2	CPE3	CPE4
CBR	3 - 3.9	4 - 4.9	5 - 5.9	>6
E (MPa)	22.5 - 38.4	40 - 49	50 - 59	>60
K sub Mpa/m	28 - 34.3	35 - 39.5	40 - 42.7	>43

Fuente: Guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito de la Universidad Nacional de Colombia.

Elaboración: El autor.

Periodo de diseño: Es el tiempo para el que se espera que la estructura de pavimento diseñada funcione, brindando un nivel de servicio adecuado, sin la necesidad de rehabilitarla. En esta guía de diseño se recomiendan los periodos de diseño descritos en la Tabla 25.

Tabla 25. Periodos de diseño recomendados.

Tipo de pavimento	Periodo de diseño (años)
Flexible	10
Rígido	20
Articulado	10

Fuente: Guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito de la Universidad Nacional de Colombia.

Elaboración: El autor.

Con estos parámetros de diseño, la guía de diseño de la Universidad Nacional de Colombia, plantea la siguiente cartilla para el diseño de estructuras flexibles de pavimento:

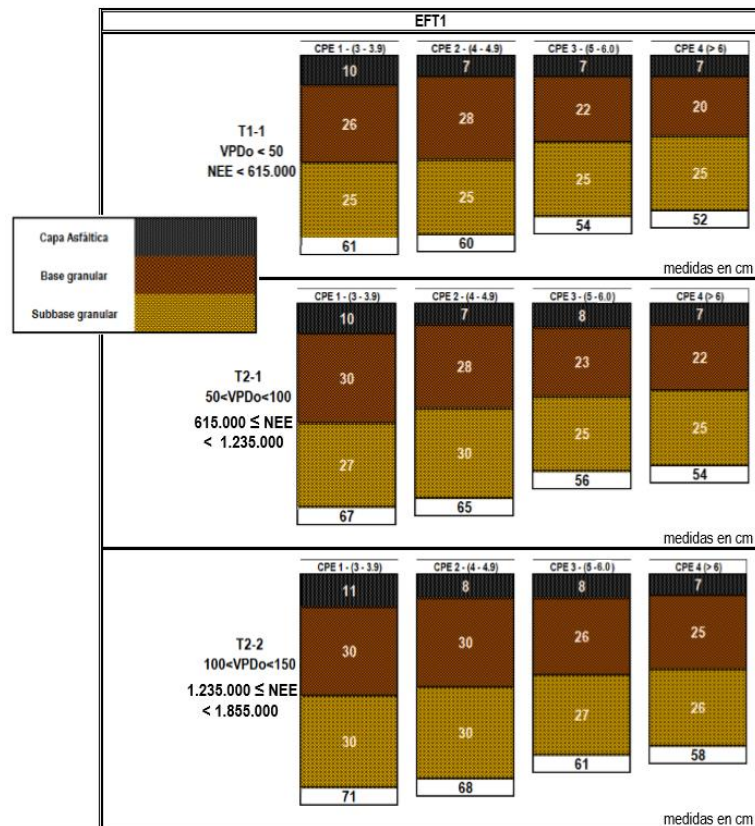


Figura 9. Cartilla de diseño para estructuras de pavimento flexible de la Universidad Nacional de Colombia.

Fuente: Guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito de la Universidad Nacional de Colombia.

Elaboración: El autor.

CAPÍTULO 3

OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

3.1. Parámetros de diseño

3.1.1. Obtención de CBR de diseño.

Como primer paso para la obtención de los parámetros de diseño se realizó un recorrido del sector, para decidir los puntos en los cuales se procederá a realizar las calicatas y obtener las muestras para ensayar, según la normativa ecuatoriana se debe tener una separación menor a 500 m entre cada calicata. Los puntos seleccionados deben ser representativos y de mayor impacto para la vía que se está diseñando.



Figura 10. Ubicación de los puntos para calicatas.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Una vez localizados los puntos, se procedió a excavar las calicatas de 1.5 m de profundidad, con el fin de obtener las muestras de material para los ensayos de laboratorio. Así mismo para la realización de los ensayos in situ (DCP).

De las calicatas 1, 2, 3, y 4 se procedió a obtener muestras de suelo para la realización de ensayos de laboratorio. De cada muestra se obtuvo el contenido de humedad.

Posterior a este proceso se dejó secar las muestras al aire libre para evitar perder contenido de materia orgánica. Luego se tamizó una porción de material por el tamiz N° 40. Se saturó este material durante un día y se realizaron los ensayos de límites líquido y plástico según como se describe en las normativas ASTM D421 y ASTM D423.

Una vez que el material estuvo listo para realizar los ensayos, se procedió a utilizar el equipo Casa grande para obtener el límite líquido y plástico de cada muestra.

El resumen de los resultados de los ensayos de contenido de humedad natural, límite líquido y plástico se muestra en la Tabla 26. El desarrollo de cada uno de los ensayos junto con las hojas de cálculo correspondientes se pueden ver en el Anexo 1, y las fotografías que respaldan el desarrollo de los ensayos se presenta como Anexo 8.

Tabla 26. Resumen de resultados de ensayos de límite líquido, plástico y contenido de humedad natural de las calicatas 1, 2, 3 y 4.

CALICATA	CONTENIDO HUMEDAD NATURAL	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
1	18,10%	36,80%	30,00%	6,80%
2	10,00%	21,90%	16,20%	5,70%
3	19,20%	25,90%	17,70%	8,20%
4	17,90%	20,20%	4,50%	15,70%

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Luego de los ensayos de límites, se cuarteó la muestra de cada una de las calicatas según su tamaño máximo nominal, para obtener la cantidad de muestra requerida según la especificación ya indicada en la tabla 4.

Debido a la presencia de alta cantidad de terrones en la muestra cuarteada, se decidió moler los terrones y realizar el ensayo de granulometría por lavado.

Luego se procedió a lavar el material por el tamiz N° 200 para saber la cantidad de material que pasa este tamiz. Al material que se retuvo en este tamiz, se lo secó en el horno.

Finalmente se realizó la granulometría por la serie gruesa y fina.

Los resultados de estas granulometrías se presentarán en el Anexo 2, y las curvas granulométricas se presentan a continuación:

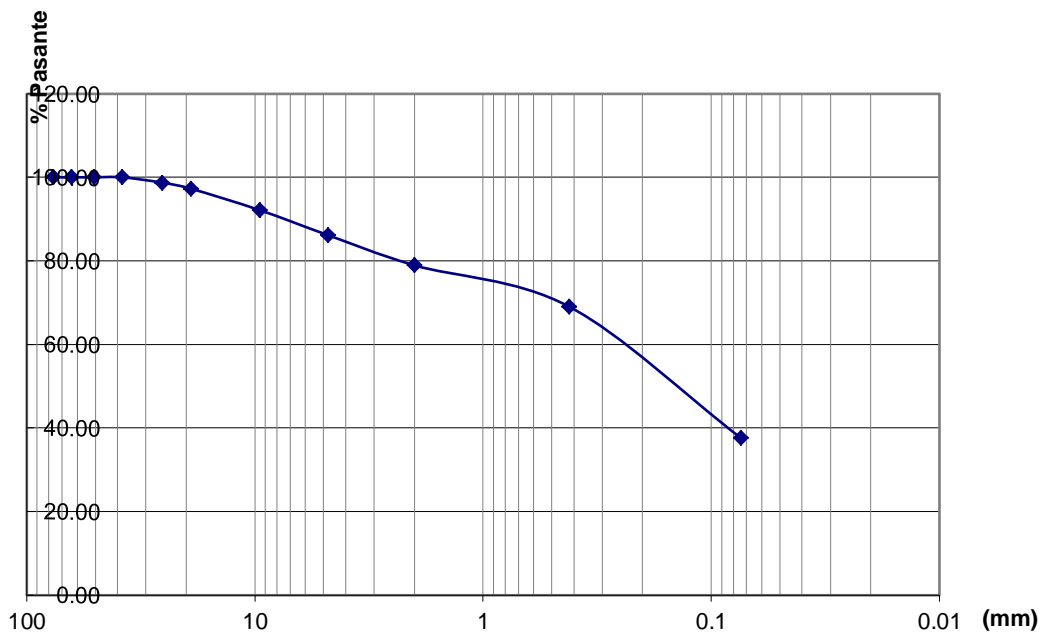


Figura 11. Curva granulométrica Calicata 1.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

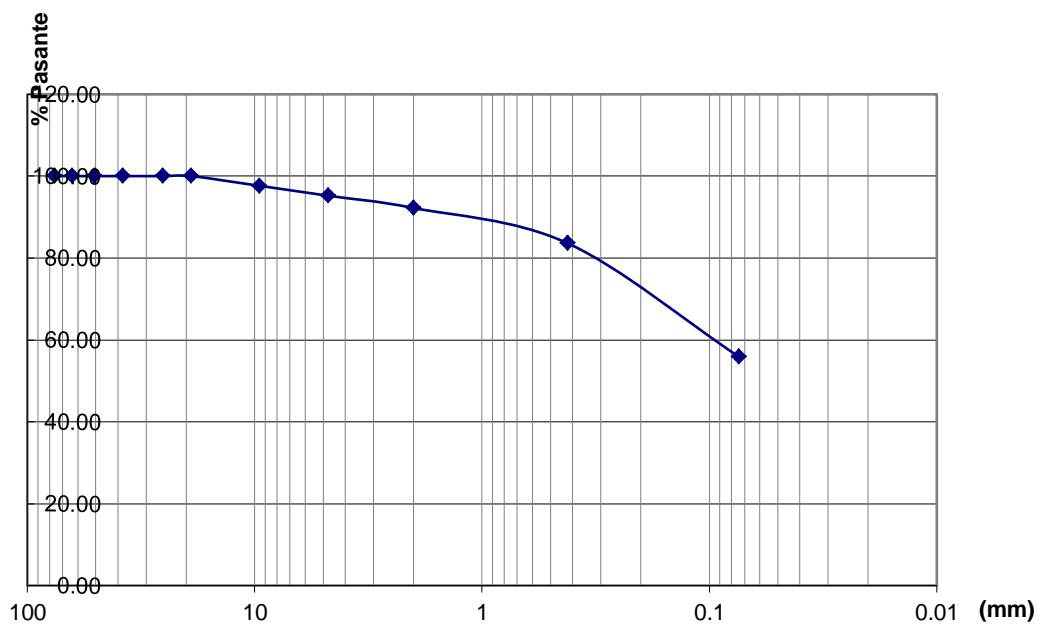


Figura 12. Curva granulométrica Calicata 2.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

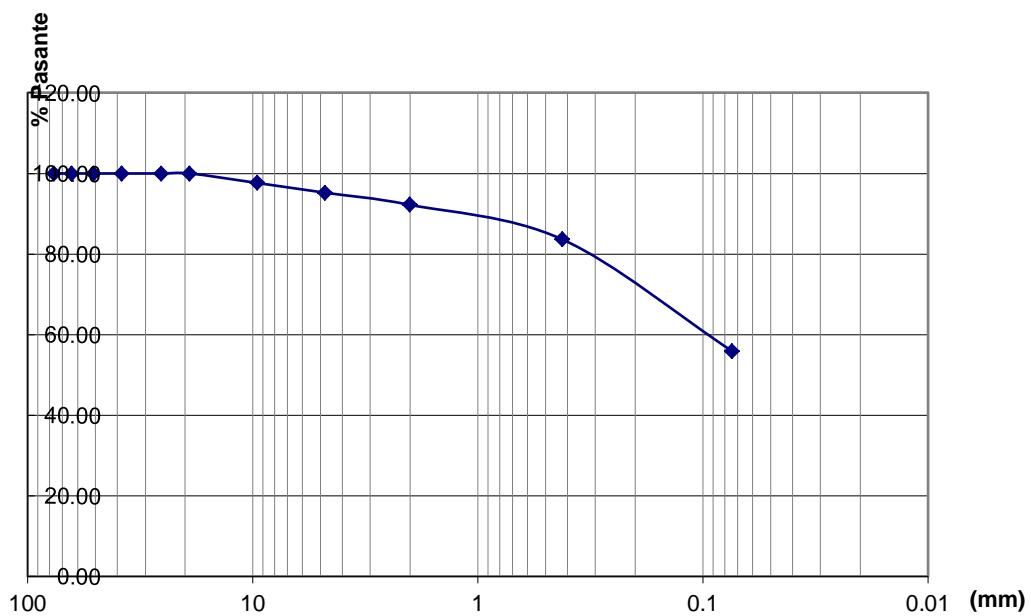


Figura 13. Curva granulométrica Calicata 3.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

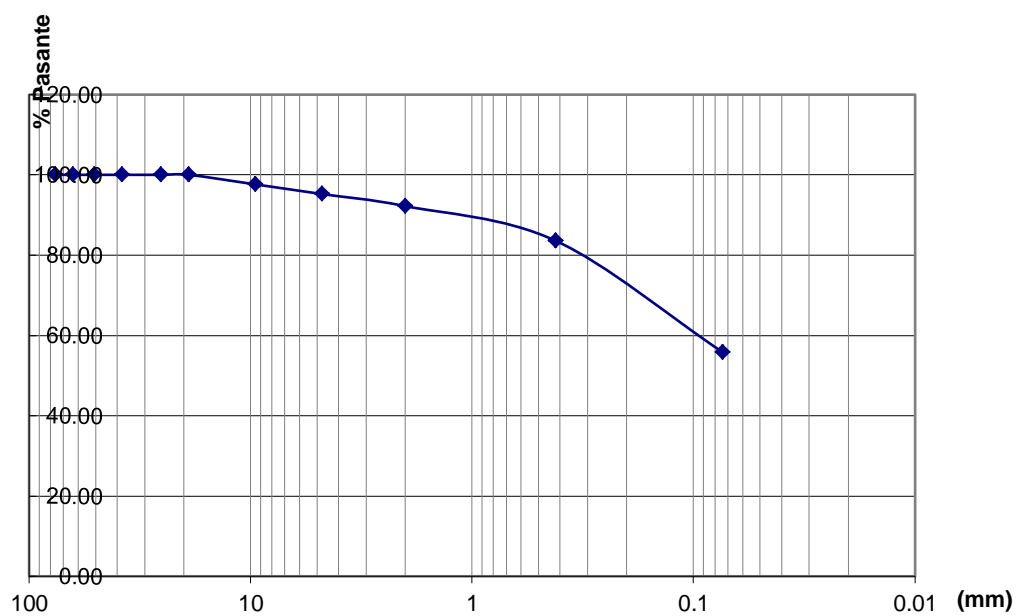


Figura 14. Curva granulométrica Calicata 4.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Una vez obtenidos los datos, de granulometría, de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, es posible realizar la clasificación de los suelos de cada una de estas calicatas, tanto por el sistema SUCS, como por el sistema AASHTO, siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.5.

En la Tabla 27 se muestra un resumen de la clasificación por cada uno de estos sistemas de las calicatas.

Tabla 27. Resumen de la clasificación de las calicatas 1, 2, 3 y 4

Calicata	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
1	SM (Arena limosa)	A4 (Suelo limoso)
2	SM – SC (Arena arcillosa – limosa)	A4 (Suelo limoso)
3	SC (Arena arcillosa)	A4-1 (Suelo limoso)
4	CL (Arcilla inorgánica de baja plasticidad)	A6-4 (Suelo arcilloso)

Fuente: El autor

Elaboración: El autor.

Posterior a la clasificación de suelos se realizaron los ensayos de compactación, tal como lo indican las normativas AASHTO T 180. Los resultados y gráficas de cada una de las compactaciones se muestran en el Anexo 3, en la Tabla 28 se muestra el resumen de los resultados obtenidos de estos ensayos

Tabla 28: Resumen de los resultados de los ensayos de compactación de las calicatas 1, 2, 3 y 4.

CALICATA	DENSIDAD SECA MÁXIMA (Kg/m3)	CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD
1	2.024	11.20%
2	2.175	8.59%
3	2.022	11.66%
4	2.053	10.95%

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Una vez conocidos los resultados de densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad fue posible realizar los ensayos de CBR de laboratorio según lo especificado por la norma AASHTO T 193.

Los resultados y desarrollo de los ensayos de CBR de laboratorio se muestran en el Anexo 4. La Tabla 29 es el resumen de los resultados obtenidos a partir de estos ensayos.

Tabla 29: Resumen de los resultados de los ensayos de CBR de laboratorio de las calicatas 1, 2, 3 y 4.

CALICATA	CBR
1	12%
2	17%
3	12%
4	7%

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Para completar el análisis de la subrasante se procedió a realizar ensayos de DCP (cono dinámico de penetración) en las 9 calicatas planteadas inicialmente. Este ensayo se lo realizó conforme se indica en la normativa ASTM D 6951 – 03.

Para obtener los valores de CBR a partir del ensayo DCP, se realizó un promedio entre los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones de Kleyn (1975), Kleyn y Heerden (1983) y Harrison (1983). El desarrollo y cálculo de cada uno de los ensayos de DCP se muestra en el Anexo 5, en la Tabla 30 se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 30: Resumen de los resultados de los ensayos de DCP.


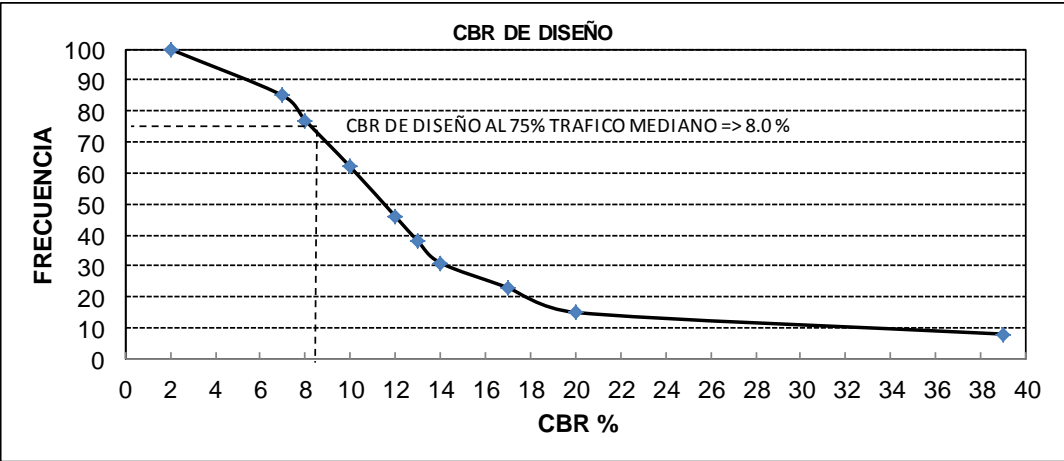
Calicata	CBR (Kleyn 1975)	CBR (Kleyn & Heerden 1983)	CBR (Harrison 1987)	CBR PROMEDIO
1	2.5	1.9	2.6	2
2	11	8.6	11.8	10
3	14	11.1	15.1	13
4	8.5	6.7	9.1	8
5	21.2	17	23.1	20
6	40.6	32.9	44.7	39
7	15.1	12	16.3	14
8	10.3	8.1	11	10
9	7	5.5	7.5	7

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Con los valores obtenidos en la tabla 30, e incluyendo los 4 valores de los CBR de laboratorio, indicados en la Tabla 29, se pudo determinar el CBR de diseño siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.7, los resultados se presentan en la Tabla 31.

Tabla 31: Obtención del CBR de diseño

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL																																																																						
CBR DE DISEÑO'																																																																						
PROYECTO: Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito																																																																						
OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE LOCALZ: EL CAPULÍ SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO FECHA: /ABRIL - AGOSTO/ 2015	PROFUND.: 1.5 m REALIZADO: M.G																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO</th> </tr> <tr> <th>Valores de CBR</th> <th># De Valores CBR >=</th> <th>FRECUENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>39</td><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>20</td><td>2</td><td>15</td></tr> <tr><td>17</td><td>3</td><td>23</td></tr> <tr><td>14</td><td>4</td><td>31</td></tr> <tr><td>13</td><td>5</td><td>38</td></tr> <tr><td>12</td><td>6</td><td>46</td></tr> <tr><td>12</td><td>6</td><td>46</td></tr> <tr><td>10</td><td>8</td><td>62</td></tr> <tr><td>10</td><td>8</td><td>62</td></tr> <tr><td>8</td><td>10</td><td>77</td></tr> <tr><td>7</td><td>11</td><td>85</td></tr> <tr><td>7</td><td>11</td><td>85</td></tr> <tr><td>2</td><td>13</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>	CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO			Valores de CBR	# De Valores CBR >=	FRECUENCIA	39	1	8	20	2	15	17	3	23	14	4	31	13	5	38	12	6	46	12	6	46	10	8	62	10	8	62	8	10	77	7	11	85	7	11	85	2	13	100	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Valores de la Gráfica</th> </tr> <tr> <th>CBR</th> <th>FRECUENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>39</td><td>8</td></tr> <tr><td>20</td><td>15</td></tr> <tr><td>17</td><td>23</td></tr> <tr><td>14</td><td>31</td></tr> <tr><td>13</td><td>38</td></tr> <tr><td>12</td><td>46</td></tr> <tr><td>10</td><td>62</td></tr> <tr><td>8</td><td>77</td></tr> <tr><td>7</td><td>85</td></tr> <tr><td>2</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>	Valores de la Gráfica		CBR	FRECUENCIA	39	8	20	15	17	23	14	31	13	38	12	46	10	62	8	77	7	85	2	100
CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO																																																																						
Valores de CBR	# De Valores CBR >=	FRECUENCIA																																																																				
39	1	8																																																																				
20	2	15																																																																				
17	3	23																																																																				
14	4	31																																																																				
13	5	38																																																																				
12	6	46																																																																				
12	6	46																																																																				
10	8	62																																																																				
10	8	62																																																																				
8	10	77																																																																				
7	11	85																																																																				
7	11	85																																																																				
2	13	100																																																																				
Valores de la Gráfica																																																																						
CBR	FRECUENCIA																																																																					
39	8																																																																					
20	15																																																																					
17	23																																																																					
14	31																																																																					
13	38																																																																					
12	46																																																																					
10	62																																																																					
8	77																																																																					
7	85																																																																					
2	100																																																																					
																																																																						
Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El CBR de diseño para un tráfico mediano es de 8%																																																																						

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Elaboración: El autor.

Con el CBR de diseño de **8%**, se emplea la tabla 6 para determinar el rango en el que se encuentra la capacidad de soporte de la subrasante, siendo en este caso el **rango S3**

3.1.2. Obtención del tránsito de diseño.

Para conocer el tránsito de diseño, fue necesario realizar conteos de vehículos que circulan por la vía Loja-Malacatos por su cercanía al área de estudio. Se escogió realizar el conteo durante un día domingo, ya que ese día hay mayor afluencia vehicular.

En la tabla 32 se detallan los resultados obtenidos del conteo vehicular así como la composición del tránsito

Tabla 32: Resultados del conteo vehicular en las zonas cercanas al proyecto.

Periodo	Taxis	Autos	Bus	Buseta	C-2P	C-2G	C-3-4	C-5	≥C6	Motos	Total livianos	Total pesados
7:15 – 7:30	7	24	6	1	0	0	0	0	0	1	31	7
7:30 – 7:45	6	30	3	0	0	0	0	0	1	0	36	4
7:45-8:00	3	27	3	1	1	0	0	0	0	1	30	5
8:00-8:15	6	39	2	1	2	0	4	0	0	0	45	9
8:15-8:30	1	36	4	2	1	1	4	0	0	1	37	12
8:30-8:45	8	42	4	1	1	1	7	0	0	0	50	14
8:45-9:00	6	44	3	0	1	0	8	0	0	0	50	12
9:00-9:15	6	51	3	2	0	0	0	0	0	0	57	5
9:15-9:30	7	72	4	1	0	3	3	0	0	1	79	11
9:30-9:45	5	66	4	2	3	2	1	0	0	0	71	12
9:45-10:00	9	90	4	0	0	0	0	0	0	1	99	4
10:00-10:15	7	72	1	0	1	0	1	0	0	0	79	3
10:15-10:30	8	68	6	1	0	2	0	0	0	1	76	9
10:30-10:45	11	102	5	2	1	0	2	0	0	0	113	10
10:45-11:00	8	85	4	1	3	1	1	0	0	0	93	10
11:00-11:15	5	98	5	0	1	1	2	0	0	0	103	9
11:15-11:30	11	102	2	2	1	0	3	0	0	3	113	8
11:30-11:45	13	94	8	4	0	0	2	0	0	2	107	14
11:45-12:00	10	96	3	0	0	0	2	0	0	2	106	5
12:00-12:15	11	88	3	2	1	0	3	0	1	1	99	10
12:15-12:30	6	96	3	0	0	0	0	0	0	3	102	3
12:30-12:45	16	111	4	0	0	0	3	0	0	2	127	7
12:45-13:00	7	94	4	1	0	1	0	0	1	3	101	7
13:00-13:15	3	111	4	0	1	1	0	0	1	2	114	7
13:15-13:30	9	106	3	1	3	0	0	0	0	1	115	7
13:30-13:45	9	80	3	3	0	2	0	0	0	2	89	8
13:45-14:00	7	91	4	2	4	1	0	0	1	1	98	12
14:00-14:15	8	93	3	3	2	2	1	0	0	2	101	11

14:15-14:30	10	102	4	2	0	1	0	0	0	3	112	7
14:30-14:45	9	101	4	2	2	1	2	0	0	1	110	11
14:45-15:00	7	100	3	2	0	2	2	0	0	0	107	9
15:00-15:15	5	138	6	2	0	0	7	0	1	1	143	16
15:15-15:30	9	115	2	1	0	0	3	0	0	0	124	6
15:30-15:45	9	96	4	2	1	3	2	0	0	1	105	12
15:45-16:00	4	113	2	1	1	1	0	0	0	2	117	5
16:00-16:15	3	80	4	3	0	2	0	0	0	0	83	9
16:15-16:30	6	91	4	5	3	0	0	0	1	0	97	13
16:30-16:45	5	97	4	3	1	1	1	0	0	0	102	10
16:45-17:00	4	102	5	2	2	3	4	1	0	2	106	17
17:00-17:15	3	93	3	1	0	1	0	0	0	1	96	5
17:15-17:30	6	107	4	2	3	2	2	0	0	3	113	13
17:30-17:45	5	115	5	4	0	3	0	1	0	1	120	13
17:45-18:00	7	122	5	3	3	1	4	0	0	2	129	16
TOTAL:											3985	397

TOTAL DE VEHÍCULOS DE LA MUESTRA:	4382
% DE VEHÍCULOS PESADOS:	9.06
% DE VEHÍCULOS LIVIANOS:	90.94

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

En la siguiente figura se muestra la variación del volumen de tránsito en función del tiempo en el área de estudio.

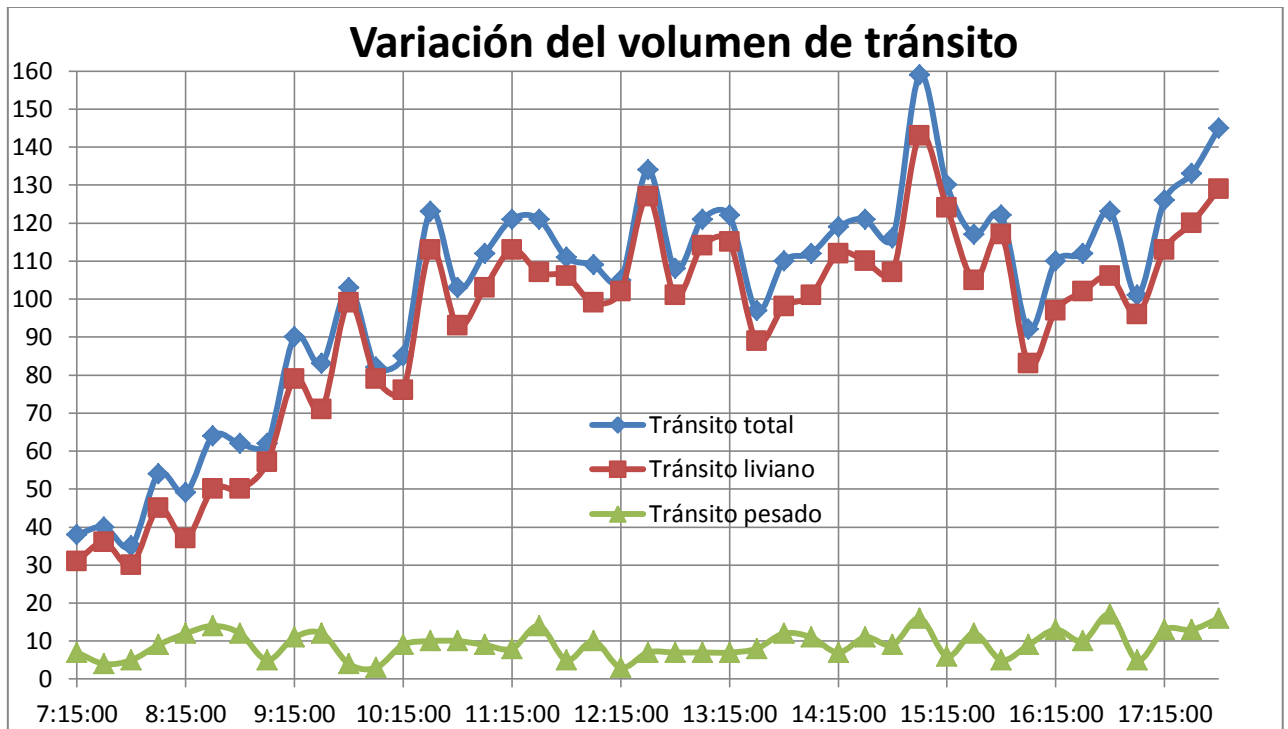


Figura 15: Variación de volumen de tránsito en la zona de estudio.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Conocida ya la composición vehicular, es necesario determinar el tránsito promedio diario anual (TPDA) de la vía en estudio, para así calcular la cantidad de vehículos pesados que se estimen circulen por la misma y finalmente obtener el número de ejes equivalentes, valor requerido para el diseño de una estructura de pavimento.

Para estimar dicho TPDA se procedió como se indica a continuación:

Se estima un promedio de 4 vehículos circulando diariamente por cada lote de la urbanización.

El número total de lotes en la urbanización es de 17

El tránsito existente (Te) sería:

$$Te = N^{\circ} \frac{\text{vehículos}}{\text{lote}} * N^{\circ} \text{ de lotes}$$

$$T_e = 4 * 17 = 68 \text{ veh\u00edculos}$$

El periodo de dise\u00f1o adoptado es de 10 a\u00f1os.

La tasa de crecimiento se la adoptar\u00e1 como 0%, ya que en las Figuras 5 y 6 del presente proyecto, que son las empleadas para la estimaci\u00f3n de los ejes equivalentes ya se incluye una tasa de crecimiento del 7%, entonces no ser\u00e1 necesario proyectar el tr\u00e1nsito, y se tomar\u00e1 al tr\u00e1nsito actual como tr\u00e1nsito proyectado.

Empleando la ecuaci\u00f3n 9 obtenemos el tr\u00e1nsito actual:

$$T_a = T_e * 1.25$$

$$T_a = 68 * 1.25 = 85 \text{ veh\u00edculos}$$

Como ya se indic\u00f3 se asumir\u00e1 al tr\u00e1nsito actual como el tr\u00e1nsito proyectado

$$T_p = T_a = 85 \text{ veh\u00edculos}$$

El tr\u00e1nsito desviado se lo determina con la ecuaci\u00f3n 10

$$T_d = 0.2 * T_p$$

$$T_d = 0.2 * 85 = 17 \text{ veh\u00edculos}$$

De igual forma el tr\u00e1nsito generado se lo determina con la ecuaci\u00f3n 11

$$T_g = 0.25 * T_p$$

$$T_g = 0.25 * 85 = 21 \text{ veh\u00edculos}$$

Para determinar el TPDA se utiliza la ecuaci\u00f3n 7

$$TPDA = T_p + T_d + T_g$$

$$TPDA = 85 + 17 + 21 = 123 \text{ veh\u00edculos}$$

Asumiendo que la misma distribuci\u00f3n del tr\u00e1nsito de la carretera Loja-Malacatos circular\u00e1 por la v\u00eda en an\u00e1lisis se tiene que el 90.96% del tr\u00e1nsito corresponde a tr\u00e1nsito liviano, mientras que el 9.04% corresponde a tr\u00e1nsito pesado. Con este porcentaje se puede estimar el n\u00famero de veh\u00edculos pesados que circular\u00e1n en la zona de estudio.

$$\text{Veh\u00edculos pesados por d\u00eda} = 9.04\% * 123 = 11 \text{ veh\u00edculos pesados}$$

3.1.2.1. Obtención de Ejes equivalentes de diseño.

La presente vía en estudio corresponde a un camino de estratigrafía liviana por cuanto tiene un porcentaje menor al 15% de camiones y buses, por lo que la determinación de los ejes equivalentes se emplea la Figura N° 5 del presente proyecto. El periodo de diseño escogido es de 10 años y la tasa de crecimiento escogida es del 7%.

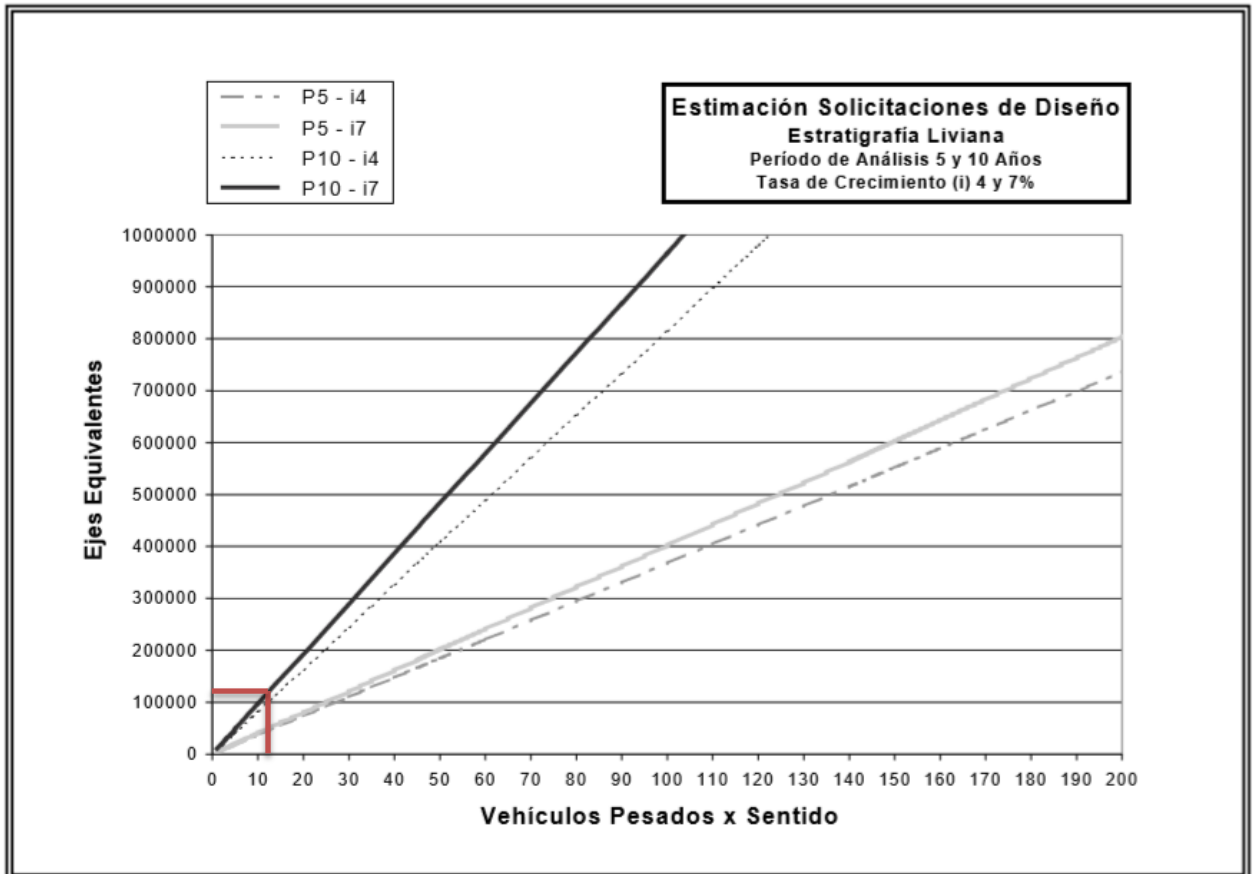


Figura 16: Determinación del número de ejes equivalentes.

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

En base al periodo de diseño, tasa de crecimiento y número de vehículos pesados por sentido se estima que **el número de ejes equivalentes para la vía en estudio es de 110000**, que la ubica en el **rango T0** según la Tabla 19.

3.2. Diseño de la estructura del pavimento

La normativa ecuatoriana de vialidad, no presenta un procedimiento específico para el diseño de pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito, simplemente menciona en forma general que se debe utilizar la metodología AASHTO 93, sin considerar el tipo de tránsito que tendrá la vía. Por esta razón a más del procedimiento recomendado por la normativa ecuatoriana, se emplearán procedimientos propios para vías de bajo volumen de tránsito, propuestos por países con condiciones similares a las nuestras: Chile y Colombia.

3.2.1. Diseño mediante metodología para pavimentos de bajo volumen de tránsito de la Universidad Católica de Chile.

La Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile en su Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito, plantea la utilización de 10 cartillas de diseño, las cuales se las debe escoger en base a los parámetros de diseño de la vía en estudio.

En el presente caso el clima que afecta la zona de estudio es del tipo normal, la clasificación del tránsito es T0 y la capacidad de soporte de la subrasante es de tipo S3.

Cuando el tránsito es liviano, es decir T0 (menor a 150000 ejes equivalentes de carga) la guía ofrece un solo tipo de estructuración dependiendo únicamente del clima, esta estructuración se muestra en la Tabla 33

Tabla 33. Selección de la cartilla de diseño para tránsito liviano (T0)

	ESTRUCTURA TIPO			
CLIMA	1	2	3	4
Seco	Cartilla Nº 1	Cartilla Nº 1	Cartilla Nº 1	Cartilla Nº 1
Normal	Cartilla Nº2	Cartilla Nº2	Cartilla Nº2	Cartilla Nº2
Saturado	Cartilla Nº3	Cartilla Nº3	Cartilla Nº3	Cartilla Nº3

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

Cuando el tránsito es mayor a 150000 ejes equivalentes de carga, la guía ofrece 4 estructuras, dependiendo del tipo de tránsito como se muestra en la Tabla 34

Tabla 34. Selección de la cartilla de diseño para tránsito pesado.

CLIMA	ESTRUCTURA TIPO			
	1	2	3	4
Seco	Cartilla N° 4	Cartilla N° 4	Cartilla N° 4	Cartilla N° 4
Normal	Cartilla N°5	Cartilla N°7	Cartilla N°9	Cartilla N°10
Saturado	Cartilla N°6	Cartilla N°8	Cartilla N°9	Cartilla N°10

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

Cada una de estas cartillas se presentará como anexo 6 en el capítulo 5 del presente proyecto.

Para el presente caso por tratarse de un clima normal, con un tránsito de diseño liviano (T0), **la cartilla a emplearse es la N°2** que se la detalla en la imagen que se presenta a continuación:

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T0 (Hasta 150.000 Ejes Equivalentes)	
	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)	/	
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)	18 12 (*)	16 14 (*)
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)	17 17	16 18
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	15 15	14 16
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	14 12	12 14
Suelo S6 (CBR > 20%)	20	12 12

GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE

CARTILLA Nº2

TRÁNSITO LIVIANO CLIMA NORMAL
Estructuras Granulares con
Capa de Protección

SIMBOLOGIA

~~~~~ Capa de Protección

■ Base Granular CBR 100%

▨ Subbase Granular CBR 50%

▩ Subbase Granular CBR 40%

Figura 17. Cartilla de diseño N° 2.

Fuente: Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito.

Elaboración: El autor.

En este caso para una capacidad de soporte de la subrasante de rango S3 la cartilla presenta 2 opciones:

### **OPCIÓN 1:**

**Capa de protección**

**Base granular (CBR= 100%) de 17 cm de espesor**

**Subbase granular (CBR= 40%) de 17 cm de espesor**

## OPCIÓN 2:

Capa de protección

Base granular (CBR = 100%) de 16 cm de espesor

Subbase granular (CBR = 50%) de 18 cm de espesor

### 3.2.2. Diseño según el método de la Universidad Nacional de Colombia.

Como primer parámetro de diseño se tiene, que el número de vehículos comerciales que se estima que circulen por la vía es de 11 vehículos pesados por día. Según la Tabla 23 de la sección 2.10, la guía de la Universidad Nacional de Colombia, categoriza a la vía en estudio como una vía del tipo **T1-1**.

El siguiente parámetro de diseño es la capacidad portante equivalente, que según la guía de diseño de la Universidad Nacional de Colombia, se clasifica en base a la Tabla 24 de la sección 2.10. Al tener un CBR de diseño de la vía de estudio del 8%, se cataloga a la presente vía con una capacidad portante equivalente **CPE4**.

Finalmente con estos parámetros se emplea la cartilla de diseño correspondiente para obtener el diseño de la estructura de pavimento.

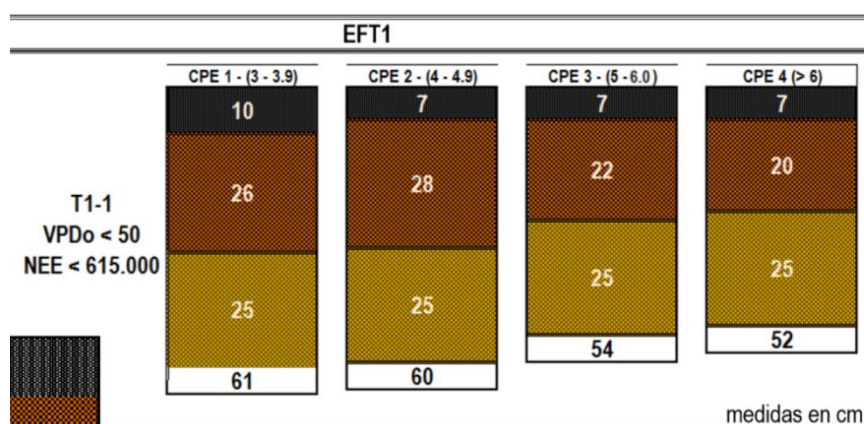


Figura 18. Cartilla de diseño para vías tipo T1-1 de la guía de diseño de la Universidad Nacional de Colombia.

Fuente: Guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito de la Universidad Nacional de Colombia.

Elaboración: El autor.

Para el presente caso el diseño obtenido con esta cartilla de diseño es el siguiente:

**Capa asfáltica de 7 cm de espesor**

**Capa de base granular de 20 cm de espesor**

**Capa de subbase granular de 25 cm de espesor**

### **3.2.3. Diseño según la metodología AASHTO 93.**

Para el diseño con esta metodología se empleó los siguientes parámetros de diseño, según lo indicado en la sección 2.9.

Periodo de diseño: 10 años

Tránsito de diseño: 110000 ejes equivalentes de 8.2 ton, conforme a lo obtenido anteriormente.

Serviciabilidad: inicial de 4.2 y final de 2

Confiabilidad: 70%

Desviación estándar: 0.44

Módulo resiliente: Se obtiene aplicando la ecuación 14:

$$MR = CBR * 1500$$

$$MR = 8\% * 1500 = 12000 \text{ psi}$$

Coefficiente de drenaje para la capa de rodadura: 1

Coefficiente de drenaje para las capas inferiores: 0.90

Coefficiente de capa a1: 0.44

Coefficiente de capa a2: 0.139

Coefficiente de capa a3: 0.107

Con todos estos parámetros de diseño y con el nomograma de la guía de diseño de la AASHTO 93, se obtienen los siguientes resultados:



**SN necesario: 1.74**

**SN obtenido: 1.82**

**Capa de concreto asfáltico de 3 pulg (7.5 cm) de espesor**

**Capa de base granular con CBR= 100% de 4 pulg (10 cm) de espesor**

### **3.2.4. Presupuesto para cada metodología de diseño.**

Para realizar la comparación de presupuestos de cada opción de diseño se tomó como consideración el diseño para 1 Km de vía, con un ancho de 9 m. Además una profundidad de limpieza y desbroce de la vía de 20 cm. Considerando un porcentaje de esponjamiento del 20% del material, y una distancia para el transporte de materiales de excavación de 20 Km.

Para la primera opción de diseño con la metodología de la Universidad Católica de Chile se presenta el presupuesto indicado en la tabla 35.

Tabla 35. Presupuesto para la primera opción de diseño de la Universidad Católica de Chile.

| <b>CÓDIGO</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                           | <b>UNIDAD</b>      | <b>CANTIDAD</b> | <b>PRECIO UNITARIO</b> | <b>PRECIO TOTAL</b> |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| 2894          | Desbroce y limpieza a máquina                                                | m3                 | 2160            | 0.73255                | 1582.308            |
| 2920          | Reconformación subrasante                                                    | m2                 | 9000            | 0.3887                 | 3498.3              |
| 2895          | Replanteo y nivelación en vías con colocación laterales                      | km                 | 1               | 2447.7221              | 2447.7221           |
| 3044          | Transporte de materiales de excavación (transporte libre 500m)               | m <sup>3</sup> -km | 43200           | 0.3519                 | 15202.08            |
| 3136          | Base clase 1a                                                                | m3                 | 1530            | 22.89305               | 35026.3665          |
| 3193          | Sub-base clase 1                                                             | m3                 | 1530            | 10.6421                | 16282.413           |
| 3157          | Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio e=2.50 cm           | m2                 | 9000            | 5.6189                 | 50570.1             |
| 2128          | Cunetas laterales h.s. 210 kg/cm2, incluye bordillo h=0.50, bm=0.15, bm=0.30 | m                  | 2000            | 26.75245               | 53504.9             |
| 3038          | Excavacion y relleno para cunetas laterales_                                 | m3                 | 225             | 1.72385                | 387.86625           |
|               |                                                                              |                    |                 | <b>Total \$</b>        | <b>178502.06</b>    |

PRECIO TOTAL DE LA OFERTA: CIENTO SETENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS DOS dólares con SEIS centavos

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

El desglose de los precios unitarios de cada rubro se presenta como Anexo 7.

Para la segunda opción de diseño con la metodología de la Universidad Católica de Chile se presenta el presupuesto detallado en la Tabla 36.

Tabla 36. Presupuesto para la segunda opción de diseño de la Universidad Católica de Chile.

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                                                                               | UNIDAD             | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------------|------------------|
| 2894   | Desbroce y limpieza a máquina                                                             | m3                 | 2160     | 0.73255         | 1582.308         |
| 2920   | Reconformación subrasante                                                                 | m2                 | 9000     | 0.3887          | 3498.3           |
| 2895   | Replanteo y nivelación en vías con colocación laterales                                   | km                 | 1        | 2447.7221       | 2447.7221        |
| 3044   | Transporte de materiales de excavación (transporte libre 500m)                            | m <sup>3</sup> -km | 43200    | 0.3519          | 15202.08         |
| 3136   | Base clase 1a                                                                             | m3                 | 1440     | 22.89305        | 32965.992        |
| 3193   | Sub-base clase 1                                                                          | m3                 | 1620     | 10.6421         | 17240.202        |
| 3157   | Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio e=2.50 cm                        | m2                 | 9000     | 5.6189          | 50570.1          |
| 2128   | Cunetas laterales h.s. 210 kg/cm <sup>2</sup> , incluye bordillo h=0.50, bm=0.15, bm=0.30 | m                  | 2000     | 26.75245        | 53504.9          |
| 3038   | Excavacion y relleno para cunetas laterales                                               | m3                 | 225      | 1.72385         | 387.86625        |
|        |                                                                                           |                    |          | <b>Total \$</b> | <b>177399.47</b> |

PRECIO TOTAL DE LA OFERTA: CIENTO SETENTA Y SIETE MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y NUEVE dólares con CUARENTA Y SIETE centavos

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Para la tercera opción de diseño, empleando la metodología de diseño de la Universidad Nacional de Colombia, el presupuesto calculado es el que se detalla en la Tabla 38.

Tabla 38. Presupuesto para la opción de diseño de la Universidad Nacional de Colombia

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                                                                  | UNIDAD             | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------------|------------------|
| 2894   | Desbroce y limpieza a máquina                                                | m3                 | 2160     | 0.73255         | 1582.308         |
| 2920   | Reconformación subrasante                                                    | m2                 | 9000     | 0.3887          | 3498.3           |
| 2895   | Replanteo y nivelación en vías con colocación laterales                      | Km                 | 1        | 2447.7221       | 2447.7221        |
| 3044   | Transporte de materiales de excavación (transporte libre 500m)               | m <sup>3</sup> -km | 43200    | 0.3519          | 15202.08         |
| 3136   | Base clase 1a                                                                | m3                 | 1800     | 22.89305        | 41207.49         |
| 1452   | Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado_                             | m3                 | 675      | 185.61345       | 125289.0788      |
| 2128   | Cunetas laterales h.s. 210 kg/cm2, incluye bordillo h=0.50, bm=0.15, bm=0.30 | M                  | 2000     | 26.75245        | 53504.9          |
| 3038   | Excavación y relleno para cunetas laterales_                                 | m3                 | 630      | 1.72385         | 1086.0255        |
| 2921   | Subbase clase 3 e = 25 cm                                                    | m3                 | 2250     | 15.86655        | 35699.7375       |
|        |                                                                              |                    |          | <b>Total \$</b> | <b>279517.64</b> |

PRECIO TOTAL DE LA OFERTA: DOSCIENTOS SETENTA Y NUEVE MIL QUINIENTOS DIECISIETE dólares con SESENTA Y CUATRO centavos

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Para la cuarta opción de diseño, empleando la metodología AASHTO 93, el presupuesto calculado es el que se detalla en la Tabla 37.

Tabla 37. Presupuesto para la opción de diseño de la Guía AASHTO 93.

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                                                                  | UNIDAD             | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------------|---------------|
| 2894   | Desbroce y limpieza a máquina                                                | m3                 | 2160     | 0.73255         | 1582.308      |
| 2920   | Reconformación subrasante                                                    | m2                 | 9000     | 0.3887          | 3498.3        |
| 2895   | Replanteo y nivelación en vías con colocación laterales                      | Km                 | 1        | 2447.7221       | 2447.7221     |
| 3044   | Transporte de materiales de excavación (transporte libre 500m)               | m <sup>3</sup> -km | 43200    | 0.3519          | 15202.08      |
| 3136   | Base clase 1a                                                                | m3                 | 900      | 22.89305        | 20603.745     |
| 1452   | Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado_                             | m3                 | 675      | 185.61345       | 125289.0788   |
| 2128   | Cunetas laterales h.s. 210 kg/cm2, incluye bordillo h=0.50, bm=0.15, bm=0.30 | M                  | 2000     | 26.75245        | 53504.9       |
| 3038   | Excavación y relleno para cunetas laterales_                                 | m3                 | 225      | 1.72385         | 387.86625     |
|        |                                                                              |                    |          | <b>Total \$</b> | <b>222516</b> |

PRECIO TOTAL DE LA OFERTA: DOSCIENTOS VEINTE Y DOS MIL QUINIENTOS DIECISÉIS dólares

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Tabla 39. Cuadro resumen de espesores de diseño y presupuestos.

| Opción de Diseño                                          | Espesor de Subbase | Espesor de Base | Espesor de carpeta asfáltica | Costo por Km  |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------------|---------------|
| Metodología de la Universidad Católica de Chile, opción 1 | 17 cm              | 17 cm           | 2.5 cm                       | \$ 178,502.06 |
| Metodología de la Universidad Católica de Chile, opción 2 | 18 cm              | 16 cm           | 2.5 cm                       | \$ 177,399.47 |
| Metodología AASHTO 93                                     | N/A                | 10 cm           | 7.5 cm                       | \$ 222,516    |
| Metodología de la Universidad Nacional de Colombia        | 25 cm              | 20 cm           | 7 cm                         | \$ 279,517.64 |

Fuente: El Autor.

Elaboración: El autor.

Considerando que la opciones 1 y 2 de diseño de la Universidad Católica de Chile son muy similares en espesores y costos, se seleccionará la opción 1 como diseño para la presente vía, cuya sección transversal se presenta en la figura 19



Figura 19. Sección transversal del diseño de la estructura de pavimento.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

## CONCLUSIONES

- El procedimiento de diseño detallado es una manera adecuada, técnica y sencilla para el diseño de estructuras de pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito.
- Esta metodología se puede aplicar a cualquier tipo de vía que tenga hasta un máximo de 1 millón de ejes equivalentes de 8.2 ton de carga.
- Los resultados obtenidos del diseño cumplen con las especificaciones técnicas propuestas en la normativa NEVI 12, que rigen las estructuras de vialidad en nuestro país.
- El diseño propuesto por la Universidad Católica de Chile, por sus principios de diseño y por tomar en consideración un gran número de variables, optimiza los materiales existentes, sin sobredimensionar las estructuras, por lo que es el más económico.
- El procedimiento de diseño de la Normativa AASHTO 93, no considera a los pavimentos de bajo volumen de tránsito, ya que solo permite realizar diseños generales para cualquier tipo de estructura.
- El procedimiento de diseño de la Normativa AASHTO 93, parte desde la capa superior, hacia las interiores, por esta razón siendo el concreto asfáltico de un precio elevado en comparación con las capas internas de la estructura, eleva el costo general del diseño.
- La metodología de diseño planteada por la Universidad Nacional de Colombia para vías de bajo volumen de tránsito, es muy general, por eso toman factores de seguridad muy altos lo que sobredimensionan las estructuras.

## RECOMENDACIONES

- En futuras investigaciones plantear una guía de diseño para vías de bajo volumen de tránsito con características propias para Ecuador.
- Para el cálculo del tránsito de diseño, es necesario tomar en consideración que en las gráficas para la determinación del número de ejes equivalentes ya se plantea una tasa de crecimiento del 4 o del 7%, es por eso que el TPDA no debe calcularse proyectándolo para el periodo de diseño, sino asumir el tránsito actual como tránsito proyectado.
- Para el diseño de estructuras de pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito se recomienda la utilización de procedimientos como el descrito en este trabajo, para de esta manera garantizar el periodo de vida útil de la estructura y evitar posibles sub o sobre estimaciones de la misma.
- Para la obtención del CBR de diseño es conveniente realizar ensayos tanto de laboratorio con in situ para de esta manera poder correlacionar los resultados obtenidos.
- Se recomienda analizar nuevos procedimientos que de igual manera garanticen el diseño de estructuras de pavimentos en vías con bajos volúmenes de tránsito.

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Guía de diseño de pavimentos*.
- AASHTO. (2000). *Classification of Soil and Soil - Aggregate Mixtures For Highway Construction Purposes AASHTO M - 145 - 91*. California.
- ASTM. (2003). *Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos*. West Conshohocken.
- Das, B. M. (2006). *Principios de ingeniería de cimentaciones. Quinta Edición*. California: Cengage Learning.
- F, A. M. (s.f.). *Diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito*. Santa Fe de Bogotá: Instituto Nacional de Vías .
- Fonseca, A. M. (2008). *Ingeniería de Pavimentos, estudios básicos y diseño*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Guillermo Thenoux Z, Felipe Halles A, Álvaro Gonzáles V. (2002). *Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2004). *Conceptos Mecanicistas en Pavimentos*. Ciudad de México: Sanfandila.
- Lizcano, F. A. (2009). *Diseño racional de Pavimentos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Macchia, J. L. (2011). *Cómputos, costos y presupuestos*. Bogotá: Nobuko S.A.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito: MOP.
- Dirección general de caminos y ferrocarriles de Perú, M. d. (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima.
- Sandoval, C. H. (2010). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2014). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito.
- Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Cartilla guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito y vías locales para la ciudad de Bogotá D.C*. Bogotá.
- V, J. M. (1985). *Manual de pavimentos*. Continental.
- Villalaz, C. C. (2011). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México DF: Limusa.

## **ANEXOS**



# ANEXO 1. LÍMITES LÍQUIDO, PLÁSTICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL



## DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

### ENSAYOS DE LÍMITES LÍQUIDO, PLÁSTICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

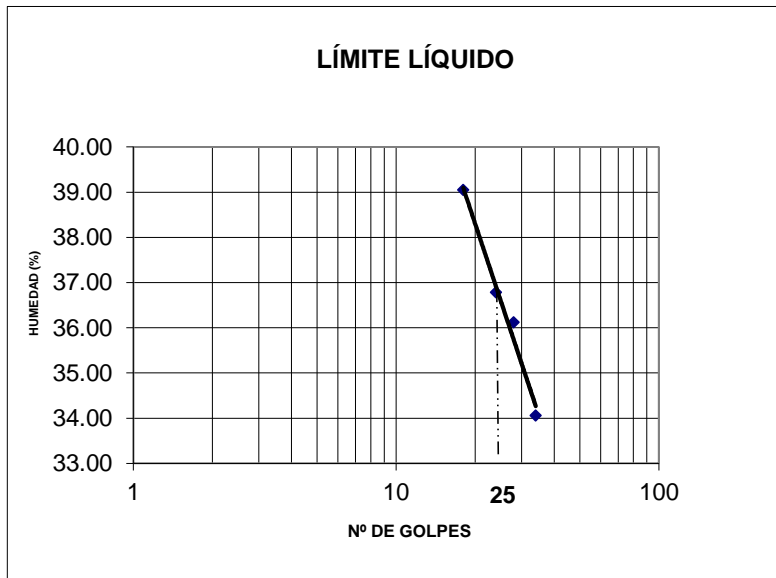
PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
 LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
 SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO  
 FECHA: /ABRIL - AGOSTO/ 2015

NORMA : ASTM D 4318, AASHTO T-27  
 CALICATA: 1  
 PROFUNDIDAD: 1.5 m  
 REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO

| Nº DE CAIDAS         | LIMITE LIQUIDO |       |       |       | LIMITE PLASTICO |       |       | CONTENIDO HUMEDAD NATURAL |        |        |
|----------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|---------------------------|--------|--------|
|                      | 18             | 24    | 28    | 34    | 41              | MY2   | J6    | 605.6                     | V1     | 602.3  |
| Nº DE CAPSULA        | J.A.6          | JB10  | J9    | JB8   | 41              | MY2   | J6    | 605.6                     | V1     | 602.3  |
| W <sub>Th</sub> , gr | 60.82          | 68.62 | 61.3  | 67.29 | 55.61           | 56.41 | 62.44 | 412.94                    | 399.03 | 423.25 |
| W <sub>Ts</sub> , gr | 58.52          | 66.63 | 58.75 | 64.78 | 55.4            | 56.2  | 62.17 | 358.3                     | 348.58 | 369.75 |
| W CAPSULA            | 52.63          | 61.22 | 51.69 | 57.41 | 54.71           | 55.48 | 61.28 | 64.46                     | 66.65  | 67.1   |
| W ω                  | 2.3            | 1.99  | 2.55  | 2.51  | 0.21            | 0.21  | 0.27  | 54.64                     | 50.45  | 53.5   |
| W SECO , gr          | 5.89           | 5.41  | 7.06  | 7.37  | 0.69            | 0.72  | 0.89  | 293.84                    | 281.93 | 302.65 |
| ω , (%)              | 39.05          | 36.78 | 36.12 | 34.06 | 30.43           | 29.17 | 30.34 | 18.60                     | 17.89  | 17.68  |

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>LL: 36.8</b> | <b>LP: 30.0</b> |
| <b>IP: 6.8</b>  | <b>CH: 18.1</b> |



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL**

**ENSAYOS DE LÍMITES LÍQUIDO, PLÁSTICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

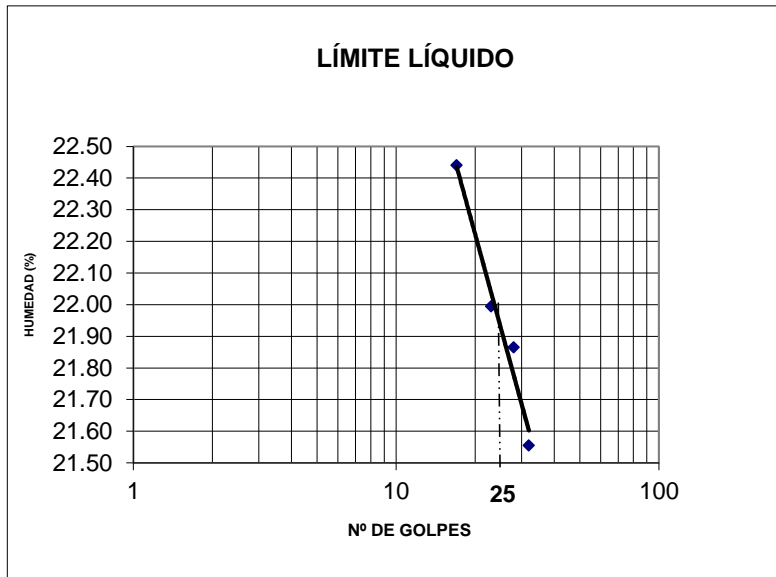
PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
 LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
 SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO  
 FECHA: /ABRIL - AGOSTO/ 2015

NORMA : ASTM D 4318, AASHTO T-27  
 CALICATA: 2  
 PROFUNDIDAD: 1.5 m  
 REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO

| Nº DE CAIDAS   | LÍMITE LIQUIDO |       |       |       | LÍMITE PLASTICO |       |       | CONTENIDO HUMEDAD NATURAL |        |        |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|---------------------------|--------|--------|
|                | 17             | 23    | 28    | 32    | 14              | A1    | I10   | 5                         | G16    | S19    |
| Nº DE CAPSULA  | D80            | B8    | MY5   | A4    | 14              | A1    | I10   | 5                         | G16    | S19    |
| WTh , gr       | 80.16          | 77.84 | 65.45 | 64.58 | 61.88           | 50.25 | 58.89 | 460.03                    | 444.97 | 434.8  |
| WTs , gr       | 77.07          | 75.59 | 63.55 | 62.5  | 61.77           | 50.15 | 58.77 | 424.46                    | 411.06 | 401.77 |
| W CAPSULA      | 63.3           | 65.36 | 54.86 | 52.85 | 61.09           | 49.53 | 58.03 | 67.84                     | 72.06  | 72.47  |
| W $\omega$     | 3.09           | 2.25  | 1.9   | 2.08  | 0.11            | 0.1   | 0.12  | 35.57                     | 33.91  | 33.03  |
| W SECO , gr    | 13.77          | 10.23 | 8.69  | 9.65  | 0.68            | 0.62  | 0.74  | 356.62                    | 339    | 329.3  |
| $\omega$ , (%) | 22.44          | 21.99 | 21.86 | 21.55 | 16.18           | 16.13 | 16.22 | 9.97                      | 10.00  | 10.03  |

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>LL:</b> 21.9 | <b>LP:</b> 16.2 |
| <b>IP:</b> 5.7  | <b>CH:</b> 10.0 |



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYOS DE LÍMITES LÍQUIDO, PLÁSTICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

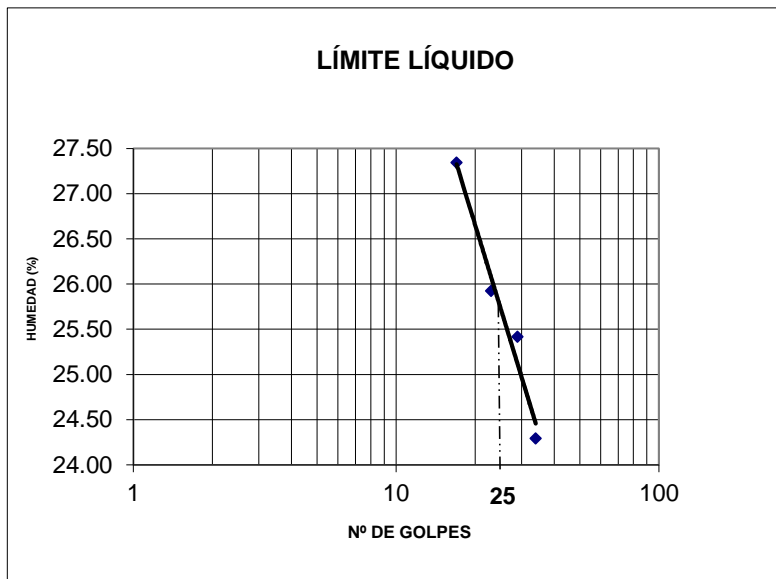
PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA: /ABRIL - AGOSTO/ 2015

NORMA : ASTM D 4318, AASHTO T-27  
CALICATA: 3  
PROFUNDIDAD: 1.5 m  
REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO

| Nº DE CAIDAS   | LIMITE LIQUIDO |       |       |       | LIMITE PLASTICO |       |       | CONTENIDO HUMEDAD NATURAL |        |        |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|---------------------------|--------|--------|
|                | 17             | 23    | 29    | 34    | I2              | I3    | J3    | G2                        | G10    | 3      |
| Nº DE CAPSULA  | G2             | MS17  | MS11  | I9    | I2              | I3    | J3    | G2                        | G10    | 3      |
| WTh , gr       | 70.84          | 78.12 | 69.71 | 70.2  | 71.07           | 57.21 | 51.88 | 367.68                    | 354.11 | 385.76 |
| WTs , gr       | 69             | 76.15 | 67.72 | 68.15 | 70.88           | 57.13 | 51.79 | 317.11                    | 305.49 | 336.77 |
| W CAPSULA      | 62.27          | 68.55 | 59.89 | 59.71 | 69.83           | 56.72 | 51.27 | 62.31                     | 61.48  | 64.1   |
| W $\omega$     | 1.84           | 1.97  | 1.99  | 2.05  | 0.19            | 0.08  | 0.09  | 50.57                     | 48.62  | 48.99  |
| W SECO , gr    | 6.73           | 7.6   | 7.83  | 8.44  | 1.05            | 0.41  | 0.52  | 254.8                     | 244.01 | 272.67 |
| $\omega$ , (%) | 27.34          | 25.92 | 25.42 | 24.29 | 18.10           | 19.51 | 17.31 | 19.85                     | 19.93  | 17.97  |

|          |          |
|----------|----------|
| LL: 25.9 | LP: 17.7 |
| IP: 8.2  | CH: 19.2 |



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL**

**ENSAYOS DE LÍMITES LÍQUIDO, PLÁSTICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

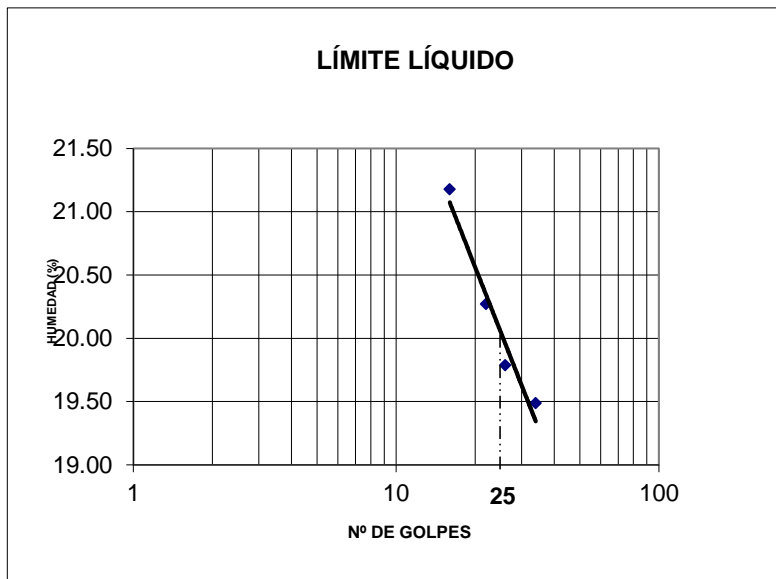
PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA: /ABRIL - AGOSTO/ 2015

NORMA : ASTM D 4318, AASHTO T-27  
CALICATA: 3  
PROFUNDIDAD: 1.5 m  
REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO

| Nº DE CAIDAS   | LIMITE LIQUIDO |       |       |       | LIMITE PLASTICO |       |       | CONTENIDO HUMEDAD NATURAL |        |        |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|---------------------------|--------|--------|
|                | 16             | 22    | 26    | 34    | O4              | G3B3  | JB1   | G.2.9                     | G3B3   | GO4.3  |
| Nº DE CAPSULA  | MY12           | J2    | R2    | S19   | O4              | G3B3  | JB1   | G.2.9                     | G3B3   | GO4.3  |
| WTh , gr       | 69.71          | 67.29 | 76.4  | 81.31 | 77.36           | 71.32 | 55.67 | 373.09                    | 357.15 | 380.51 |
| WTs , gr       | 68.09          | 65.79 | 74.74 | 79.87 | 77.34           | 71.29 | 55.66 | 325.98                    | 314.48 | 332.84 |
| W CAPSULA      | 60.44          | 58.39 | 66.35 | 72.48 | 76.84           | 70.64 | 55.45 | 66.12                     | 70.64  | 69.31  |
| W $\omega$     | 1.62           | 1.5   | 1.66  | 1.44  | 0.02            | 0.03  | 0.01  | 47.11                     | 42.67  | 47.67  |
| W SECO , gr    | 7.65           | 7.4   | 8.39  | 7.39  | 0.5             | 0.65  | 0.21  | 259.86                    | 243.84 | 263.53 |
| $\omega$ , (%) | 21.18          | 20.27 | 19.79 | 19.49 | 4.00            | 4.62  | 4.76  | 18.13                     | 17.50  | 18.09  |


**LL: 20.2      LP: 4.5**  
**IP: 15.7      CH: 17.9**



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA

## ANEXO 2. GRANULOMETRÍAS

|  <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL</b><br><b>LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL</b> |                 |                                |                        |                             |                |                 |            |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------|------------|--------|
| <b>PROYECTO:</b> Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito                                                                   |                 |                                |                        |                             |                |                 |            |        |
| <b>UBICACIÓN:</b> Sector El Capulí                                                                                                                                                               |                 |                                |                        |                             |                |                 |            |        |
| <b>RESPONSABLE:</b> Ing. Soledad Segarra                                                                                                                                                         |                 |                                |                        |                             |                |                 |            |        |
| <b>PERFORACIÓN:</b> 1.5 m CALICATA Nº 1                                                                                                                                                          |                 |                                |                        |                             |                |                 |            |        |
| <b>TESISTA:</b> Marco Guerra                                                                                                                                                                     |                 |                                |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | Desing. del Tamiz US           | A<br>Peso Retenido gr, | A<br>Peso Retenido gr, REAL | B %<br>Pasante | % Mas<br>Gruoso | % Mas Fino |        |
| TAMIZADO USANDO EL P.T.M.                                                                                                                                                                        | PIEDRA O CANTOS | 4                              | 0                      |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | 3                              | 0.00                   | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 100.00     |        |
|                                                                                                                                                                                                  | GRAVA           | GRUESA                         | 2 1/2                  | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | 2                      | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | 1 1/2                  | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | 1                      | 42.60                       | 42.60          | 1.29            | 1.29       | 98.71  |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | 3/4                    | 47.72                       | 47.72          | 1.44            | 2.73       | 97.27  |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | FINA                           | 1/2                    | 95.82                       | 95.82          | 2.90            | 5.62       | 94.38  |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | 3/8                    | 73.59                       | 73.59          | 2.22            | 7.85       | 92.15  |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | 1/4                    |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | Nº 4                   | 199.43                      | 199.43         | 6.03            | 13.87      | 86.13  |
| TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR Q' P.T.M.                                                                                                                                                            | ARENA           | GRUESA                         | Nº 8                   |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | Nº 10                  | 237.79                      | 237.79         | 7.19            | 21.06      | 78.94  |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | MEDIA                          | Nº 16                  |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | Nº 20                  |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 |                                | Nº 30                  |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  | FINA            | Nº 40                          | 327.02                 | 327.02                      | 9.88           | 30.94           | 69.06      |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | Nº 50                          |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | Nº 60                          |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | Nº 80                          |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | Nº 100                         |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | Nº 200                         | 1042.01                | 1042.01                     | 31.49          | 62.43           | 37.57      |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                 | P Nº 200                       | 1243.31                | 1243.31                     | 37.57          | 100.00          | 0.00       |        |
| Ing. María Soledad Segarra M.<br>DIRECTORA DE TESIS                                                                                                                                              |                 | Marco Guerra Castro<br>TESISTA |                        |                             |                |                 |            |        |



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTP**

PROYECTO: Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

UBICACIÓN: Sector El Capulí

RESPONSABLE: Ing. Soledad Segarra

PERFORACIÓN: 1.5 m CALICATA Nº 2

TESISTA: Marco Guerra

|                           |                 | Desing. del Tamiz US | A<br>Peso Retenido<br>gr, | A<br>Peso Retenido<br>gr, REAL | B %<br>Pasante | % Mas<br>Grueso | % Mas Fino |        |
|---------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|------------|--------|
| TAMIZADO USANDO EL P.T.M. | PIEDRA O CANTOS | 4                    | 0                         |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | 3                    | 0.00                      | 0.00                           | 0.00           | 0.00            | 100.00     |        |
|                           | GRAVA           | GRUESA               | 2 1/2                     | 0.00                           | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                           |                 |                      | 2                         | 0.00                           | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                           |                 |                      | 1 1/2                     | 0.00                           | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                           |                 |                      | 1                         | 0.00                           | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                           |                 |                      | 3/4                       | 34.22                          | 34.22          | 1.04            | 1.04       | 98.96  |
|                           |                 |                      | 1/2                       | 89.99                          | 89.99          | 2.73            | 3.76       | 96.24  |
|                           |                 | FINA                 | 3/8                       | 118.87                         | 118.87         | 3.60            | 7.36       | 92.64  |
|                           |                 |                      | 1/4                       |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 |                      | Nº 4                      | 373.15                         | 373.15         | 11.30           | 18.67      | 81.33  |
|                           |                 |                      |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           | ARENAS          | GRUESA               | Nº 8                      |                                |                |                 |            |        |
| Nº 10                     |                 |                      | 407.70                    | 407.70                         | 12.35          | 31.02           | 68.98      |        |
| MEDIA                     |                 | Nº 16                |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | Nº 20                |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | Nº 30                |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | Nº 40                | 391.00                    | 391.00                         | 11.85          | 42.87           | 57.13      |        |
|                           |                 | Nº 50                |                           |                                |                |                 |            |        |
| FINA                      |                 | Nº 60                |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | Nº 80                |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | Nº 100               |                           |                                |                |                 |            |        |
|                           |                 | Nº 200               | 664.80                    | 664.80                         | 20.14          | 63.01           | 36.99      |        |
| P Nº 200                  |                 | 1221.1               | 1221.10                   | 36.99                          | 100.00         | 0.00            |            |        |

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO: Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

UBICACIÓN: Sector El Capulí

RESPONSABLE: Ing. Soledad Segarra

PERFORACIÓN: 1.5 m CALICATA Nº 3

TESISTA: Marco Guerra

|                                       |                 | Desing. del Tamiz US | A<br>Peso Retenido gr, | A<br>Peso Retenido gr, REAL | B %<br>Pasante | % Mas<br>Gruoso | % Mas Fino |        |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------|------------|--------|
| TAMIZADO USANDO EL P.T.M.             | PIEDRA O CANTOS | 4                    | 0                      |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 | 3                    | 0.00                   | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 100.00     |        |
|                                       | GRAVA           | GRUESA               | 2 1/2                  | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 2                      | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 1 1/2                  | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 1                      | 0.00                        | 0.00           | 0.00            | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 3/4                    | 66.60                       | 66.60          | 2.47            | 2.47       | 97.53  |
|                                       |                 | FINA                 | 1/2                    | 129.30                      | 129.30         | 4.80            | 7.28       | 92.72  |
|                                       |                 |                      | 3/8                    | 115.80                      | 115.80         | 4.30            | 11.58      | 88.42  |
|                                       |                 |                      | 1/4                    |                             |                |                 |            |        |
| Nº 4                                  |                 |                      | 244.20                 | 244.20                      | 9.07           | 20.65           | 79.35      |        |
|                                       |                 |                      |                        |                             |                |                 |            |        |
| TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR Q' P.T.M. | ARENA           | GRUESA               | Nº 8                   |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 |                      | Nº 10                  | 221.84                      | 221.84         | 8.24            | 28.88      | 71.12  |
|                                       |                 | MEDIA                | Nº 16                  |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 |                      | Nº 20                  |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 |                      | Nº 30                  |                             |                |                 |            |        |
|                                       | FINA            | Nº 40                | 193.32                 | 193.32                      | 7.18           | 36.06           | 63.94      |        |
|                                       |                 | Nº 50                |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 | Nº 60                |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 | Nº 80                |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                       |                 | Nº 100               |                        |                             |                |                 |            |        |
|                                       | Nº 200          | 433.76               | 433.76                 | 16.11                       | 52.17          | 47.83           |            |        |
|                                       |                 | P Nº 200             | 1287.82                | 1287.82                     | 47.83          | 100.00          | 0.00       |        |

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTP**

PROYECTO: Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 UBICACIÓN: Sector El Capulí RESPONSABLE: Ing. Soledad Segarra  
 PERFORACIÓN: 1.5 m CALICATA Nº 4 TESISTA: Marco Guerra


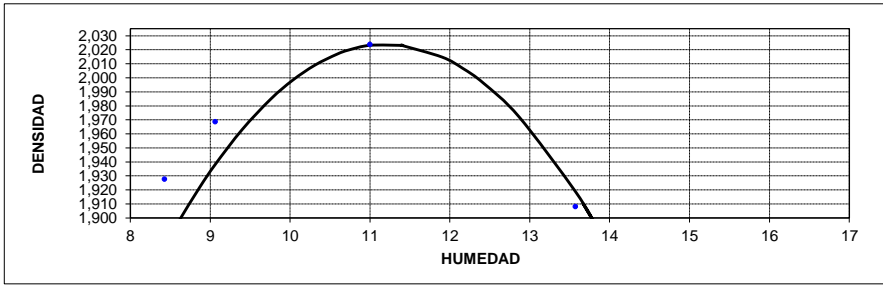
|                                       |                 | Desing. del Tamiz US | A<br>Peso Retenido<br>gr, | A<br>Peso Retenido<br>gr, REAL | B %<br>Pasante | % Mas Grueso | % Mas Fino |        |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------|--------------|------------|--------|
| TAMIZADO USANDO EL P.T.M.             | PIEDRA O CANTOS | 4                    | 0                         |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | 3                    | 0.00                      | 0.00                           | 0.00           | 0.00         | 100.00     |        |
|                                       | GRAVA           | GRUESA               | 2 1/2                     | 0.00                           | 0.00           | 0.00         | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 2                         | 0.00                           | 0.00           | 0.00         | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 1 1/2                     | 0.00                           | 0.00           | 0.00         | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 1                         | 0.00                           | 0.00           | 0.00         | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 3/4                       | 0.00                           | 0.00           | 0.00         | 0.00       | 100.00 |
|                                       |                 |                      | 1/2                       | 6.47                           | 6.47           | 0.93         | 0.93       | 99.07  |
|                                       |                 | FINA                 | 3/8                       | 10.09                          | 10.09          | 1.45         | 2.38       | 97.62  |
|                                       |                 |                      | 1/4                       |                                |                |              |            |        |
| Nº 4                                  |                 |                      | 16.81                     | 16.84                          | 2.42           | 4.79         | 95.21      |        |
|                                       |                 |                      |                           |                                |                |              |            |        |
| TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR Q' P.T.M. | ARENA           | GRUESA               | Nº 8                      |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 |                      | Nº 10                     | 20.91                          | 20.95          | 3.00         | 7.80       | 92.20  |
|                                       | MEDIA           | Nº 16                |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | Nº 20                |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | Nº 30                |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | Nº 40                | 59.82                     | 59.94                          | 8.60           | 16.39        | 83.61      |        |
|                                       |                 | Nº 50                |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       | FINA            | Nº 60                |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | Nº 80                |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | Nº 100               |                           |                                |                |              |            |        |
|                                       |                 | Nº 200               | 192.93                    | 193.30                         | 27.72          | 44.12        | 55.88      |        |
|                                       |                 | P Nº 200             | 388.88                    | 389.64                         | 55.88          | 100.00       | 0.00       |        |

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



### ANEXO 3. COMPACTACIONES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------|--------------|-------------|-----------|-----------|---------------|----------|-------------|---------|----------------|---------|-----------|-----------------------|----------------|----------|----------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL</b><br><b>LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL</b> |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito<br>OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE <span style="float: right;">NORMA : AASHTO T 180-D</span><br>LOCALZ. : EL CAPULÍ<br>SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO <span style="float: right;">PROFUND.: 1.5 m</span><br>FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015 <span style="float: right;">REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO</span><br>CALICATA : 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">NORMA ENSAYO:</td> <td style="width: 30%;">T-180-D</td> <td style="width: 30%;">DATOS DEL MOLDE</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>GOLPES/CAPA:</td> <td>56</td> <td>DIÁMETRO:</td> <td>15.21 cm.</td> </tr> <tr> <td>No. DE CAPAS:</td> <td>5</td> <td>ALTURA:</td> <td>11.5 cm</td> </tr> <tr> <td>PESO MARTILLO:</td> <td>4.5 Kg.</td> <td>VOLUMEN :</td> <td>2,089 cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>ALT. DE CAÍDA:</td> <td>46.0 cm.</td> <td>PESO :</td> <td>6,280 gramos</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                | NORMA ENSAYO:   | T-180-D               | DATOS DEL MOLDE |        | GOLPES/CAPA: | 56          | DIÁMETRO: | 15.21 cm. | No. DE CAPAS: | 5        | ALTURA:     | 11.5 cm | PESO MARTILLO: | 4.5 Kg. | VOLUMEN : | 2,089 cm <sup>3</sup> | ALT. DE CAÍDA: | 46.0 cm. | PESO :   | 6,280 gramos |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| NORMA ENSAYO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | T-180-D                                                                                                        | DATOS DEL MOLDE |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| GOLPES/CAPA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 56                                                                                                             | DIÁMETRO:       | 15.21 cm.             |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| No. DE CAPAS:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5                                                                                                              | ALTURA:         | 11.5 cm               |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| PESO MARTILLO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4.5 Kg.                                                                                                        | VOLUMEN :       | 2,089 cm <sup>3</sup> |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| ALT. DE CAÍDA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 46.0 cm.                                                                                                       | PESO :          | 6,280 gramos          |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| DATOS PARA LA CURVA: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;">PUNTO No.:</td> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> </tr> <tr> <td>Peso comp.:</td> <td>10,637</td> <td>10,782</td> <td>10,977</td> <td>10,811</td> </tr> <tr> <td>Peso suelo:</td> <td>4,357</td> <td>4,502</td> <td>4,697</td> <td>4,531</td> </tr> <tr> <td>Dens. Hum :</td> <td>2,086</td> <td>2,155</td> <td>2,249</td> <td>2,169</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                | PUNTO No.:      | 1                     | 2               | 3      | 4            | Peso comp.: | 10,637    | 10,782    | 10,977        | 10,811   | Peso suelo: | 4,357   | 4,502          | 4,697   | 4,531     | Dens. Hum :           | 2,086          | 2,155    | 2,249    | 2,169        |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| PUNTO No.:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1                                                                                                              | 2               | 3                     | 4               |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso comp.:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10,637                                                                                                         | 10,782          | 10,977                | 10,811          |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso suelo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 4,357                                                                                                          | 4,502           | 4,697                 | 4,531           |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Dens. Hum :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2,086                                                                                                          | 2,155           | 2,249                 | 2,169           |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;">W. hum.:</td> <td style="width: 10%;">418.49</td> <td style="width: 10%;">420.57</td> <td style="width: 10%;">439.70</td> <td style="width: 10%;">414.70</td> <td style="width: 10%;">412.79</td> <td style="width: 10%;">402.97</td> <td style="width: 10%;">396.51</td> <td style="width: 10%;">393.32</td> </tr> <tr> <td>W. seco:</td> <td>391.30</td> <td>393.56</td> <td>406.93</td> <td>383.10</td> <td>377.30</td> <td>368.35</td> <td>356.73</td> <td>352.94</td> </tr> <tr> <td>W. caps:</td> <td>61.75</td> <td>63.06</td> <td>52.90</td> <td>57.80</td> <td>57.42</td> <td>57.44</td> <td>67.11</td> <td>57.01</td> </tr> <tr> <td>w (%) :</td> <td>8.25</td> <td>8.17</td> <td>9.26</td> <td>9.71</td> <td>11.09</td> <td>11.14</td> <td>13.74</td> <td>13.65</td> </tr> <tr> <td>promedio</td> <td>8.21</td> <td>8.21</td> <td>9.49</td> <td>9.49</td> <td>11.11</td> <td>11.11</td> <td>13.69</td> <td>13.69</td> </tr> <tr> <td>Dens. Seca:</td> <td>1,928</td> <td>1,928</td> <td>1,969</td> <td>1,969</td> <td>2,024</td> <td>2,024</td> <td>1,908</td> <td>1,908</td> </tr> </table> |                                                                                                                | W. hum.:        | 418.49                | 420.57          | 439.70 | 414.70       | 412.79      | 402.97    | 396.51    | 393.32        | W. seco: | 391.30      | 393.56  | 406.93         | 383.10  | 377.30    | 368.35                | 356.73         | 352.94   | W. caps: | 61.75        | 63.06 | 52.90 | 57.80 | 57.42 | 57.44 | 67.11 | 57.01 | w (%) : | 8.25 | 8.17 | 9.26 | 9.71 | 11.09 | 11.14 | 13.74 | 13.65 | promedio | 8.21 | 8.21 | 9.49 | 9.49 | 11.11 | 11.11 | 13.69 | 13.69 | Dens. Seca: | 1,928 | 1,928 | 1,969 | 1,969 | 2,024 | 2,024 | 1,908 | 1,908 |
| W. hum.:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 418.49                                                                                                         | 420.57          | 439.70                | 414.70          | 412.79 | 402.97       | 396.51      | 393.32    |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| W. seco:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 391.30                                                                                                         | 393.56          | 406.93                | 383.10          | 377.30 | 368.35       | 356.73      | 352.94    |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| W. caps:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 61.75                                                                                                          | 63.06           | 52.90                 | 57.80           | 57.42  | 57.44        | 67.11       | 57.01     |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| w (%) :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8.25                                                                                                           | 8.17            | 9.26                  | 9.71            | 11.09  | 11.14        | 13.74       | 13.65     |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| promedio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8.21                                                                                                           | 8.21            | 9.49                  | 9.49            | 11.11  | 11.11        | 13.69       | 13.69     |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Dens. Seca:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1,928                                                                                                          | 1,928           | 1,969                 | 1,969           | 2,024  | 2,024        | 1,908       | 1,908     |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| RESULTADOS: <span style="float: right;">DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2,024 Kg/m<sup>3</sup></span><br><span style="float: right;">CONT. DE AGUA OPTIMO = 11.20 %</span>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| OBSERVACIONES: La muestras es muestreada por el personal técnico del laboratorio de Mecánica de Suelos de la UTPL.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Ing. María Soledad Segarra M.<br>DIRECTORA DE TESIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Marco Guerra Castro<br>TESISISTA                                                                               |                 |                       |                 |        |              |             |           |           |               |          |             |         |                |         |           |                       |                |          |          |              |       |       |       |       |       |       |       |         |      |      |      |      |       |       |       |       |          |      |      |      |      |       |       |       |       |             |       |       |       |       |       |       |       |       |



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL**

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE NORMA : AASHTO T 180-D  
 LOCALZ. : EL CAPULÍ  
 SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO PROFUND.: 1.5 m  
 FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015 REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO  
 CALICATA : 2

|                |          |                 |              |
|----------------|----------|-----------------|--------------|
| NORMA ENSAYO:  | T-180-D  | DATOS DEL MOLDE |              |
| GOLPES/CAPA:   | 56       | DIÁMETRO:       | 15.21 cm.    |
| No. DE CAPAS:  | 5        | ALTURA:         | 11.5 cm      |
| PESO MARTILLO: | 4.5 Kg.  | VOLUMEN :       | 2,088 cm3    |
| ALT. DE CAÍDA: | 46.0 cm. | PESO :          | 6,276 gramos |

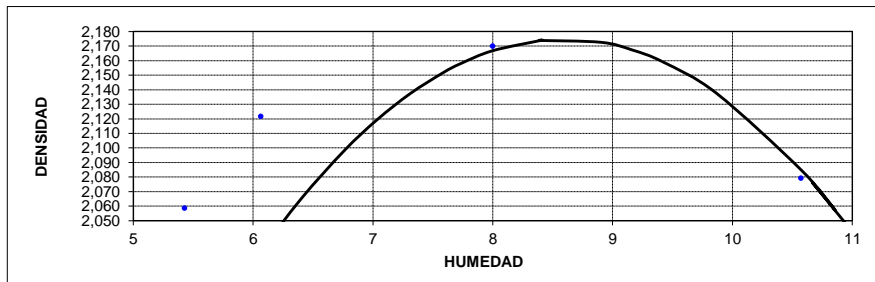
**DATOS PARA LA CURVA:**

| PUNTO No.:  | 1      | 2      | 3      | 4      |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso comp.: | 10,792 | 11,020 | 11,218 | 11,080 |
| Peso suelo: | 4,516  | 4,744  | 4,942  | 4,804  |
| Dens. Hum : | 2,162  | 2,272  | 2,366  | 2,300  |

**CONTENIDOS DE HUMEDAD:**

|             |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| W. hum.:    | 411.28 | 396.79 | 446.73 | 453.77 | 413.59 | 406.83 | 381.65 | 393.00 |
| W. seco:    | 394.54 | 380.23 | 421.21 | 427.81 | 384.44 | 378.21 | 350.62 | 360.60 |
| W. caps:    | 61.74  | 52.87  | 57.43  | 63.07  | 67.11  | 57.42  | 57.01  | 57.84  |
| w (%) :     | 5.03   | 5.06   | 7.02   | 7.12   | 9.19   | 8.92   | 10.57  | 10.70  |
| promedio    | 5.04   |        |        | 7.07   |        | 9.05   |        | 10.63  |
| Dens. Seca: | 2,059  |        | 2,122  |        | 2,170  |        |        | 2,079  |

RESULTADOS: DENSIDAD SECA MAXIMA = 2,175 Kg/m3  
 CONT. DE AGUA OPTIMO = 8.59 %



OBSERVACIONES: La muestras es muestreada por el personal técnico del laboratorio de Mecánica de Suelos de la UTPL.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL**

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE NORMA : AASHTO T 180-D  
 LOCALZ. : EL CAPULÍ  
 SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO PROFUND.: 1.5 m  
 FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015 REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO  
 CALICATA : 3

|                |          |                 |              |
|----------------|----------|-----------------|--------------|
| NORMA ENSAYO:  | T-180-D  | DATOS DEL MOLDE |              |
| GOLPES/CAPA:   | 56       | DIÁMETRO:       | 15.12 cm.    |
| No. DE CAPAS:  | 5        | ALTURA:         | 11.5 cm      |
| PESO MARTILLO: | 4.5 Kg.  | VOLUMEN :       | 2,066 cm3    |
| ALT. DE CAÍDA: | 46.0 cm. | PESO :          | 6,278 gramos |

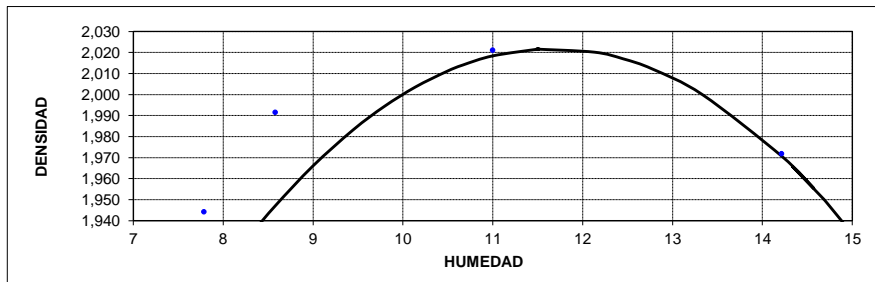
**DATOS PARA LA CURVA:**

| PUNTO No.:  | 1      | 2      | 3      | 4      |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso comp.: | 10,587 | 10,791 | 10,927 | 10,929 |
| Peso suelo: | 4,309  | 4,513  | 4,649  | 4,651  |
| Dens. Hum : | 2,086  | 2,185  | 2,251  | 2,252  |

**CONTENIDOS DE HUMEDAD:**

|             |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| W. hum.:    | 379.08 | 406.28 | 352.76 | 368.28 | 335.57 | 331.78 | 345.15 | 345.71 |
| W. seco:    | 357.80 | 382.63 | 327.20 | 340.70 | 306.10 | 304.44 | 309.85 | 309.99 |
| W. caps:    | 57.84  | 67.13  | 63.09  | 57.02  | 52.87  | 57.42  | 61.73  | 57.48  |
| w (%) :     | 7.09   | 7.50   | 9.68   | 9.72   | 11.64  | 11.07  | 14.23  | 14.15  |
| promedio    | 7.30   |        |        | 9.70   |        | 11.35  |        | 14.19  |
| Dens. Seca: | 1,944  |        |        | 1,992  |        | 2,021  |        | 1,972  |

RESULTADOS: DENSIDAD SECA MAXIMA = 2,022 Kg/m3  
 CONT. DE AGUA OPTIMO = 11.66 %



OBSERVACIONES: La muestras es muestreada por el personal técnico del laboratorio de Mecánica de Suelos de la UTPL.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL**

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE NORMA : AASHTO T 180-D  
 LOCALZ. : EL CAPULÍ  
 SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO PROFUND.: 1.5 m  
 FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015 REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO  
 CALICATA : 4

|                |          |                 |                       |
|----------------|----------|-----------------|-----------------------|
| NORMA ENSAYO:  | T-180-D  | DATOS DEL MOLDE |                       |
| GOLPES/CAPA:   | 56       | DIÁMETRO:       | 15.12 cm.             |
| No. DE CAPAS:  | 5        | ALTURA:         | 11.5 cm               |
| PESO MARTILLO: | 4.5 Kg.  | VOLUMEN :       | 2,066 cm <sup>3</sup> |
| ALT. DE CAÍDA: | 46.0 cm. | PESO :          | 6,278 gramos          |

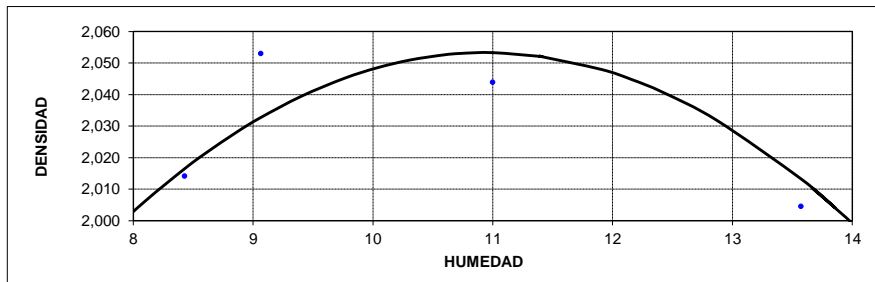
**DATOS PARA LA CURVA:**

| PUNTO No.:  | 1      | 2      | 3      | 4      |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso comp.: | 10,793 | 10,973 | 11,016 | 10,992 |
| Peso suelo: | 4,515  | 4,695  | 4,738  | 4,714  |
| Dens. Hum : | 2,186  | 2,273  | 2,294  | 2,282  |

**CONTENIDOS DE HUMEDAD:**

|             |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| W. hum.:    | 366.55 | 382.49 | 366.84 | 371.14 | 383.44 | 372.29 | 286.74 | 302.58 |
| W. seco:    | 342.28 | 356.97 | 337.06 | 341.10 | 347.54 | 338.52 | 259.49 | 274.25 |
| W. caps:    | 57.41  | 57.43  | 57.83  | 61.74  | 63.09  | 52.87  | 60.00  | 72.30  |
| w (%) :     | 8.52   | 8.52   | 10.67  | 10.75  | 12.62  | 11.82  | 13.66  | 14.03  |
| promedio    | 8.52   |        |        | 10.71  |        | 12.22  |        | 13.84  |
| Dens. Seca: | 2,014  |        | 2,053  |        | 2,044  |        |        | 2,005  |

RESULTADOS: DENSIDAD SECA MAXIMA = 2,053 Kg/m<sup>3</sup>  
 CONT. DE AGUA OPTIMO = 10.95 %




OBSERVACIONES: La muestras es muestreada por el personal técnico del laboratorio de Mecánica de Suelos de la UTPL.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA

## ANEXO 4. CBR DE LABORATORIO

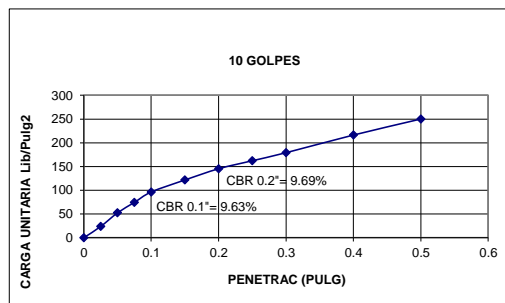
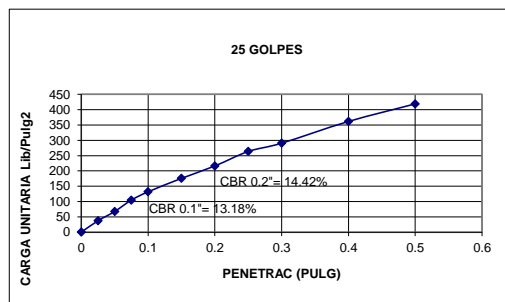
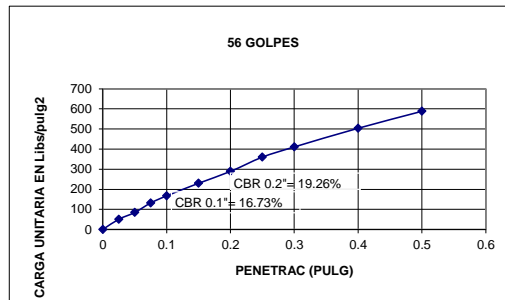
|                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                     |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                             | <b>DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL</b><br><b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                        |                     |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito<br>OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE<br>LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ<br>SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO<br>FECHA: ABRIL-AGOSTO 2015<br>CALICATA: 1 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>NUMERO DEL MOLDE N°</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">B4-2</td> <td style="text-align: center;">B10</td> </tr> <tr> <td>DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm)</td> <td style="text-align: center;">15.20</td> <td style="text-align: center;">15.214</td> <td style="text-align: center;">15.18</td> </tr> <tr> <td>ALTURA DEL MOLDE: (cm)</td> <td style="text-align: center;">12.71</td> <td style="text-align: center;">12.76</td> <td style="text-align: center;">12.75</td> </tr> <tr> <td>ALTURA DEL ALZA: (cm)</td> <td style="text-align: center;">4.97</td> <td style="text-align: center;">4.97</td> <td style="text-align: center;">4.97</td> </tr> </table> NORMA: ASTM 1883<br>PROF: 1.5 m<br>REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO | NUMERO DEL MOLDE N°    | 7                   | B4-2                | B10                             | DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm) | 15.20               | 15.214                 | 15.18               | ALTURA DEL MOLDE: (cm) | 12.71 | 12.76 | 12.75 | ALTURA DEL ALZA: (cm) | 4.97 | 4.97 | 4.97 |
| NUMERO DEL MOLDE N°                                                                                                                                                                                                                                                          | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | B4-2                   | B10                 |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm)                                                                                                                                                                                                                                                     | 15.20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 15.214                 | 15.18               |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| ALTURA DEL MOLDE: (cm)                                                                                                                                                                                                                                                       | 12.71                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 12.76                  | 12.75               |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| ALTURA DEL ALZA: (cm)                                                                                                                                                                                                                                                        | 4.97                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 4.97                   | 4.97                |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| ÍNDICE DE SOPORTE CALIFORNIA * C. B. R. *                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                     |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| MOLDE N°                                                                                                                                                                                                                                                                     | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                        | B4-2                |                     | B10                             |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| N° DE GOLPES POR CAPA                                                                                                                                                                                                                                                        | 56                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        | 25                  |                     | 10                              |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| CONDICIÓN DE MUESTRA                                                                                                                                                                                                                                                         | ANTES SATUR.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | DESP. SATURAR.         | ANTES SATUR.        | DESP. SATUR.        | ANTES SATUR.                    | DESP. SATUR.             |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE                                                                                                                                                                                                                                            | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 12115                  | 12132               | 11811               | 11859                           | 11954                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DEL MOLDE + BASE                                                                                                                                                                                                                                                        | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 7114                   | 7114                | 6838                | 6838                            | 7153                     |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA                                                                                                                                                                                                                                                    | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5001                   | 5018                | 4973                | 5021                            | 4801                     |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| VOLUMEN DE MUESTRA                                                                                                                                                                                                                                                           | cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2306.34                | 2306.34             | 2319.68             | 2319.68                         | 2307.51                  |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| DENSIDAD HÚMEDA                                                                                                                                                                                                                                                              | gr/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2.168                  | 2.176               | 2.144               | 2.165                           | 2.081                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| HUMEDAD                                                                                                                                                                                                                                                                      | ARRIBA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ABAJO                  | ARRIBA              | ABAJO               | ARRIBA                          | ABAJO                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| RECIPiente N°                                                                                                                                                                                                                                                                | 31                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | MS                     | MS6                 | A81                 | 36                              | MS1                      |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DEL RECIPiente.                                                                                                                                                                                                                                                         | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 69.23                  | 58.71               | 72.28               | 59.93                           | 59.05                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC.                                                                                                                                                                                                                                             | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 316.07                 | 318.84              | 258.05              | 249.14                          | 292.79                   |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.                                                                                                                                                                                                                                               | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 292.94                 | 295.86              | 235.31              | 226.50                          | 271.11                   |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE AGUA.                                                                                                                                                                                                                                                                | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 23.13                  | 22.98               | 22.74               | 22.64                           | 21.68                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE MUESTRA SECA.                                                                                                                                                                                                                                                        | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 223.71                 | 237.15              | 163.03              | 166.57                          | 212.06                   |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| CONTENIDO DE HUMEDAD.                                                                                                                                                                                                                                                        | gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 10.34                  | 9.69                | 13.95               | 13.59                           | 10.22                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| HUMEDAD PROMEDIO.                                                                                                                                                                                                                                                            | %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 10.01                  |                     | 13.77               |                                 | 10.46                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| DENSIDAD SECA.                                                                                                                                                                                                                                                               | gr/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1.971                  |                     | 1.912               |                                 | 1.941                    |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                     |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| MOLDE N°                                                                                                                                                                                                                                                                     | 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                        | B4-2                |                     | B10                             |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN.                                                                                                                                                                                                                           | 12132                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        | 11859               |                     | 12043                           |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.                                                                                                                                                                                                                             | 12115                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        | 11811               |                     | 11954                           |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PESO DE AGUA ABSORBIDA                                                                                                                                                                                                                                                       | 17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        | 48                  |                     | 89                              |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.34                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        | 0.97                |                     | 1.85                            |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| DATOS DE ESPONJAMIENTO                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                     |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| FECHA                                                                                                                                                                                                                                                                        | TIEMPO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | MOLDE N° 7             |                     |                     | MOLDE N° B4-2                   |                          |                     | MOLDE N° B10           |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                            | EN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | LECTURA DIAL           | CAMBIO DE           | ESPONJAM.           | LECTURA DIAL                    | CAMBIO DE                | ESPONJAM.           | LECTURA DIAL           | CAMBIO DE           | ESPONJAM.              |       |       |       |                       |      |      |      |
| HORA                                                                                                                                                                                                                                                                         | DÍAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | mm x 10 <sup>-2</sup>  | LONGITUD mm         | %                   | mm x 10 <sup>-2</sup>           | LONGITUD mm              | %                   | mm x 10 <sup>-2</sup>  | LONGITUD mm         | %                      |       |       |       |                       |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0                      | 0                   | 0.00                | 0                               | 0                        | 0.00                | 0                      | 0.00                | 0.00                   |       |       |       |                       |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 46                     | 0.46                | 0.36                | 86                              | 0.86                     | 0.67                | 63                     | 0.63                | 0.49                   |       |       |       |                       |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 84                     | 0.84                | 0.66                | 137                             | 1.37                     | 1.07                | 144                    | 1.44                | 1.13                   |       |       |       |                       |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 92                     | 0.92                | 0.72                | 145                             | 1.45                     | 1.14                | 166                    | 1.66                | 1.30                   |       |       |       |                       |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                              | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 95                     | 0.95                | 0.75                | 146                             | 1.46                     | 1.14                | 166                    | 1.66                | 1.30                   |       |       |       |                       |      |      |      |
| DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                     |                     |                                 |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| PENETI                                                                                                                                                                                                                                                                       | CARGAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | MOLDE N° 7             |                     |                     | MOLDE N° B4-2                   |                          |                     | MOLDE N° B10           |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| EN                                                                                                                                                                                                                                                                           | TIPO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG       | LECTURA DIAL                    | PRESIÓN                  | C.B.R. CORREG.      | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.         |       |       |       |                       |      |      |      |
| plg.                                                                                                                                                                                                                                                                         | lb/plg <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup>          | lb/plg <sup>2</sup>      | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup>    |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.025                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 15.0                   | 50.69               |                     | 11.00                           | 37.17                    |                     | 7.0                    | 23.66               |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.050                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 25.0                   | 84.49               |                     | 20.00                           | 67.59                    |                     | 15.5                   | 52.38               |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.075                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 39.0                   | 131.80              |                     | 31.00                           | 104.76                   |                     | 22.0                   | 74.35               |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.100                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 49.5                   | 167.28              | 16.73               | 39.00                           | 131.80                   | 13.18               | 28.5                   | 96.31               | 9.63                   |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.150                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 68.0                   | 229.80              |                     | 52.00                           | 175.73                   |                     | 36.0                   | 121.66              |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.200                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 85.5                   | 288.94              | 19.26               | 64.00                           | 216.28                   | 14.42               | 43.0                   | 145.32              | 9.69                   |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.250                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 106.5                  | 359.91              |                     | 78.00                           | 263.60                   |                     | 48.0                   | 162.21              |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.300                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1900                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 121.5                  | 410.60              |                     | 86.00                           | 290.63                   |                     | 53.0                   | 179.11              |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.400                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2300                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 149.0                  | 503.54              |                     | 107.00                          | 361.60                   |                     | 64.0                   | 216.28              |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| 0.500                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2600                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 174.0                  | 588.02              |                     | 124.00                          | 419.05                   |                     | 74.0                   | 250.08              |                        |       |       |       |                       |      |      |      |
| Ing. María Soleda Segarra M.<br>DIRECTORA DE TESIS                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                     |                     | Marco Guerra Castro<br>TESIS TA |                          |                     |                        |                     |                        |       |       |       |                       |      |      |      |



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN : EL CAPULÍ  
SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
CALICATA : 1  
PROF : 1.5  
REALIZADO : MARCO GUERRA CASTRO

CURVAS DE CARGA UNITARIA - PENETRACION



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

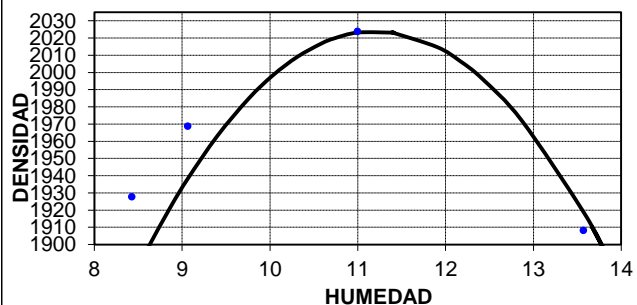
Marco Guerra Castro  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING. CIVIL  
LABORATORIOS MECANICA DE SUELOS - UTPL

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
SOLICITADO MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
CALICATA : 1  
PROF 1.5  
REALIZADO MARCO GUERRA CASTRO

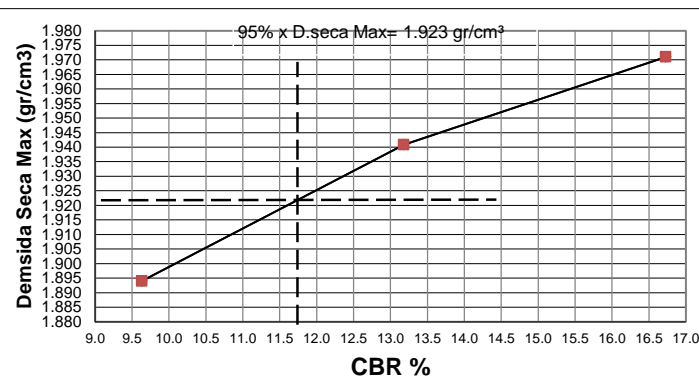
Densidad seca máxima 2.024 gr/cm<sup>3</sup>  
C.H Óptimo 11.20 %



C.B.R. REFERIDO AL 95% de la Densidad seca Máxima = 12 %

CBR CALICATA 1

| # golpes | C.B.R. (%) |       | D.Seca Max. (gr/cm <sup>3</sup> ) | D.Seca Maxima al 95% (gr/cm <sup>3</sup> ) | X     | Y     |
|----------|------------|-------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
|          | 0.1        | 0.2   |                                   |                                            |       |       |
| 56       | 16.7       | 19.26 | 1.971                             | 1.923                                      | 16.7  | 1.971 |
| 25       | 13.2       | 14.42 | 1.941                             |                                            | 13.18 | 1.941 |
| 10       | 9.6        | 9.7   | 1.894                             |                                            | 9.6   | 1.894 |



OBSERVACIONES: El CBR se lo cálculo para 0.1 pulgadas de penetración al 95% del porcentaje de compactación.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ

SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA: ABRIL-AGOSTO 2015  
CALICATA: 2

|                          |        |        |       |
|--------------------------|--------|--------|-------|
| NUMERO DEL MOLDE N°      | 4      | 5      | 6U    |
| DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm) | 15.208 | 15.208 | 15.2  |
| ALTURA DEL MOLDE: (cm)   | 12.77  | 12.75  | 12.76 |
| ALTURA DEL ALZA: (cm)    | 4.97   | 4.97   | 4.97  |

NORMA: ASTM 1883  
PROF: 1.5 m  
REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO

ÍNDICE DE SOPORTE CALIFORNIA \* C. B. R. \*

| MOLDE N°                          | 4                  |                | 5            |              | 6U           |              |         |
|-----------------------------------|--------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
|                                   | 56                 |                | 25           |              | 10           |              |         |
| N° DE GOLPES POR CAPA             | ANTES SATUR.       | DESP. SATURAR. | ANTES SATUR. | DESP. SATUR. | ANTES SATUR. | DESP. SATUR. |         |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE | gr.                | 12233          | 12275        | 12433        | 12509        | 11960        | 12099   |
| PESO DEL MOLDE + BASE             | gr.                | 6763           | 6763         | 7065         | 7065         | 6842         | 6842    |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA         | gr.                | 5470           | 5512         | 5368         | 5444         | 5118         | 5257    |
| VOLUMEN DE MUESTRA                | cm <sup>3</sup>    | 2319.66        | 2319.66      | 2316.03      | 2316.03      | 2315.41      | 2315.41 |
| DENSIDAD HÚMEDA                   | gr/cm <sup>3</sup> | 2.358          | 2.376        | 2.318        | 2.351        | 2.210        | 2.270   |

| HUMEDAD                          | ARRIBA             | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  |        |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| RECIPiente N°                    | MS1                | MS31   | R2     | I3     | MS37   | MS11   | I4     | 6      | MS33   | 58     | MS6    | AB4    |        |
| PESO DEL RECIPIENTE.             | gr.                | 70.64  | 68.67  | 66.35  | 56.74  | 72.44  | 59.91  | 61.20  | 61.53  | 56.05  | 69.57  | 72.28  | 54.50  |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC. | gr.                | 319.06 | 345.11 | 446.73 | 297.02 | 316.40 | 310.39 | 420.03 | 413.73 | 290.38 | 304.93 | 311.44 | 278.79 |
| PESO DE LA MUESTRA SECA + REC.   | gr.                | 298.46 | 323.66 | 410.43 | 274.67 | 297.23 | 290.25 | 384.40 | 378.27 | 272.14 | 285.96 | 285.34 | 254.96 |
| PESO DE AGUA.                    | gr.                | 20.6   | 21.45  | 36.3   | 22.35  | 19.17  | 20.14  | 35.63  | 35.46  | 18.24  | 18.97  | 26.1   | 23.83  |
| PESO DE MUESTRA SECA.            | gr.                | 227.82 | 254.99 | 344.08 | 217.93 | 224.79 | 230.34 | 323.2  | 316.74 | 216.09 | 216.39 | 213.06 | 200.46 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD.            | gr.                | 9.04   | 8.41   | 10.55  | 10.26  | 8.53   | 8.74   | 11.02  | 11.20  | 8.44   | 8.77   | 12.25  | 11.89  |
| HUMEDAD PROMEDIO.                | %                  | 8.73   |        | 10.40  |        | 8.64   |        | 11.11  |        | 8.60   |        | 12.07  |        |
| DENSIDAD SECA.                   | gr/cm <sup>3</sup> | 2.169  |        | 2.152  |        | 2.134  |        | 2.116  |        | 2.035  |        | 2.026  |        |

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

| MOLDE N°                                           | 4     | 5     | 6U    |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN. | 12275 | 12509 | 12099 |
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.   | 12233 | 12433 | 11960 |
| PESO DE AGUA ABSORBIDA                             | 42    | 76    | 139   |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA                       | 0.77  | 1.42  | 2.72  |

DATOS DE ESPONJAMIENTO

| FECHA | TIEMPO | MOLDE N° 4            |             |           | MOLDE N° 5            |             |           | MOLDE N° 6U           |             |           |
|-------|--------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|
|       |        | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. |
| Y     | EN     | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         |
|       | DÍAS   |                       |             |           |                       |             |           |                       |             |           |
|       | 1      | 0                     | 0           | 0.00      | 0                     | 0           | 0.00      | 0                     | 0.00        | 0.00      |
|       | 2      | 39                    | 0.39        | 0.31      | 72                    | 0.72        | 0.56      | 73                    | 0.73        | 0.57      |
|       | 3      | 43                    | 0.43        | 0.34      | 78                    | 0.78        | 0.61      | 77                    | 0.77        | 0.60      |
|       | 4      | 44                    | 0.44        | 0.34      | 78                    | 0.78        | 0.61      | 81                    | 0.81        | 0.63      |
|       | 5      | 45                    | 0.45        | 0.35      | 78                    | 0.78        | 0.61      | 83                    | 0.83        | 0.65      |

DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

| PENET. | CARGAS | MOLDE N° 4             |                     |                     | MOLDE N° 5             |                     |                     | MOLDE N° 6U            |                     |                     |
|--------|--------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
|        |        | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      |
| EN     | TIPO   | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> |
| 0.025  |        | 32.5                   | 109.83              |                     | 19.00                  | 64.21               |                     | 21.0                   | 70.97               |                     |
| 0.050  |        | 43.0                   | 145.32              |                     | 34.00                  | 114.90              |                     | 28.0                   | 94.62               |                     |
| 0.075  |        | 54.0                   | 182.49              |                     | 47.00                  | 158.83              |                     | 39.0                   | 131.80              |                     |
| 0.100  | 1000   | 69.0                   | 233.18              | 23.32               | 64.00                  | 216.28              | 21.63               | 46.0                   | 155.45              | 15.55               |
| 0.150  |        | 100.0                  | 337.94              |                     | 97.00                  | 327.80              |                     | 56.0                   | 189.25              |                     |
| 0.200  | 1500   | 132.0                  | 446.08              | 29.74               | 126.00                 | 425.81              | 28.39               | 64.0                   | 216.28              | 14.42               |
| 0.250  |        | 162.0                  | 547.47              |                     | 148.00                 | 500.16              |                     | 70.0                   | 236.56              |                     |
| 0.300  | 1900   | 194.0                  | 655.61              |                     | 168.00                 | 567.74              |                     | 77.0                   | 260.22              |                     |
| 0.400  | 2300   | 255.0                  | 861.75              |                     | 207.00                 | 699.54              |                     | 89.0                   | 300.77              |                     |
| 0.500  | 2600   | 314.0                  | 1061.14             |                     | 242.00                 | 817.82              |                     | 99.0                   | 334.56              |                     |

Ing. María Soleda Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA

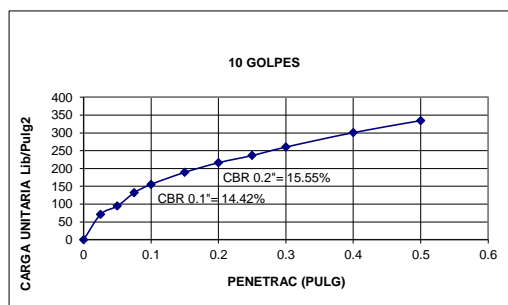
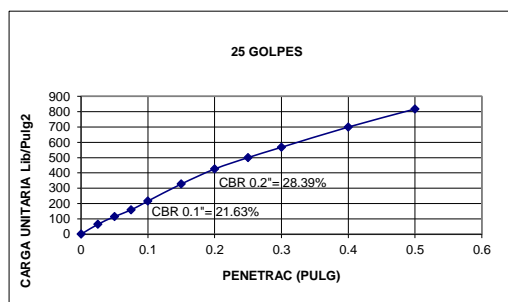
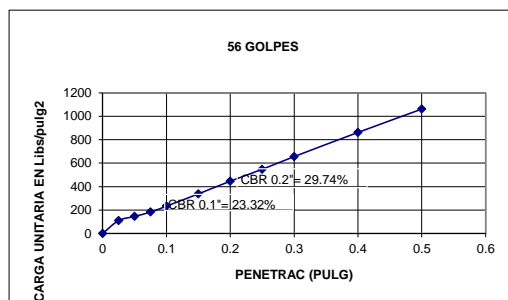




DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
SOLICITADO MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
CALICATA 2  
PROF 1.5  
REALIZADO MARCO GUERRA CASTRO

CURVAS DE CARGA UNITARIA - PENETRACION



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

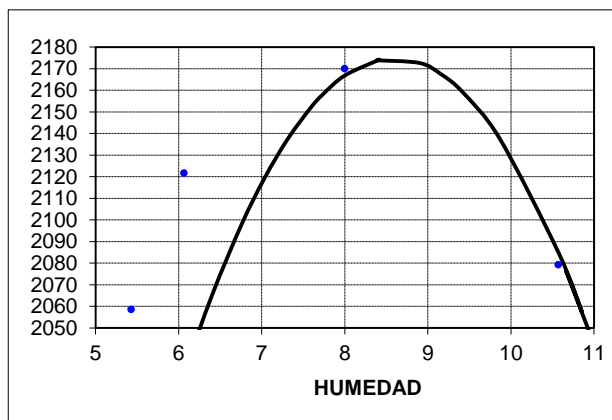
Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING. CIVIL  
LABORATORIOS MECANICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
 LOCALIZACIÓN : EL CAPULÍ  
 SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO  
 FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
 CALICATA : 2  
 PROF : 1.5  
 REALIZADO : MARCO GUERRA CASTRO

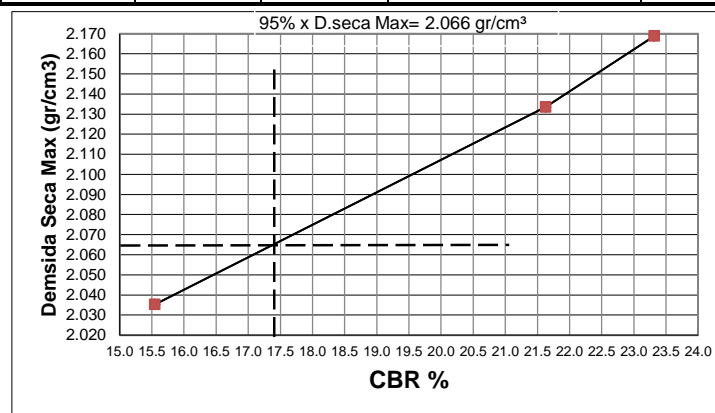
**Densidad seca máxima** 2.175 gr/cm<sup>3</sup>  
**C.H Óptimo** 8.59 %



C.B.R. REFERIDO AL 95% de la Densidad seca Máxima = 17 %

**CBR POZO 1**

| # golpes | C.B.R. (%) |       | D.Seca Max. (gr/cm <sup>3</sup> ) | D.Seca Maxima al 95% (gr/cm <sup>3</sup> ) | X     | Y     |
|----------|------------|-------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
|          | 0.1        | 0.2   |                                   |                                            |       |       |
| 56       | 23.3       | 29.74 | 2.169                             | 2.066                                      | 23.3  | 2.169 |
| 25       | 21.63      | 28.39 | 2.134                             |                                            | 21.63 | 2.134 |
| 10       | 15.5       | 14.4  | 2.035                             |                                            | 15.5  | 2.035 |



OBSERVACIONES: El CBR se lo cálculo para 0.1 pulgadas de penetración al 95% del porcentaje de compactación.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE

LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ

SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO

FECHA: ABRIL-AGOSTO 2015

CALICATA: 3

|                          |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| NUMERO DEL MOLDE N°      | 6U    | 9     | B13   |
| DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm) | 15.20 | 15.19 | 15.19 |
| ALTURA DEL MOLDE: (cm)   | 12.76 | 12.78 | 12.73 |
| ALTURA DEL ALZA: (cm)    | 4.97  | 4.97  | 4.97  |

NORMA: ASTM 1883

PROF: 1.5 m

REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO

ÍNDICE DE SOPORTE CALIFORNIA \* C. B. R. \*

| MOLDE N°                              | 6U           |                | 9            |              | B13          |              |
|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                       | 56           |                | 25           |              | 10           |              |
| N° DE GOLPES POR CAPA                 |              |                |              |              |              |              |
| CONDICIÓN DE MUESTRA                  | ANTES SATUR. | DESP. SATURAR. | ANTES SATUR. | DESP. SATUR. | ANTES SATUR. | DESP. SATUR. |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE gr. | 11997        | 12045          | 12220        | 12319        | 11606        | 11794        |
| PESO DEL MOLDE + BASE gr.             | 6850         | 6850           | 7124         | 7124         | 6791         | 6791         |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA gr.         | 5147         | 5195           | 5096         | 5195         | 4815         | 5003         |
| VOLUMEN DE MUESTRA cm <sup>3</sup>    | 2315.41      | 2315.41        | 2317.21      | 2317.21      | 2305.71      | 2305.71      |
| DENSIDAD HÚMEDA gr/cm <sup>3</sup>    | 2.223        | 2.244          | 2.199        | 2.242        | 2.088        | 2.170        |

| HUMEDAD                              | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| RECIPIENTE N°                        | 110    | 16     | AB3    | MS1081 | 13     | JB10   | AB4    | A81    | A2     | MY11   | I2     | MS6    |
| PESO DEL RECIPIENTE gr.              | 58.02  | 57.02  | 57.01  | 65.14  | 67.11  | 61.27  | 54.48  | 59.93  | 52.37  | 57.83  | 43.26  | 72.27  |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC. gr. | 357.06 | 340.70 | 258.48 | 288.54 | 367.95 | 356.79 | 252.90 | 269.27 | 388.20 | 396.90 | 216.64 | 285.17 |
| PESO DE LA MUESTRA SECA + REC. gr.   | 322.58 | 307.86 | 233.65 | 259.82 | 334.40 | 322.18 | 227.70 | 242.30 | 348.69 | 358.97 | 192.60 | 255.50 |
| PESO DE AGUA gr.                     | 34.48  | 32.84  | 24.83  | 28.72  | 33.55  | 34.61  | 25.2   | 26.97  | 39.51  | 37.93  | 24.04  | 29.67  |
| PESO DE MUESTRA SECA gr.             | 264.56 | 250.84 | 176.64 | 194.68 | 267.29 | 260.91 | 173.22 | 182.37 | 296.32 | 301.14 | 149.34 | 183.23 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD gr.             | 13.03  | 13.09  | 14.06  | 14.75  | 12.55  | 13.27  | 14.55  | 14.79  | 13.33  | 12.60  | 16.10  | 16.19  |
| HUMEDAD PROMEDIO %                   | 13.06  |        | 14.40  |        | 12.91  |        | 14.67  |        | 12.96  |        | 16.15  |        |
| DENSIDAD SECA gr/cm <sup>3</sup>     | 1.966  |        | 1.961  |        | 1.948  |        | 1.955  |        | 1.849  |        | 1.868  |        |

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

| MOLDE N°                                           | 6U    | 9     | B13   |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN. | 12045 | 12319 | 11794 |
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.   | 11997 | 12220 | 11606 |
| PESO DE AGUA ABSORBIDA                             | 48    | 99    | 188   |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA                       | 0.93  | 1.94  | 3.90  |

DATOS DE ESPONJAMIENTO

| FECHA | TIEMPO | MOLDE N° 6U           |             |           | MOLDE N° 9            |             |           | MOLDE N° B13          |             |           |
|-------|--------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|
|       |        | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. |
| HORA  | DÍAS   | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         |
|       | 1      | 0                     | 0           | 0.00      | 0                     | 0           | 0.00      | 0                     | 0.00        | 0.00      |
|       | 2      | 22                    | 0.22        | 0.17      | 105                   | 1.05        | 0.82      | 135                   | 1.35        | 1.06      |
|       | 3      | 25                    | 0.25        | 0.20      | 111                   | 1.11        | 0.87      | 147                   | 1.47        | 1.15      |
|       | 4      | 26                    | 0.26        | 0.20      | 112                   | 1.12        | 0.88      | 150                   | 1.5         | 1.18      |
|       | 5      | 28                    | 0.28        | 0.22      | 115                   | 1.15        | 0.90      | 152                   | 1.52        | 1.19      |

DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

| PENET | CARGAS | MOLDE N° 6U            |                     |                     | MOLDE N° 9             |                     |                     | MOLDE N° B13           |                     |                     |
|-------|--------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
|       |        | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG       | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      |
| EN    | TIPO   | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> |
| 0.025 |        | 15.0                   | 50.69               |                     | 14.00                  | 47.31               |                     | 3.0                    | 10.14               |                     |
| 0.050 |        | 28.0                   | 94.62               |                     | 25.00                  | 84.49               |                     | 6.5                    | 21.97               |                     |
| 0.075 |        | 39.0                   | 131.80              |                     | 34.00                  | 114.90              |                     | 9.5                    | 32.10               |                     |
| 0.100 | 1000   | 49.0                   | 165.59              | 16.56               | 43.00                  | 145.32              | 14.53               | 11.0                   | 37.17               | 3.72                |
| 0.150 |        | 67.0                   | 226.42              |                     | 62.00                  | 209.52              |                     | 15.0                   | 50.69               |                     |
| 0.200 | 1500   | 84.0                   | 283.87              | 18.92               | 79.00                  | 266.98              | 17.80               | 19.0                   | 64.21               | 4.28                |
| 0.250 |        | 95.0                   | 321.05              |                     | 90.00                  | 304.15              |                     | 22.0                   | 74.35               |                     |
| 0.300 | 1900   | 112.0                  | 378.50              |                     | 99.00                  | 334.56              |                     | 25.0                   | 84.49               |                     |
| 0.400 | 2300   | 135.0                  | 456.22              |                     | 113.00                 | 381.88              |                     | 32.0                   | 108.14              |                     |
| 0.500 | 2600   | 158.0                  | 533.95              |                     | 131.50                 | 444.40              |                     | 38.0                   | 128.42              |                     |

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

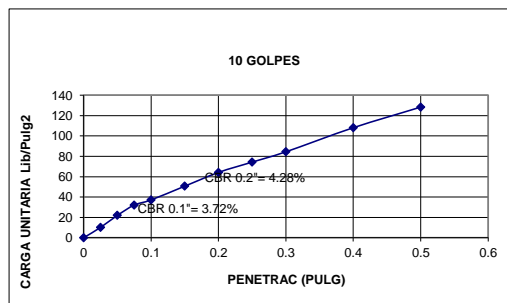
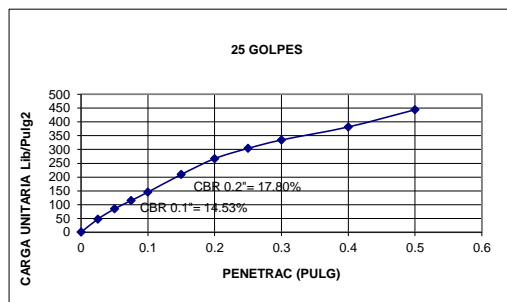
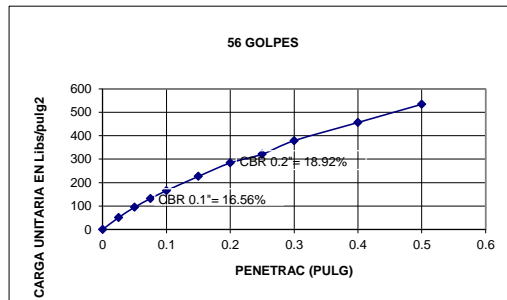
Marco Guerra Castro  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
SOLICITADO MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
CALICATA 3  
PROF : 1.5  
REALIZADO MARCO GUERRA CASTRO

CURVAS DE CARGA UNITARIA - PENETRACION



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

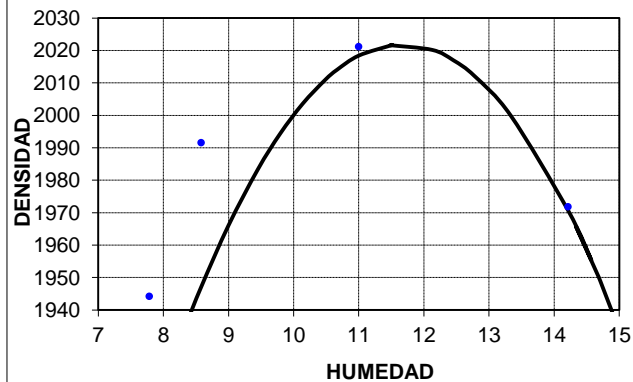
Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING. CIVIL  
LABORATORIOS MECANICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
 LOCALIZACIÓN : EL CAPULÍ  
 SOLICITADO MARCO GUERRA CASTRO  
 FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
 CALICATA 3  
 PROF 1.5  
 REALIZADO MARCO GUERRA CASTRO

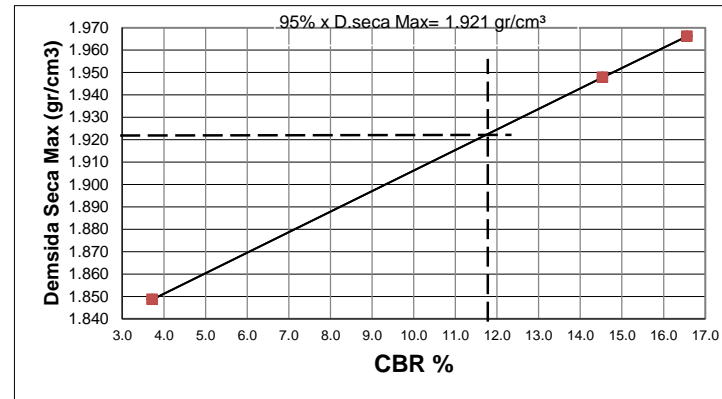
**Densidad seca máxima 2.022 gr/cm<sup>3</sup>**  
**C.H Optimo 11.66 %**



C.B.R. REFERIDO AL 95% de la Densidad seca Máxima = 12 %

**CBR POZO 1**

| # golpes | C.B.R. (%) |       | D.Seca Max. (gr/cm <sup>3</sup> ) | D.Seca Maxima al 95% (gr/cm <sup>3</sup> ) | X     | Y     |
|----------|------------|-------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
|          | 0.1        | 0.2   |                                   |                                            |       |       |
| 56       | 16.6       | 18.92 | 1.966                             | 1.921                                      | 16.6  | 1.966 |
| 25       | 14.53      | 17.80 | 1.948                             |                                            | 14.53 | 1.948 |
| 10       | 3.7        | 4.3   | 1.849                             |                                            | 3.7   | 1.849 |



OBSERVACIONES: El CBR se lo cálculo para 0.1 pulgadas de penetración al 95% del porcentaje de compactación.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
 LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
 SOLICITADO: MARCO GUERRA CASTRO  
 FECHA: ABRIL-AGOSTO 2015  
 CALICATA: 4

|                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| NUMERO DEL MOLDE N°            | 2     | B4-3  | 1     |
| DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm)       | 15.16 | 15.21 | 15.21 |
| ALTURA DEL MOLDE: (cm)         | 12.75 | 12.76 | 12.75 |
| ALTURA DEL ALZA: (cm)          | 4.97  | 4.97  | 4.97  |
| NORMA: ASTM 1883               |       |       |       |
| PROF: 1.5 m                    |       |       |       |
| REALIZADO: MARCO GUERRA CASTRO |       |       |       |

ÍNDICE DE SOPORTE CALIFORNIA \* C. B. R. \*

| MOLDE N°                              | 2            |                | B4-3         |              | 1            |              |
|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                       | 56           |                | 25           |              | 10           |              |
| N ° DE GOLPES POR CAPA                |              |                |              |              |              |              |
| CONDICIÓN DE MUESTRA                  | ANTES SATUR. | DESP. SATURAR. | ANTES SATUR. | DESP. SATUR. | ANTES SATUR. | DESP. SATUR. |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE gr. | 12004        | 12015          | 11833        | 11856        | 11767        | 11873        |
| PESO DEL MOLDE + BASE gr.             | 6824         | 6824           | 6755         | 6755         | 6803         | 6803         |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA gr.         | 5180         | 5191           | 5078         | 5101         | 4964         | 5070         |
| VOLUMEN DE MUESTRA cm <sup>3</sup>    | 2302.65      | 2302.65        | 2317.85      | 2317.85      | 2316.03      | 2316.03      |
| DENSIDAD HÚMEDA gr/cm <sup>3</sup>    | 2.250        | 2.254          | 2.191        | 2.201        | 2.143        | 2.189        |

| HUMEDAD                              | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  | ARRIBA | ABAJO  |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| RECIPIENTE N°                        | A81    | MS6    | MS37   | MS80   | AB4    | I3     | MS33   | 58     | MS80   | AB2    | AB2    | A81    |
| PESO DEL RECIPIENTE gr.              | 60.00  | 72.30  | 72.43  | 66.68  | 54.50  | 56.70  | 56.05  | 69.57  | 66.70  | 51.90  | 51.90  | 59.94  |
| PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC. gr. | 277.90 | 292.80 | 318.44 | 314.96 | 278.90 | 287.80 | 290.68 | 325.32 | 316.46 | 260.01 | 262.25 | 271.86 |
| PESO DE LA MUESTRA SECA + REC. gr.   | 253.78 | 268.05 | 289.29 | 285.23 | 253.51 | 261.65 | 262.46 | 294.52 | 288.37 | 237.02 | 235.63 | 244.72 |
| PESO DE AGUA gr.                     | 24.12  | 24.75  | 29.15  | 29.73  | 25.39  | 26.15  | 28.22  | 30.8   | 28.09  | 22.99  | 26.62  | 27.14  |
| PESO DE MUESTRA SECA gr.             | 193.78 | 195.75 | 216.86 | 218.55 | 199.01 | 204.95 | 206.41 | 224.95 | 221.67 | 185.12 | 183.73 | 184.78 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD gr.             | 12.45  | 12.64  | 13.44  | 13.60  | 12.76  | 12.76  | 13.67  | 13.69  | 12.67  | 12.42  | 14.49  | 14.69  |
| HUMEDAD PROMEDIO %                   | 12.55  |        | 13.52  |        | 12.76  |        | 13.68  |        | 12.55  |        | 14.59  |        |
| DENSIDAD SECA gr/cm <sup>3</sup>     | 1.999  |        | 1.986  |        | 1.943  |        | 1.936  |        | 1.904  |        | 1.910  |        |

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

| MOLDE N°                                           | 2     | B4-3  | 1     |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN. | 12015 | 11856 | 11873 |
| PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN.   | 12004 | 11833 | 11767 |
| PESO DE AGUA ABSORBIDA                             | 11    | 23    | 106   |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA                       | 0.21  | 0.45  | 2.14  |

DATOS DE ESPONJAMIENTO

| FECHA | TIEMPO | MOLDE N° 2            |             |           | MOLDE N° B4-3         |             |           | MOLDE N° 1            |             |           |
|-------|--------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|
|       |        | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. | LECTURA DIAL          | CAMBIO DE   | ESPONJAM. |
| HORA  | DÍAS   | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         | mm x 10 <sup>-2</sup> | LONGITUD mm | %         |
|       | 1      | 0                     | 0           | 0.00      | 0                     | 0           | 0.00      | 0                     | 0.00        | 0.00      |
|       | 2      | 5                     | 0.05        | 0.04      | 28                    | 0.28        | 0.22      | 49                    | 0.49        | 0.38      |
|       | 3      | 5                     | 0.05        | 0.04      | 34                    | 0.34        | 0.27      | 55                    | 0.55        | 0.43      |
|       | 4      | 7                     | 0.07        | 0.05      | 45                    | 0.45        | 0.35      | 58                    | 0.58        | 0.45      |
|       | 5      | 8                     | 0.08        | 0.06      | 45                    | 0.45        | 0.35      | 60                    | 0.60        | 0.47      |

DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

| PENET. | CARGAS | MOLDE N° 2             |                     |                     | MOLDE N° B4-3          |                     |                     | MOLDE N° 1             |                     |                     |
|--------|--------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
|        |        | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      | LECTURA DIAL           | PRESIÓN             | C.B.R. CORREG.      |
| EN     | TIPO   | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | plg x 10 <sup>-4</sup> | lb/plg <sup>2</sup> | lb/plg <sup>2</sup> |
| 0.025  |        | 25.0                   | 15.65               |                     | 20.00                  | 12.52               |                     | 17.0                   | 10.64               |                     |
| 0.050  |        | 57.0                   | 35.68               |                     | 46.50                  | 29.10               |                     | 41.0                   | 25.66               |                     |
| 0.075  |        | 91.0                   | 56.96               |                     | 78.00                  | 48.82               |                     | 74.0                   | 46.32               |                     |
| 0.100  | 1000   | 116.0                  | 72.60               | 7.26                | 108.00                 | 67.60               | 6.76                | 94.0                   | 58.83               | 5.88                |
| 0.150  |        | 170.0                  | 106.40              |                     | 158.00                 | 98.89               |                     | 142.0                  | 88.88               |                     |
| 0.200  | 1500   | 211.0                  | 132.06              | 8.80                | 195.00                 | 122.05              | 8.14                | 176.0                  | 110.16              | 7.34                |
| 0.250  |        | 248.0                  | 155.22              |                     | 237.00                 | 148.33              |                     | 206.0                  | 128.93              |                     |
| 0.300  | 1900   | 300.0                  | 187.77              |                     | 280.50                 | 175.56              |                     | 234.0                  | 146.46              |                     |
| 0.400  | 2300   | 359.0                  | 224.69              |                     | 328.00                 | 205.29              |                     | 286.0                  | 179.00              |                     |
| 0.500  | 2600   | 457.0                  | 286.03              |                     | 401.00                 | 250.98              |                     | 337.0                  | 210.92              |                     |

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

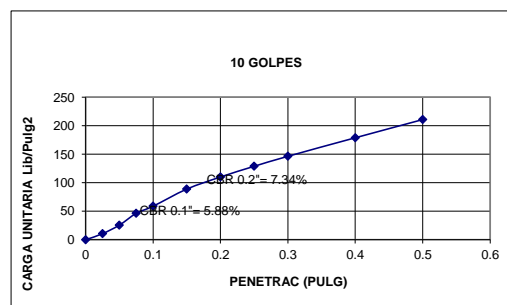
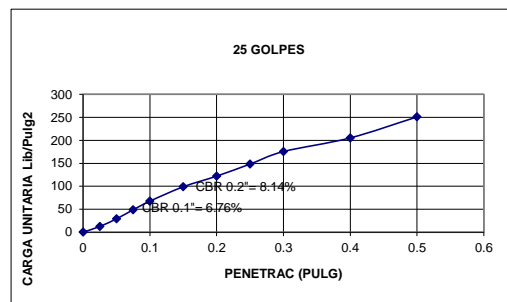
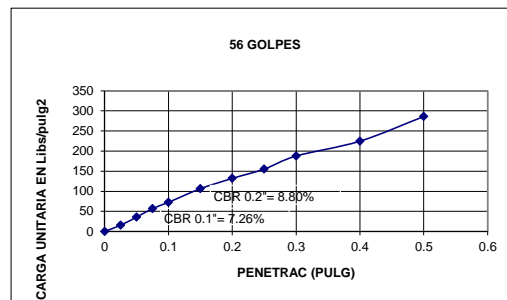
Marco Guerra Castro  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
LOCALIZACIÓN: EL CAPULÍ  
SOLICITADO MARCO GUERRA CASTRO  
FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
CALICATA 4  
PROF 1.50  
REALIZADO MARCO GUERRA CASTRO

CURVAS DE CARGA UNITARIA - PENETRACION



Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

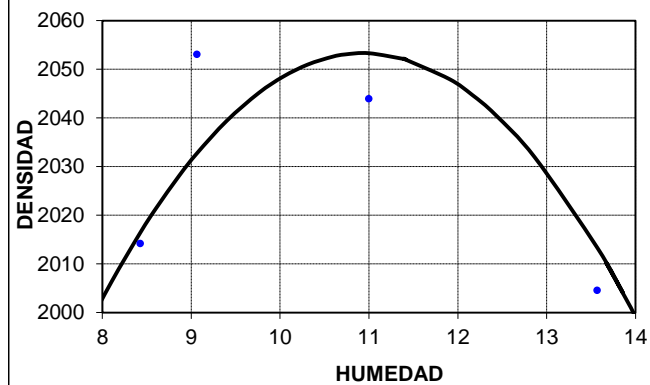
Marco Guerra Castro  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING. CIVIL  
LABORATORIOS MECANICA DE SUELOS - UTPL**

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito  
 OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
 LOCALIZACIÓN : EL CAPULÍ  
 SOLICITADO : MARCO GUERRA CASTRO  
 FECHA : ABRIL - AGOSTO 2015  
 CALICATA : 4  
 PROF : 1.5  
 REALIZADO : MARCO GUERRA CASTRO

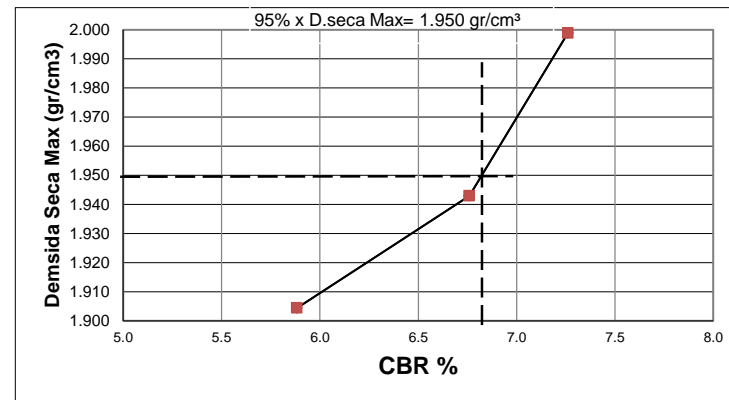
**Densidad seca máxima** 2.053 gr/cm<sup>3</sup>  
**C.H Óptimo** 10.95 %



C.B.R. REFERIDO AL 95% de la Densidad seca Máxima = 7 %

**CBR POZO 1**

| # golpes | C.B.R. (%) |      | D.Seca Max. (gr/cm <sup>3</sup> ) | D.Seca Maxima al 95% (gr/cm <sup>3</sup> ) | X   | Y     |
|----------|------------|------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----|-------|
|          | 0.1        | 0.2  |                                   |                                            |     |       |
| 56       | 7.3        | 8.80 | 1.999                             | 1.950                                      | 7.3 | 1.999 |
| 25       | 6.76       | 8.14 | 1.943                             |                                            | 6.8 | 1.943 |
| 10       | 5.9        | 7.3  | 1.904                             |                                            | 5.9 | 1.904 |



OBSERVACIONES: El CBR se lo cálculo para 0.1 pulgadas de penetración al 95% del porcentaje de compactación.

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTORA DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 1

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 64.67

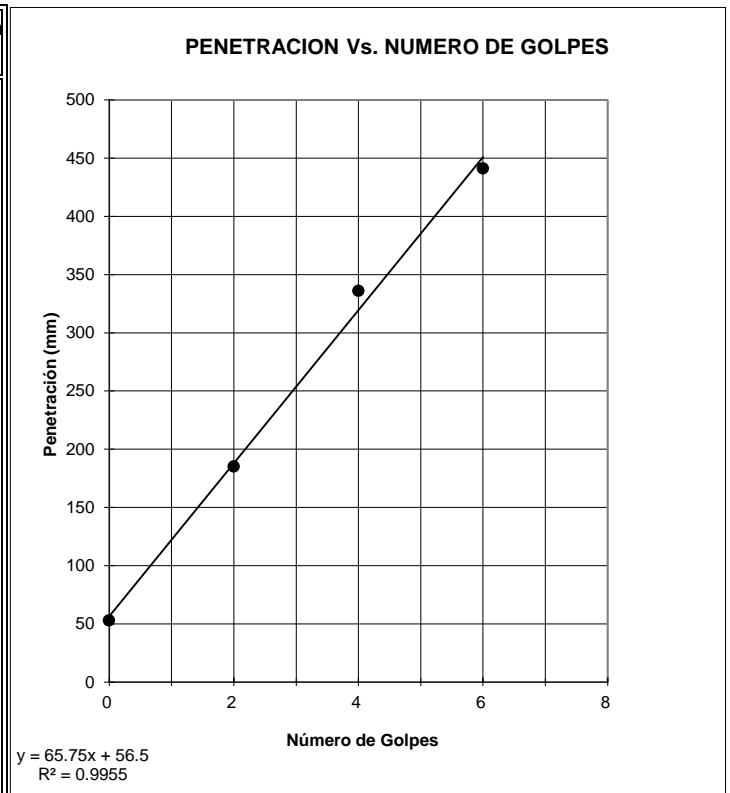
**CBR (Kleyn 1975) =** 2.5

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 1.9

**CBR (Harrison 1987) =** 2.6

**Valor CBR Promedio =** 2.4

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 53.00            |
| 2                 | 185.00           |
| 4                 | 336.00           |
| 6                 | 441.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 2.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



### ENSAYO D.C.P - C.B.R.

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 2

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 20.63

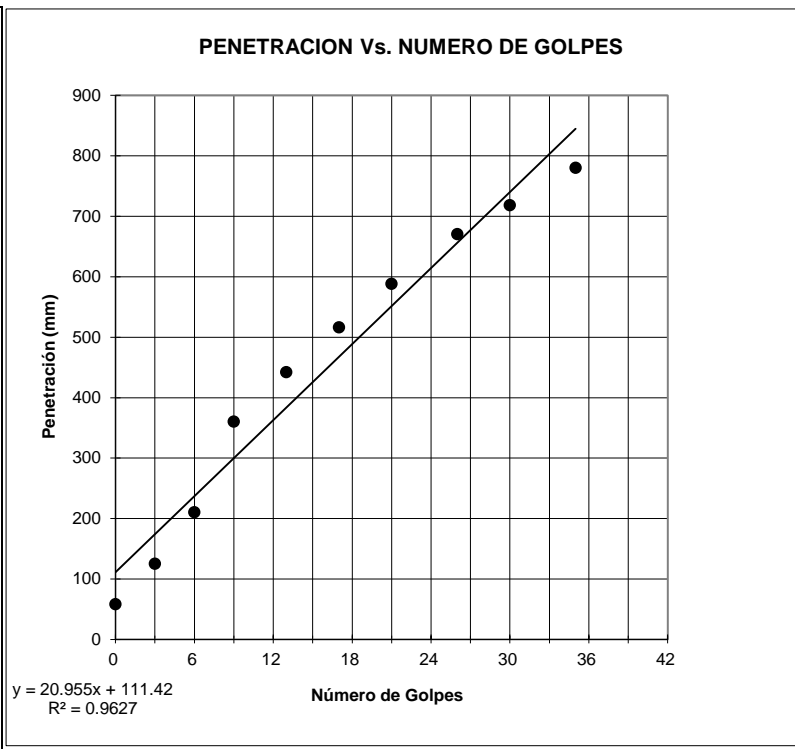
**CBR (Kleyn 1975) =** 11.0

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 8.6

**CBR (Harrison 1987) =** 11.8

**Valor CBR Promedio =** 10.4

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 58.00            |
| 3                 | 125.00           |
| 6                 | 210.00           |
| 9                 | 360.00           |
| 13                | 442.00           |
| 17                | 516.00           |
| 21                | 588.00           |
| 26                | 670.00           |
| 30                | 718.00           |
| 35                | 780.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 10.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYO D.C.P - C.B.R.

PROYECTO : Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

Localización = El Capulí

Calicata = 3

Profundidad (m) 1.50

Valor mm/golpe : 17.08

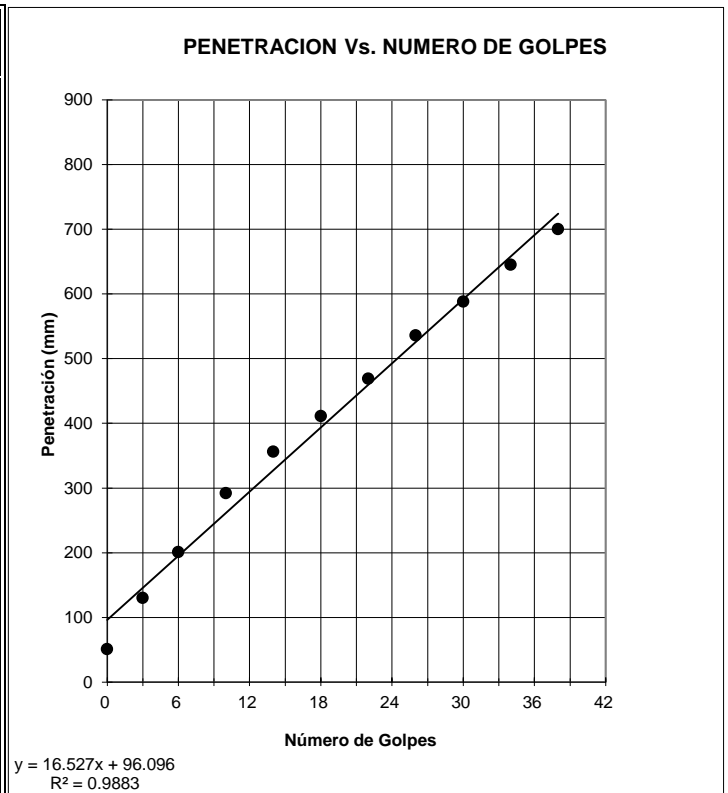
CBR (Kleyn 1975) = 14.0

CBR (Kleyn & Heerden 1983) = 11.1

CBR (Harrison 1987) = 15.1

Valor CBR Promedio = 13.4

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 51.00            |
| 3                 | 130.00           |
| 6                 | 201.00           |
| 10                | 292.00           |
| 14                | 356.00           |
| 18                | 411.00           |
| 22                | 469.00           |
| 26                | 536.00           |
| 30                | 588.00           |
| 34                | 645.00           |
| 38                | 700.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 13.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 4

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 25.07

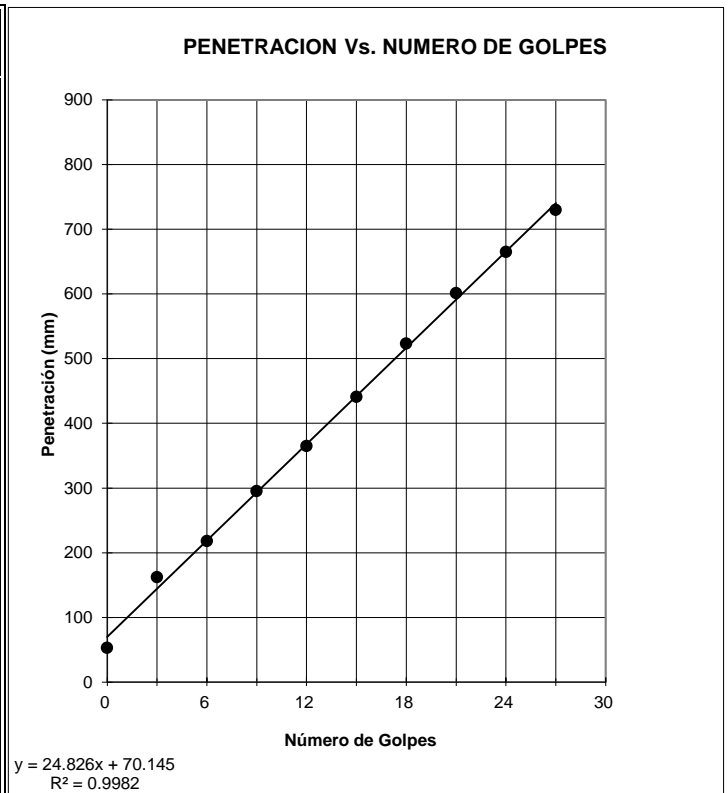
**CBR (Kleyn 1975) =** 8.5

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 6.7

**CBR (Harrison 1987) =** 9.1

**Valor CBR Promedio =** 8.1

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 53.00            |
| 3                 | 162.00           |
| 6                 | 218.00           |
| 9                 | 295.00           |
| 12                | 365.00           |
| 15                | 441.00           |
| 18                | 523.00           |
| 21                | 601.00           |
| 24                | 665.00           |
| 27                | 730.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 8.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 5

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 12.33

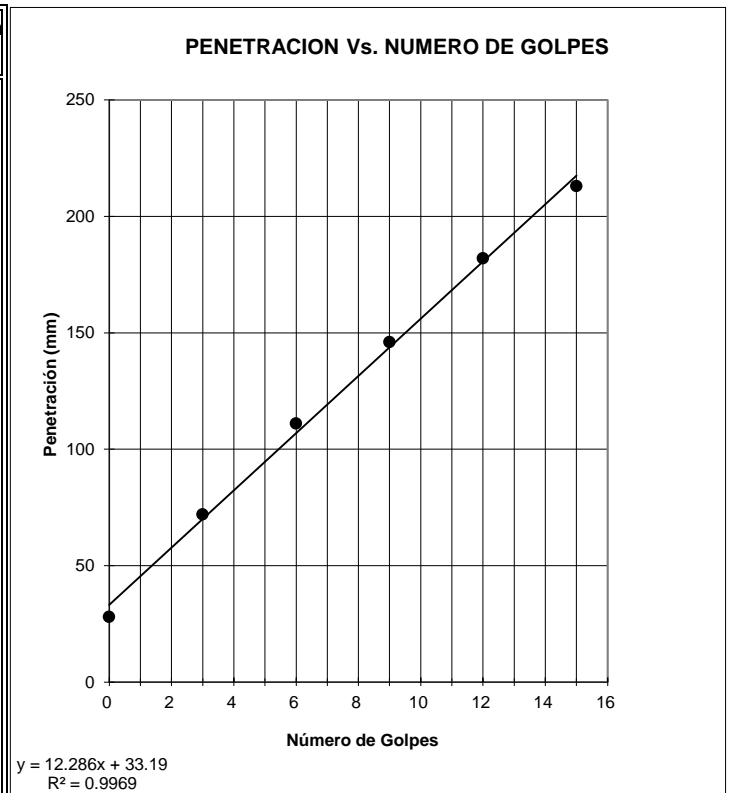
**CBR (Kleyn 1975) =** 21.2

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 17.0

**CBR (Harrison 1987) =** 23.1

**Valor CBR Promedio =** 20.4

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 28.00            |
| 3                 | 72.00            |
| 6                 | 111.00           |
| 9                 | 146.00           |
| 12                | 182.00           |
| 15                | 213.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 20.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 6

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 7.45

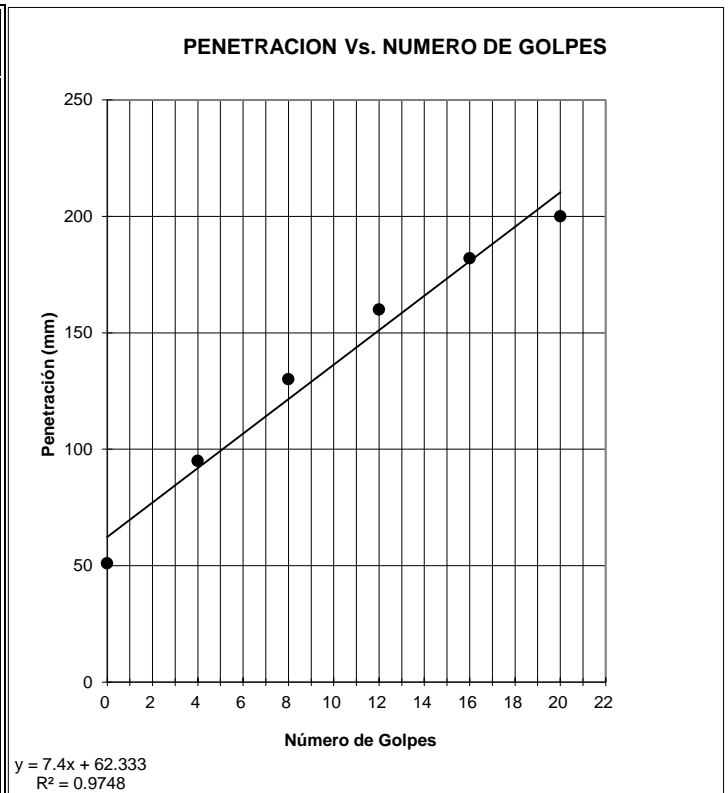
**CBR (Kleyn 1975) =** 40.6

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 32.9

**CBR (Harrison 1987) =** 44.7

**Valor CBR Promedio =** 39.4

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 51.00            |
| 4                 | 95.00            |
| 8                 | 130.00           |
| 12                | 160.00           |
| 16                | 182.00           |
| 20                | 200.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 39.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 7

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 16.11

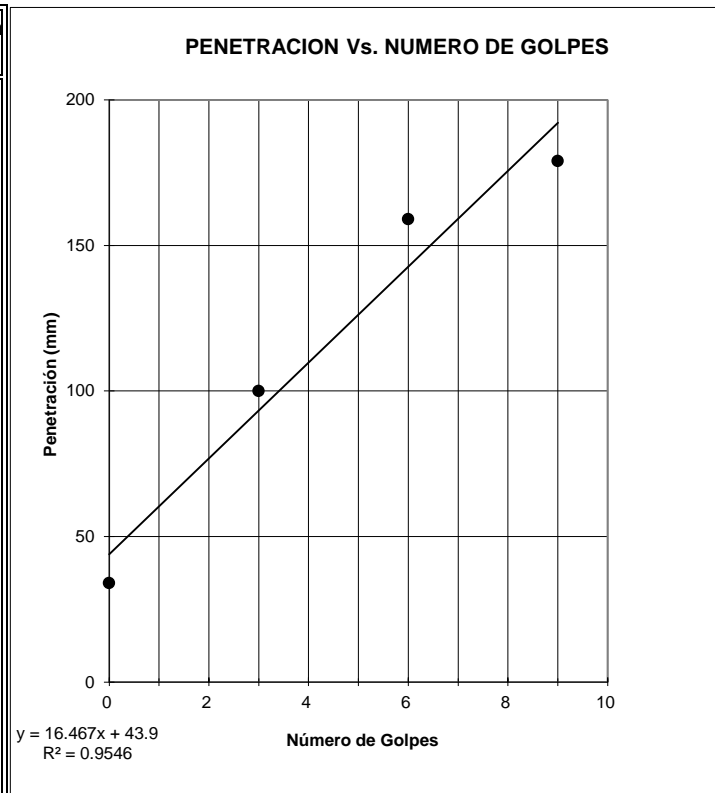
**CBR (Kleyn 1975) =** 15.1

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 12.0

**CBR (Harrison 1987) =** 16.3

**Valor CBR Promedio =** 14.4

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 34.00            |
| 3                 | 100.00           |
| 6                 | 159.00           |
| 9                 | 179.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 14.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 8

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 21.68

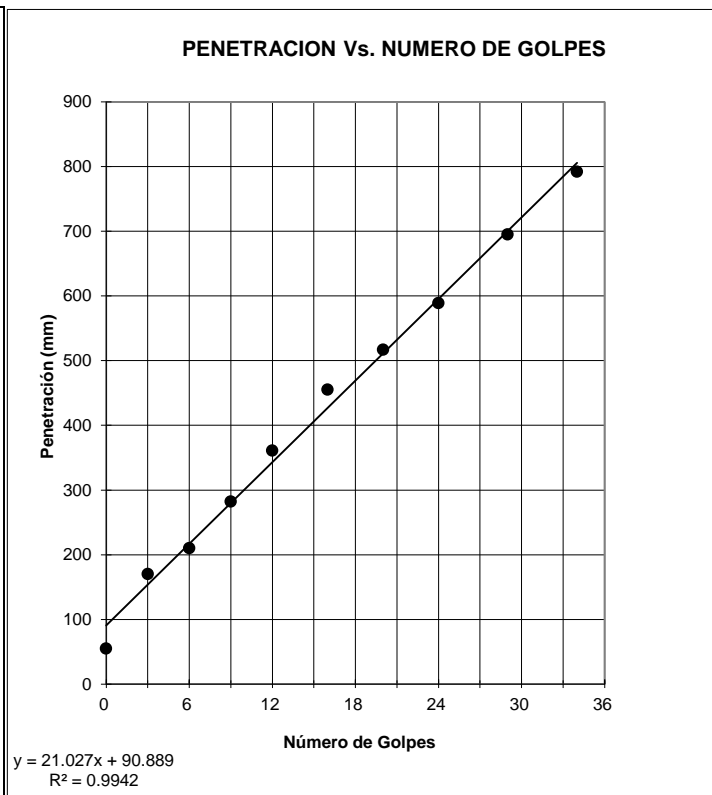
**CBR (Kleyn 1975) =** 10.3

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 8.1

**CBR (Harrison 1987) =** 11.0

**Valor CBR Promedio =** 9.8

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 55.00            |
| 3                 | 170.00           |
| 6                 | 210.00           |
| 9                 | 282.00           |
| 12                | 361.00           |
| 16                | 455.00           |
| 20                | 517.00           |
| 24                | 589.00           |
| 29                | 695.00           |
| 34                | 792.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 10.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**ENSAYO D.C.P - C.B.R.**

**PROYECTO :** Alternativas sostenibles para el diseño de la estructura del pavimento en caminos de bajo volumen de tránsito

**Localización =** El Capulí

**Calicata =** 9

**Profundidad (m)** 1.50

**Valor mm/golpe :** 29.22

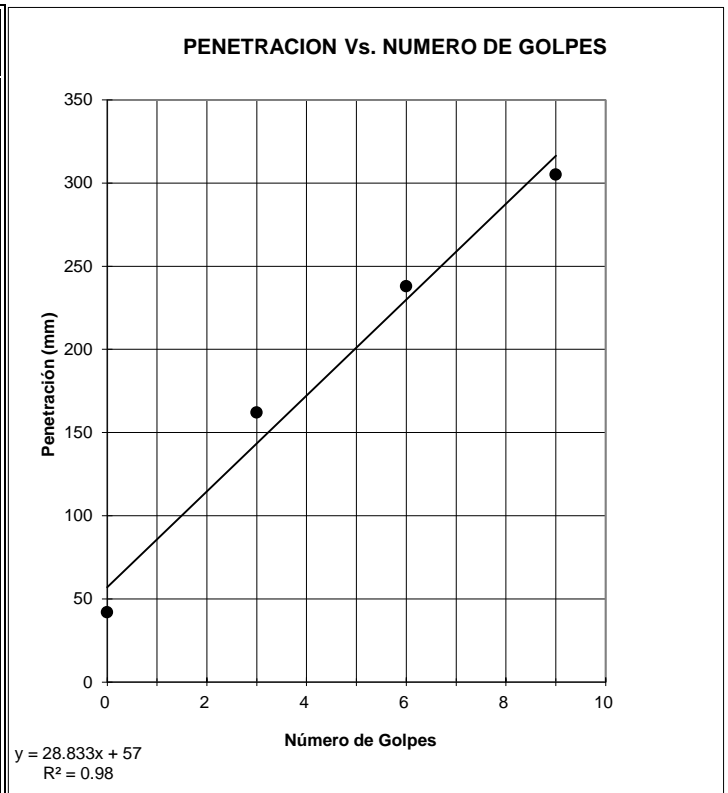
**CBR (Kleyn 1975) =** 7.0

**CBR (Kleyn & Heerden 1983) =** 5.5

**CBR (Harrison 1987) =** 7.5

**Valor CBR Promedio =** 6.6

| Golpes Acumulados | Penetración (mm) |
|-------------------|------------------|
| 0                 | 42.00            |
| 3                 | 162.00           |
| 6                 | 238.00           |
| 9                 | 305.00           |



Observaciones: El ensayo es realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El resultado de el CBR de DCP es 7.0%

Ing. María Soledad Segarra M.  
DIRECTOR DE TESIS

Marco Guerra Castro  
TESISTA

## ANEXO 6. CARTILLAS DE DISEÑO

| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido) | Tránsito T0<br>(Hasta 150.000 Ejes Equivalentes) |                    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
|                                  | Opción de Diseño 1                               | Opción de Diseño 2 |
| Suelo S1<br>(CBR < 3%)           | /                                                | /                  |
| Suelo S2<br>(3% < CBR < 6%)      | /                                                | /                  |
| Suelo S3<br>(7% < CBR < 10%)     | /                                                | /                  |
| Suelo S4<br>(11% < CBR < 14%)    | 14<br>14<br>                                     | 12<br>16<br>       |
| Suelo S5<br>(15% < CBR < 19%)    | 12<br>12<br>                                     | 22<br>             |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)          | 18<br>                                           |                    |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°1**

**TRÁNSITO LIVIANO CLIMA SECO**  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección

**SIMBOLOGIA**

Capa de Protección

Base Granular CBR 100%

Subbase Granular CBR 50%

Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido) | Tránsito T0<br>(Hasta 150.000 Ejes Equivalentes) |                     |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|
|                                  | Opción de Diseño 1                               | Opción de Diseño 2  |
| Suelo S1<br>(CBR < 3%)           | /                                                | /                   |
| Suelo S2<br>(3% < CBR < 6%)      | 18<br>12<br>(*)<br>                              | 16<br>14<br>(*)<br> |
| Suelo S3<br>(7% < CBR < 10%)     | 17<br>17<br>                                     | 16<br>18<br>        |
| Suelo S4<br>(11% < CBR < 14%)    | 15<br>15<br>                                     | 14<br>16<br>        |
| Suelo S5<br>(15% < CBR < 19%)    | 14<br>12<br>                                     | 12<br>14<br>        |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)          | 20<br>                                           | 12<br>12<br>        |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°2**

**TRÁNSITO LIVIANO CLIMA NORMAL**  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección

**SIMBOLOGIA**

Capa de Protección

Base Granular CBR 100%

Subbase Granular CBR 50%

Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido) | Tránsito T0<br>(Hasta 150.000 Ejes Equivalentes) |                    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
|                                  | Opción de Diseño 1                               | Opción de Diseño 2 |
| Suelo S1<br>(CBR < 3%)           |                                                  |                    |
| Suelo S2<br>(3% < CBR < 6%)      | 18<br>16<br>(*)                                  | 16<br>16<br>(*)    |
| Suelo S3<br>(7% < CBR < 10%)     | 18<br>18                                         | 16<br>20           |
| Suelo S4<br>(11% < CBR < 14%)    | 18<br>14                                         | 16<br>16           |
| Suelo S5<br>(15% < CBR < 19%)    | 26                                               | 16<br>12           |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)          |                                                  |                    |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°3**

**TRÁNSITO LIVIANO CLIMA SATURADO**  
Estructuras Granulares con Capa de Protección

**SIMBOLOGIA**

Capa de Protección

Base Granular CBR 100%

Subbase Granular CBR 50%

Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido) | Tránsito T1<br>(150.000 - 300.000 EE) |                    | Tránsito T2<br>(300.000 - 500.000 EE) |                    |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
|                                  | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 |
| Suelo S1<br>(CBR < 3%)           |                                       |                    |                                       |                    |
| Suelo S2<br>(3% < CBR < 6%)      |                                       |                    |                                       |                    |
| Suelo S3<br>(7% < CBR < 10%)     |                                       |                    |                                       |                    |
| Suelo S4<br>(11% < CBR < 14%)    | 14<br>14                              | 12<br>16           | 16<br>16                              | 12<br>22           |
| Suelo S5<br>(15% < CBR < 19%)    | 13<br>13                              | 24                 | 16<br>14                              | 12<br>18           |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)          | 12<br>12                              | 20                 | 14<br>12                              | 12<br>14           |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°4**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA SECO**  
Estructuras Granulares con Capa de Protección

**SIMBOLOGIA**

Capa de Protección

Base Granular CBR 100%

Subbase Granular CBR 50%

Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido) | Tránsito T1<br>(150.000 - 300.000 EE) |                    | Tránsito T2<br>(300.000 - 500.000 EE) |                    |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
|                                  | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 |
| Suelo S1<br>(CBR < 3%)           | /                                     |                    |                                       |                    |
| Suelo S2<br>(3% < CBR < 6%)      | 17<br>17<br>(*)                       | 16<br>18<br>(*)    | 20<br>20<br>(*)                       | 18<br>22<br>(*)    |
| Suelo S3<br>(7% < CBR < 10%)     | 18<br>22                              | 16<br>24           | 20<br>28                              | 18<br>30           |
| Suelo S4<br>(11% < CBR < 14%)    | 18<br>12                              | 16<br>14           | 20<br>20                              | 18<br>22           |
| Suelo S5<br>(15% < CBR < 19%)    | 16<br>12                              | 14<br>14           | 20<br>14                              | 17<br>17           |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)          | 16<br>12                              | 14<br>12           | 20<br>12                              | 17<br>12           |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°5**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA NORMAL**  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección

**SIMBOLOGIA**

Capa de Protección

Base Granular CBR 100%

Subbase Granular CBR 50%

Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido) | Tránsito T1<br>(150.000 - 300.000 EE) |                    | Tránsito T2<br>(300.000 - 500.000 EE) |                    |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
|                                  | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 |
| Suelo S1<br>(CBR < 3%)           | /                                     |                    |                                       |                    |
| Suelo S2<br>(3% < CBR < 6%)      | 20<br>20<br>(*)                       | 18<br>22<br>(*)    | 26<br>20<br>(*)                       | 22<br>24<br>(*)    |
| Suelo S3<br>(7% < CBR < 10%)     | 22<br>22                              | 18<br>26           | 26<br>26                              | 22<br>30           |
| Suelo S4<br>(11% < CBR < 14%)    | 20<br>16                              | 18<br>18           | 26<br>20                              | 22<br>24           |
| Suelo S5<br>(15% < CBR < 19%)    | 20<br>12                              | 18<br>14           | 26<br>12                              | 22<br>16           |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)          | /                                     |                    |                                       |                    |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA N°6**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA SATURADO**  
Estructuras Granulares con  
Capa de Protección

**SIMBOLOGIA**

Capa de Protección

Base Granular CBR 100%

Subbase Granular CBR 50%

Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(a Sencillo) | Tránsito T1<br>(150.000 - 300.000 EE) |                      |                      | Tránsito T2<br>(300.000 - 600.000 EE) |                       |                        | Tránsito T3<br>(600.000 - 700.000 EE) |                    |                    |                       | Tránsito T4<br>(700.000 - 1.000.000 EE) |                    |                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| TIPO DE SUELO                     | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2   | Opción de Diseño 3   | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2    | Opción de Diseño 3     | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 3 | Opción de Diseño 4    | Opción de Diseño 1                      | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 3    |
| Suelo S1<br>(CBR < 2%)            |                                       |                      |                      |                                       |                       |                        |                                       |                    |                    |                       |                                         |                    |                       |
| Suelo S2<br>(2% < CBR < 4%)       |                                       |                      | 6<br>15<br>21<br>(*) |                                       |                       | 6<br>15<br>23<br>(***) |                                       |                    |                    | 7<br>15<br>25<br>(*)  |                                         |                    | 7<br>20<br>32<br>(*)  |
| Suelo S3<br>(4% < CBR < 10%)      |                                       | 5<br>15<br>18<br>(*) | 6<br>15<br>21        |                                       | 5<br>18<br>26<br>(**) | 6<br>20<br>30          |                                       |                    |                    | 6<br>16<br>21<br>(**) | 7<br>15<br>20                           |                    | 6<br>20<br>28<br>(**) |
| Suelo S4<br>(10% < CBR < 14%)     | 4<br>20<br>25                         | 5<br>15<br>18        |                      |                                       | 5<br>18<br>26         | 6<br>15<br>15          |                                       |                    |                    | 6<br>16<br>21         | 7<br>15<br>15                           |                    | 6<br>20<br>28         |
| Suelo S5<br>(14% < CBR < 18%)     | 4<br>15<br>18                         | 5<br>24              |                      | 4<br>15<br>27                         | 5<br>15<br>17         |                        |                                       |                    |                    | 5<br>15<br>24         | 6<br>15<br>15                           |                    | 5<br>30<br>30         |
| Suelo S6<br>(CBR > 18%)           | 4<br>24                               | 5<br>18              |                      | 4<br>15<br>15                         |                       | 6<br>17                | 4<br>15<br>21                         | 5<br>15<br>15      |                    |                       | 5<br>15<br>20                           | 6<br>15<br>15      |                       |

#### SIMBOLOGIA

-  Concreto Asfáltico
-  Base Granular CBR 100%
-  Base Granular CBR 80 %
-  Subbase Granular CBR 40%

#### NOTA

En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un terraplén con materiales que cumplan especificación MCP V5, según los siguientes espesores:  
 (\*) = 35 cm.; (\*\*) = 40 cm.; (\*\*\*) = 50 cm.

#### GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE

#### CARTILLA DE DISEÑO N°7

TRÁNSITO PESADO CLIMA NORMAL  
Estructuras Granulares con  
Cape Asfáltica

| Ejes Equivalentes<br>(x Semáforos)   | Tránsito T1<br>(100.000 - 200.000 EE) |                    |                    | Tránsito T2<br>(200.000 - 500.000 EE) |                    |                    | Tránsito T3<br>(500.000 - 700.000 EE) |                    |                    | Tránsito T4<br>(700.000 - 1.000.000 EE) |                    |                    |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|
| TIPO DE SUELO                        | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 3 | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 3 | Opción de Diseño 1                    | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 3 | Opción de Diseño 1                      | Opción de Diseño 2 | Opción de Diseño 3 |
| <b>Suelo S1</b><br>(CBR < 3%)        | /                                     |                    |                    |                                       |                    |                    |                                       |                    |                    |                                         |                    |                    |
| <b>Suelo S2</b><br>(3% < CBR < 6%)   | /                                     |                    |                    |                                       |                    |                    |                                       |                    |                    |                                         |                    |                    |
| <b>Suelo S3</b><br>(7% < CBR < 10%)  | /                                     |                    |                    |                                       |                    |                    |                                       |                    |                    |                                         |                    |                    |
| <b>Suelo S4</b><br>(11% < CBR < 14%) | /                                     |                    |                    |                                       |                    |                    |                                       |                    |                    |                                         |                    |                    |
| <b>Suelo S5</b><br>(15% < CBR < 19%) | /                                     |                    |                    |                                       |                    |                    |                                       |                    |                    |                                         |                    |                    |
| <b>Suelo S6</b><br>(CBR > 20%)       | /                                     |                    |                    |                                       |                    |                    |                                       |                    |                    |                                         |                    |                    |

**SIMBOLOGIA**

-  Concreto Asfáltico
-  Base Granular CBR 100%
-  Base Granular CBR 80%
-  Subbase Granular CBR 40%

**NOTA**  
 En los casos señalados con asterisco, debe colocarse un templen con materiales que cumpla especificación MOP V5, según los siguientes espesores:  
 (\*) = 35 cm., (\*\*) = 40 cm

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE**

**CARTILLA DE DISEÑO N°8**

**TRÁNSITO PESADO CLIMA SATURADO**  
 Estructuras Granulares con Capa Asfáltica


| Ejes Equivalentes<br>(x Sentido)            | Tránsito T1<br>(150.000 - 300.000 EE) | Tránsito T2<br>(300.000 - 500.000 EE) | Tránsito T3<br>(500.000 - 700.000 EE) | Tránsito T4<br>(700.000 - 1.000.000 EE) |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>TIPO DE SUELO</b>                        |                                       |                                       |                                       |                                         |
| <b>Suelo S1<br/>(CBR &lt; 3%)</b>           | /                                     |                                       |                                       |                                         |
| <b>Suelo S2<br/>(3% &lt; CBR &lt; 6%)</b>   | 14<br>15                              | 14<br>18                              | 15<br>18                              | 16<br>18                                |
| <b>Suelo S3<br/>(7% &lt; CBR &lt; 10%)</b>  | 12<br>15                              | 12<br>18                              | 13<br>18                              | 14<br>18                                |
| <b>Suelo S4<br/>(11% &lt; CBR &lt; 14%)</b> | 10<br>15                              | 11<br>15                              | 12<br>15                              | 13<br>15                                |
| <b>Suelo S5<br/>(16% &lt; CBR &lt; 19%)</b> | 12                                    | 13                                    | 13                                    | 14                                      |
| <b>Suelo S6<br/>(CBR &gt; 20%)</b>          | 11                                    | 12                                    | 13                                    | 13                                      |

GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA  
CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE

**CARTILLA DE DISEÑO N°9**

**TRÁNSITO PESADO**  
Estructuras Granulares con Base Asfáltica

**SIMBOLOGÍA**

-  Capa de Protección
-  Base Estabilizada con Asfalto
-  Subbase Granular CBR 40%

| Ejes Equivalentes<br>(x Semáforos) | Tránsito T1<br>(150.000 a 300.000 EE) | Tránsito T2<br>(300.000 a 500.000 EE) | Tránsito T3<br>(500.000 a 700.000 EE) |               | Tránsito T4<br>(700.000 a 1.000.000 EE) |               |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|---------------|
| TIPO DE SUELO                      |                                       |                                       | Calidad 1                             | Calidad 2     | Calidad 1                               | Calidad 2     |
| Suelo S1<br>(CBR < 2%)             |                                       |                                       |                                       |               |                                         |               |
| Suelo S2<br>(2% < CBR < 4%)        |                                       |                                       | 5<br>13<br>14                         | 6<br>10<br>15 | 5<br>15<br>15                           | 6<br>10<br>10 |
| Suelo S3<br>(4% < CBR < 8%)        |                                       |                                       | 5<br>12<br>13                         | 6<br>15<br>14 | 5<br>15<br>13                           | 6<br>15<br>16 |
| Suelo S4<br>(8% < CBR < 14%)       |                                       |                                       | 4<br>15<br>12                         | 5<br>15<br>14 | 5<br>15<br>12                           | 6<br>15<br>14 |
| Suelo S5<br>(14% < CBR < 18%)      |                                       |                                       | 4<br>12<br>12                         | 5<br>15<br>12 | 5<br>13<br>12                           | 6<br>15<br>12 |
| Suelo S6<br>(CBR > 20%)            |                                       |                                       |                                       |               |                                         |               |

**GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS  
PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO  
EN CHILE**

**CARTILLA DE DISEÑO Nº18**

**TRÁNSITO PESADO**  
Estructuras Granulares con Subbase Cementada

**SIMBOLOGÍA**

- Concreto Admixto
- Base Granular CBR 100%
- Base Granular CBR 80%
- Subbase Estabilizada con Cemento



**ANEXO 7**  
**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Rubro: Desbroce y limpieza a máquina

Unidad: m3

Detalle:

Código: 2894

| <b>EQUIPOS</b>                 |          |           |              |                 |             |
|--------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Herramientas manuales (5 % MO) |          |           |              |                 | 0.0046      |
| Retroexcavadora                | 1        | 27        | 27           | 0.02            | 0.54        |
| Subtotal M                     |          |           |              |                 | 0.5446      |
| <b>MANO DE OBRA</b>            |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Ayudante de operador de equipo | 0.333    | 3.22      | 1.07226      | 0.02            | 0.021       |
| OPERADOR Excavadora            | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.02            | 0.071       |
| Subtotal N                     |          |           |              |                 | 0.092       |
| <b>MATERIALES</b>              |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |             |
|                                |          |           |              |                 |             |
| Subtotal O                     |          |           |              |                 | 0           |
| <b>TRANSPORTE</b>              |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |             |
|                                |          |           |              |                 |             |
| Subtotal P                     |          |           |              |                 | 0           |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)  |          |           |              |                 | 0.6366      |
| INDIRECTOS 7 %                 |          |           |              |                 | 0.04456     |
| UTILIDAD 8 %                   |          |           |              |                 | 0.05093     |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO          |          |           |              |                 | 0.73209     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>          |          |           |              |                 | <b>0.73</b> |

Son: CERO dólares con SETENTA Y TRES centavos

Rubro: Reconformación subrasante

Unidad: m2

Detalle:

Código: 2920

| <b>EQUIPOS</b>                 |          |           |              |                 |             |
|--------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Herramientas manuales (5 % MO) |          |           |              |                 | 0.00255     |
| Retroexcavadora                | 1        | 27        | 27           | 0.011           | 0.284       |
| Subtotal M                     |          |           |              |                 | 0.28655     |
| <b>MANO DE OBRA</b>            |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| OPERADOR Motoniveladora        | 0.33333  | 3.57      | 1.1899881    | 0.011           | 0.013       |
| OPERADOR Excavadora            | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.011           | 0.038       |
| Subtotal N                     |          |           |              |                 | 0.051       |
| <b>MATERIALES</b>              |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |             |
|                                |          |           |              |                 |             |
| Subtotal O                     |          |           |              |                 | 0           |
| <b>TRANSPORTE</b>              |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |             |
|                                |          |           |              |                 |             |
| Subtotal P                     |          |           |              |                 | 0           |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)  |          |           |              |                 | 0.33755     |
| INDIRECTOS 7 %                 |          |           |              |                 | 0.02363     |
| UTILIDAD 8 %                   |          |           |              |                 | 0.027       |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO          |          |           |              |                 | 0.38818     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>          |          |           |              |                 | <b>0.39</b> |

Son: CERO dólares con TREINTA Y NUEVE centavos

Rubro: Replanteo y nivelación en vías con colocación laterales

Unidad: km

Detalle:

Código: 2895

| <b>EQUIPOS</b>                                        |          |           |              |                 |                |
|-------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|----------------|
| DESCRIPCIÓN                                           | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO          |
| Herramientas manuales (5 % MO)                        |          |           |              |                 | 51.6579        |
| Equipo topográfico (estación total)                   | 1        | 20        | 20           | 52.632          | 1052.632       |
| Subtotal M                                            |          |           |              |                 | 1104.2899      |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                   |          |           |              |                 |                |
| DESCRIPCIÓN                                           | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO          |
| Machetero                                             | 1        | 3.18      | 3.18         | 52.632          | 167.368        |
| Cadenero                                              | 4        | 3.22      | 12.88        | 52.632          | 677.895        |
| TOPOGRAFO 2: título exper mayor a 5 años (Estr. Oc. C | 1        | 3.57      | 3.57         | 52.632          | 187.895        |
| Subtotal N                                            |          |           |              |                 | 1033.158       |
| <b>MATERIALES</b>                                     |          |           |              |                 |                |
| DESCRIPCIÓN                                           | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |                |
| Pintura esmalte                                       | gl       | 0.01      | 18           | 0.18            |                |
| Estacas, varios                                       | u        | 1         | 0.22         | 0.22            |                |
| Subtotal O                                            |          |           |              |                 | 0.4            |
| <b>TRANSPORTE</b>                                     |          |           |              |                 |                |
| DESCRIPCIÓN                                           | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |                |
| Subtotal P                                            |          |           |              |                 | 0              |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                         |          |           |              |                 | 2137.8479      |
| INDIRECTOS 7 %                                        |          |           |              |                 | 149.64935      |
| UTILIDAD 8 %                                          |          |           |              |                 | 171.02783      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                                 |          |           |              |                 | 2458.52509     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                                 |          |           |              |                 | <b>2458.53</b> |

Son: DOS MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y OCHO dólares con CINCUENTA Y TRES centavos

Rubro: Transporte de materiales de excavación (transporte libre 500m)

Unidad: m³-km

Detalle:

Código: 3044

| <b>EQUIPOS</b>                                         |          |           |              |                 |             |
|--------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN                                            | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Herramientas manuales (5 % MO)                         |          |           |              |                 | 0.0028      |
| Volquete de 8 m3                                       | 1        | 20        | 20           | 0.012           | 0.247       |
| Subtotal M                                             |          |           |              |                 | 0.2498      |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                    |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                                            | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| CHOFERES PROFESIONALES E, trans. pasaj. clase B y C se | 1        | 4.52      | 4.52         | 0.012           | 0.056       |
| Subtotal N                                             |          |           |              |                 | 0.056       |
| <b>MATERIALES</b>                                      |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                                            | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |             |
|                                                        |          |           |              |                 |             |
| Subtotal O                                             |          |           |              |                 | 0           |
| <b>TRANSPORTE</b>                                      |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                                            | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |             |
|                                                        |          |           |              |                 |             |
| Subtotal P                                             |          |           |              |                 | 0           |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                          |          |           |              |                 | 0.3058      |
| INDIRECTOS 7 %                                         |          |           |              |                 | 0.02141     |
| UTILIDAD 8 %                                           |          |           |              |                 | 0.02446     |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                                  |          |           |              |                 | 0.35167     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                                  |          |           |              |                 | <b>0.35</b> |

Son: CERO dólares con TREINTA Y CINCO centavos

Rubro: Base clase 1a

Unidad: m3

Detalle:

Código: 3136

| <b>EQUIPOS</b>                                          |          |           |              |                 |              |
|---------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN                                             | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Herramientas manuales (5 % MO)                          |          |           |              |                 | 0.12055      |
| Cargadora frontal                                       | 2        | 40        | 80           | 0.03            | 2.4          |
| Motoniveladora                                          | 1        | 44        | 44           | 0.03            | 1.32         |
| Rodillo vibratorio liso                                 | 1        | 34        | 34           | 0.03            | 1.02         |
| Tanquero (camión cisterna)                              | 1        | 25        | 25           | 0.03            | 0.75         |
| Tractor d8 (285 hp)                                     | 1        | 85.5      | 85.5         | 0.03            | 2.565        |
| Trituradora de quijadas                                 | 1        | 90        | 90           | 0.03            | 2.7          |
| Trituradora de impacto secundario                       | 1        | 90        | 90           | 0.03            | 2.7          |
| Trituradora de impacto terciaria                        | 1        | 90        | 90           | 0.03            | 2.7          |
| Rodillo vibratorio liso tandem                          | 1        | 34        | 34           | 0.03            | 1.02         |
| Subtotal M                                              |          |           |              |                 | 17.29555     |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                     |          |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                             | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Inspector de obra                                       | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.03            | 0.107        |
| OPERADOR Motoniveladora                                 | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.03            | 0.107        |
| OPERADOR Tractor carriles o ruedas (bulldozer, topador) | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.03            | 0.107        |
| OPERADOR Cargadora frontal                              | 2        | 3.57      | 7.14         | 0.03            | 0.214        |
| Responsable de la planta trituradora                    | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.03            | 0.102        |
| OPERADOR Rodillo autopropulsado                         | 2        | 3.39      | 6.78         | 0.03            | 0.203        |
| Ayudante de mecánico                                    | 3        | 3.18      | 9.54         | 0.03            | 0.286        |
| Ayudante de maquinaria                                  | 12       | 3.18      | 38.16        | 0.03            | 1.145        |
| CHOFER PROFESIONAL T. E camión articulado y compresor   | 1        | 4.67      | 4.67         | 0.03            | 0.14         |
| Subtotal N                                              |          |           |              |                 | 2.411        |
| <b>MATERIALES</b>                                       |          |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                             | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |              |
| Agua                                                    | lt.      | 200       | 0.001        | 0.2             |              |
| Subtotal O                                              |          |           |              |                 | 0.2          |
| <b>TRANSPORTE</b>                                       |          |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                             | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |              |
| Subtotal P                                              |          |           |              |                 | 0            |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                           |          |           |              |                 | 19.90655     |
| INDIRECTOS 7 %                                          |          |           |              |                 | 1.39346      |
| UTILIDAD 8 %                                            |          |           |              |                 | 1.59252      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                                   |          |           |              |                 | 22.89253     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                                   |          |           |              |                 | <b>22.89</b> |

Son: VEINTIDÓS dólares con OCHENTA Y NUEVE centavos

Rubro: Sub-base clase 1

Unidad: m3

Detalle:

Código: 3193

| <b>EQUIPOS</b>                                          |          |           |              |                 |              |
|---------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN                                             | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Herramientas manuales (5 % MO)                          |          |           |              |                 | 0            |
| Cargadora frontal                                       | 2        | 40        | 80           | 0.017           | 1.333        |
| Motoniveladora                                          | 1        | 44        | 44           | 0.017           | 0.733        |
| Rodillo vibratorio liso                                 | 1        | 34        | 34           | 0.017           | 0.567        |
| Tanquero (camión cisterna)                              | 1        | 25        | 25           | 0.017           | 0.417        |
| Tractor d8 (285 hp)                                     | 1        | 85.5      | 85.5         | 0.017           | 1.425        |
| Planta de cribado 3 plataformas vibro king              | 1        | 50        | 50           | 0.017           | 0.833        |
| Trituradora de quijadas                                 | 1        | 90        | 90           | 0.017           | 1.5          |
| Generador electrico                                     | 1        | 30        | 30           | 0.017           | 0.5          |
| Rodillo vibratorio liso tandem                          | 1        | 34        | 34           | 0.017           | 0.567        |
| Subtotal M                                              |          |           |              |                 | 7.875        |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                     |          |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                             | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Inspector de obra                                       | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.017           | 0.06         |
| OPERADOR Motoniveladora                                 | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.017           | 0.06         |
| OPERADOR Tractor carriles o ruedas (bulldozer, topador) | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.017           | 0.06         |
| OPERADOR Cargadora frontal                              | 2        | 3.57      | 7.14         | 0.017           | 0.119        |
| Responsable de la planta trituradora                    | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.017           | 0.057        |
| OPERADOR Rodillo autopropulsado                         | 2        | 3.39      | 6.78         | 0.017           | 0.113        |
| Ayudante de mecánico                                    | 2        | 3.18      | 6.36         | 0.017           | 0.106        |
| Ayudante de maquinaria                                  | 12       | 3.18      | 38.16        | 0.017           | 0.636        |
| CHOFER PROFESIONAL T. E camión articulado y compresor   | 1        | 4.67      | 4.67         | 0.017           | 0.078        |
| OPERADOR MAQUINA ESTACIONARIA CLASIFICADORA D           | 1        | 3.27      | 3.27         | 0.017           | 0.055        |
| Subtotal N                                              |          |           |              |                 | 1.344        |
| <b>MATERIALES</b>                                       |          |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                             | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |              |
| Agua                                                    | lt.      | 200       | 0.001        | 0.2             |              |
| Subtotal O                                              |          |           |              |                 | 0.2          |
| <b>TRANSPORTE</b>                                       |          |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                             | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |              |
| Subtotal P                                              |          |           |              |                 | 0            |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                           |          |           |              |                 | 9.419        |
| INDIRECTOS 7 %                                          |          |           |              |                 | 0.65933      |
| UTILIDAD 8 %                                            |          |           |              |                 | 0.75352      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                                   |          |           |              |                 | 10.83185     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                                   |          |           |              |                 | <b>10.83</b> |

Son: DIEZ dólares con OCHENTA Y TRES centavos

Rubro: Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio e=2.50 cm

Unidad: m2

Detalle:

Código: 3157

| <b>EQUIPOS</b>                                              |          |           |              |                 |             |
|-------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN                                                 | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Herramientas manuales (5 % MO)                              |          |           |              |                 | 0.0222      |
| Cargadora frontal                                           | 2        | 40        | 80           | 0.005           | 0.364       |
| Rodillo vibratorio liso                                     | 1        | 34        | 34           | 0.005           | 0.155       |
| Distribuidora de asfalto                                    | 1        | 53        | 53           | 0.005           | 0.241       |
| Tanquero (camión cisterna)                                  | 1        | 25        | 25           | 0.005           | 0.114       |
| Tractor d8 (285 hp)                                         | 1        | 85.5      | 85.5         | 0.005           | 0.389       |
| Trituradora de quijadas                                     | 1        | 90        | 90           | 0.005           | 0.409       |
| Trituradora de impacto secundario                           | 1        | 90        | 90           | 0.005           | 0.409       |
| Trituradora de impacto terciaria                            | 1        | 90        | 90           | 0.005           | 0.409       |
| Generador eléctrico                                         | 1        | 30        | 30           | 0.005           | 0.136       |
| Escoba mecánica autopropulsada                              | 1        | 40        | 40           | 0.005           | 0.182       |
| Rodillo neumático                                           | 1        | 30        | 30           | 0.005           | 0.136       |
| Pavimentadora asfalto sobre ruedas cat ap-1000b             | 1        | 95        | 95           | 0.005           | 0.432       |
| Subtotal M                                                  |          |           |              |                 | 3.3982      |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                         |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                                                 | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Peón                                                        | 12       | 3.01      | 36.12        | 0.005           | 0.164       |
| Inspector de obra                                           | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.005           | 0.016       |
| Técnico construcciones civiles con certificado y/o título   | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.005           | 0.015       |
| OPERADOR Tractor carriles o ruedas (bulldozer, topador)     | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.005           | 0.016       |
| OPERADOR Cargadora frontal                                  | 2        | 3.57      | 7.14         | 0.005           | 0.033       |
| Responsable de la planta trituradora                        | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.005           | 0.015       |
| OPERADOR Rodillo autopropulsado                             | 2        | 3.39      | 6.78         | 0.005           | 0.031       |
| OPERADOR Distribuidor de asfalto                            | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.005           | 0.015       |
| OPERADOR Acabadora de pavimento asfáltico                   | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.005           | 0.015       |
| OPERADOR Barredora autopropulsada                           | 1        | 3.39      | 3.39         | 0.005           | 0.015       |
| Técnico mecánico-electricista o electricista (Estr. Oc. C1) | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.005           | 0.016       |
| Ayudante de maquinaria                                      | 5        | 3.18      | 15.9         | 0.005           | 0.072       |
| CHOFER PROFESIONAL T. E camión articulado y comprar         | 1        | 4.67      | 4.67         | 0.005           | 0.021       |
| Subtotal N                                                  |          |           |              |                 | 0.444       |
| <b>MATERIALES</b>                                           |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                                                 | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |             |
| Asfalto                                                     | lt       | 1.5       | 0.573        | 0.86            |             |
| Diesel                                                      | lt       | 0.5       | 0.329        | 0.165           |             |
| Subtotal O                                                  |          |           |              |                 | 1.025       |
| <b>TRANSPORTE</b>                                           |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                                                 | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |             |
| Asfalto                                                     | lt       | 0.001     | 18.76        | 0.019           |             |
| Subtotal P                                                  |          |           |              |                 | 0.019       |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                               |          |           |              |                 | 4.8862      |
| INDIRECTOS 7 %                                              |          |           |              |                 | 0.34203     |
| UTILIDAD 8 %                                                |          |           |              |                 | 0.3909      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                                       |          |           |              |                 | 5.61913     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                                       |          |           |              |                 | <b>5.62</b> |

Son: CINCO dólares con SESENTA Y DOS centavos

Rubro: Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado\_

Unidad: m3

Detalle:

Código: 1452

| <b>EQUIPOS</b>                                      |          |           |              |                 |               |
|-----------------------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|---------------|
| DESCRIPCIÓN                                         | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO         |
| Herramientas manuales (5 % MO)                      |          |           |              |                 | 0.57115       |
| Cortadora de hierro                                 | 0        | 1.02      | 0            | 0.476           | 0             |
| Andamios                                            | 0        | 0.45      | 0            | 0.476           | 0             |
| Máquina de impacto para jack cat 5                  | 0        | 4         | 0            | 0.476           | 0             |
| Subtotal M                                          |          |           |              |                 | 0.57115       |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                 |          |           |              |                 |               |
| DESCRIPCIÓN                                         | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO         |
| Peón                                                | 4        | 3.18      | 12.72        | 0.476           | 6.057         |
| Ayudante de operador de equipo                      | 1        | 3.18      | 3.18         | 0.476           | 1.514         |
| Máquina para sellos asfálticos                      | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.476           | 1.7           |
| CHOFERES PROFESIONALES E, trans. pasaj. clase B y C | 1        | 4.52      | 4.52         | 0.476           | 2.152         |
| Subtotal N                                          |          |           |              |                 | 11.423        |
| <b>MATERIALES</b>                                   |          |           |              |                 |               |
| DESCRIPCIÓN                                         | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |               |
| Asfalto                                             | lt       | 157       | 0.573        | 89.961          |               |
| Material cribado 1 1/2"                             | m3       | 0.56      | 3.925        | 2.198           |               |
| Material cribado 1/2"                               | m3       | 0.85      | 3.925        | 3.336           |               |
| Diesel                                              | lt       | 38        | 0.329        | 12.502          |               |
| Asfalto de imprimación                              | lt       | 34        | 1.218        | 41.412          |               |
| Subtotal O                                          |          |           |              |                 | 149.409       |
| <b>TRANSPORTE</b>                                   |          |           |              |                 |               |
| DESCRIPCIÓN                                         | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |               |
| Subtotal P                                          |          |           |              |                 | 0             |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                       |          |           |              |                 | 161.40315     |
| INDIRECTOS 7 %                                      |          |           |              |                 | 11.29822      |
| UTILIDAD 8 %                                        |          |           |              |                 | 12.91225      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                               |          |           |              |                 | 185.61362     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                               |          |           |              |                 | <b>185.61</b> |

Son: CIENTO OCHENTA Y CINCO dólares con SESENTA Y UN centavos



Rubro: Cunetas laterales h.s. 210 kg/cm2, incluye bordillo h=0.50, bm=0.15, bm=0.30

Unidad: m

Detalle:

Código: 2128

| <b>EQUIPOS</b>                 |                |           |              |                 |              |
|--------------------------------|----------------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD       | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Herramientas manuales (5 % MO) |                |           |              |                 | 0.478        |
| Concretera                     | 0.2            | 5         | 1            | 0.5             | 0.5          |
| Vibrador                       | 0.2            | 4         | 0.8          | 0.5             | 0.4          |
| Subtotal M                     |                |           |              |                 | 1.378        |
| <b>MANO DE OBRA</b>            |                |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD       | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Peón                           | 5              | 3.18      | 15.9         | 0.5             | 7.95         |
| Albañil                        | 1              | 3.22      | 3.22         | 0.5             | 1.61         |
| Subtotal N                     |                |           |              |                 | 9.56         |
| <b>MATERIALES</b>              |                |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD         | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |              |
| Arena gruesa s/t               | m <sup>3</sup> | 0.1095    | 14           | 1.533           |              |
| Grava s/t                      | m <sup>3</sup> | 0.16      | 14           | 2.24            |              |
| Agua                           | lt.            | 31.2      | 0.001        | 0.031           |              |
| Cemento                        | kg             | 52.6      | 0.162        | 8.521           |              |
| Subtotal O                     |                |           |              |                 | 12.325       |
| <b>TRANSPORTE</b>              |                |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD         | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |              |
| Subtotal P                     |                |           |              |                 | 0            |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)  |                |           |              |                 | 23.263       |
| INDIRECTOS 7 %                 |                |           |              |                 | 1.62841      |
| UTILIDAD 8 %                   |                |           |              |                 | 1.86104      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO          |                |           |              |                 | 26.75245     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>          |                |           |              |                 | <b>26.75</b> |

Son: VEINTISÉIS dólares con SETENTA Y CINCO centavos

Rubro: Excavacion y relleno para cunetas laterales\_

Unidad: m3

Detalle:

Código: 3038

| <b>EQUIPOS</b>                 |          |           |              |                 |             |
|--------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Herramientas manuales (5 % MO) |          |           |              |                 | 0.01995     |
| Retroexcavadora                | 1        | 27        | 27           | 0.04            | 1.08        |
| Subtotal M                     |          |           |              |                 | 1.09995     |
| <b>MANO DE OBRA</b>            |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO       |
| Peón                           | 1        | 3.18      | 3.18         | 0.04            | 0.127       |
| Albañil                        | 1        | 3.22      | 3.22         | 0.04            | 0.129       |
| OPERADOR Retroexcavadora       | 1        | 3.57      | 3.57         | 0.04            | 0.143       |
| Subtotal N                     |          |           |              |                 | 0.399       |
| <b>MATERIALES</b>              |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD   | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |             |
|                                |          |           |              |                 |             |
| Subtotal O                     |          |           |              |                 | 0           |
| <b>TRANSPORTE</b>              |          |           |              |                 |             |
| DESCRIPCIÓN                    | UNIDAD   | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |             |
|                                |          |           |              |                 |             |
| Subtotal P                     |          |           |              |                 | 0           |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)  |          |           |              |                 | 1.49895     |
| INDIRECTOS 7 %                 |          |           |              |                 | 0.10493     |
| UTILIDAD 8 %                   |          |           |              |                 | 0.11992     |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO          |          |           |              |                 | 1.72379     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>          |          |           |              |                 | <b>1.72</b> |

Son: UN dólar con SETENTA Y DOS centavos

Rubro: Subbase clase 3 e = 25 cm

Unidad: m3

Detalle:

Código: 2921

| <b>EQUIPOS</b>                                                                  |                |           |              |                 |              |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN                                                                     | CANTIDAD       | TARIFA    | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| Herramientas manuales (5 % MO)                                                  |                |           |              |                 | 0.0475       |
| Cargadora frontal                                                               | 1              | 40        | 40           | 0.063           | 2.5          |
| Motoniveladora                                                                  | 1              | 44        | 44           | 0.063           | 2.75         |
| Rodillo vibratorio liso                                                         | 1              | 34        | 34           | 0.063           | 2.125        |
| Tanquero (camión cisterna)                                                      | 1              | 25        | 25           | 0.063           | 1.563        |
| Subtotal M                                                                      |                |           |              |                 | 8.9855       |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                                             |                |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                                                     | CANTIDAD       | JORNAL/HR | COSTO HORA   | RENDIMIENTO H/U | COSTO        |
| OPERADOR Motoniveladora                                                         | 1              | 3.57      | 3.57         | 0.063           | 0.223        |
| OPERADOR Cargadora frontal                                                      | 1              | 3.57      | 3.57         | 0.063           | 0.223        |
| OPERADOR Rodillo autopropulsado                                                 | 1              | 3.39      | 3.39         | 0.063           | 0.212        |
| CHOFER PROFESIONAL T. E camión articulado o acoplado clase C y D (Estr. Op. C2) | 1              | 4.67      | 4.67         | 0.063           | 0.292        |
| Subtotal N                                                                      |                |           |              |                 | 0.95         |
| <b>MATERIALES</b>                                                               |                |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                                                     | UNIDAD         | CANTIDAD  | PRECIO UNIT. | COSTO           |              |
| Material cribado 1 1/2"                                                         | m3             | 0.39      | 3.925        | 1.531           |              |
| Material granular                                                               | m <sup>3</sup> | 0.86      | 2.709        | 2.33            |              |
| Subtotal O                                                                      |                |           |              | 3.861           |              |
| <b>TRANSPORTE</b>                                                               |                |           |              |                 |              |
| DESCRIPCIÓN                                                                     | UNIDAD         | CANTIDAD  | TARIFA       | COSTO           |              |
|                                                                                 |                |           |              |                 |              |
| Subtotal P                                                                      |                |           |              | 0               |              |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)                                                   |                |           |              |                 | 13.7965      |
| INDIRECTOS 7 %                                                                  |                |           |              |                 | 0.96576      |
| UTILIDAD 8 %                                                                    |                |           |              |                 | 1.10372      |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO                                                           |                |           |              |                 | 15.86598     |
| <b>VALOR OFERTADO</b>                                                           |                |           |              |                 | <b>15.87</b> |

Son: QUINCE dólares con OCHENTA Y SIETE centavos

## ANEXO 8

### FOTOGRAFÍAS

#### Excavación de Calicatas



#### Obtención de muestras de las calicatas



### Perfil estratigráfico de calicata 3



### Ensayo de Contenido de Humedad



Material tamizado para ensayos de límites líquido y plástico



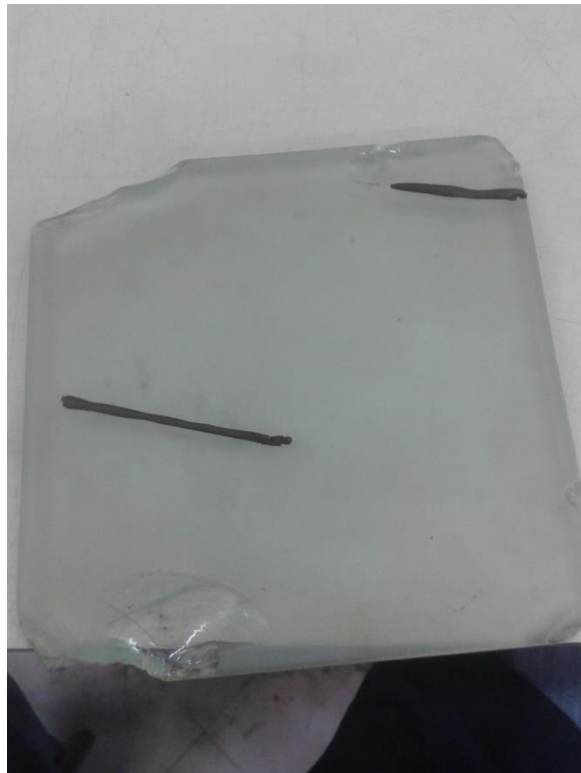
Material tamizado para ensayos de límites líquido y plástico



Muestra preparada para límite líquido



Ensayos de límite plástico



Cuarteo de muestras para granulometrías



Cuarteo manual de muestras para granulometría





## Granulometría por lavado del material fino



## Granulometría de la serie gruesa



## Granulometrías



Separación de material para ensayos de compactación y CBR



## Desarrollo de ensayos de compactación



## Desarrollo de ensayos de compactación



## Desarrollo de ensayos de compactación



## Muestras en saturación para ensayos de CBR



## Ensayos de CBR



## Determinación de esponjamiento



## Ensayos DCP en campo

